



DESARROLLO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PILOTO PARA EVALUAR EL DESEMPEÑO DE SISTEMAS AISLADOS EN EL LABORATORIO DE ENERGÍAS RENOVABLES DE LA UNAB

Carlos Eduardo Vera Suárez

Tutor: Yecid Alfonso Muñoz Maldonado

TABLA DE CONTENIDO

- 1 | INTRODUCCIÓN
- 2 | OBJETIVOS
- 3 | METODOLOGIA
- 4 | RESULTADOS Y ANALISIS
- 5 | CONCLUSIONES
- 6 | BIBLIOGRAFÍA



INTRODUCCIÓN



Fuente: UPME



Los usuarios sin servicio de energía eléctrica son 427.697 y representan un 2,98% de los usuarios en general.



En Colombia se han estado implementando SFA como alternativa de energización en ZNI.



Se propone implementar un SFA Piloto en la ciudad de Bucaramanga, integrable a otras fuentes de generación, para proponer ajustes en el dimensionado y operación.



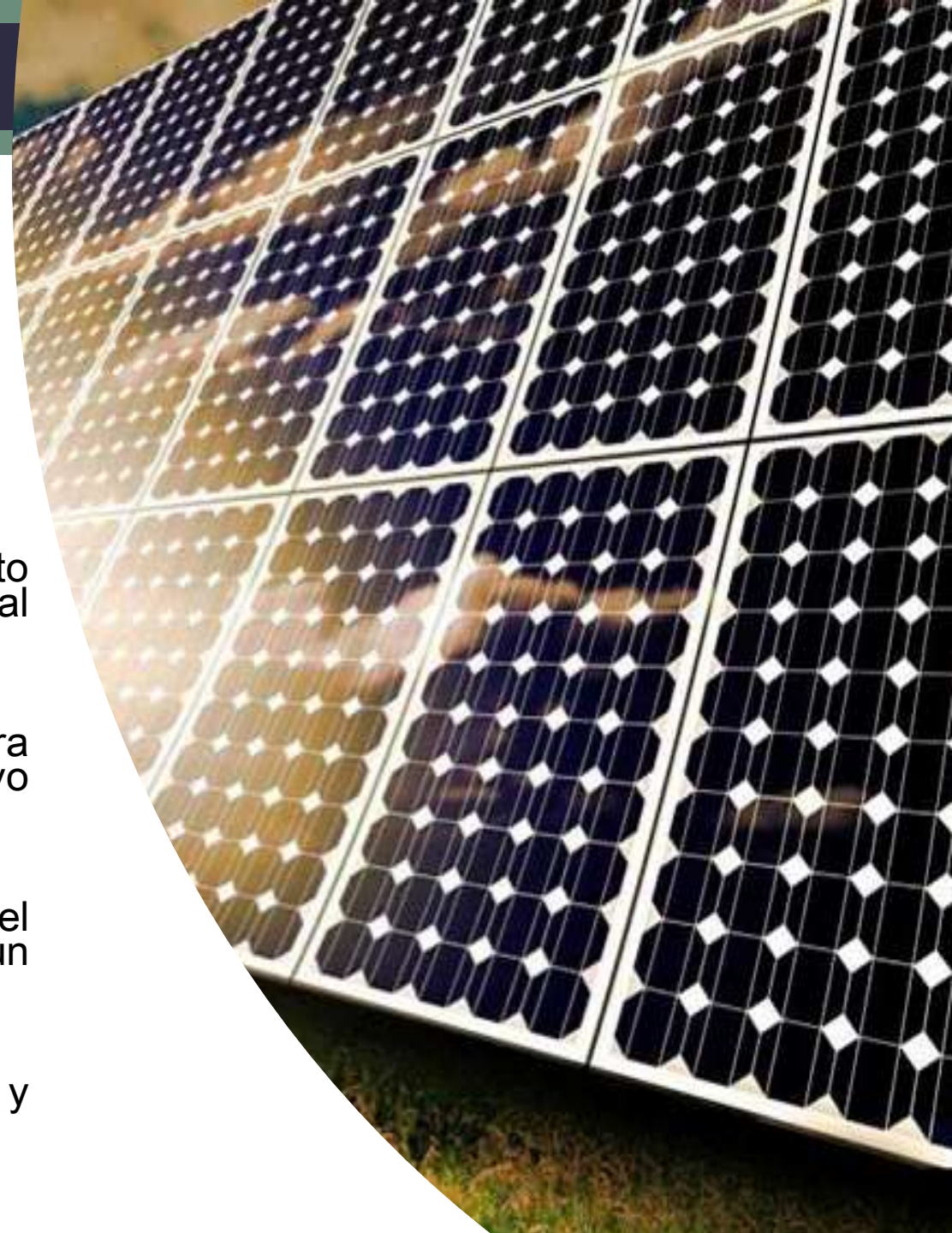
OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un sistema fotovoltaico piloto para la evaluación del desempeño de sistemas aislados en las condiciones meteorológicas de la ciudad de Bucaramanga.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar una demanda base para el dimensionamiento a partir del análisis de un caso estudio de vivienda rural ubicada en una zona no interconectada.
- Diseñar e implementar el sistema fotovoltaico piloto para adquisición y monitoreo de data, con su respectivo manual de operación.
- Realizar una comparación analítica entre el funcionamiento teórico y real del sistema. Utilizando un modelo de cálculo y el software PVsyst.
- Proponer mejoras de ajustes para el dimensionado y operación de los sistemas fotovoltaicos.



METODOLOGÍA



■ FASE I ESTABLECIMIENTO DE PARÁMETROS PARA EL DIMENSIONADO

Principales parámetros para el dimensionado

- **Demanda media del usuario**

Definida por la UPME como 3 [kWh/día]

Comportamiento de la curva de demanda diaria obtenida de “NORMAS PARA CÁLCULO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN”

- **Recurso solar**

4,33 HSP datos obtenidos estación DAVIS

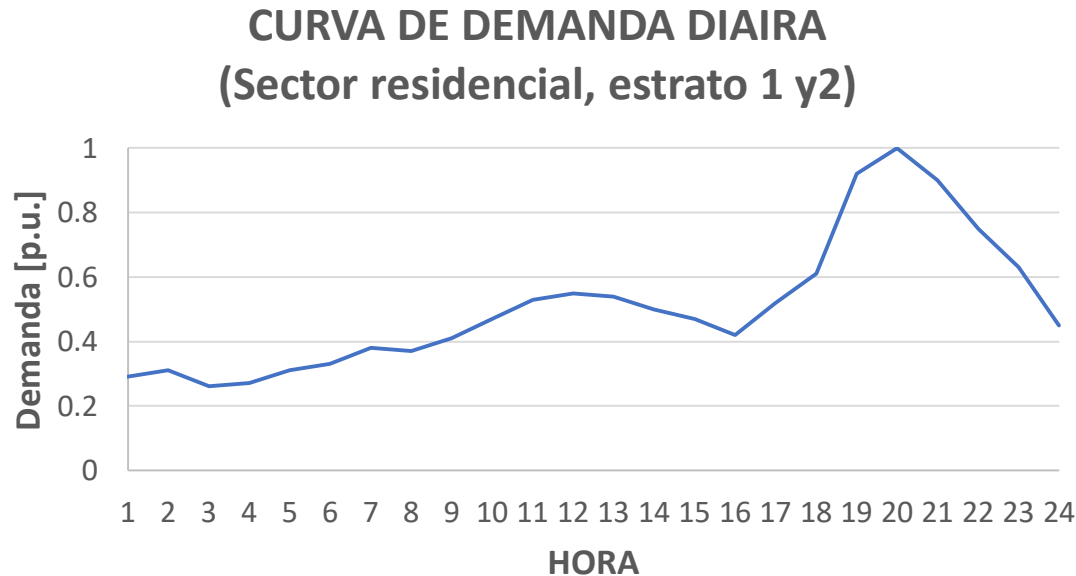


■ FASE I ESTABLECIMIENTO DE PARÁMETROS PARA EL DIMENSIONADO

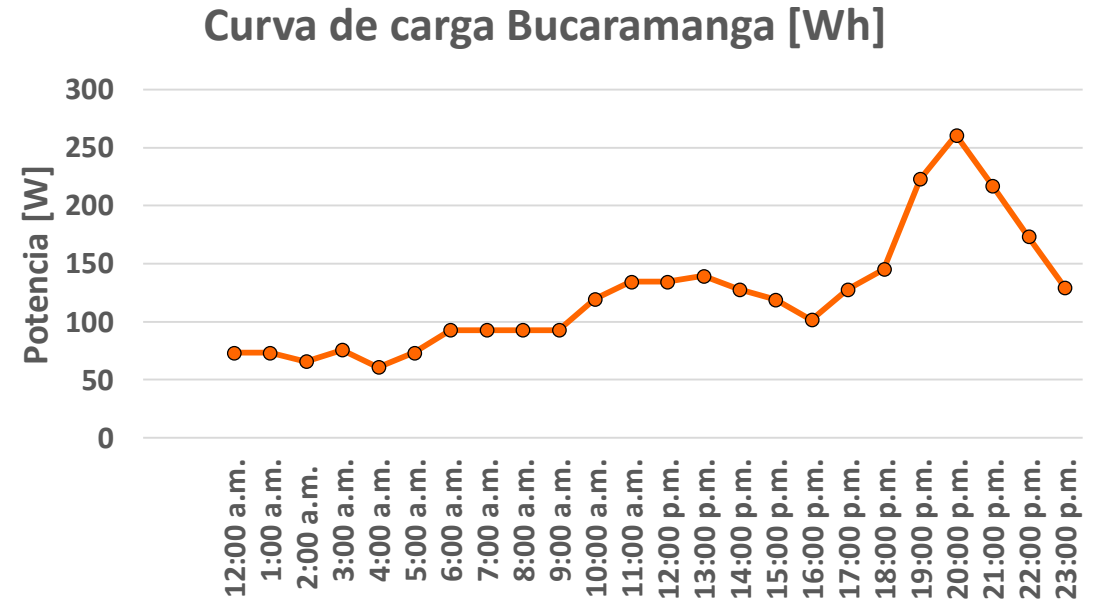
Principales parámetros para el dimensionado

- Demanda media diaria de 2,9 [kWh/día]

Gráfica 1. Curva de demanda unitaria planteada por la ESSA



Gráfica 2. Curva de carga para un usuario estrato 1 en Bucaramanga con una demanda diaria de 2,9 [kWh/día].

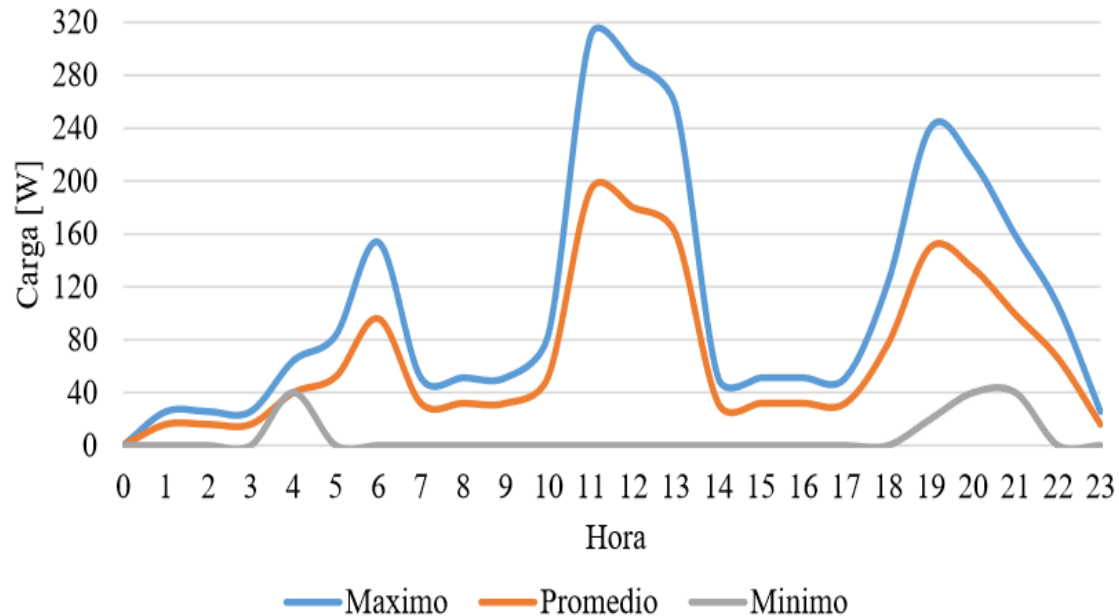


■ FASE I ESTABLECIMIENTO DE PARÁMETROS PARA EL DIMENSIONADO

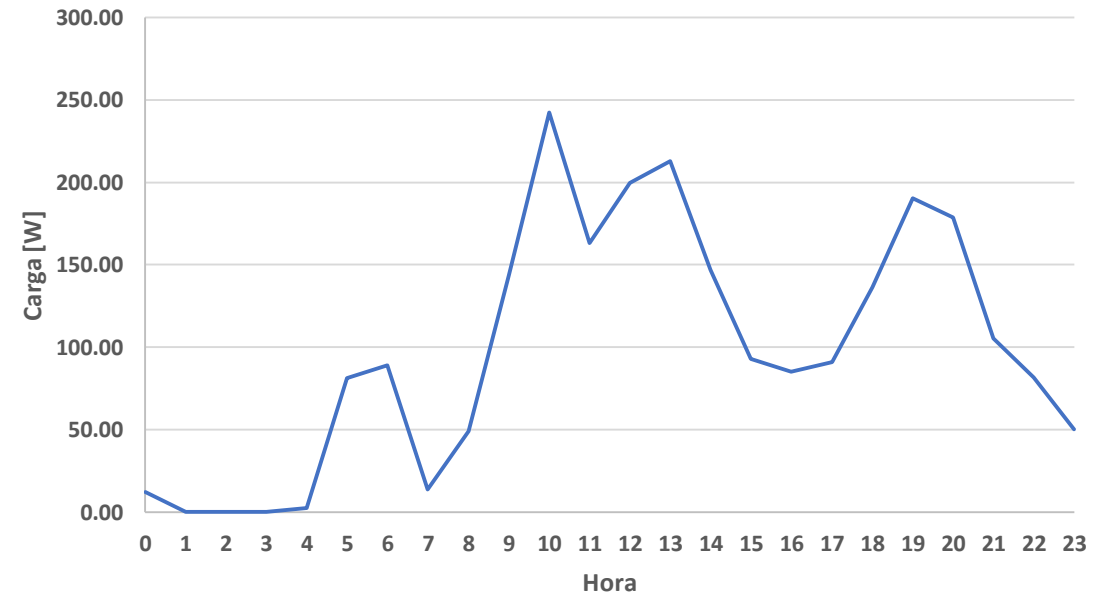
Principales parámetros para el dimensionado

- Demandas de los usuarios 2,5 [kWh/día], 1,5 [kWh/día], 140 [Wh/día]
- Promedio día mensual de un usuario monitoreado 2,37 [kWh/día]

Gráfica 3. Curvas de carga promedio sin uso de electrobomba de una vivienda en Hato Corozal.



Gráfica 4. Curva de carga usuario monitoreado en Hato Corozal.



■ FASE I ESTABLECIMIENTO DE PARÁMETROS PARA EL DIMENSIONADO

Establecimientos de cargas

Selección de electrodomésticos para emular curva de carga de usuarios ubicados en una ZNI de Colombia.

Tabla 1. Equipos representativos para el dimensionado base.

Equipo	Cantidad	Potencia unitaria [W]
Bombillo	6	20
Motor	1	250
Nevera	1	200
Licuadaora	1	300
Celular	1	10
Radio	1	20
Deco	1	20
Tv	1	60
Ventilador	2	60

Tabla 2. Electrodomésticos implementados en el proyecto de referencia.

Equipo Eléctrico	Potencia [W]
Ventilador	50
Equipo de audio	20
Nevera	160
Televisor	50
Electrobomba	372
Bombillo	20
Licuadaora	350



DESARROLLO

■ FASE II DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

Consideraciones:

-Demanda media diaria

$$Lmd_{AC} = 2945 \left[\frac{Wh}{día} \right]$$

-Ubicación

Laboratorio de Energías Renovables UNAB

-Horas de Sol Pico

$$HSP: 4,33$$

-Performance Ratio

$$PR = 0,8$$

Figura 1. Carga media diaria

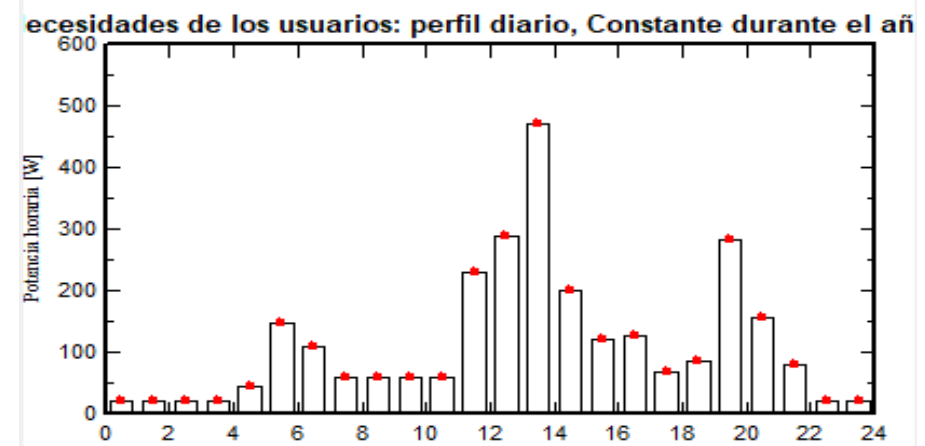


Figura 2. Ubicación del sistema fotovoltaico piloto autónomo.



■ FASE II DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

Cálculos – Números de paneles

$$Lmd_{crit} = Lmd_{AC} * 1,15 \quad (1)$$

Tabla 12. Carga media diaria del sistema.

Lmd_{AC}	2945	[Wh/día]
Lmd_{crit}	3300	[Wh/día]
Lmd	3300	[Wh/día]

Lmd_{AC} Carga media diaria en corriente alterna

Lmd_{crit} Carga media diaria con factor de seguridad del 15%

Lmd Carga media diaria estimada para el dimensionado

Tabla 13. Especificaciones técnicas panel solar JKM 350PP-72-DV.

Panel JAP72S01-325SC		
$Pot_{m\acute{a}x\ mod}$	325	[W]
I_{mp_mod}	8,69	[A]
V_{mp_mod}	37,39	[V]
$I_{sc\ mod}$	9,17	[A]
V_{oc_mod}	46,38	[V]

$$N_T = \frac{Lmd}{Pot_{m\acute{a}x_mod} * HSP * PR} \quad (2)$$

Tabla 14. Número de paneles necesarios para el sistema.

Dimensionado generador FV		
N_T	2,9	[uni]
N_T	3	[uni]



DESARROLLO

■ FASE II DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

Cálculos – Banco de baterías

- Días de autonomía = 1,2
- Consumo nocturno = 55%

$$PD_{m\acute{a}x_d} = 0,35$$

$$PD_{m\acute{a}x_e} = 0,7$$

$$V_{Banco_BAT} = 24[V]$$

Tabla 15. Carga media diaria del sistema.

Batería MA 12-100		
V_{BAT}	12	[V]
A_{BAT}	100	[Ah]
eficiencia	0,95	

Tabla 16. Descarga máxima estacional.

Descarga máxima estacional Cne		
$PD_{m\acute{a}x_e}$	0,7	
$N_{d\acute{a}ias}$	1,0	Días
$Cne(Wh)$	4714	[Wh]
$Cne(Ah)$	196,43	[Ah]
Serie	2,00	Baterías
Paralelo	0,95	Baterías
Cantidad	3,9	Baterías

$$Cne(Wh) = \frac{(Lmd) * N_{d\acute{a}ias}}{PD_{m\acute{a}x_e} * F_{CT}} \quad (3) \quad Serie = \frac{V_{Banco_BAT}}{V_{BAT}} \quad (5)$$

$$Cne(Ah) = \frac{Cne(Wh)}{V_{Banco_BAT}} \quad (4) \quad Paralelo = \frac{Cne(Ah)}{A_{BAT}} \quad (6)$$

DESARROLLO

■ FASE II DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

Cálculos – Banco de baterías

- Días de autonomía = 1,2
- Consumo nocturno = 55%

$$PD_{m\acute{a}x_d} = 0,35$$

$$PD_{m\acute{a}x_e} = 0,7$$

$$V_{Banco_BAT} = 24[V]$$

Tabla 15. Carga media diaria del sistema.

Batería MA 12-100		
V_{BAT}	12	[V]
A_{BAT}	100	[Ah]
eficiencia	0,95	

Tabla 17. Descarga máxima diaria

Descarga máxima diaria Cnd		
$PD_{m\acute{a}x_d}$	0,35	
$N_{d\acute{i}as}$	1,0	Días
Cnd	4714	[Wh]
Cnd	190	[Ah]
Serie	2,00	Baterías
Paralelo	1,89	Baterías
Cantidad	3,9	Baterías

$$Cnd(Wh) = \frac{(Lmd * 55\%)}{PD_{m\acute{a}x_d} * F_{CT}} \quad (7) \quad Serie = \frac{V_{Banco_BAT}}{V_{BAT}} \quad (5)$$

$$Cnd(Ah) = \frac{Cnd(Wh)}{V_{Banco_BAT}} \quad (8) \quad Paralelo = \frac{Cne(Ah)}{A_{BAT}} \quad (6)$$

■ FASE II DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

Cálculos – Controlador de carga

$$V_{Banco_BAT} = 24[V]$$

$$I_{entrada_regulador} = 1,25 * I_{scmod} * N_T \quad (9)$$

$$I_{salida_regulador} = \frac{1,25 * \left(\frac{Pot_{picoAC}}{0,95}\right)}{V_{BAT}} \quad (10)$$

Tabla 18. Especificaciones técnicas del controlador de carga

Dimensionado Controlador de Carga	
$I_{entrada_regulador}$	$= 35,1 [A]$
$I_{salida_regulador}$	$= 37,82 [A]$
V_{BAT}	$= 24 [V]$

Cálculos – Controlador de carga

$$Pot_{inv} = Pot_{pico_AC} * 1,25 \quad (11)$$

$$Pot_{pico_AC} = 690 [W]$$

$$Pot_{inv} = 862,5 [W]$$

$$Pot_{inv} = Pot_{pico_motor} * 3 \quad (12)$$

$$Pot_{pico_motor} = 550[W]$$

$$Pot_{inv} = 1650[W]$$

Tabla 19. Especificaciones técnicas del Inversor

Dimensionado Inversor		
V_{BAT}	24	[V]
$P_{NOMINAL}$	1000	[W]
P_{PICO}	1650	[W]
Frecuencia	60	[Hz]
V_{AC}	120	[V]

■ FASE II DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

Cálculos – Corrientes de cada sección

$$L_1 = 1,25 * I_{sc_{mod}} * N_{T_PARALELO} \quad (13)$$

$$L_2 = 1,25 * \left(\frac{Pot_{máx_{mod}} * N_T}{V_{BAT}} \right) \quad (14)$$

$$L_3 = 1,25 * \left(\frac{Pot_{inv}}{V_{BAT}} \right) \quad (15)$$

$$L_4 = 1,25 * I_{NOMINAL_{Cargas}} \quad (16)$$

$$S = 0,036 * \frac{I_{125\%} * L}{\Delta V} (mm^2) \quad (17)$$

Tabla 20. Corriente DC máxima en cada tramo del sistema fotovoltaico.

Sección	Corriente	Calibre
L_1 =Arreglo fotovoltaico - Controlador de carga	11,7	18 [AWG]
L_2 =Controlador de carga - Baterías	50,78	6 [AWG]
L_3 =Controlador de carga - Inversor	52,08	6 [AWG]
L_4 = Inversor – Cargas	12,5	14 [AWG]



DESARROLLO

■ FASE II SIMULACIÓN

- Inclinação de los módulos
- Acimut
- Irradiación anual

Perfil de carga 2,9
[kWh/día]

Componentes
(Baterías, módulo FV,
controlador de carga)

Figura 3. Angulo de inclinación y acimut de los módulos fotovoltaicos.

Orientación, Variante "Nueva variante de simulación"

Tipo de campo: Plano Inclinado Fijo

Parámetros del campo

Inclinação plano: 14.0 [°]
Acimut: -75.0 [°]

Productividad meteorológica anual

Factor de transposición FT: 1.00
Pérdida con respecto al óptimo: -1.0%
Global en el plano receptores: 1727 kWh/m²

Optimización con respecto a:
 Irradiación anual
 Verano (Abr-Sept)
 Invierno (Oct-Mar)

Mostrar Optimización

Anular OK



DESARROLLO

■ FASE II SIMULACIÓN

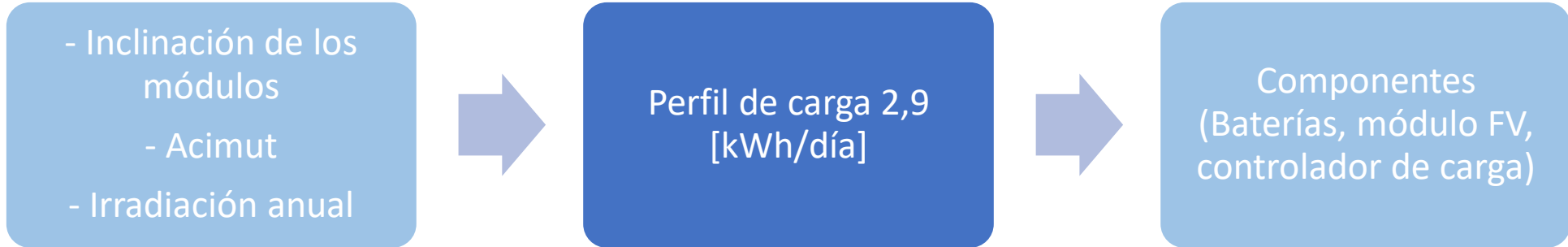
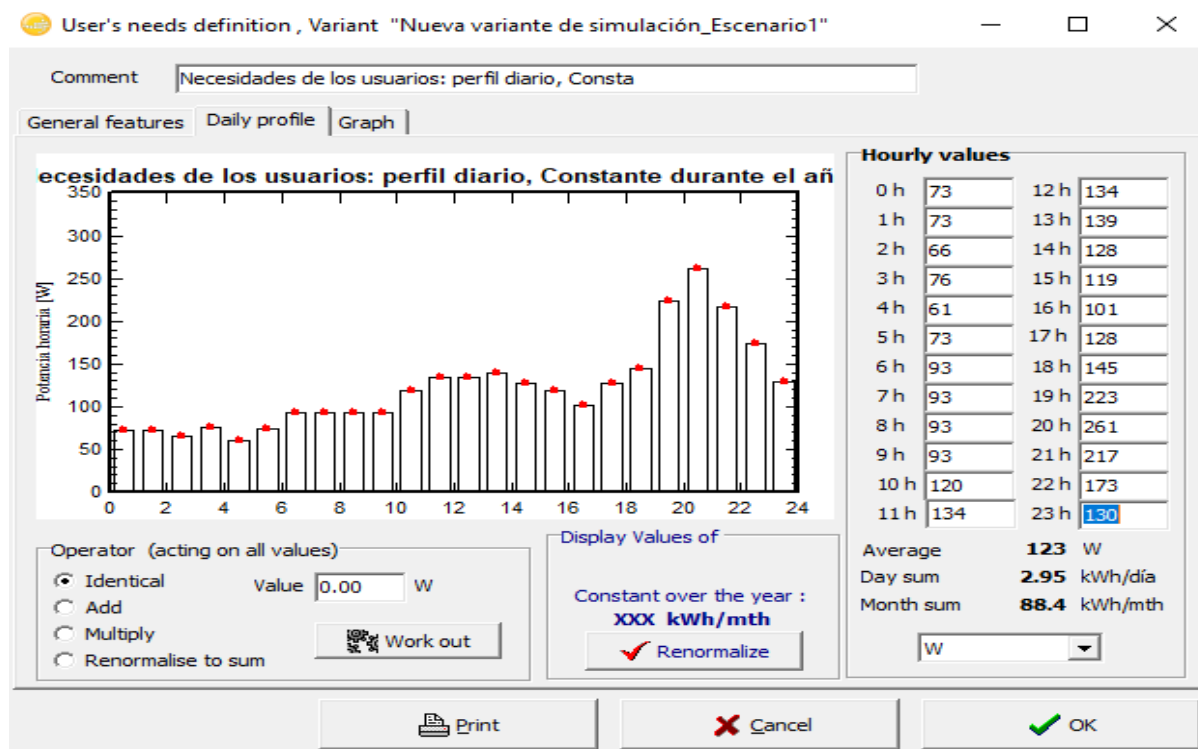


Figura 4. Necesidades del usuario, perfil diario.



DESARROLLO

FASE II SIMULACIÓN

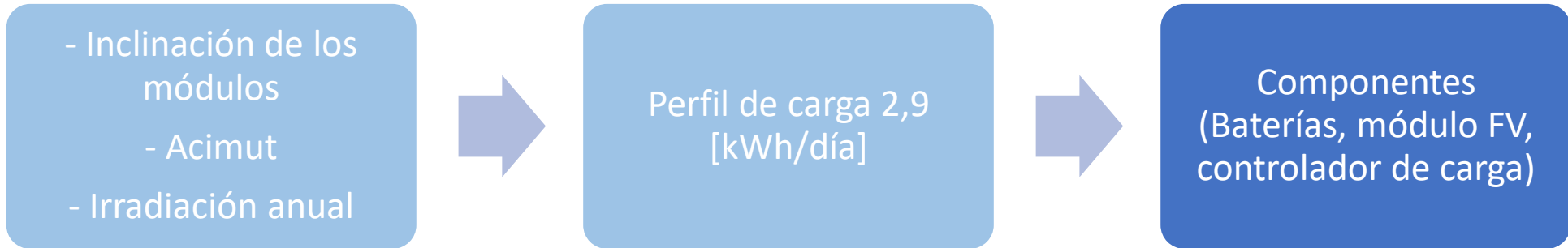


Figura 6. Selección de baterías software PVSyst®

The screenshot shows the 'Defina el paquete de baterías' window. It includes options to sort batteries by voltage, capacity, or manufacturer. The selected battery is 'Volta 6SB 100' (12V, 100Ah, Pb Sealed Tub). The configuration shows 2 batteries in series and 2 in parallel, resulting in a 24V package, 200Ah global capacity, 3.8 kWh stored energy, and 128 kg total weight.

Figura 7. Selección de los módulos fotovoltaicos software PVSyst®

The screenshot shows the 'Selección del módulo FV' window. The selected module is 'Jinkosolar' (350 Wp, 33V, Si-poly). The window displays the Vmp (33.8 V) and Voc (53.6 V) at 60°C and -10°C respectively.

Figura 8. conexión serie paralelo de los módulos fotovoltaicos software PVSyst®

The screenshot shows the 'Diseño conjunto FV' window. It allows setting the number of modules and strings. The configuration is 3 modules in series and 1 string, resulting in 3 modules and a surface area of 6 m².

Figura 9. Controlador de carga universal MPPT software PVSyst®

The screenshot shows the 'Escoja el modo de regulación y el regulador' window. The selected controller is a 'Regulador universal' (MPPT) from 'Todos los fabricantes'. The operating mode is 'Convertidor MPPT'.

DESARROLLO

■ FASE II DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

Equipos implementados

Tabla 21. Especificaciones técnicas del módulo solar implementado.

Panel JAP72S01-325SC		
$P_{ot_{m\acute{a}x\ mod}}$	325	[W]
I_{mp_mod}	8,69	[A]
V_{mp_mod}	37,39	[V]
$I_{sc\ mod}$	9,17	[A]
V_{oc_mod}	46,38	[V]

Dimensionado generador FV		
N_T	2,83	[uni]
N_T	3	[uni]

Tabla 22. Especificaciones técnica Controlador de carga implementado.

Controlador de carga ICM4024150		
V_{BAT}	12 – 24	[V]
V_{PV}	32 – 130	[V]
V_{PV_OC}	145	[V]
V_{salida}	14,5 – 29	[A]
I_{max}	40	[A]

Tabla 22. Especificaciones técnica Inversor implementado.

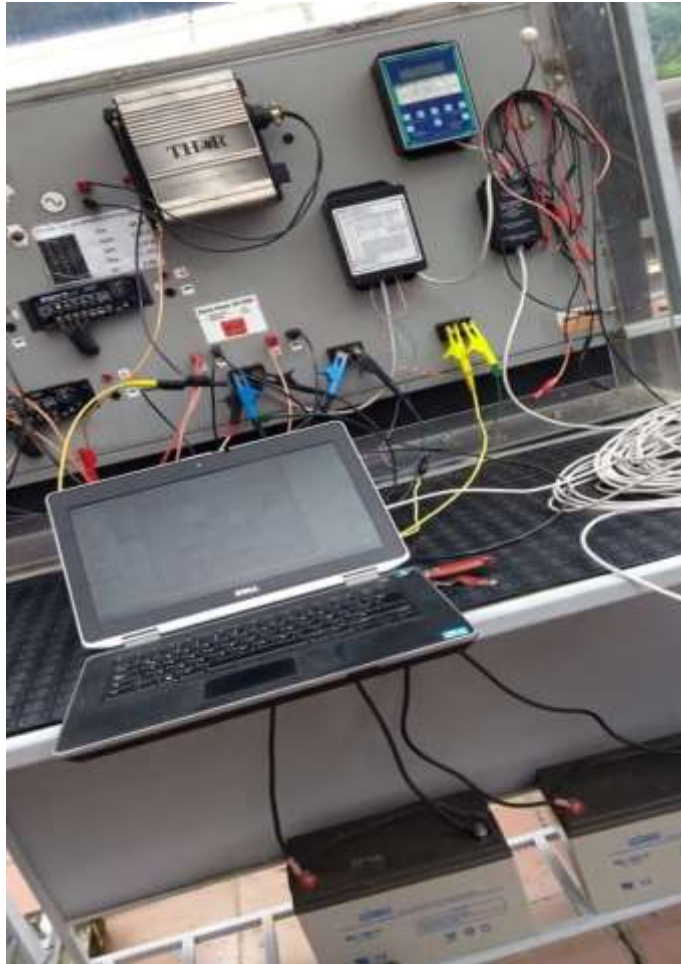
Inversor TECA 1000W – 24V		
$V_{NOMINAL}$	24	[V]
$P_{NOMINAL}$	1000	[W]
P_{PICO}	1500	[W]



DESARROLLO

■ FASE II DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

Implementación de monitoreo



DESARROLLO

■ FASE III ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Escenario de carga 1.

Tabla 4. Equipos implementados escenario 1.

Equipo	Cantidad	Potencia unitaria [W]
Bombillo	6	15
Motor	1	136
Nevera	1	84
Celular	1	5,8
Radio	1	7,8
Ventilador	1	50

Tabla 5. Caracterización del consumo de energía escenario 1.

HORA	Iluminación	Motor	Nevera	Celular	Radio	Ventilador	Potenciaa [W]	Consumo [Wh]
	15	136	84	5,8	7,8	50		
12:00 a.m.	1,00		0,50				99,00	57,00
1:00 a.m.	1,00		0,50				99,00	57,00
2:00 a.m.	1,00		0,50				99,00	57,00
3:00 a.m.	1,00		0,50				99,00	57,00
4:00 a.m.	1,00		0,50		0,50		106,80	60,90
5:00 a.m.	1,00	0,25	0,50	1,00	1,00		248,60	104,60
6:00 a.m.	1,00		0,50		1,00		106,80	64,80
7:00 a.m.	1,00		0,50		1,00		106,80	64,80
8:00 a.m.	1,00		0,50		1,00		106,80	64,80
9:00 a.m.	1,00	0,75	0,50				235,00	159,00
10:00 a.m.	1,00		0,50				99,00	57,00
11:00 a.m.	1,00		0,50	1,00			104,80	62,80
12:00 p.m.	1,00		0,50	1,00	0,50		112,60	66,70
13:00 p.m.	1,00		0,50		1,00	1,00	156,80	114,80
14:00 p.m.	1,00	0,50	0,50		1,00		242,80	132,80
15:00 p.m.	1,00		0,50		1,00		106,80	64,80
16:00 p.m.	1,00		0,50	1,00	0,50		112,60	66,70
17:00 p.m.	1,00	0,75	0,50	1,00			240,80	164,80
18:00 p.m.	1,00		0,50	1,00			104,80	62,80
19:00 p.m.	1,00		0,50	1,00		1,00	154,80	112,80
20:00 p.m.	1,00		0,50			1,00	149,00	107,00
21:00 p.m.	1,00		0,50			1,00	149,00	107,00
22:00 p.m.	1,00		0,50				99,00	57,00
23:00 p.m.	1,00		0,50				99,00	57,00
TOTAL	24,00	2,25	12,00	7,00	8,50	4,00	3238,60	1980,90



■ FASE III ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Escenario de carga 2.

Tabla 6. Equipos implementados escenario 2.

Equipo	Cantidad	Potencia unitaria [W]
Bombillo	6	15
Motor	1	136
Nevera	1	84
Nevera	1	57
Licuadaora	1	220
Celular	1	5,8
Radio	1	16,1
Deco	1	5,8
Ventilador	2	50

Tabla 7. Caracterización del consumo de energía escenario 2.

HORA	Iluminación	Motor	Nevera	Nevera	Licuadaora	Celular	Radio	Deco	Ventilador	Potenciaa [W]	Consumo [Wh]
	30	136	84	57	220	5,8	16,1	5,8	100		
12:00 a.m.	1,00		0,50	0,25				1,00	1,00	276,80	192,05
1:00 a.m.	1,00		0,50	0,25				1,00	1,00	276,80	192,05
2:00 a.m.	1,00		0,50	0,25				1,00	1,00	276,80	192,05
3:00 a.m.	1,00		0,50	0,25				1,00	1,00	276,80	192,05
4:00 a.m.	1,00		0,50	0,25			0,50	1,00		192,90	100,10
5:00 a.m.	1,00	0,25	0,50	0,25	0,02	1,00	1,00	1,00		554,70	152,35
6:00 a.m.	1,00		0,50	0,25			1,00	1,00		192,90	108,15
7:00 a.m.	1,00		0,50	0,25			1,00	1,00		192,90	108,15
8:00 a.m.	1,00		0,50	0,25			1,00	1,00		192,90	108,15
9:00 a.m.	1,00	0,75	0,50	0,25				1,00		312,80	194,05
10:00 a.m.	1,00		0,50	0,25				1,00		176,80	92,05
11:00 a.m.	1,00		0,50	0,25	0,02	1,00		1,00		402,60	102,25
12:00 p.m.	1,00		0,50	0,25		1,00	0,50	1,00		198,70	105,90
13:00 p.m.	1,00		0,50	0,25			1,00	1,00	1,00	292,90	208,15
14:00 p.m.	1,00	0,50	0,50	0,25			1,00	1,00	1,00	428,90	276,15
15:00 p.m.	1,00		0,50	0,25			1,00	1,00		192,90	108,15
16:00 p.m.	1,00		0,50	0,25			1,00	0,50	1,00	198,70	105,90
17:00 p.m.	1,00	0,75	0,50	0,25			1,00		1,00	318,60	199,85
18:00 p.m.	1,00		0,50	0,25			1,00		1,00	182,60	97,85
19:00 p.m.	1,00		0,50	0,25	0,02	1,00		1,00	1,00	502,60	202,25
20:00 p.m.	1,00		0,50	0,25				1,00		176,80	92,05
21:00 p.m.	1,00		0,50	0,25				1,00		176,80	92,05
22:00 p.m.	1,00		0,50	0,25				1,00	1,00	276,80	192,05
23:00 p.m.	1,00		0,50	0,25				1,00	1,00	276,80	192,05
TOTAL	24,00	2,25	12,00	6,00	0,06	7,00	8,50	24,00	9,00	6548,80	3605,85



DESARROLLO

FASE III ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Escenario de carga 3.

Tabla 8. Equipos implementados escenario 3.

Equipo	Cantidad	Potencia unitaria [W]
Bombillo	6	15
Motor	1	136
Nevera	1	84
Nevera	1	57
Licuadora	1	220
Celular	1	5,8
Radio	1	16,1
Deco	1	5,8
Ventilador	2	50

Tabla 9. Caracterización del consumo de energía escenario 3.

HORA	Iluminación	Motor	Nevera	Nevera	Licuadora	Celular	Radio	Deco	Ventilador	Potenciaa [W]	Consumo Escenario3 [Wh]
	15	136	84	57	220	5,8	16,1	5,8	100		
12:00 a.m.	1,00		0,50	0,25				1,00		161,80	77,05
1:00 a.m.	1,00		0,50	0,25				1,00		161,80	77,05
2:00 a.m.	1,00		0,50	0,25				1,00		161,80	77,05
3:00 a.m.	1,00		0,50	0,25				1,00		161,80	77,05
4:00 a.m.	1,00		0,50	0,25				1,00		161,80	77,05
5:00 a.m.	1,00		0,50	0,25	0,02	1,00		1,00		387,60	86,52
6:00 a.m.	1,00		0,50	0,25		1,00	0,50	1,00	1,00	183,70	90,90
7:00 a.m.	1,00		0,50	0,25			1,00	1,00	1,00	177,90	93,15
8:00 a.m.	1,00		0,50	0,25			1,00	1,00		177,90	93,15
9:00 a.m.	1,00	0,25	0,50	0,25			1,00	1,00		313,90	127,15
10:00 a.m.	1,00	0,50	0,50	0,25			1,00	1,00		313,90	161,15
11:00 a.m.	1,00		0,50	0,25	0,02	1,00	1,00	1,00		403,70	102,62
12:00 p.m.	1,00		0,50	0,25		1,00		1,00		167,60	82,85
13:00 p.m.	1,00		0,50	0,25				1,00	0,50	261,80	127,05
14:00 p.m.	1,00		0,50	0,25			0,50	1,00		177,90	85,10
15:00 p.m.	1,00		0,50	0,25			1,00	1,00		177,90	93,15
16:00 p.m.	1,00		0,50	0,25		1,00	1,00	1,00		183,70	98,95
17:00 p.m.	1,00		0,50	0,25		1,00	1,00	1,00		183,70	98,95
18:00 p.m.	1,00		0,50	0,25			0,50	1,00		177,90	85,10
19:00 p.m.	1,00		0,50	0,25	0,02			1,00		381,80	80,72
20:00 p.m.	1,00		0,50	0,25				1,00		161,80	77,05
21:00 p.m.	1,00		0,50	0,25				1,00		161,80	77,05
22:00 p.m.	1,00		0,50	0,25				1,00	1,00	261,80	177,05
23:00 p.m.	1,00		0,50	0,25				1,00	1,00	261,80	177,05
TOTAL	24,00	0,75	12,00	6,00	0,05	6,00	9,50	24,00	2,50	5327,10	2399,95



DESARROLLO

FASE III ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Escenario de carga 4.

Tabla 10. Equipos implementados escenario 4.

Equipo	Cantidad	Potencia unitaria [W]
Bombillo	6	15
Motor	1	136
Bombillo	1	175
Nevera	1	84
Nevera	1	57
Licuadaora	1	220
Celular	1	5,8
Radio	1	16,1
Deco	1	5,8
Ventilador	2	50

Tabla 11. Caracterización del consumo de energía escenario 4.

HORA	Iluminación	Motor	Bombillo	Nevera	Nevera	Licuadaora	Celular	Radio	Deco	Ventilador	Potenciaa [W]	Consumo Escenario4 [Wh]
	15	136	175	84	57	220	5,8	16,1	5,8	100		
12:00 a.m.	1,00			0,50	0,25				1,00		161,80	77,05
1:00 a.m.	1,00			0,50	0,25				1,00		161,80	77,05
2:00 a.m.	1,00			0,50	0,25				1,00		161,80	77,05
3:00 a.m.	1,00			0,50	0,25				1,00		161,80	77,05
4:00 a.m.	1,00			0,50	0,25				1,00		161,80	77,05
5:00 a.m.	1,00			0,50	0,25	0,02	1,00		1,00		387,60	86,52
6:00 a.m.	1,00			0,50	0,25		1,00	0,50	1,00		183,70	90,90
7:00 a.m.	1,00			0,50	0,25			1,00	1,00		177,90	93,15
8:00 a.m.	1,00			0,50	0,25			1,00	1,00		177,90	93,15
9:00 a.m.	1,00	0,25	0,25	0,50	0,25			1,00	1,00		488,90	170,90
10:00 a.m.	1,00	0,50	0,50	0,50	0,25			1,00	1,00		488,90	248,65
11:00 a.m.	1,00			0,50	0,25	0,02	1,00	1,00	1,00		403,70	102,62
12:00 p.m.	1,00			0,50	0,25		1,00		1,00		167,60	82,85
13:00 p.m.	1,00			0,50	0,25				1,00	0,50	261,80	127,05
14:00 p.m.	1,00			0,50	0,25			0,50	1,00		177,90	85,10
15:00 p.m.	1,00			0,50	0,25			1,00	1,00		177,90	93,15
16:00 p.m.	1,00			0,50	0,25		1,00	1,00	1,00		183,70	98,95
17:00 p.m.	1,00			0,50	0,25		1,00	1,00	1,00		183,70	98,95
18:00 p.m.	1,00			0,50	0,25			0,50	1,00		177,90	85,10
19:00 p.m.	1,00			0,50	0,25	0,02			1,00		381,80	80,72
20:00 p.m.	1,00			0,50	0,25				1,00		161,80	77,05
21:00 p.m.	1,00			0,50	0,25				1,00		161,80	77,05
22:00 p.m.	1,00			0,50	0,25				1,00	1,00	261,80	177,05
23:00 p.m.	1,00			0,50	0,25				1,00	1,00	261,80	177,05
TOTAL	24,00	0,75		12,00	6,00	0,05	6,00	9,50	24,00	2,50	5677,10	2531,20



■ FASE III ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Comportamiento teórico

$$Eg = \frac{Pot_{pico} * Irradiancia * PR}{1000 \left[\frac{W}{m^2} \right]} \quad (18)$$

$$Radiación_{aprovechada} = Radiación_{medida} * (1 - \%perdidas_{polvo\ y\ suciedad} + \%perdidas_{sombras}) \quad (19)$$

$$pérdidas_{temperaturas} = 0,0001516 * X + 0,0238 \quad (20)$$

Donde X, corresponde al valor de irradiancia

$$Eg_{módulos} = \frac{(Radiación_{aprovechada} * Pot_{pico}) * (1 - (\%perdidas_{fijas} + \%perdidas_{temperatura}))}{1000 \left[\frac{W}{m^2} \right]} \quad (21)$$



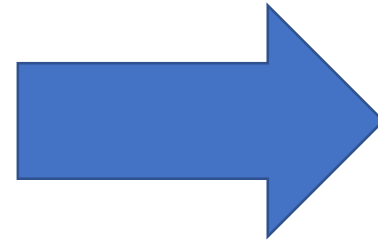
■ FASE III Análisis del sistema

Se monitoreó el sistema fotovoltaico autónomo con la herramienta Pentametric:

- La generación FV
- La carga y descarga de las baterías

La energía de entrada al inversor (curva de carga)

- El recurso solar mediante la estación meteorológica DAVIS.

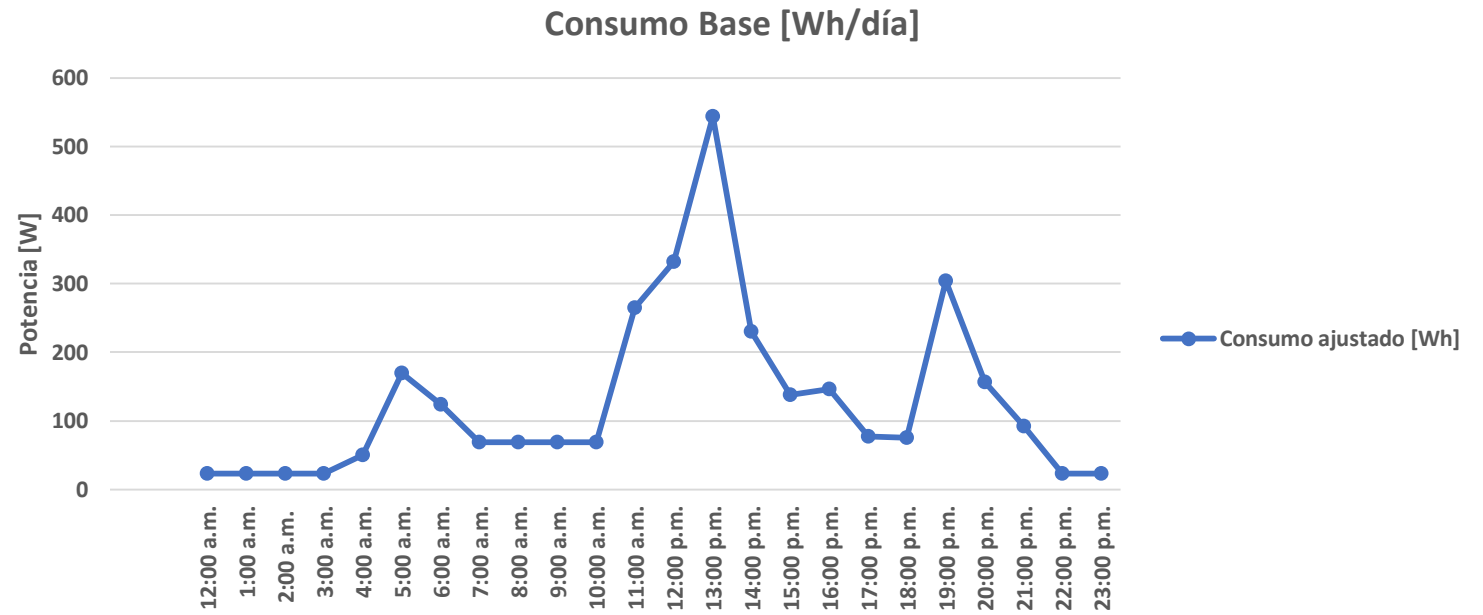


Se compararon los cálculos, la simulación y los datos del monitoreo, para reconocer la diferencia entre los datos teóricos, simulados y reales.



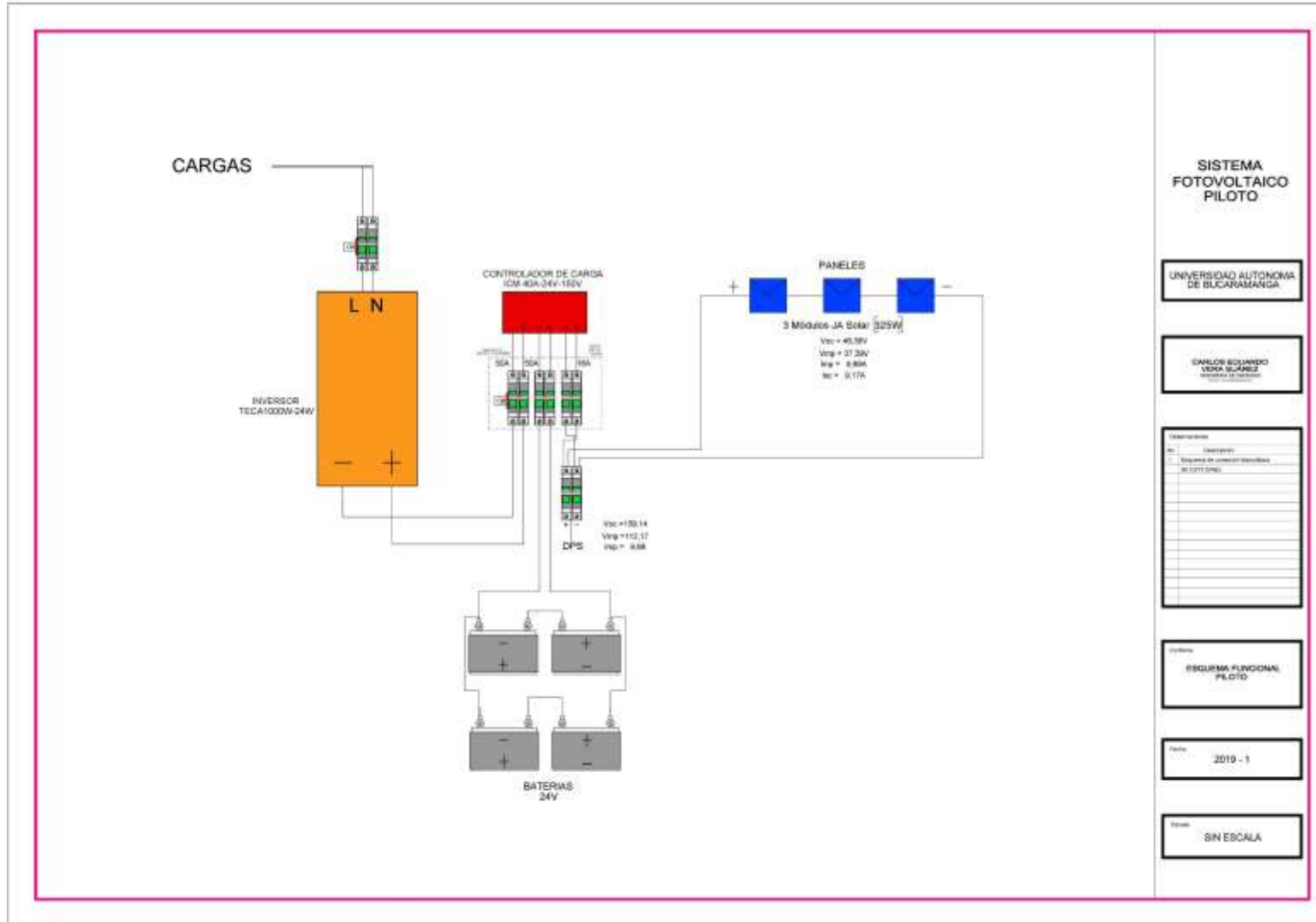
RESULTADOS

- FASE I CURVA DE CARGA
- Análisis



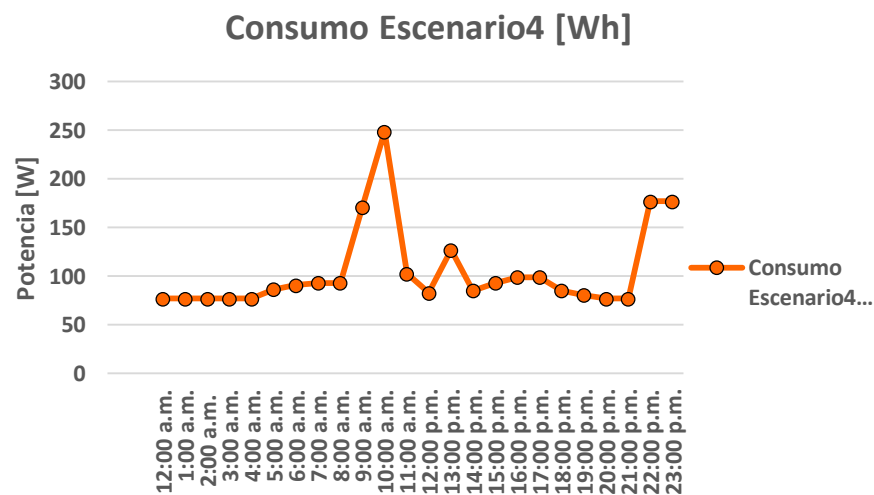
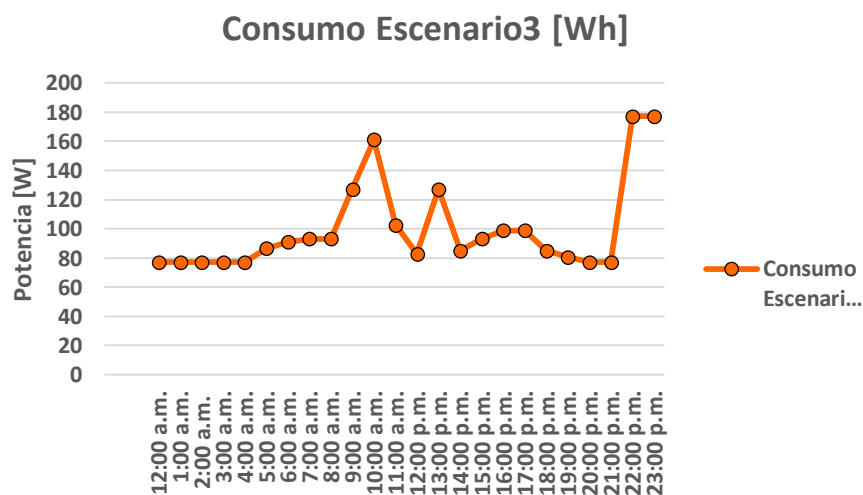
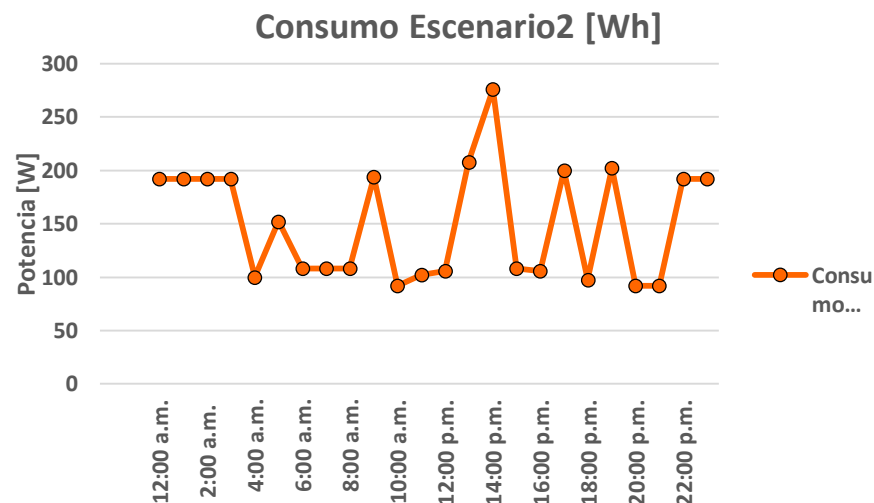
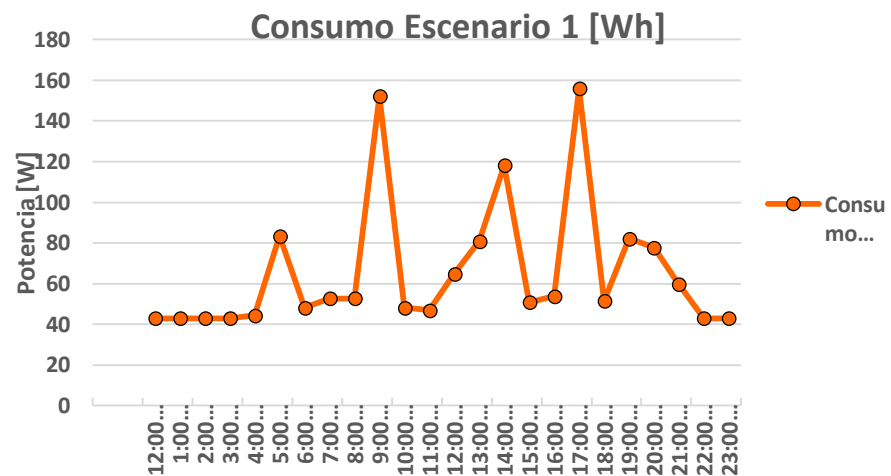
RESULTADOS

FASE II DISEÑO



RESULTADOS

ESCENARIOS DE CARGA



RESULTADOS

Diagrama de pérdida para "Nueva variante de simulación_Escenario1" - Abril

FASE II DISEÑO

Simulación Escenario de Carga 1

Sistema aislado: Resultados principales

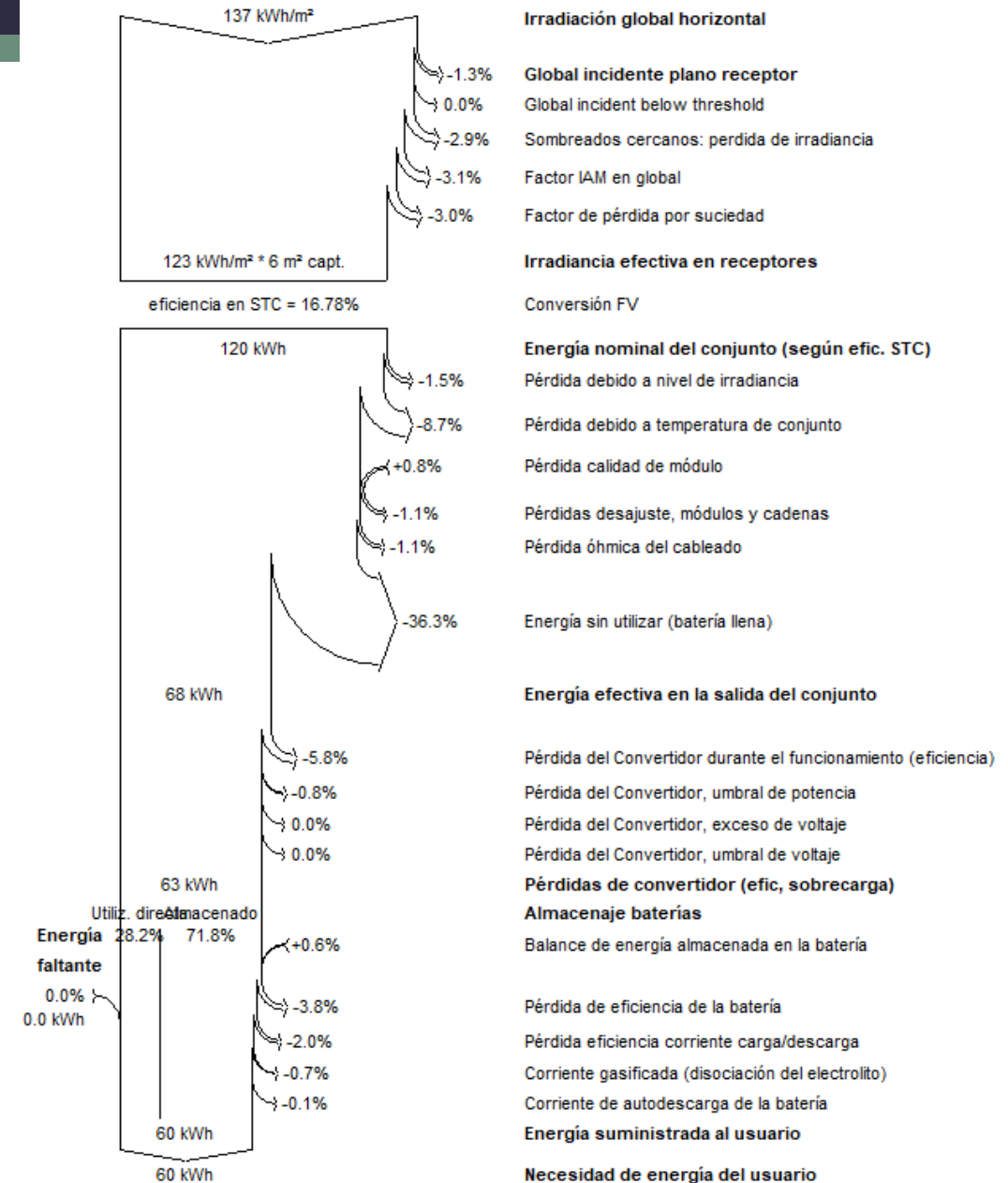
Proyecto : Equipos Implementados

Variante de simulación : Nueva variante de simulación_Escenario1

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	Sistema aislado con baterías			
Sombreados cercanos	Sombreado lineal				
Orientación Campos FV	inclinación	14°	acimut	-75°	
Módulos FV	Modelo	JAP-72-325/5BB	Pnom	325 Wp	
Conjunto FV	Núm. de módulos	3	Pnom total	975 Wp	
Batería	Modelo	MA 12V 100AH	Tecnología	Pb-ácido, sellada, tu	
Paquete de baterías	Núm. de unidades	4	Voltaje / Capacidad	24 V / 200 Ah	
Necesidades del usuario	perfil diario	Constante durante el año	Global	724 kWh/año	

Resultados principales de la simulación

Producción del sistema	Energía disponible	1288 kWh/año	Produc. específica	1321 kWh/kWp/año
	Energía utilizada	722 kWh/año	Excedente (inutilizado)	518 kWh/año
	Índice de rendimiento (PR)	43.19 %	Fracción solar (SF)	99.92 %
Pérdida de carga	Fracción de tiempo	0.1 %	Energía faltante	1 kWh/año
Envejecimiento de la batería (Estado de descarga (ESDD))	ESDD	80.6%	EDD estático	83.3%
Duración de vida de la batería		5.1 años		

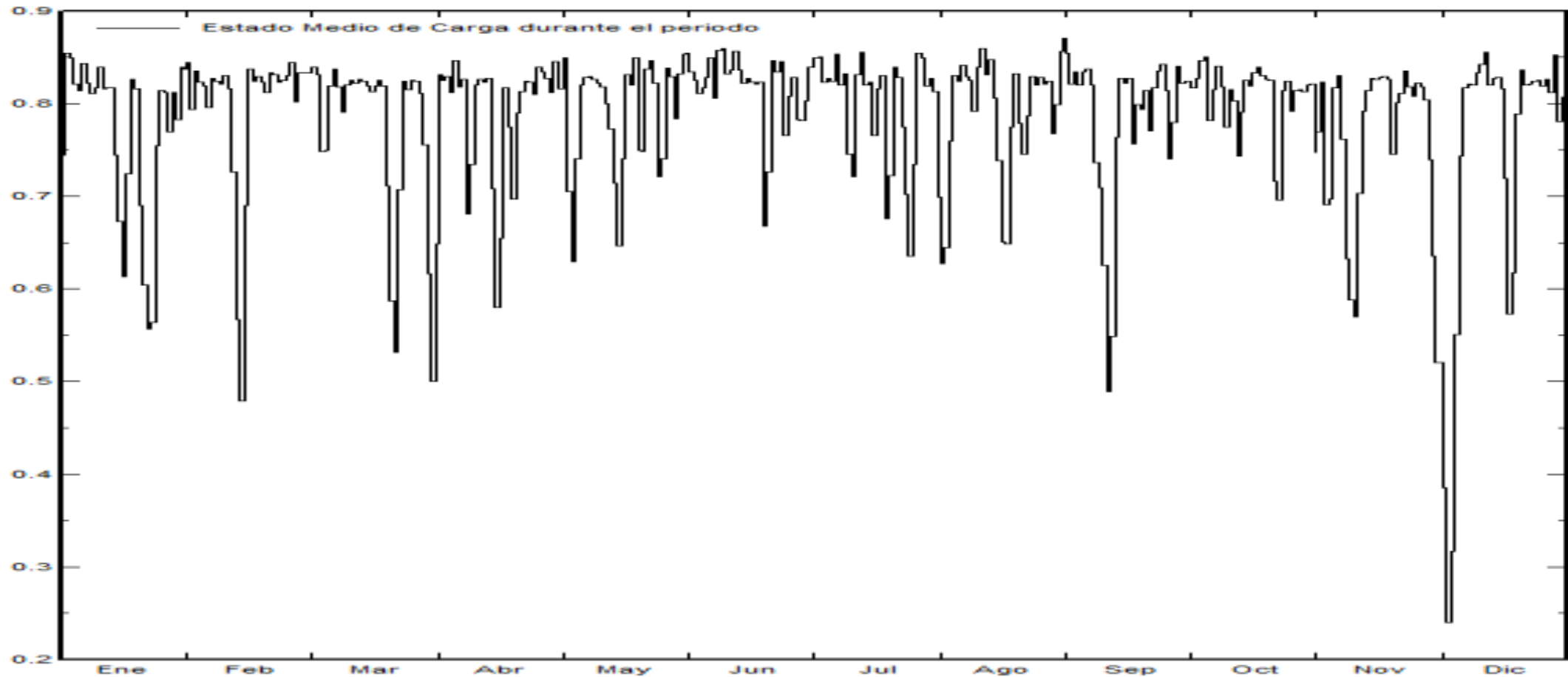


RESULTADOS

FASE II DISEÑO

Simulación
Escenario de Carga 1

Distribución del estado de carga diaria



RESULTADOS

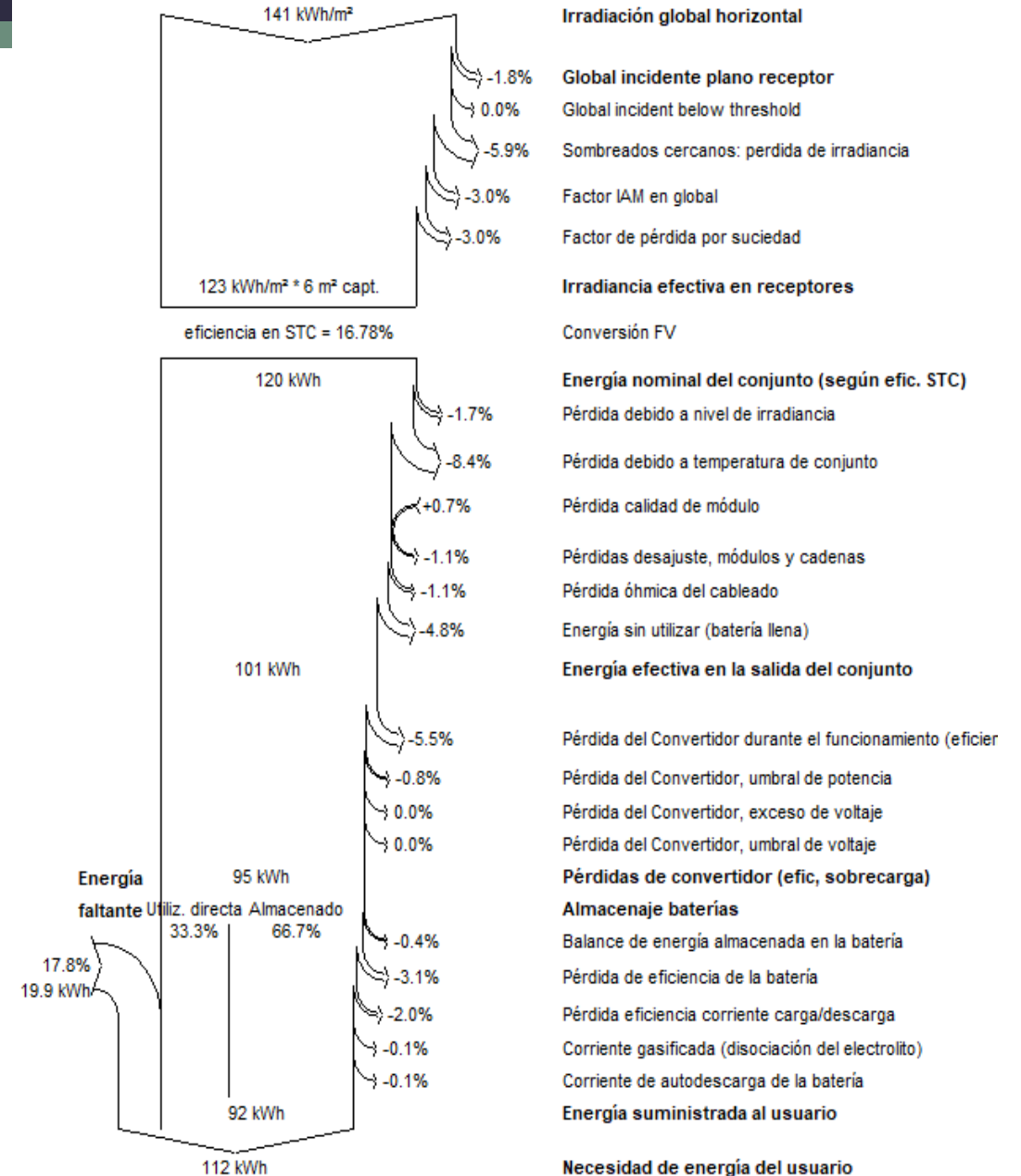
Diagrama de pérdida para "Nueva variante de simulación_Escenario1" - Mayo

FASE II DISEÑO

Simulación Escenario de Carga 2

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	Sistema aislado con baterías			
Sombreados cercanos	Sombreado lineal				
Orientación Campos FV	inclinación	14°	acimut	-75°	
Módulos FV	Modelo	JAP-72-325/5BB	Pnom	325 Wp	
Conjunto FV	Núm. de módulos	3	Pnom total	975 Wp	
Batería	Modelo	MA 12V 100AH	Tecnología	Pb-ácido, sellada, tu	
Paquete de baterías	Núm. de unidades	4	Voltaje / Capacidad	24 V / 200 Ah	
Necesidades del usuario	perfil diario	Constante durante el año	Global	1315 kWh/año	

Resultados principales de la simulación					
Producción del sistema	Energía disponible	1266 kWh/año	Produc. específica	1298 kWh/kWp/año	
	Energía utilizada	1136 kWh/año	Energía procedente (inutilizado)	86 kWh/año	
	Índice de rendimiento (PR)	67.88 %	Fracción solar (SF)	86.29 %	
Pérdida de carga	Fracción de tiempo	13.0 %	Energía faltante	180 kWh/año	
Envejecimiento de la batería (Estado de desgaste (EOD))	Fracción de EDD	67.5%	EDD estático	83.3%	
	Duración de vida de la batería	3.1 años			

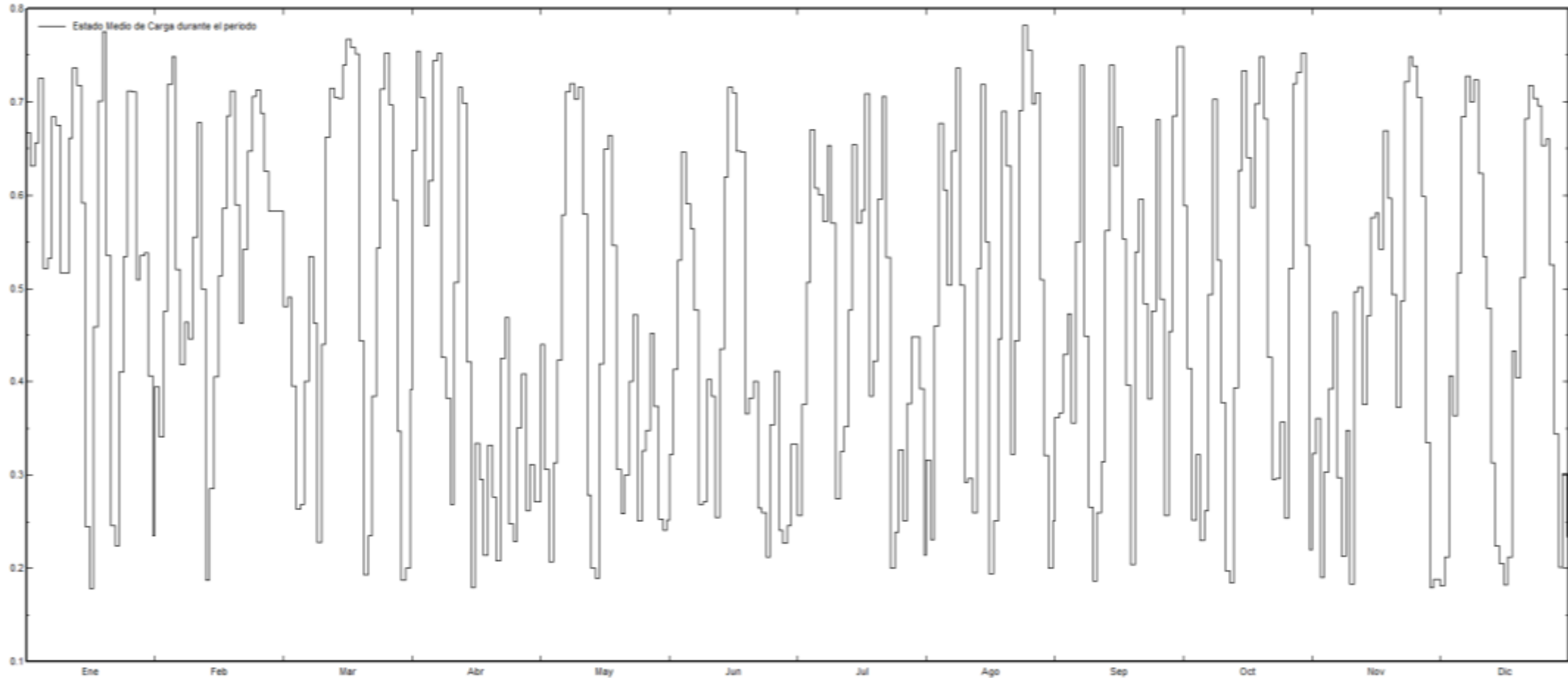


RESULTADOS

FASE II DISEÑO

Simulación Escenario de Carga 2

Distribución del estado de carga diaria



RESULTADOS

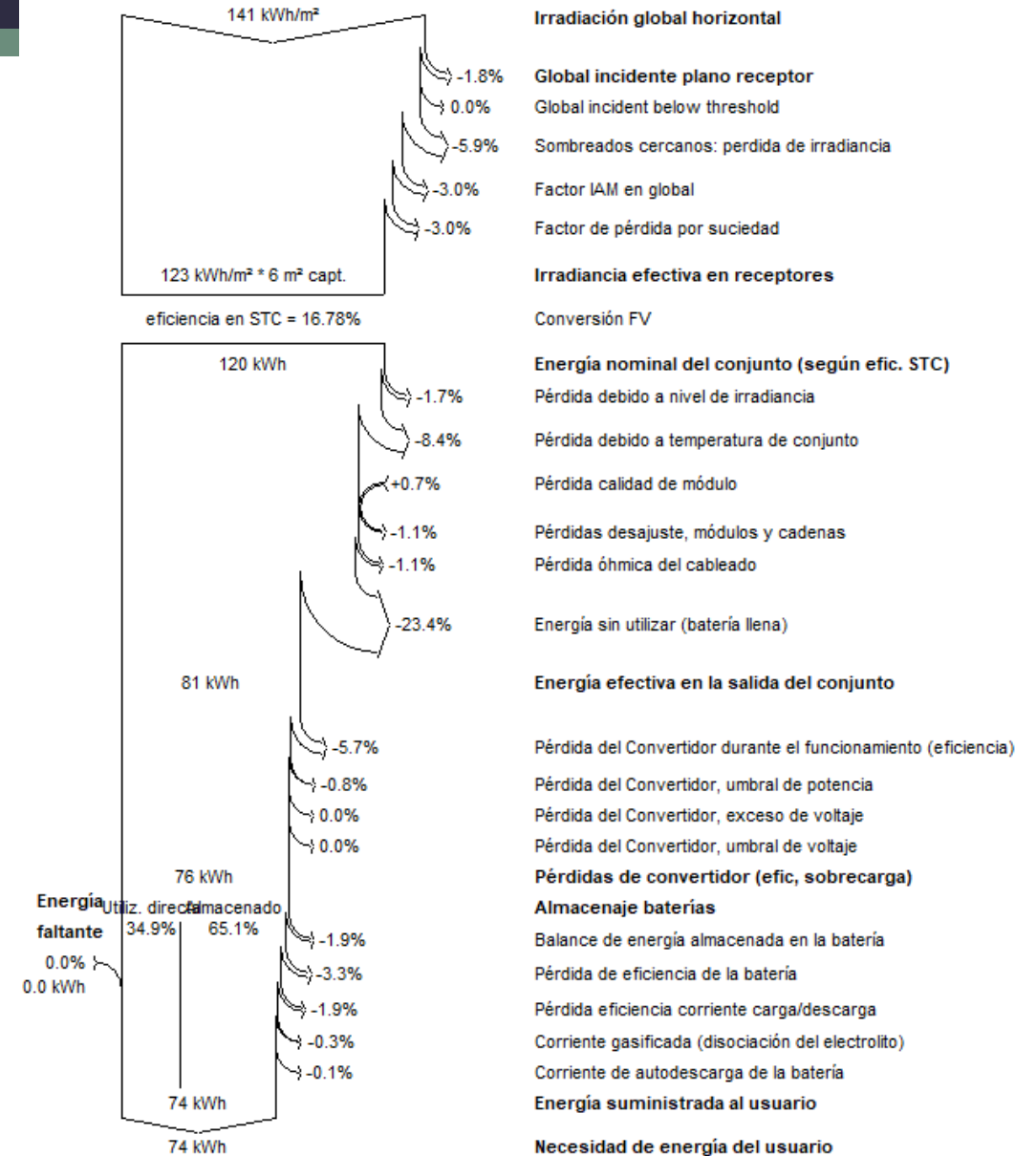
FASE II DISEÑO

Simulación Escenario de Carga 3

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	Sistema aislado con baterías			
Sombreados cercanos	Sombreado lineal				
Orientación Campos FV	inclinación	14°	acimut	-75°	
Módulos FV	Modelo	JAP-72-325/5BB	Pnom	325 Wp	
Conjunto FV	Núm. de módulos	3	Pnom total	975 Wp	
Batería	Modelo	MA 12V 100AH	Tecnología	Pb-ácido, sellada, tut	
Paquete de baterías	Núm. de unidades	4	Voltaje / Capacidad	24 V / 200 Ah	
Necesidades del usuario	perfil diario	Constante durante el año	Global	876 kWh/año	

Resultados principales de la simulación				
Producción del sistema	Energía disponible	1280 kWh/año	Produc. específica	1313 kWh/kWp/año
	Energía utilizada	871 kWh/año	Excedente (inutilizado)	365 kWh/año
	Índice de rendimiento (PR)	52.08 %	Fracción solar (SF)	99.45 %
Pérdida de carga	Fracción de tiempo	0.5 %	Energía faltante	5 kWh/año
Envejecimiento de la batería (Estado de desgaste (EOD))	EDD (EDD)	79.7%	EDD estático	83.3%
	Duración de vida de la batería	4.9 años		

Diagrama de pérdida para "Nueva variante de simulación_Escenario3" - Mayo

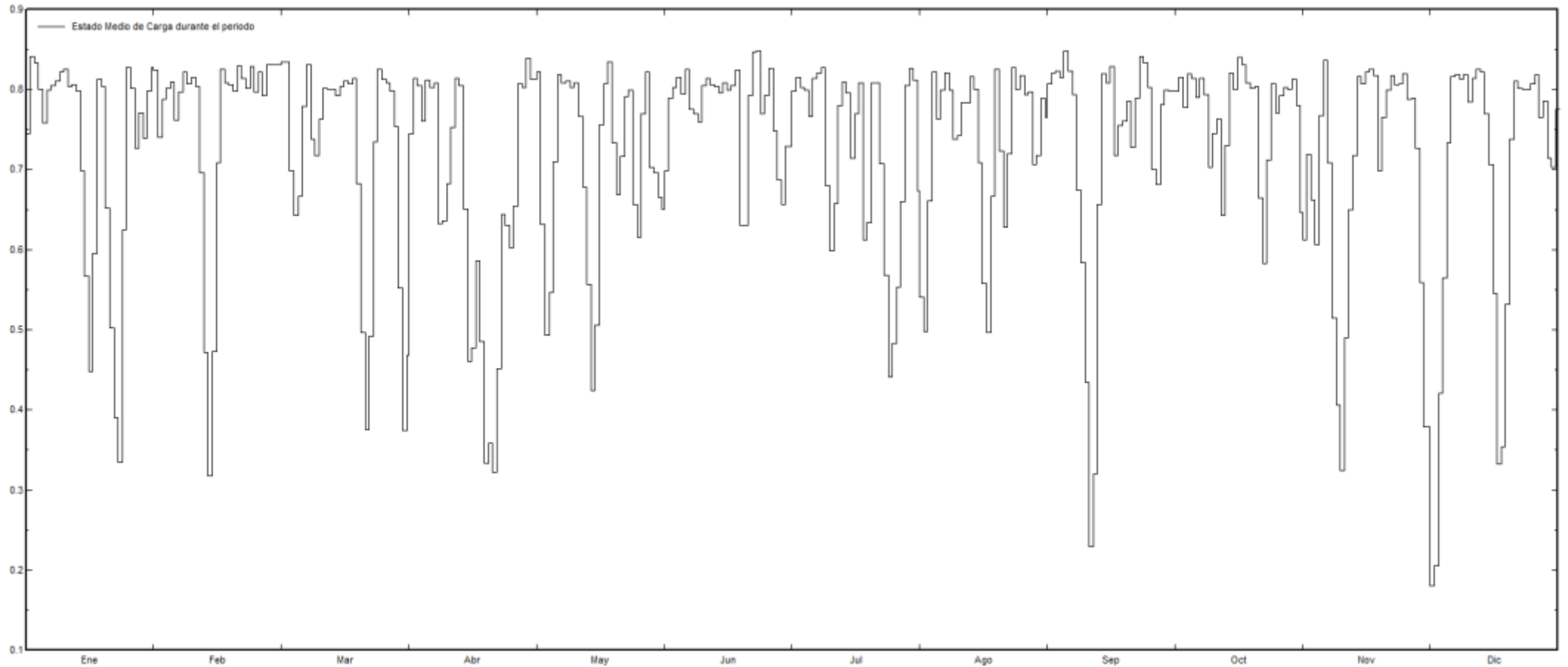


RESULTADOS

FASE II DISEÑO

Simulación Escenario de Carga 3

Distribución del estado de carga diaria



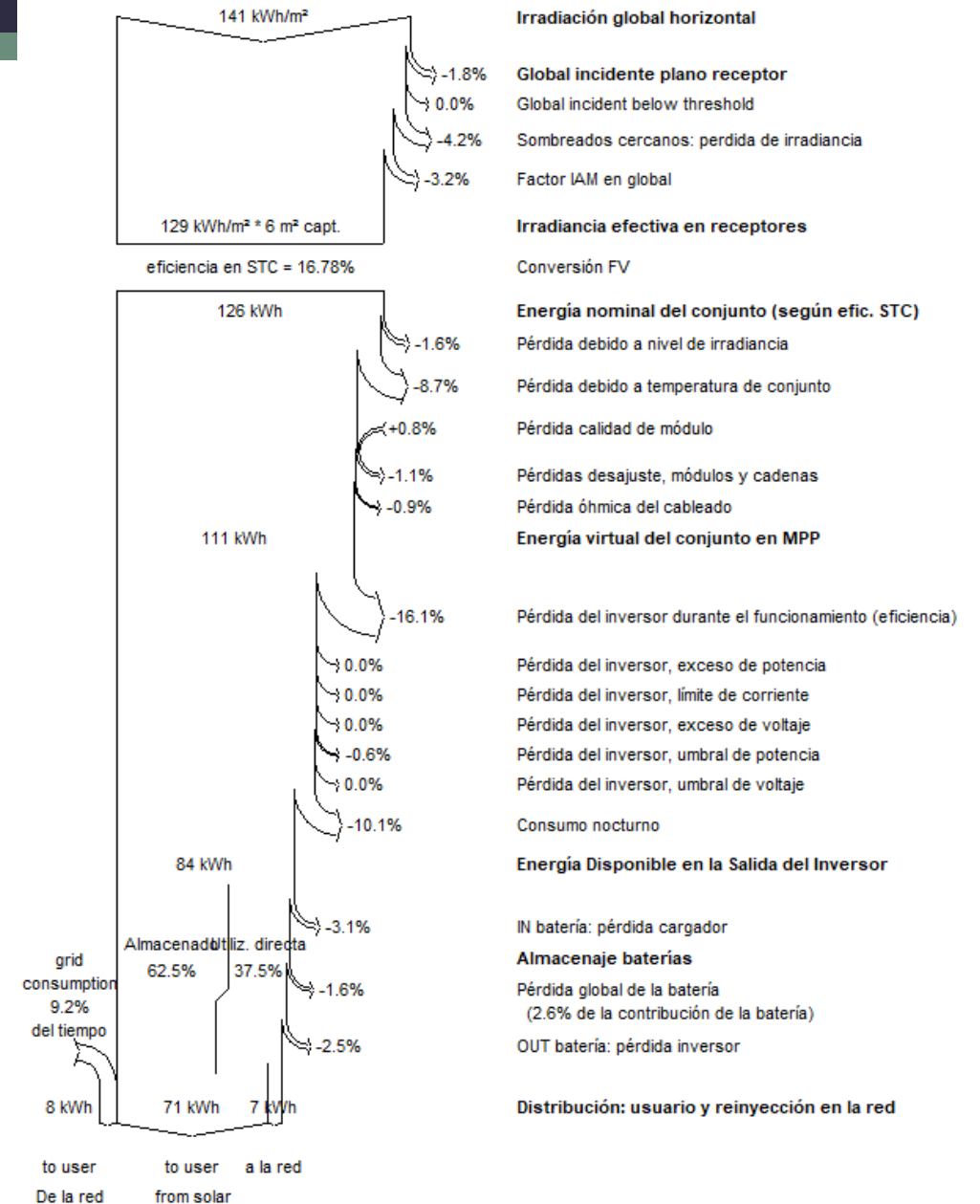
RESULTADOS

FASE II DISEÑO

Simulación Escenario de Carga 4

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	Sistema sobre un edificio			
Sombreados cercanos	Sombreado lineal				
Orientación Campos FV	inclinación	14°	acimut	-75°	
Módulos FV	Modelo	JAP-72-325/5BB	Pnom	325 Wp	
Conjunto FV	Núm. de módulos	3	Pnom total	975 Wp	
Inversor	Modelo	Teca24V 1000VA	Pnom	1000 W ac	
Necesidades del usuario	perfil diario	Constante durante el año	Global	924 kWh/año	
Resultados principales de la simulación					
Producción del sistema	Energía producida	1155 kWh/año	Produc. específica	1185 kWh/kWp/año	
	Índice de rendimiento (PR)	64.24 %	Fracción solar (SF)	95.92 %	
Envejecimiento de la batería (Estado de desgaste (EDD))	EDD	79.1%	EDD estático	83.3%	
	Duración de vida de la batería	4.8 años			

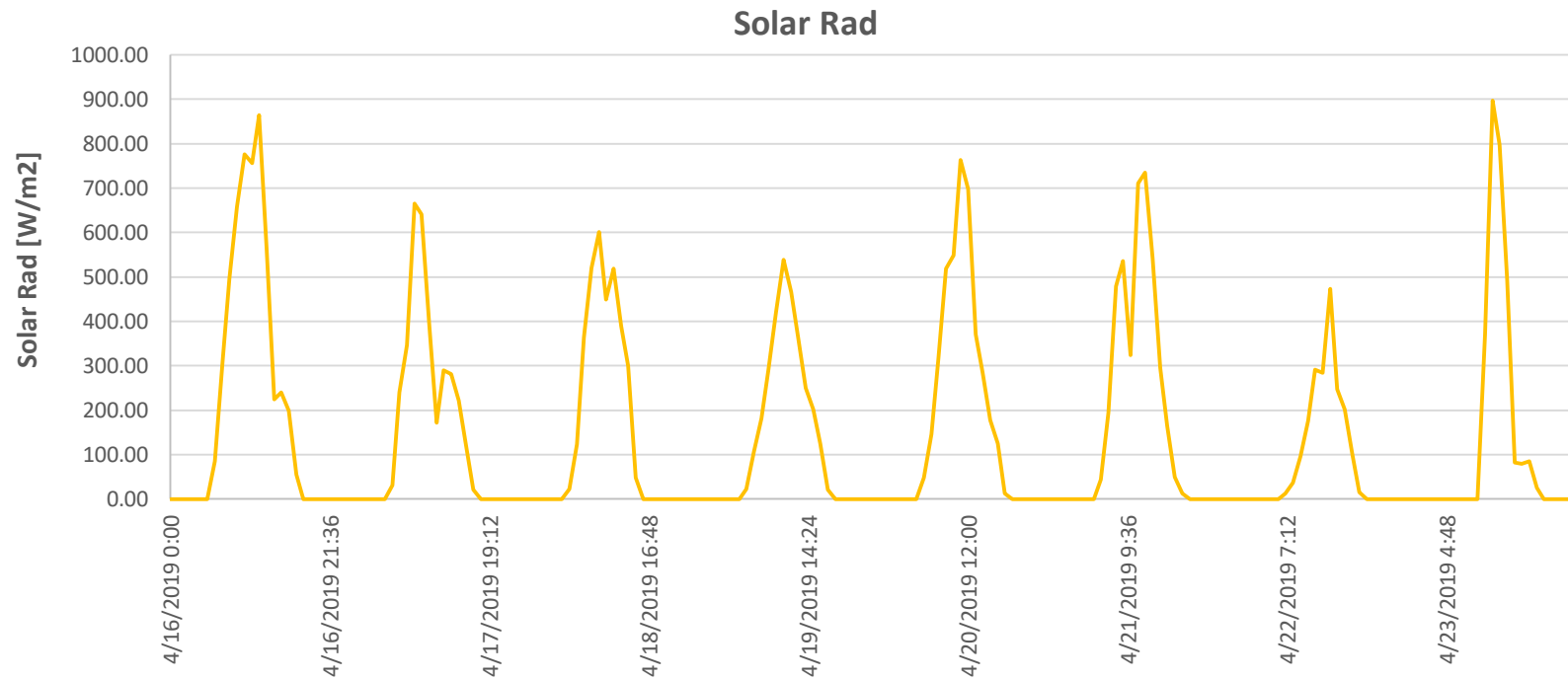
Diagrama de pérdida para "Escenario4_RED" - Mayo



DESARROLLO

■ FASE III ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

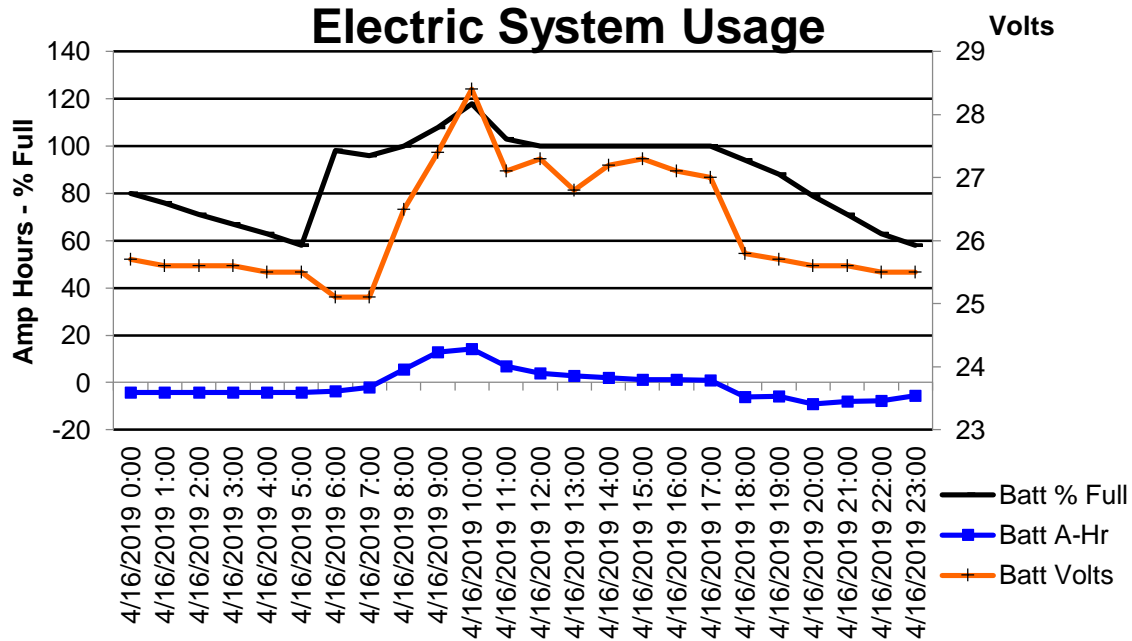
Comportamiento real – Escenario de carga 1



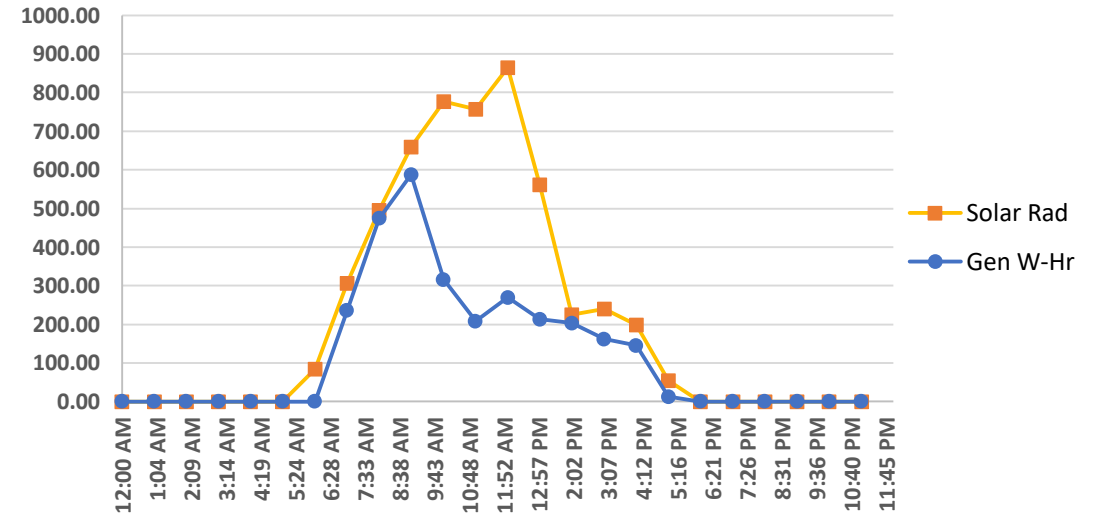
DESARROLLO

FASE III ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Comportamiento real – Escenario de carga 1



Estado de carga 58%



Radiación 5,22 [kW/m²]

Energía generada 2,82 [kWh/día]

Energía teórica 4,1 [kWh/día]

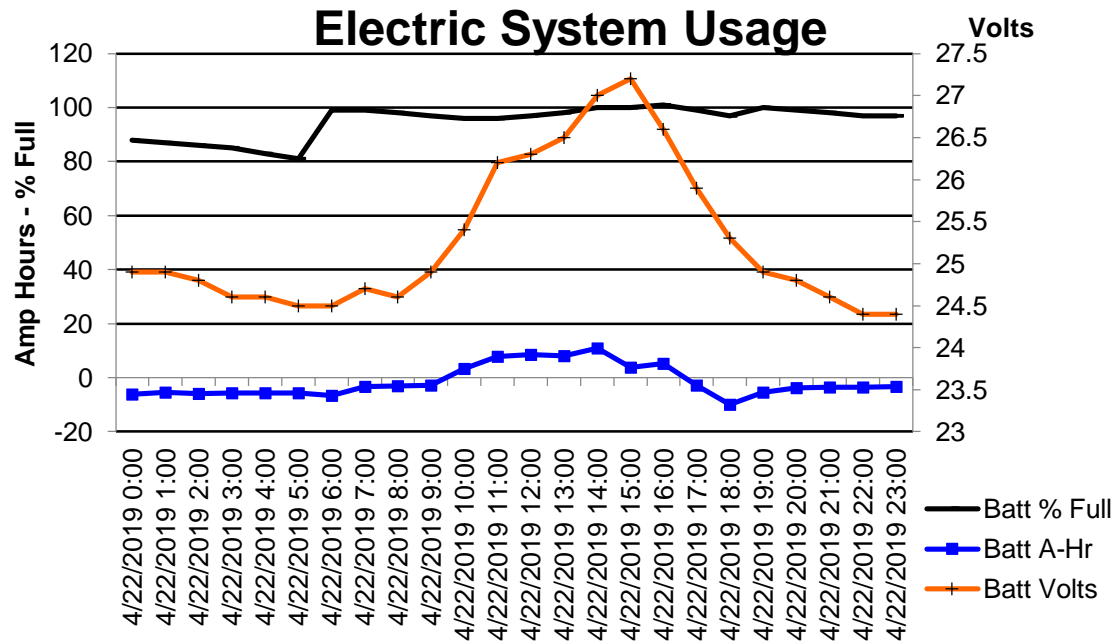
Energía no aprovechada 1,28 [kWh/día] – 48%



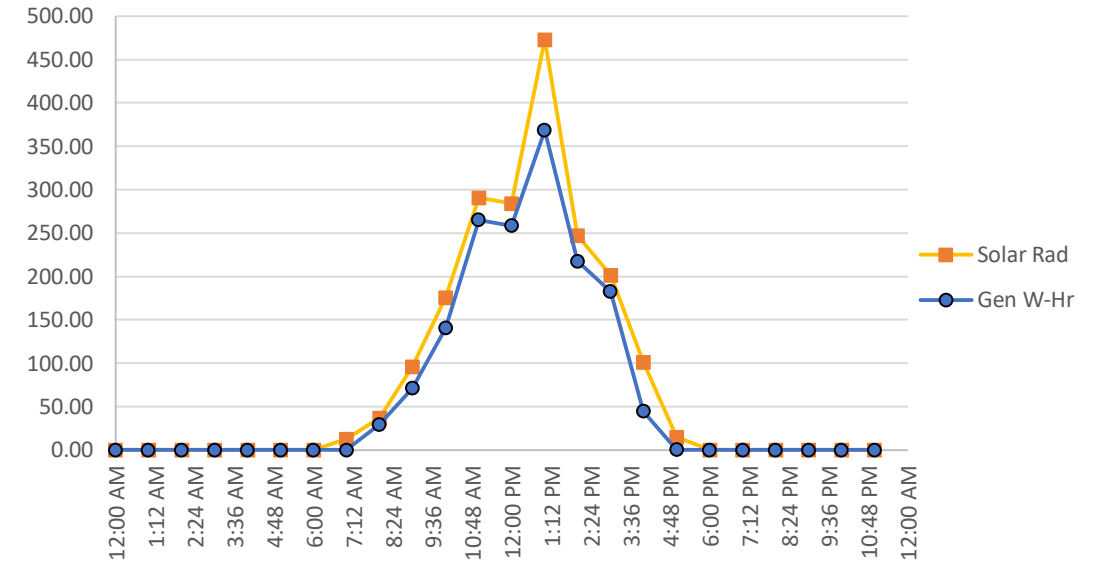
DESARROLLO

FASE III ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Comportamiento real – Escenario de carga 1



Estado de carga 81%



Radiación 2,00 [kW/m²]

Energía generada 1,57 [kWh/día]

Energía teórica 1,63 [kWh/día]

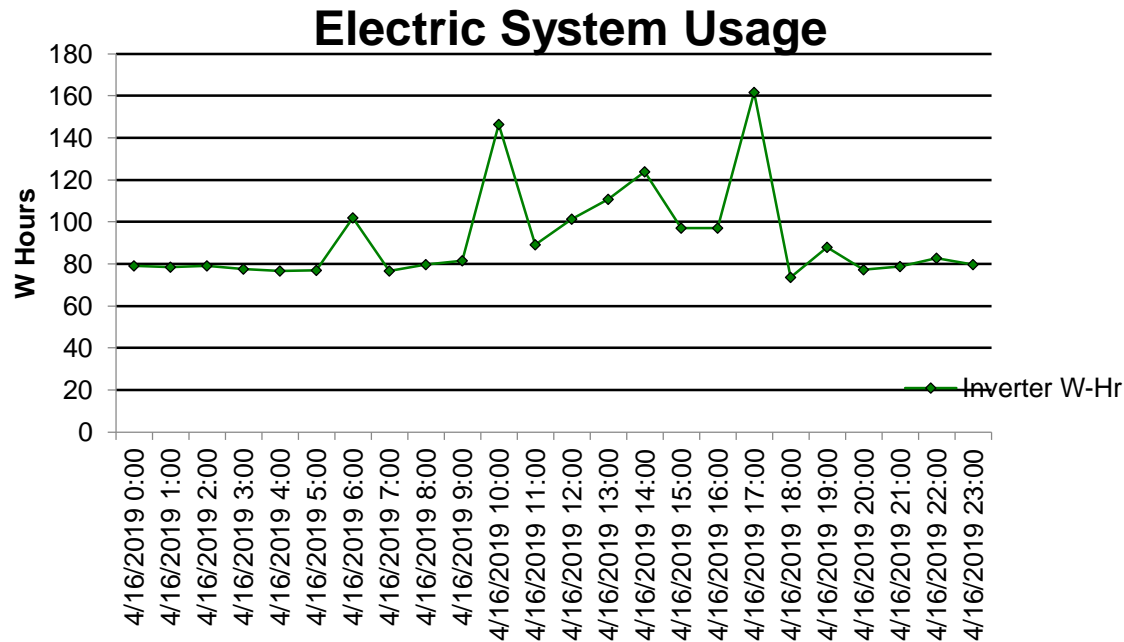
Energía no aprovechada 0,06 [kWh/día] – 3%



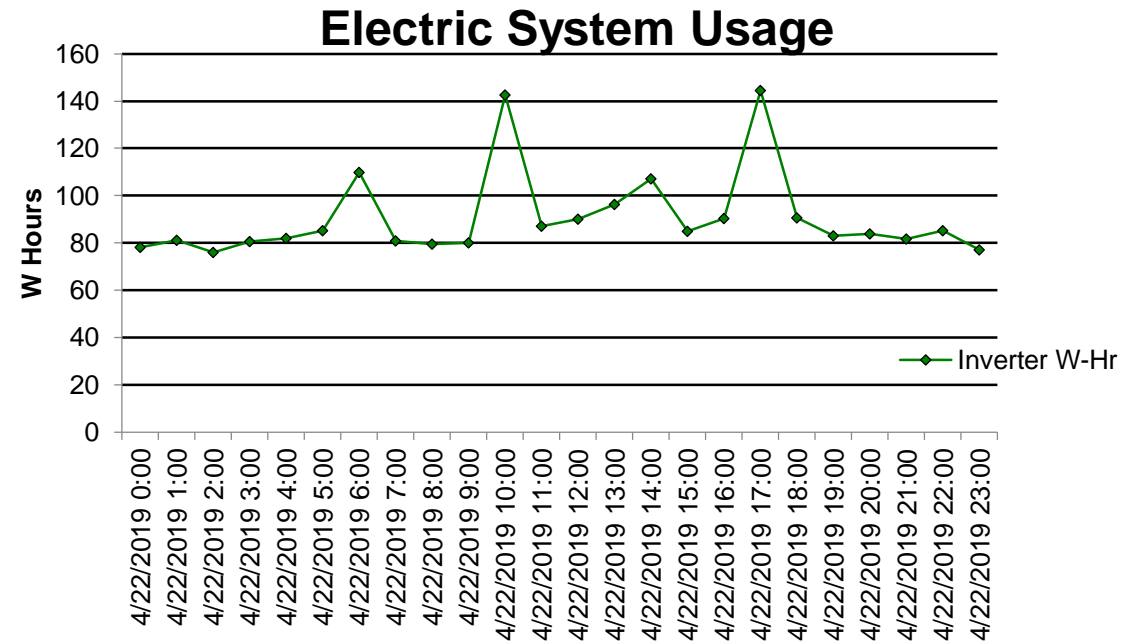
DESARROLLO

■ FASE III ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Comportamiento real – Escenario de carga 1



Energía consumida 2,21 [kWh/día]

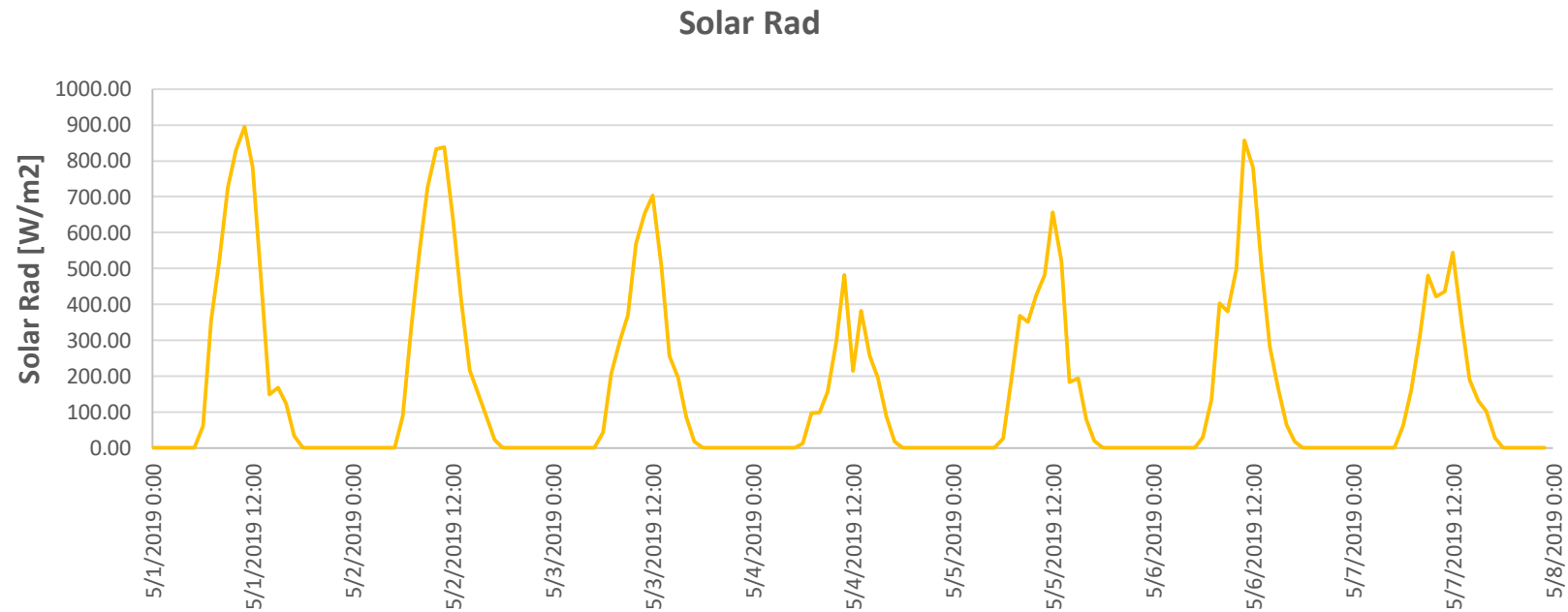


Energía consumida 2,17 [kWh/día]



■ FASE III ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

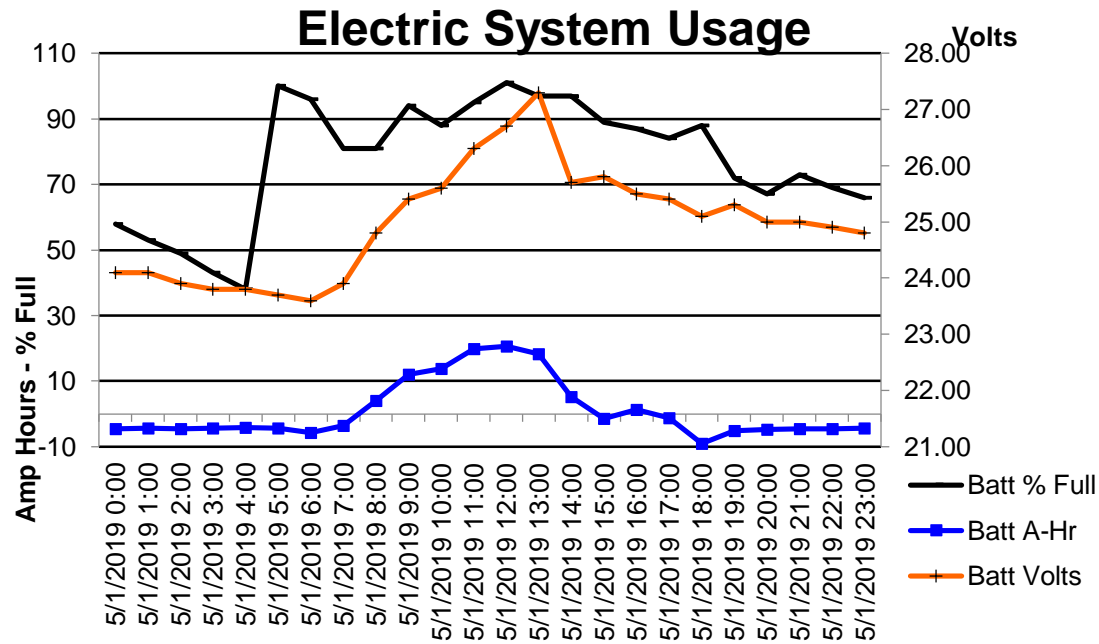
Comportamiento real – Escenario de carga 2



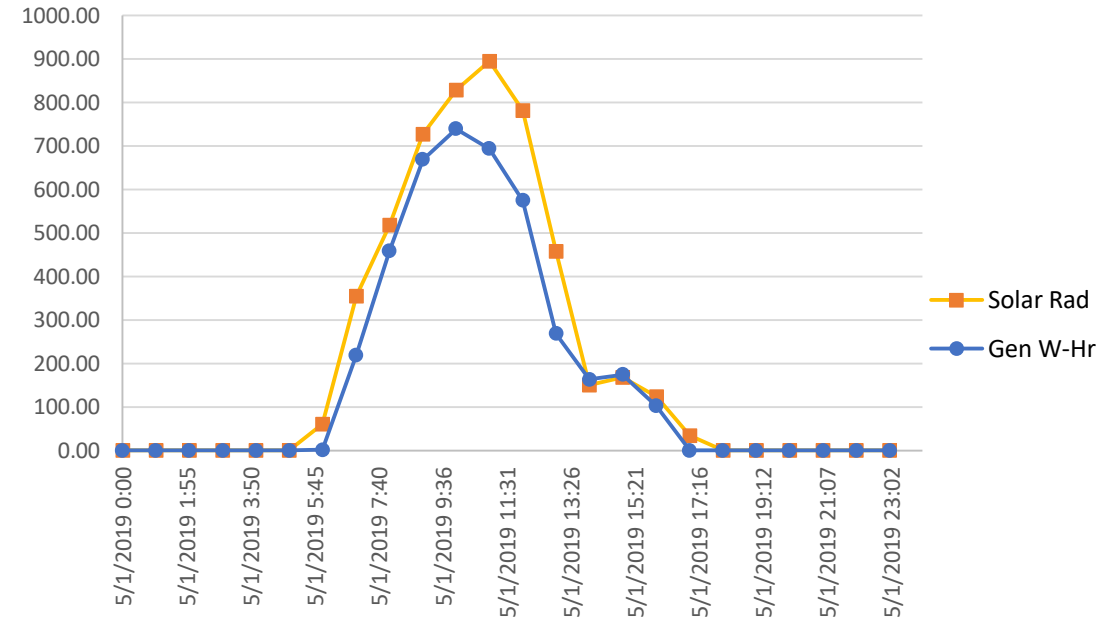
DESARROLLO

FASE III ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Comportamiento real – Escenario de carga 2



Estado de carga 40%



Radiación 5,10 [kW/m²]

Energía generada 4,06 [kWh/día]

Energía teórica 3,96 [kWh/día]

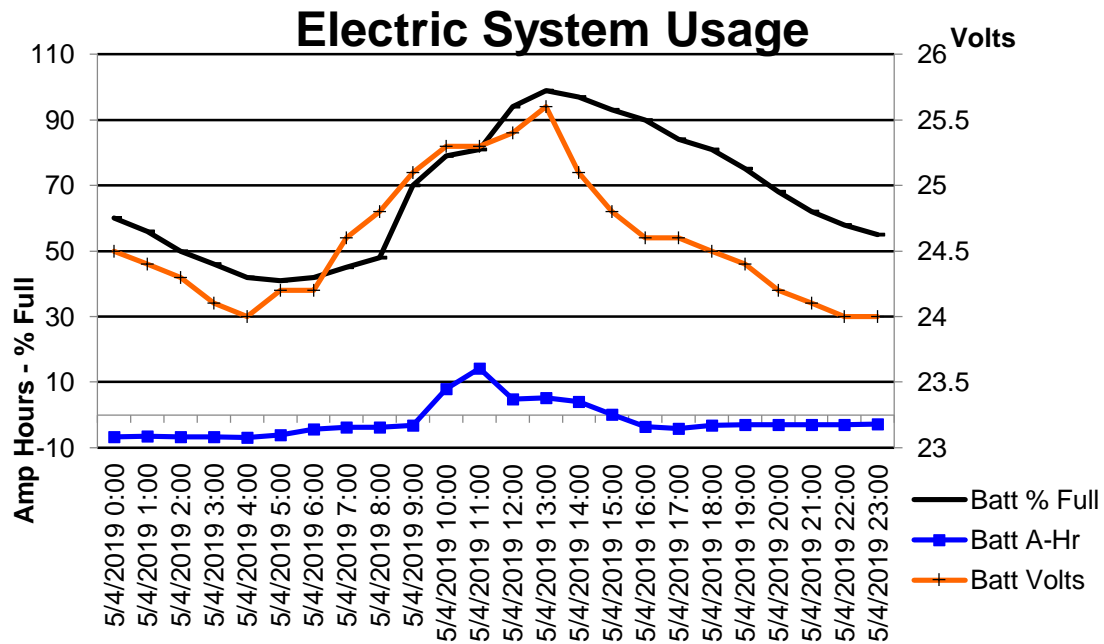
Energía no aprovechada 0,0 [kWh/día] – 2,5%



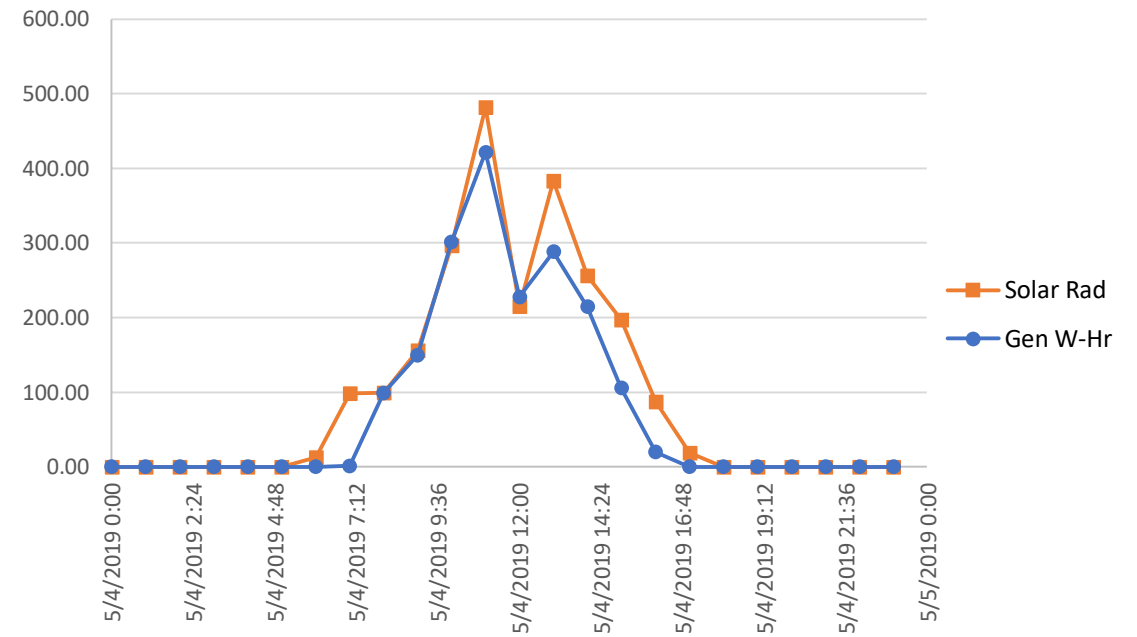
DESARROLLO

FASE III ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Comportamiento real – Escenario de carga 2



Estado de carga 42%



Radiación 2,33 [kW/m²]

Energía generada 1,82 [kWh/día]

Energía teórica 1,94 [kWh/día]

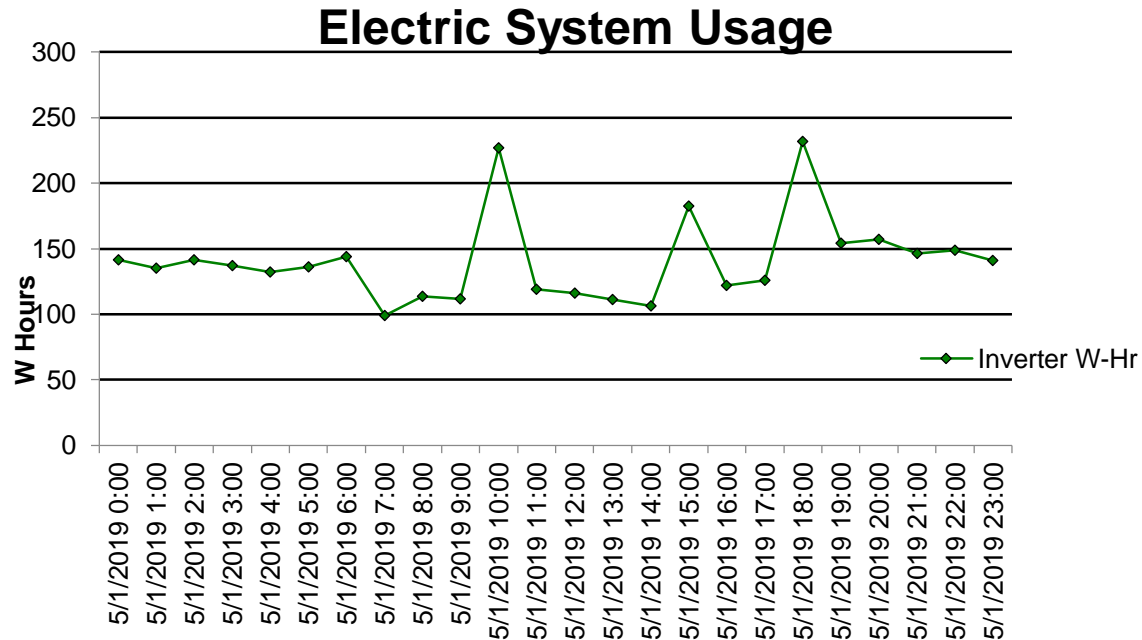
Energía no aprovechada 0,12 [kWh/día] – 6,5 %



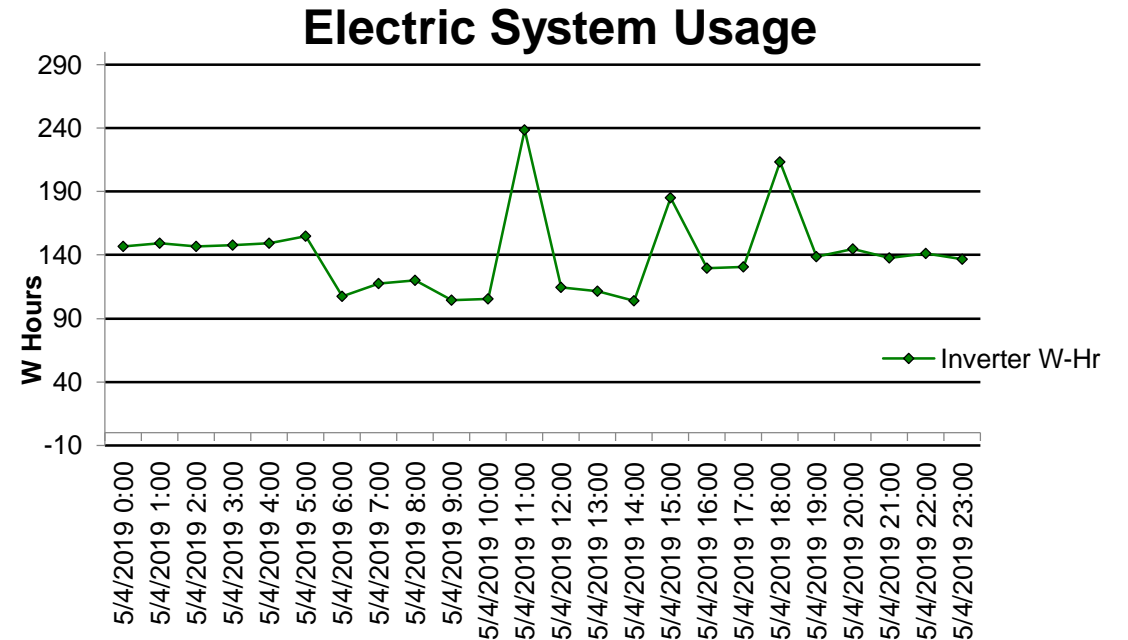
DESARROLLO

FASE III ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Comportamiento real – Escenario de carga 2



Energía consumida 3,34 [kWh/día]

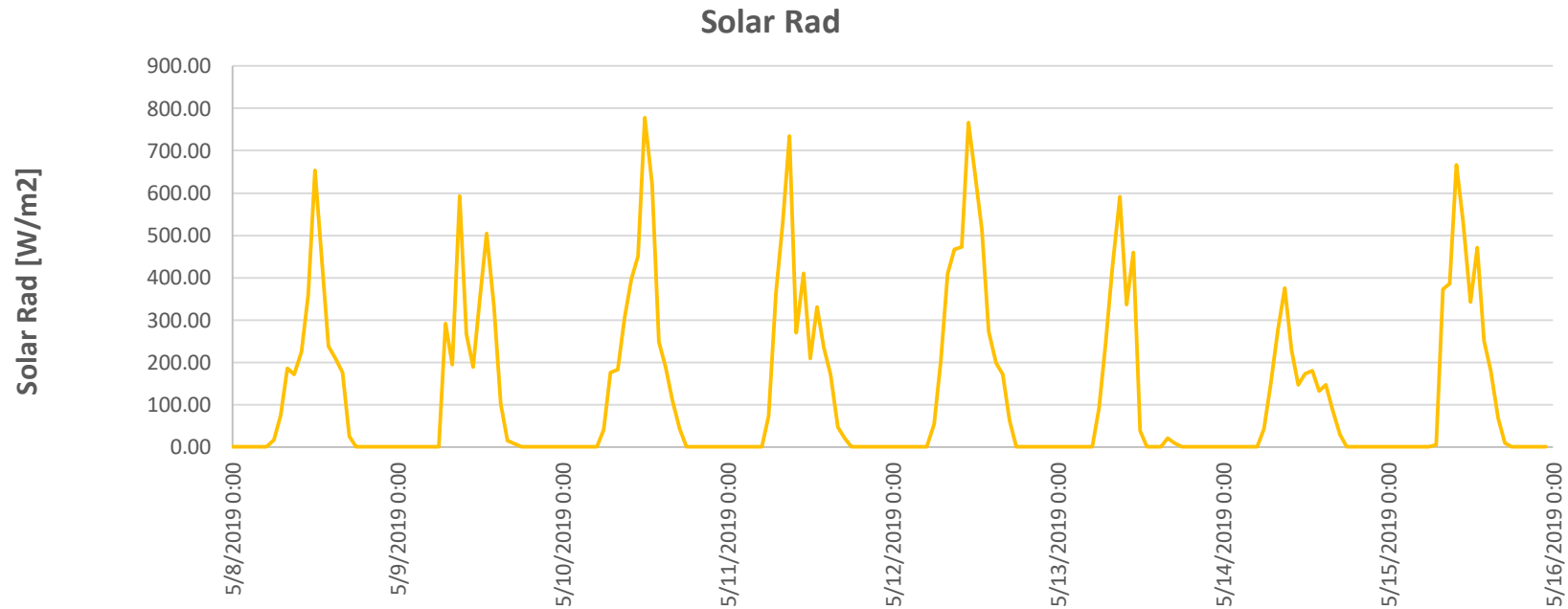


Energía consumida 3,82 [kWh/día]



■ FASE III ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

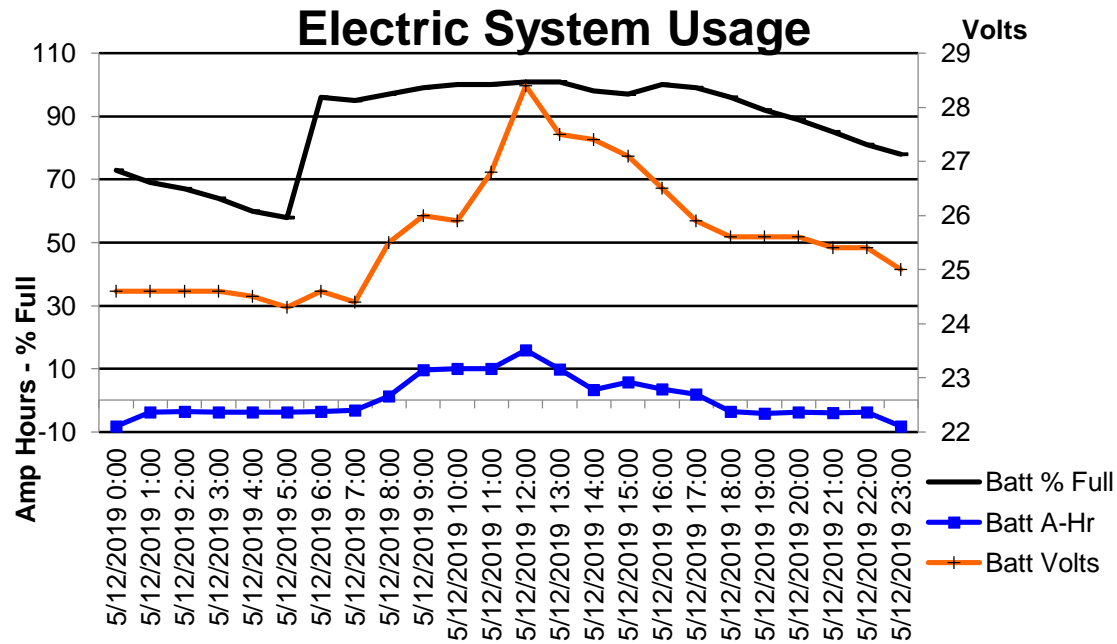
Comportamiento real – Escenario de carga 3



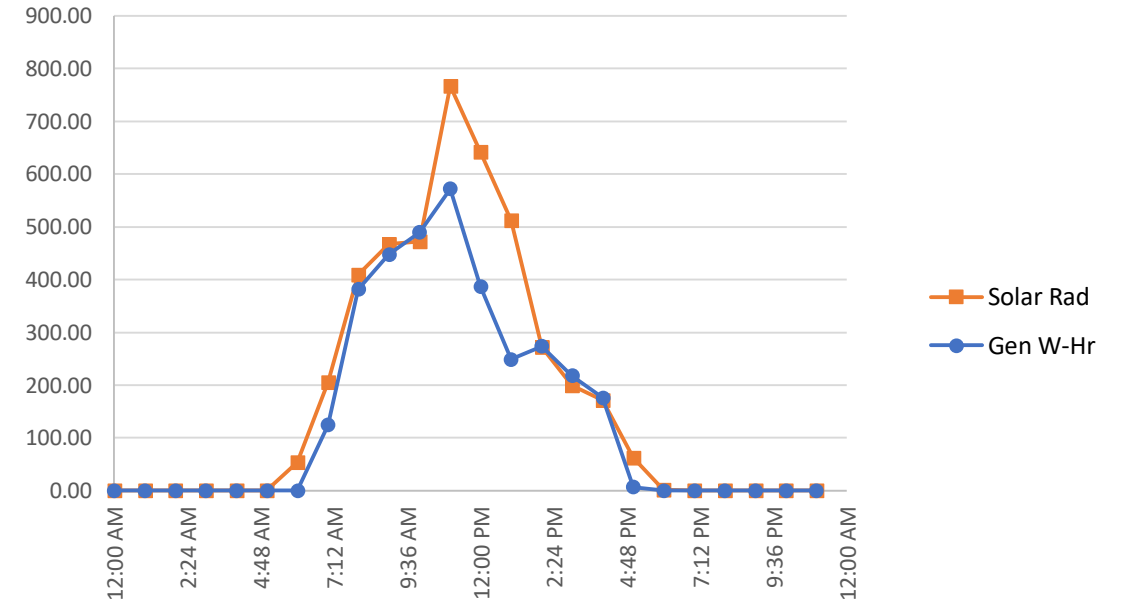
DESARROLLO

FASE III ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Comportamiento real – Escenario de carga 3



Estado de carga 58%



Radiación 4,23 [kW/m²]

Energía generada 3,32 [kWh/día]

Energía teórica 3,42 [kWh/día]

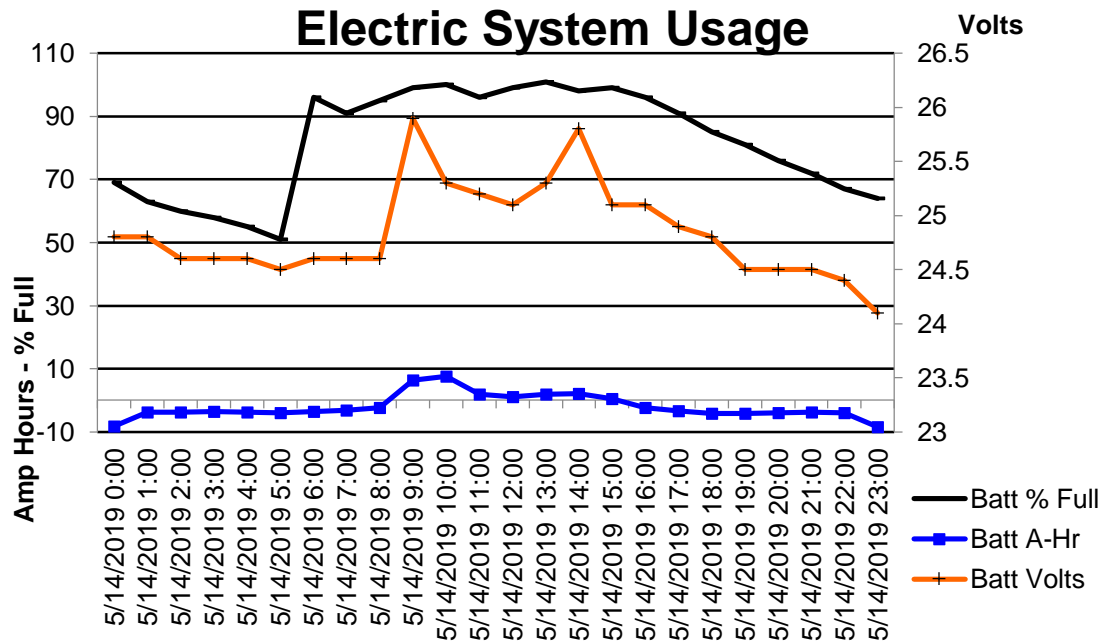
Energía no aprovechada 0,10 [kWh/día] – 2,92 %



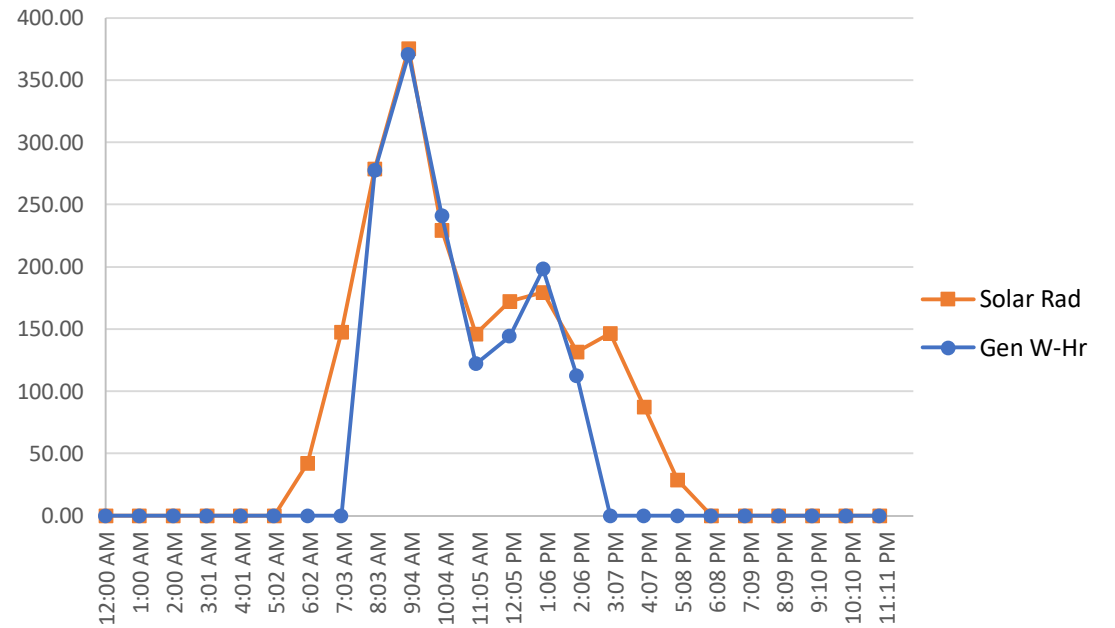
DESARROLLO

FASE III ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Comportamiento real – Escenario de carga 3



Estado de carga 51%



Radiación 2,00 [kW/m²]

Energía generada 1,46 [kWh/día]

Energía teórica 1,63 [kWh/día]

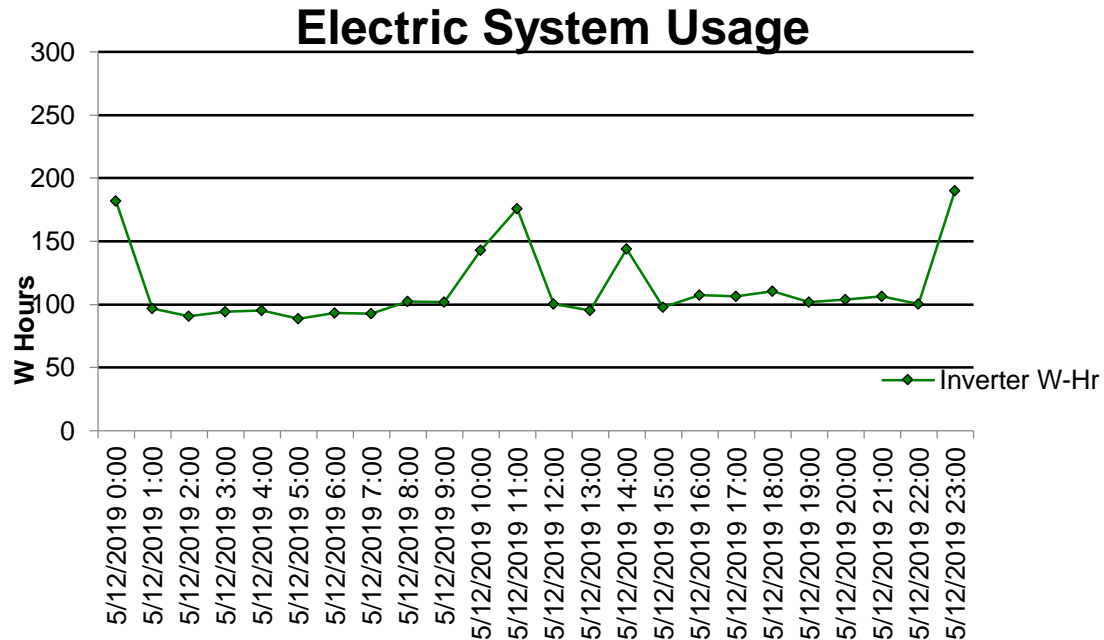
Energía no aprovechada 0,23 [kWh/día] – 10,4 %



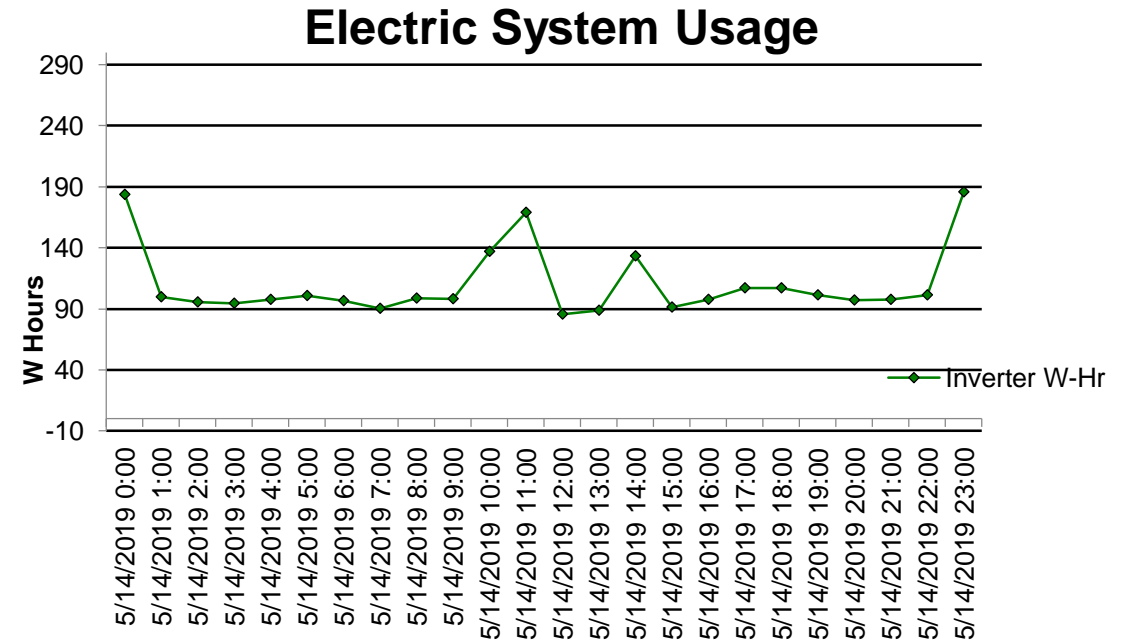
DESARROLLO

■ FASE III ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Comportamiento real – Escenario de carga 3



Energía consumida 2,61 [kWh/día]

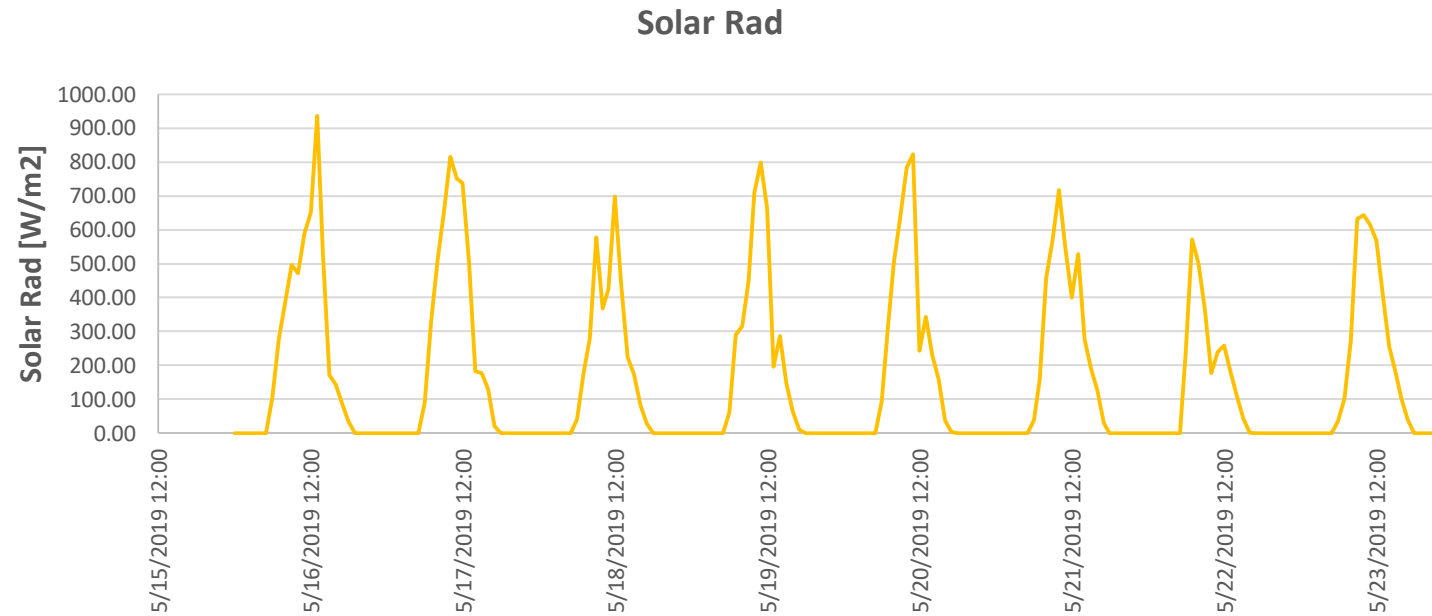


Energía consumida 2,65 [kWh/día]



■ FASE III ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

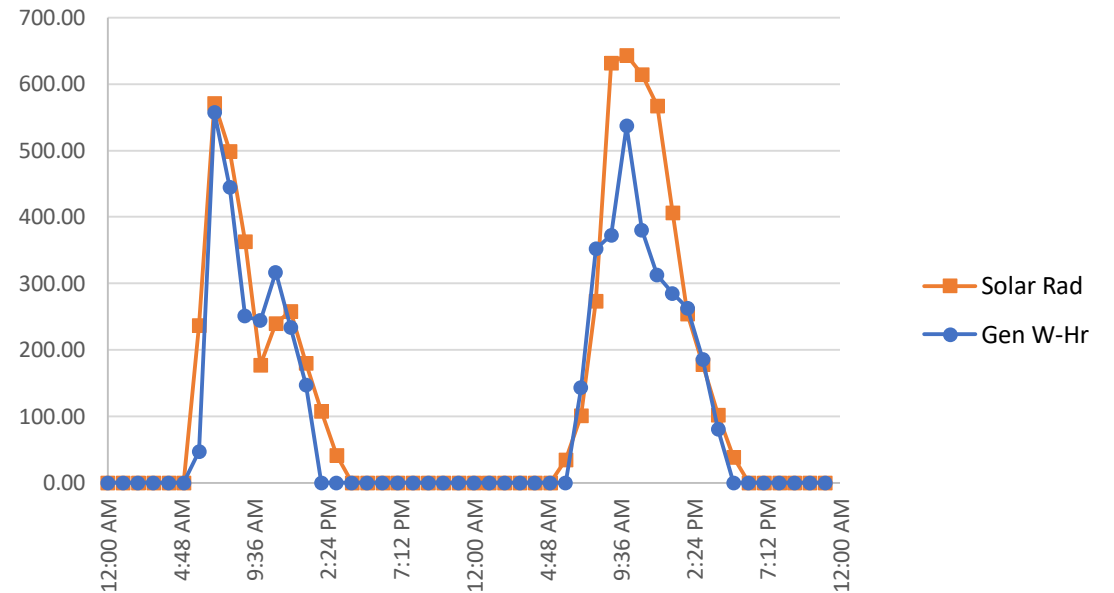
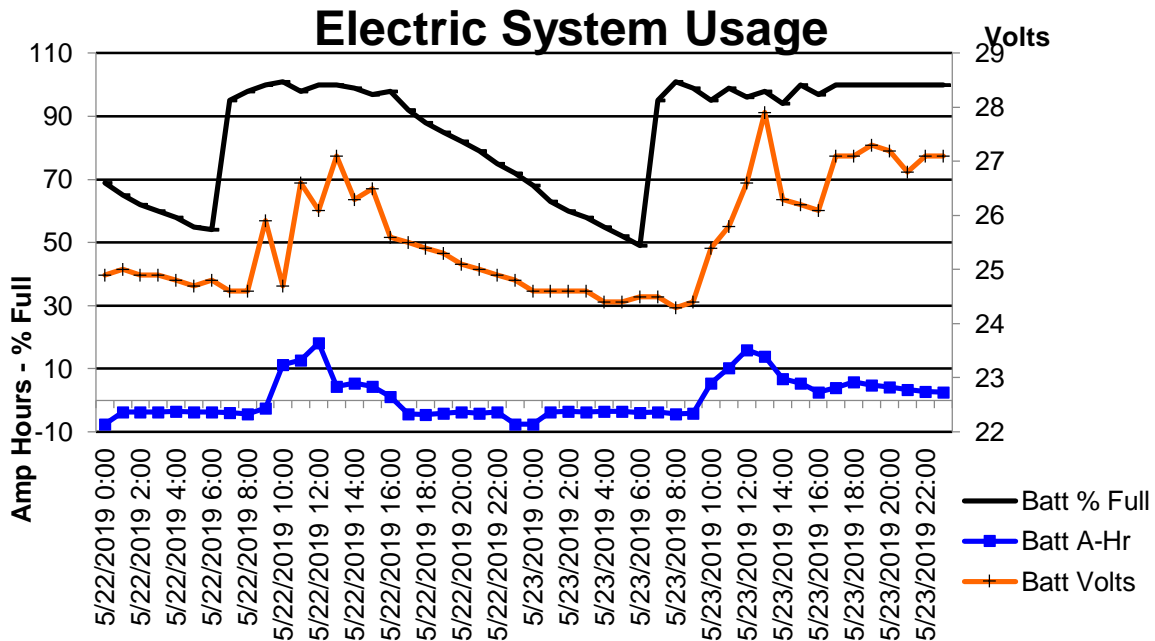
Comportamiento real – Escenario de carga 4



DESARROLLO

FASE III ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Comportamiento real – Escenario de carga 4



Estado de carga 54%

Radiación 2,67 [kW/m²]

Radiación 3,8 [kW/m²]

Estado de carga 50%

Energía generada 2,24 [kWh/día]

Energía generada 2,4 [kWh/día]

Energía teórica 2,00 [kWh/día]

Energía teórica 2,97 [kWh/día]

Energía no aprovechada 0,24 [kWh/día] – (-12%)

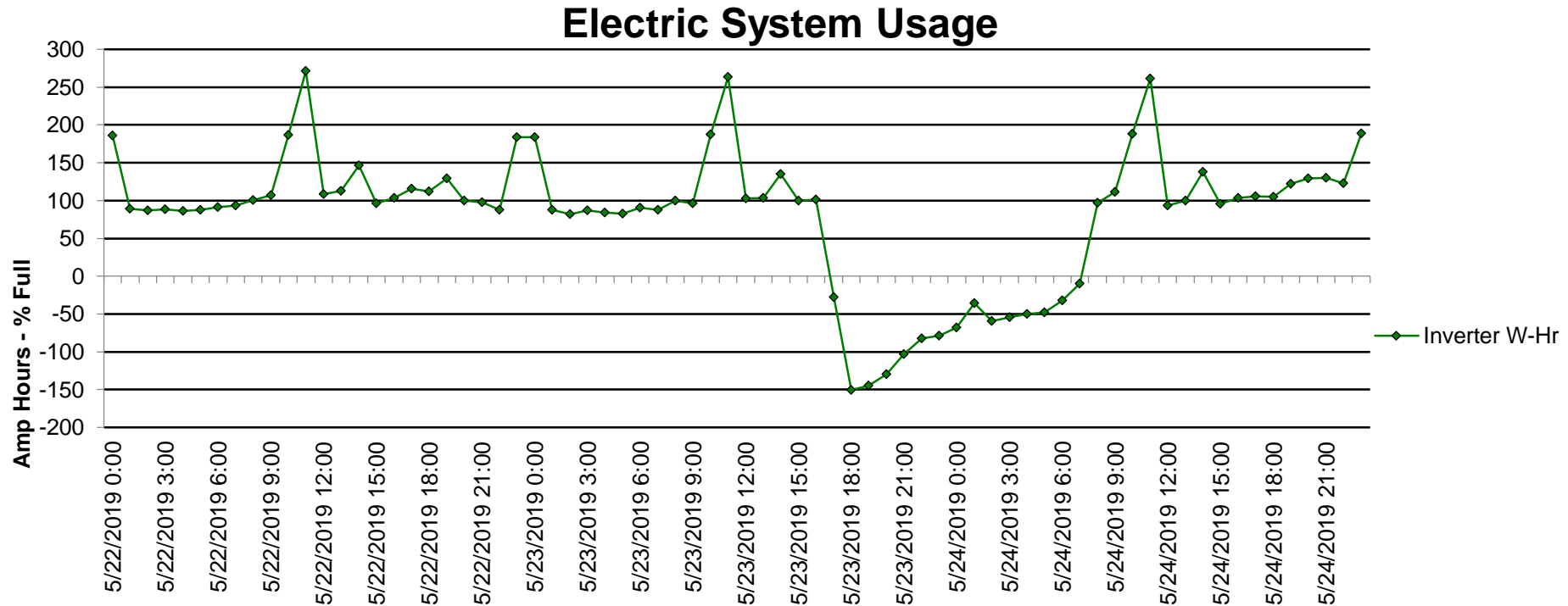
Energía no aprovechada 0,73 [kWh/día] – 20%



DESARROLLO

■ FASE III ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Comportamiento real – Escenario de carga 4



Energía consumida 2,76 [kWh/día]

Energía consumida 1,97 [kWh/día]

Energía de carga 1,07 [kWh/día]



CONCLUSIONES

- Para suplir la demanda de 90 kWh/mes, en condiciones meteorológicas de Bucaramanga, se implementó un sistema fotovoltaico piloto de 975 [Wp] instalados (3 módulos fotovoltaicos de 325 [W] conectados en serie), un controlador de carga MPPT de 40 [A] y 32 – 145 [V], un inversor multifuncional de 1 [kW] y 4 baterías de 12 [V] 100 [Ah] conectando en paralelo dos series de dos baterías.
- Al reducir la demanda base en 30% se evidencia una disminución en el índice de rendimiento PR inicial del 70 % a valores del 50%, resultado de los excedentes de energía solar que no se pueden almacenar al superar la capacidad de las baterías.

CONCLUSIONES

- Con el fin de caracterizar el consumo y aprovechamiento de energía con los SFA es necesario plantear diferentes escenarios de carga, por lo tanto, el sistema piloto fue diseñado para satisfacer la demanda base diaria con cada uno de los 4 escenarios de carga determinados considerando el criterio de protección de vida útil de la batería (profundidad de descarga menor al 40% según la curva de fabricante) y considerando 1,2 días de autonomía según el análisis de datos de la estación meteorológica del laboratorio de energías renovables de la UNAB.
- Con una demanda planteada en 2,9 [kWh/día] y las condiciones meteorológicas de Bucaramanga siguiendo los lineamientos de dimensionado se requiere implementar un banco de baterías con una capacidad de 9,6 [kWh], sin embargo, al proponer un ajuste de consumo nocturno en el cálculo de descarga máxima diaria se llegó a un planteamiento de un banco de baterías de 4,8 [kWh].

CONCLUSIONES

- Los sistemas fotovoltaicos autónomos como alternativa de energización se deben dimensionar e implementar planteando un aumento de la demanda en los usuarios y contemplando la alternativa de la integración de otras fuentes de generación centralizada o el sistema interconectado nacional, para evitar la obsolescencia del sistema implementado.
- Los valores de profundidad de descarga llegaron a valores de 20% en el escenario de consumo de 1,98 [kWh/día]; 60% en el escenario de consumo de 3,6 [kWh/día]; 40% en el escenario de consumo de 2,39 [kWh/día] y 50% en el escenario de consumo de 2,53 [kWh/día]. Lo que sugiere que el sistema puede responder a las demandas planteadas pero la vida útil de las baterías se ve afectada considerablemente.

CONCLUSIONES

- Los sistemas fotovoltaicos autónomos como alternativa de energización se deben dimensionar e implementar planteando un aumento de la demanda en los usuarios y contemplando la alternativa de la integración de otras fuentes de generación centralizada o el sistema interconectado nacional, para evitar la obsolescencia del sistema implementado.
- Los valores de profundidad de descarga llegaron a valores de 20% en el escenario de consumo de 1,98 [kWh/día]; 60% en el escenario de consumo de 3,6 [kWh/día]; 40% en el escenario de consumo de 2,39 [kWh/día] y 50% en el escenario de consumo de 2,53 [kWh/día]. Lo que sugiere que el sistema puede responder a las demandas planteadas pero la vida útil de las baterías se ve afectada considerablemente.

BIBLIOGRAFÍA

- H. Rodríguez Murcia, “Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas Development of Solar Energy in Colombia and its Prospects Humberto Rodríguez Murcia,” *Rev. ingeniería*, vol. 28, no. Energía solar, p. 7, 2009.
- Sistema de Información Eléctrico Colombiano, “Cobertura de energía eléctrica en Colombia 2016,” 2016.
- IPSE, “Informe de gestión IPSE 2017,” no. 9, pp. 1–65, 2017.
- SSPD, “Zonas No Interconectadas – Zni: Diagnóstico De La Prestación Del Servicio De Energía Eléctrica 2018,” Bogotá D.C., 2018.
- N. Gómez, “Energización de las ZNI de Colombia a partir de las energías solar y eólica,” *Univ. Javeriana*, p. 99, 2011.
- R. Avella Pedraza, “EVALUACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS (SFV) AUTÓNOMOS PARA SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN VIVIENDAS RURALES ESTRATO 1 EN EL DEPARTAMENTO DE CASANARE,” Yopal, 2014.
- T. Khatib, A. Mohamed, and K. Sopian, “A review of photovoltaic systems size optimization techniques,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 22, pp. 454–465, Jun.

BIBLIOGRAFÍA

- O. Style, *Energía solar autónoma : planificación, dimensionado e instalación de un sistema fotovoltaico autónomo*. Itaca Appropriate Technology, 2012.
- J. C. Vega de Kuyper and S. Ramírez Morales, *FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLES Y NO RENOVABLES*, 1a Edición. 2014.
- E. Lorenzo, *SOLAR ELECTRICITY ENGINEERING OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS*, First. Sevilla, 1994.



PREGUNTAS

GRACIAS