



Uso de la energía solar en las fincas cafeteras

Álvaro Guerrero Aguirre
Investigador Científico I - Poscosecha

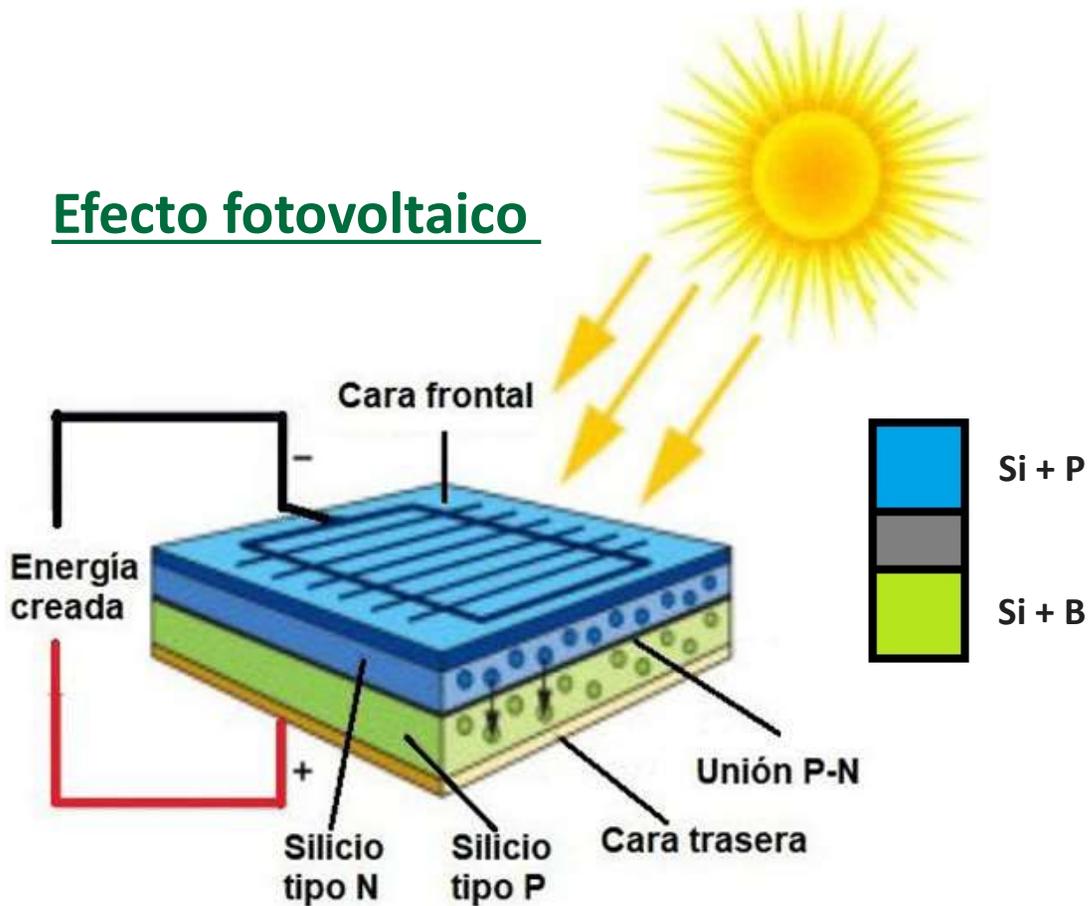


Contenido del seminario

- ✓ Celda fotovoltaica
- ✓ Páneles solares
- ✓ Brillo solar
- ✓ Componentes de un sistema de energía solar
- ✓ Tipos de montajes
- ✓ Normatividad y tarifas
- ✓ Solución propuesta
- ✓ Resultados
- ✓ Conclusiones

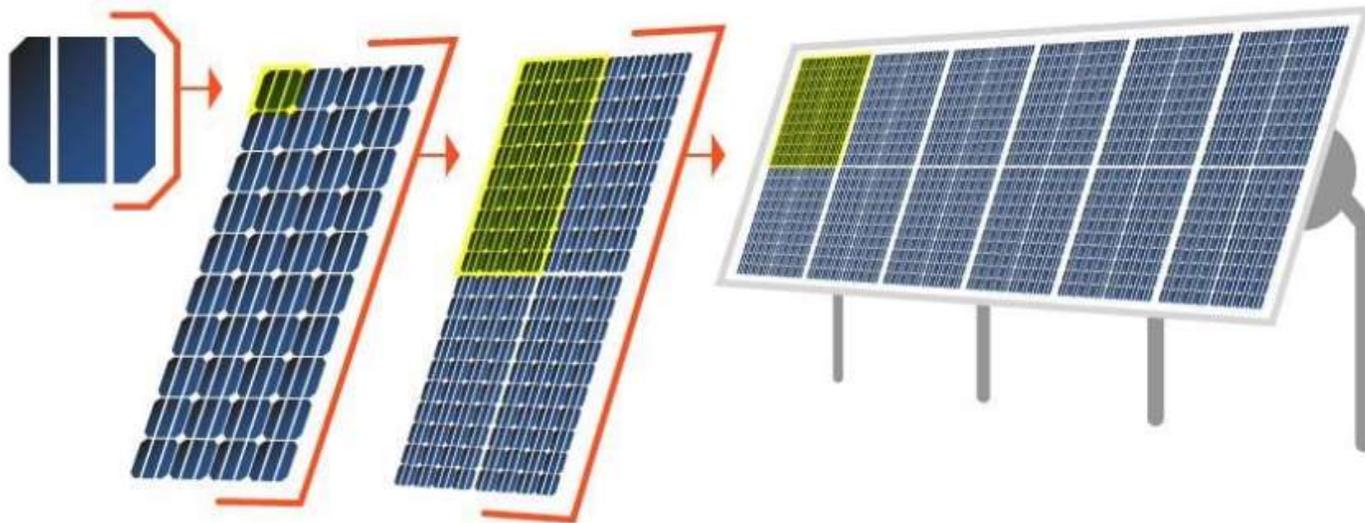
Celda fotovoltaica

Efecto fotovoltaico



Material	Eficiencia	Costo	Color
Amorfo	[5 – 8] %	Bajo	Marrón
Policristalino	[15 – 19] %	Medio	Negro
Monocristalino	[16 – 22] %	Alto	Azul

Paneles solares



Conexiones de celdas en serie y paralelo
para alcanzar las potencias deseadas

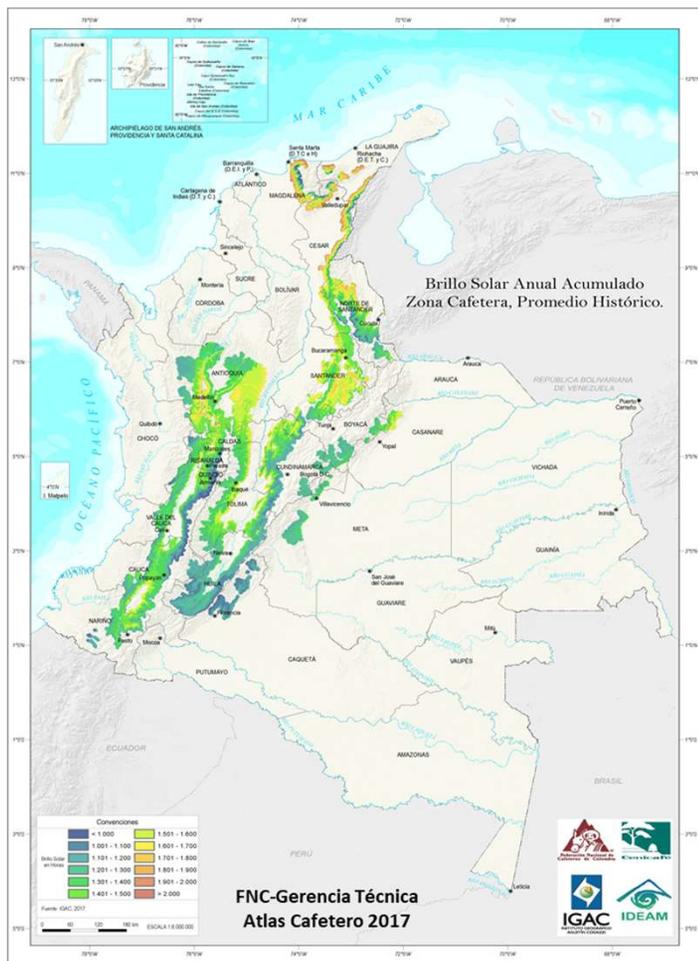
- 250-500 W para aplicaciones residenciales.
- 400-600 W para aplicaciones comerciales

Panel solar



- Brillo solar (mayor a 3,5 HSP)
- Radiación directa y difusa
- Sin elementos generadores de sombra
- Inclinación y Orientación (Latitud, Norte – Sur)
- Estructura de soporte para paneles solares
- Carga mecánica del sistema [10 – 12] Kg.m⁻²
- Panel Solar genera [180 – 220] W.m⁻²
- Eficiencia de las celdas entre el [16% - 22%]

Brillo solar en Colombia



- Se requiere un brillo solar > 3,5 HSP (Acuña y Villarreal, 2018)
- La zona cafetera tiene un promedio de 4,5 HSP (Ramírez et al., 2012)
- Las celdas fotovoltaicas aprovechan la radiación directa y la radiación difusa.

**Viabilidad para generar
energía eléctrica**

Impacto ambiental de la energía solar

- **Carbón:** 820 g CO₂/kWh
- **Gas natural:** 450 g CO₂/kWh
- **Energía Solar:** [20 – 35] g CO₂/kWh
- **Hidroeléctrica:** 24 g CO₂/kWh
- **Eólica:** 12-25 g CO₂/kWh
- **Energía nuclear:** 12 g CO₂/kWh

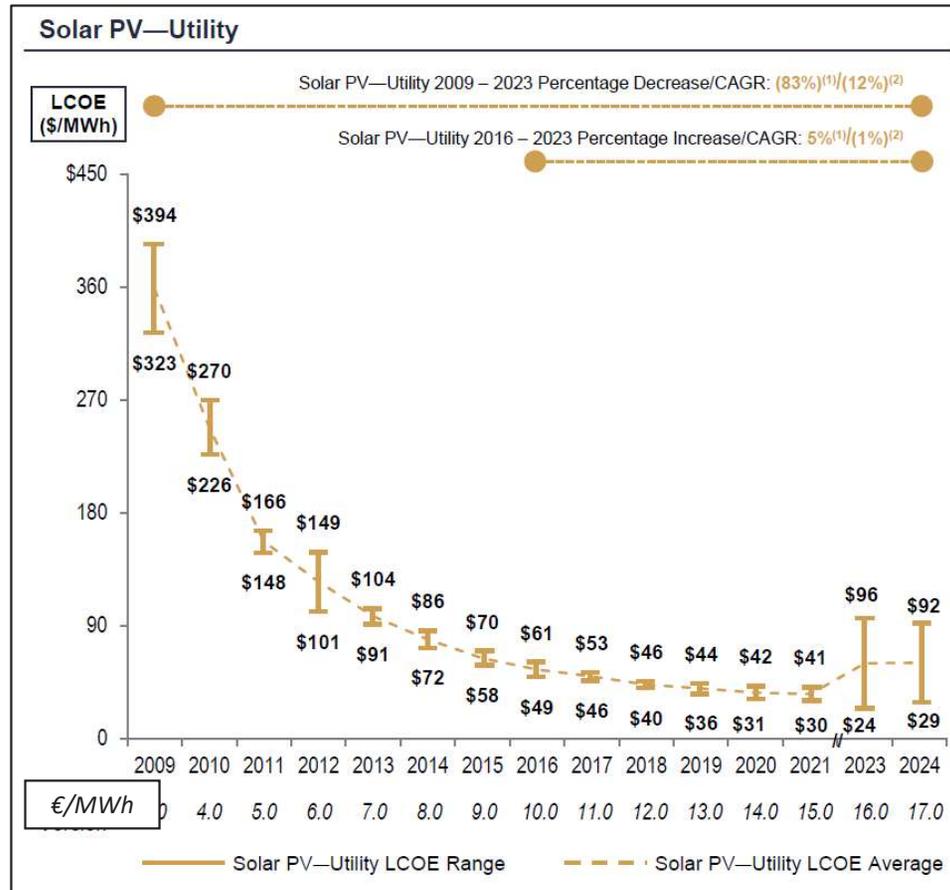
- ✓ **Fabricación:** refinación del silicio.
- ✓ **Transporte e instalación:**
- ✓ Operación y mantenimiento:
- ✓ Fin de vida útil:

**RAEE (Ley 1672 de 2013) y
Resolución 372 de 2009**

Fuente: IEA – International Energy Agency

Costos de la energía solar

Energía Solar



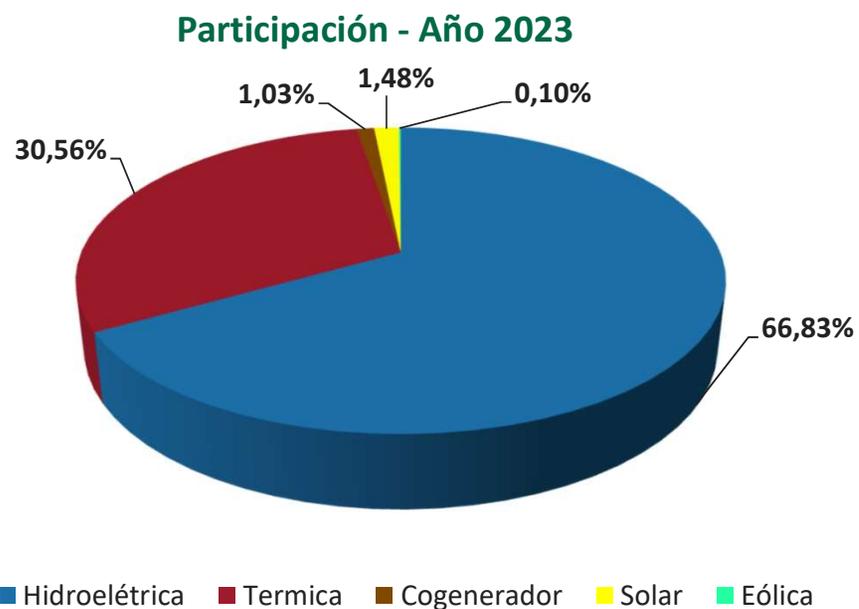
Fuete: LAZARD

Mayor
accesibilidad

Eje económico

Eje Ambiental

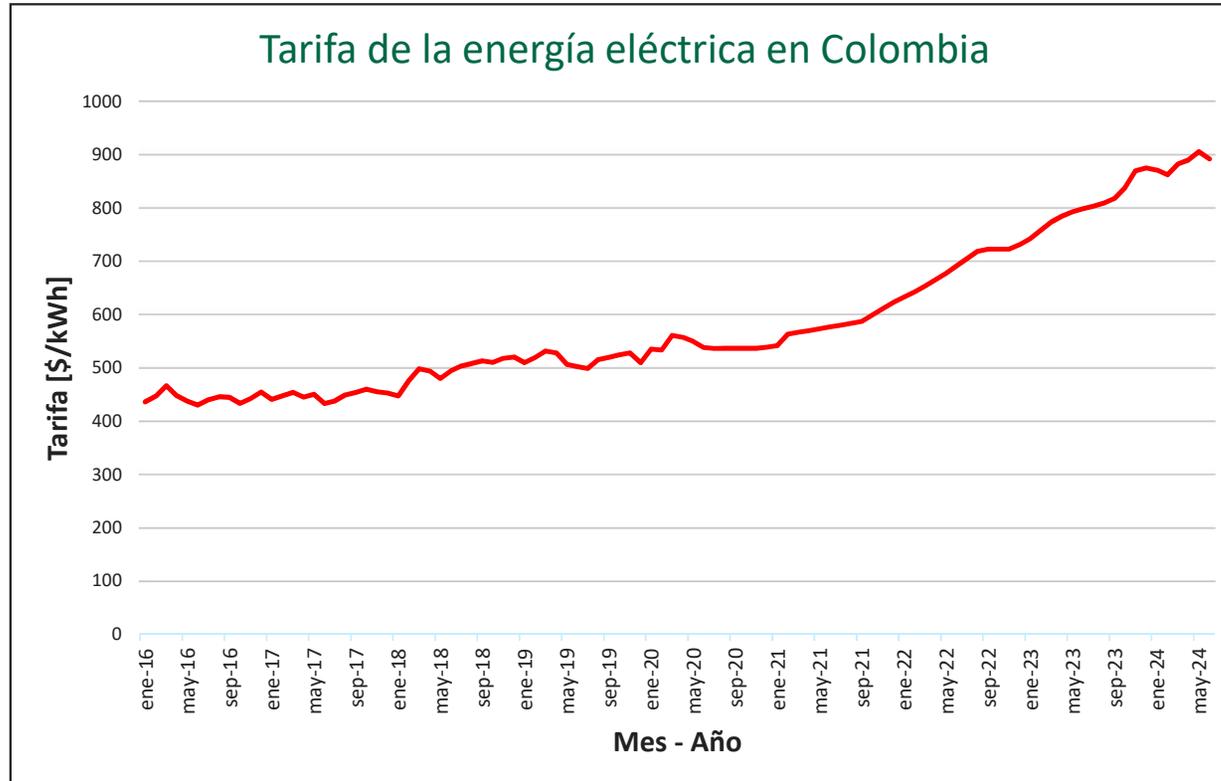
Matriz energética de Colombia



Tipo/Fuente de energía	Capacidad/Efectiva Neta (MW)
Hidroeléctrica	12,55
Térmica	5,74
Cogenerador	0,19
Solar	0,28
Eólica	0,02
TOTAL CAPACIDAD EFECTIVA NETA	18.777,0

Fuente: XM

Costos de la energía eléctrica



← 900 \$/kWh

Incremento de más del 100% en los últimos 9 años

Fuente: www.enel.com.co

Energía eléctrica para el beneficio



Despulpado

- Requerimiento de energía eléctrica en beneficio [0,6 – 1,2] kWh.@CPS⁻¹.



Lavado

- Sistemas monofásicos de energía (110 – 220 VAC).
- Fluctuaciones o caídas de voltaje en zona rural.

➔ **Disponibilidad**



Secado

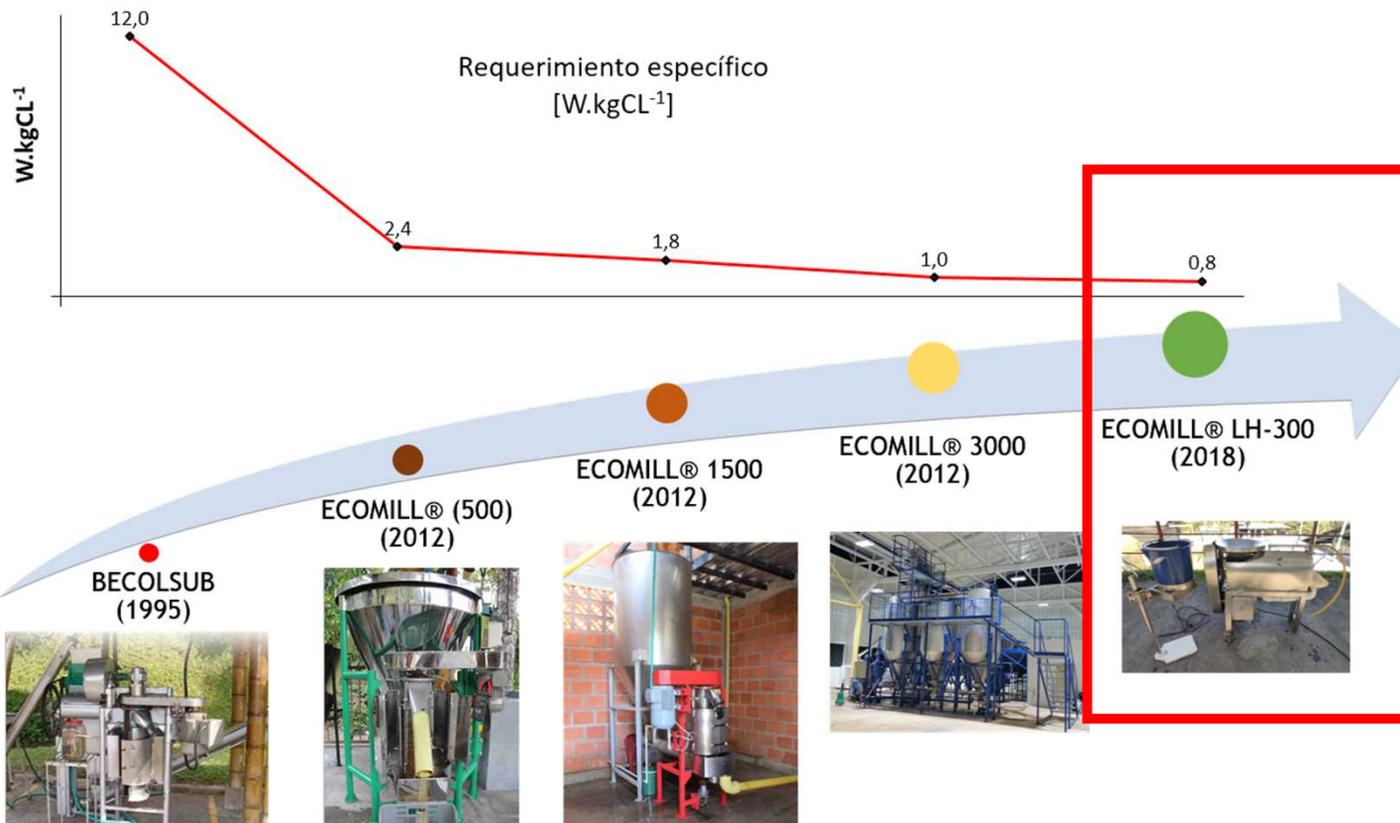
- Incremento de las tarifas de energía eléctrica.

➔ **Calidad**

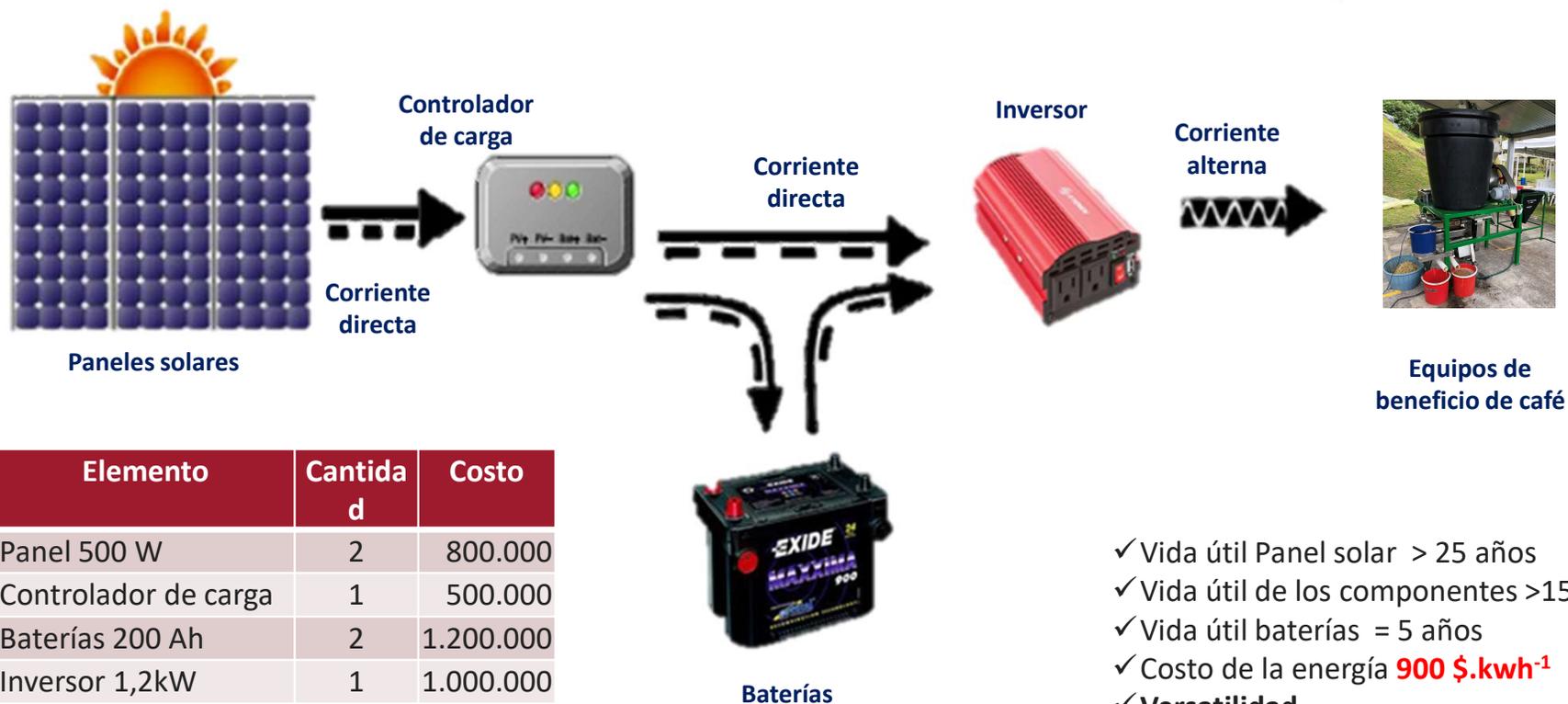
➔ **Costos**

900 \$/kWh

Requerimiento de energía eléctrica en el beneficio de café



Sistema FV aislado (con baterías)



Elemento	Cantidad	Costo
Panel 500 W	2	800.000
Controlador de carga	1	500.000
Baterías 200 Ah	2	1.200.000
Inversor 1,2kW	1	1.000.000
Instalación	1	1.500.000
COSTO TOTAL		7.000.000

- ✓ Vida útil Panel solar > 25 años
- ✓ Vida útil de los componentes >15 años
- ✓ Vida útil baterías = 5 años
- ✓ Costo de la energía **900 \$.kwh⁻¹**
- ✓ **Versatilidad**
- ✓ **Retorno de la inversión 5 años**

Sistema FV conectado a la red eléctrica (sin baterías)



Paneles solares

Inversor

Medidor bidireccional

Corriente directa

Corriente alterna

Red eléctrica convencional

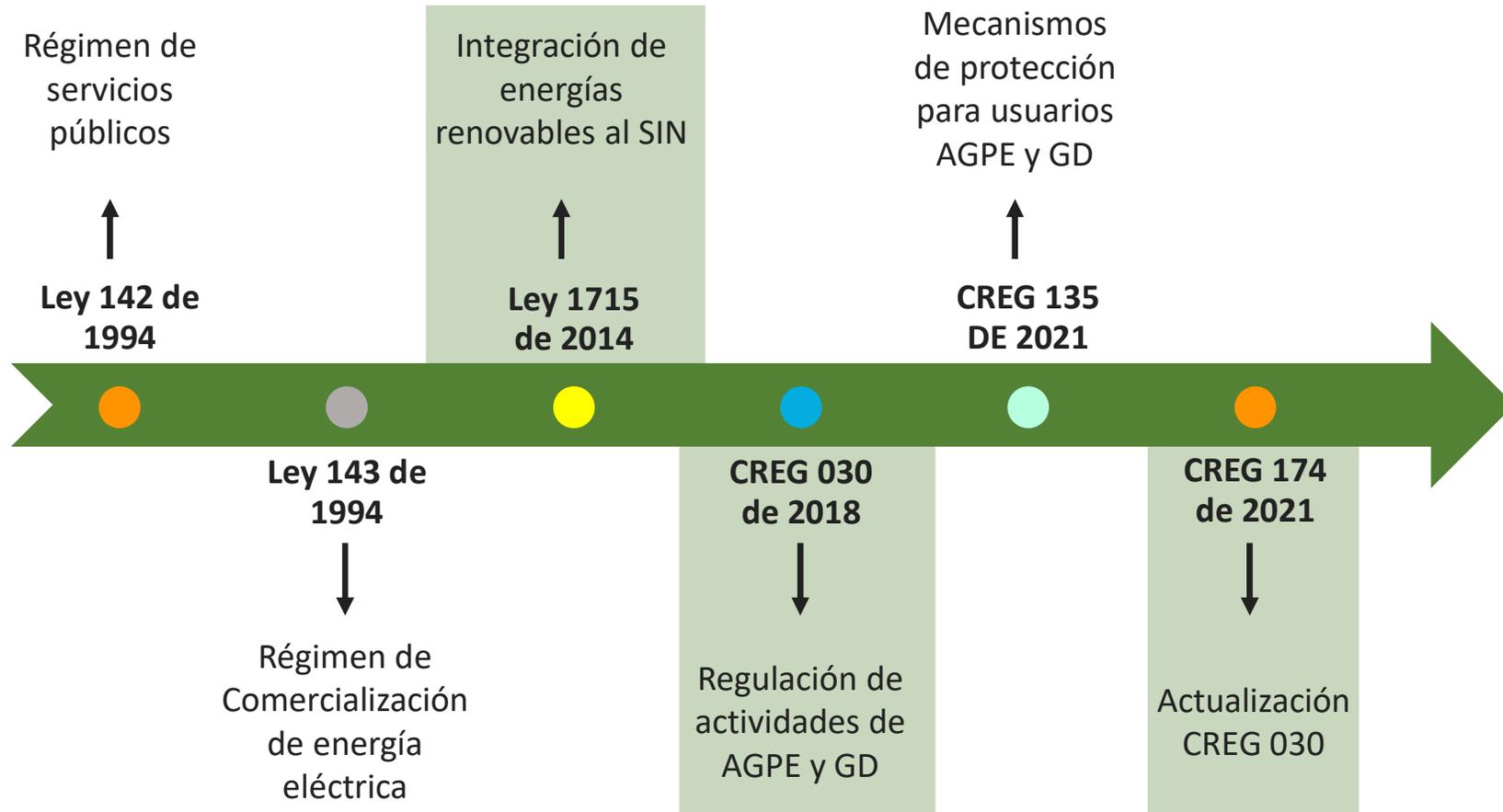


Equipos de Beneficio de café

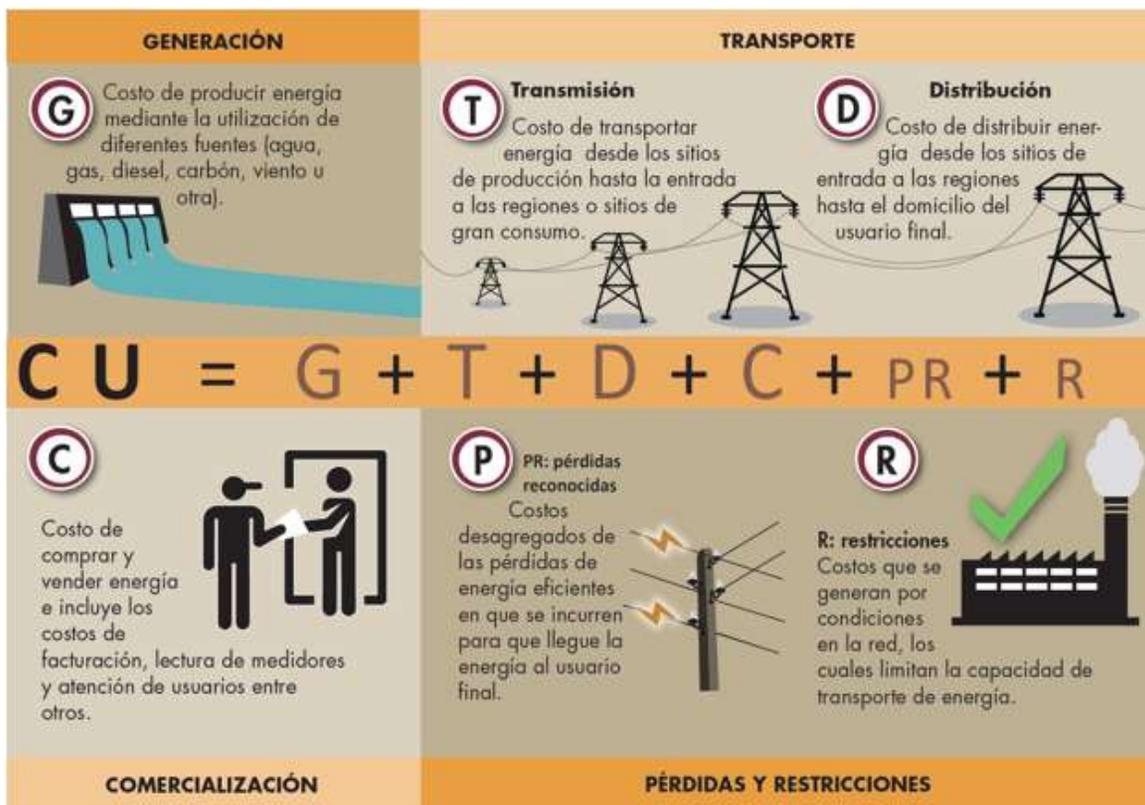
Elemento	Cantidad	Costo
Panel 500 W	2	800.000
Micro Inversor 1,2kW	1	1.200.000
Medidor bidireccional	1	1.000.000
Instalación	1	1.700.000
Certificación RETIE	1	500.000
COSTO TOTAL		6.000.000

- ✓ Vida útil Panel solar > 25 años
- ✓ Vida útil de los componentes >15 años
- ✓ Costo de la energía **900 \$.kwh⁻¹**
- ✓ **Versatilidad**
- ✓ **Retorno de la inversión 4,5 años**

Marco Legal



Costo unitario de la energía eléctrica



Costo Unitario	Costo [\$.kwh ⁻¹]	Porcentaje
Generación [G]	340,28	37,7%
Trasmisión [T]	57,43	6,3%
Distribución [D]	254,89	28,2%
Comercialización [C]	178,06	19,7%
Pérdidas [P]	64,396	7,1%
Restricciones [R]	6,76	0,7%
TOTAL	901,83	100%

Costo unitario de la energía eléctrica



Generar

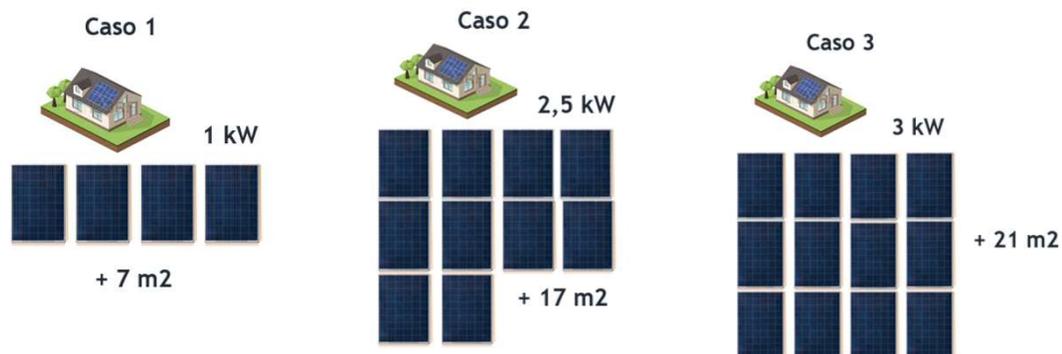
Ahorro = CU
Ahorro = **900 \$.kwh⁻¹**

Exportar

Ahorro = CU - C
Ahorro = **722 \$.kwh⁻¹**

Vender

Ingreso = G - C
Ingreso = **162 \$.kwh⁻¹**



Proyecto POS102004: Evaluación de un sistema de paneles solares para suministro de energía eléctrica en beneficiaderos de café

Cenicafé
Centro Nacional de Investigaciones de Café



Subprograma: POS102-Energías renovables

Ejes económico y ambiental

Definición del problema: Disponibilidad, calidad y costos de la energía eléctrica en las fincas cafeteras

Objetivo:

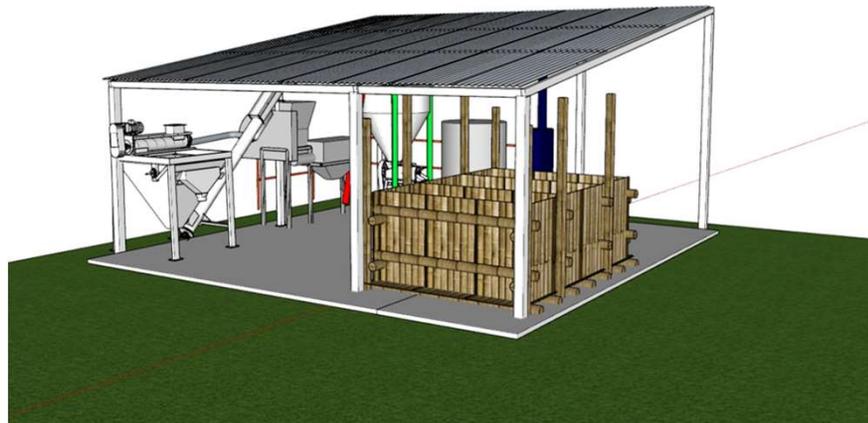
Evaluar un sistema de paneles solares para suministro de energía eléctrica a beneficiaderos de café.

¿Qué solución se propuso para el problema identificado?

OFF-GRID

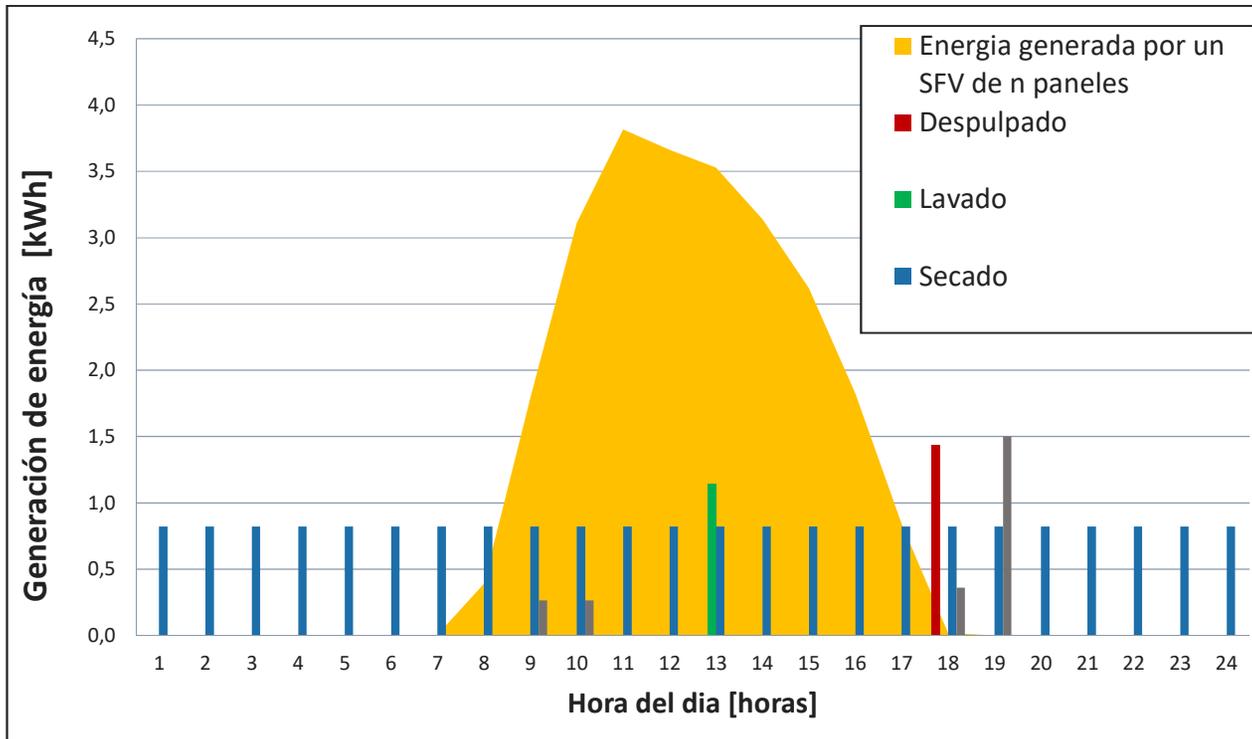


ON-GRID



- Adecuación de beneficiadero para 400@CPS.año⁻¹, diseño e instalación de un sistema de paneles solares.
- Registro de la energía eléctrica generada con dos sistemas de paneles solares.

Diseño del sistema de paneles solares



Capacidad de procesamiento de café con un día Pico 2,5%	
Tipo de café	[kg]
Frutos de café	617,5
Café despulpado	342,5
Café lavado	241,25
Café pergamino	125

Requerimiento de energía en el beneficio	
Equipo	[kWh].día ⁻¹
Despulpado	1,43
Lavado	1,15
Secado	19,8
otros equipos	2,4
TOTAL	24,72

Energía Generada con 18 paneles solares [kwh/día]	24,74
--	--------------

$$kWh_{Eq} = W_{Eq} \times \eta_m \times h_{uso}$$

$$kWh_{generada} = \sum_{i=1}^{24} \frac{rad_i \times \eta_c \times W_p}{rad_{max}} \times \eta_p \times N$$

Construcción del sistema de paneles solares

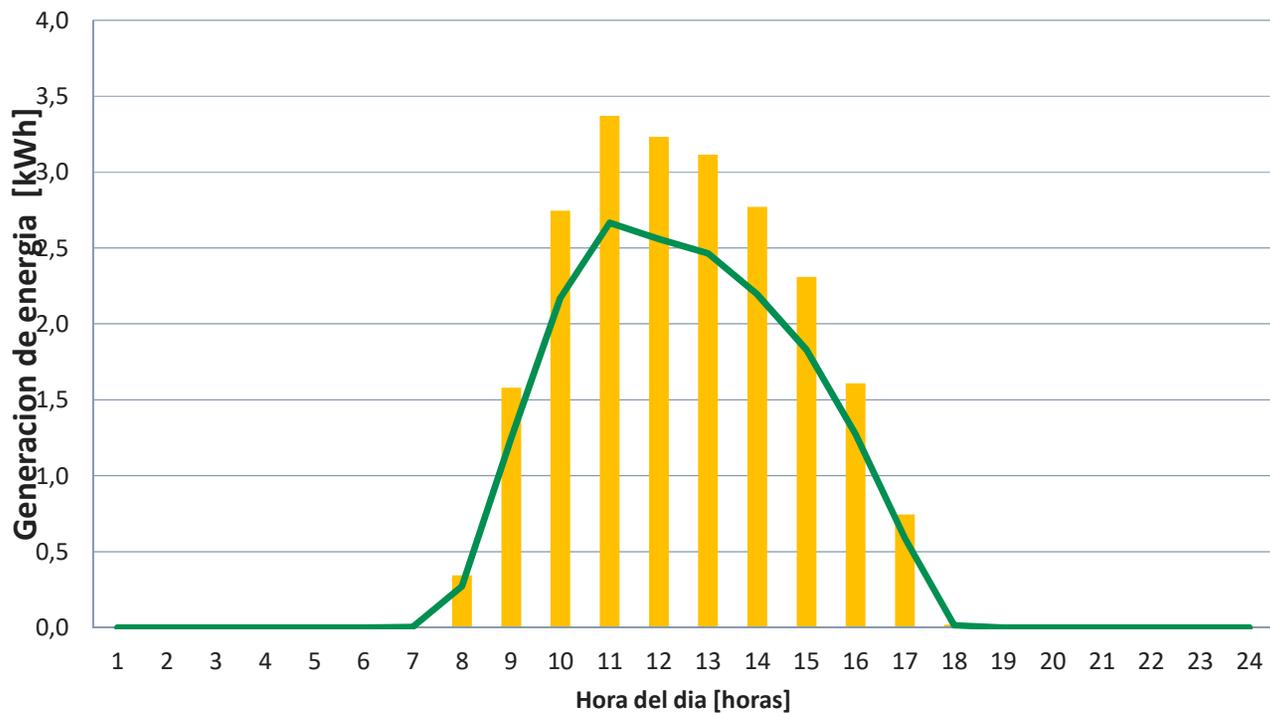


- 18 paneles solares de 250W
- Area de 30 m²
- Inversor de 5,0 kW
- Banco de baterías para uso nocturno

- Sistema Monofásico a 220 VAC

Resultados

Generación de energía con sistema ON-GRID



■ Energía disponible para un sistema de 4,77 kW

— Energía generada por un sistema ON-GRID de 4,77 kW

Inversión Inicial
4,5kw x \$7M = \$31,5M

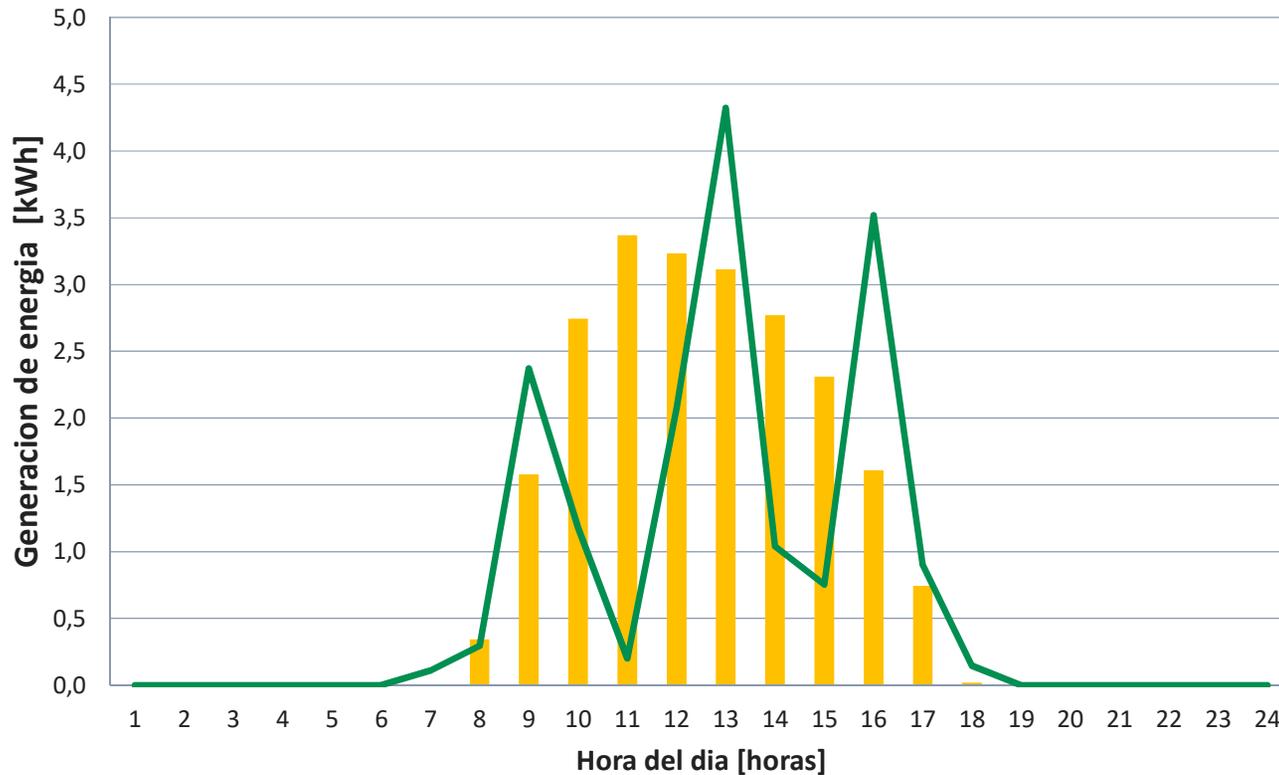
Generación de energía para autoconsumo
21,825 kWh/día
17,29 kWh/día

Tarifa energía \$900 \$/kwh
15.561 \$/día
\$5.679.765 Año

[4 - 4,5] años

Resultados

Generación de energía con sistema OFF-GRID



■ Energía disponible para un sistema de 4,77 kW — Energía generada por un sistema OFF-GRID de 4,77 kW

Inversión Inicial
4,5kw x \$7M = \$31,5M

Generación de energía para autoconsumo
21,825 kWh/día
18,86 kWh/día

Tarifa energía \$900 \$/kwh
16.974 \$/día
\$6.195.510 Año

[5 - 5,5] años

Beneficiadero 100% sostenible

Energía solar



Recolección de
aguas de
lluvia

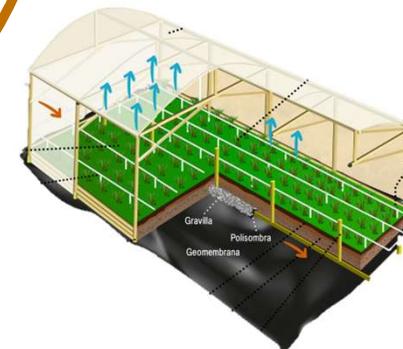
Combustible
carbono
neutro



Beneficio de café



Procesadora
de pulpa y
mucílago



Filtro verde
para cero
descargas

Conclusiones

- Un sistema de generación de energía solar para las fincas cafeteras es viable desde el punto de vista técnico para el uso en equipos de beneficio de café.
- Los tiempos de retorno de la inversión cambian de acuerdo al tipo de sistema y están del orden de los [3,5 hasta los 6 años] dependiendo de las condiciones del mercado
- En caso de tener un sistema aislado de la red eléctrica, se debe sobredimensionar el inversor para soportar el pico de arranque de los motores
- Este tipo de sistemas son completamente versátiles ya existen también inversores híbridos que permiten tener sistemas interconectados a la red y con baterías
- En caso de un sistema interconectado, se debe contar con instalaciones eléctricas que cumplan la norma RETIE.
- Una central de Beneficio puede tener un sistema interconectado con la red eléctrica para disminuir costos de energía

Agradecimientos

Poscosecha

Juan Rodrigo Sanz Uribe.
Aida E Peñuela M.
Samuel Osbaldo López G.
Ricardo José Grisales M.
Juan Carlos Vargas Román
Juan Rodrigo Sanz U.
Cesar Augusto Ramírez G.
Nelson Rodriguez Valencia
Samuel Antonio Castañeda
Cristian David Rendón Londoño
Juan Carlos Ortiz

Gracias 

Cenicafé
Centro Nacional de Investigaciones de Café



The People Company
TIC-Leonardo Velásquez
EXP - Jhon Felix Trejos
BSM – Paulo Alejandro Arias
Robinson Guzman Gonzales
Alejandro Buitrago Carvajal
PFP – Valentina Sepulveda
ECO- Hugo Mauricio Salazar
Dirección de Cenicafé

Cenicafé

Centro Nacional de Investigaciones de Café

Reserva Forestal Protectora Planalto

www.cenicafe.org



Cenicafé FNC



@cenicafe



cenicafé



CenicaféFNC



@cenicafefnc



MÁS FEDERACIÓN