



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones Carrera de Ingeniería en Electromecánica

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN HÍBRIDA PARA LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE CAMPUS GRAL. GUILLERMO RODRIGUEZ LARA”

Trabajo de unidad de integración curricular previo a la obtención del Título de Ingeniero en Electromecánica

Autores: Toalombo Ochoa, Darwin Fernando y Jácome López Dennis Alexander

dftoalombo, dajacome10 [@espe.edu.ec]

Tutora: Ing. Llanos Proaño, Jacqueline del Rosario, MSc, PhD.

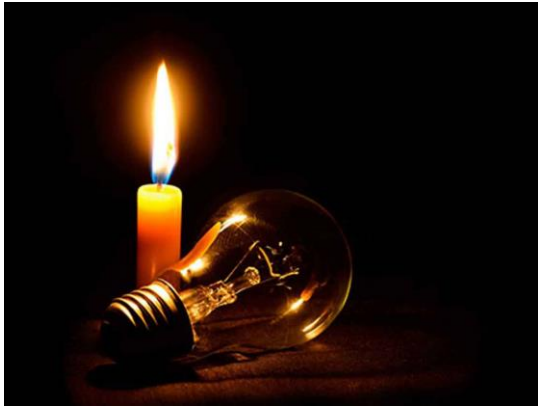
jdllanos1 [@espe.edu.ec]



AGENDA:

- **MOTIVACIÓN**
- **OBJETIVOS**
- **THEORETICAL BACKGROUND**
- **METODOLOGÍA**
- **CASO DE ESTUDIO**
- **ANÁLISIS DE RESULTADOS**
- **CONCLUSIONES**
- **RECOMENDACIONES**





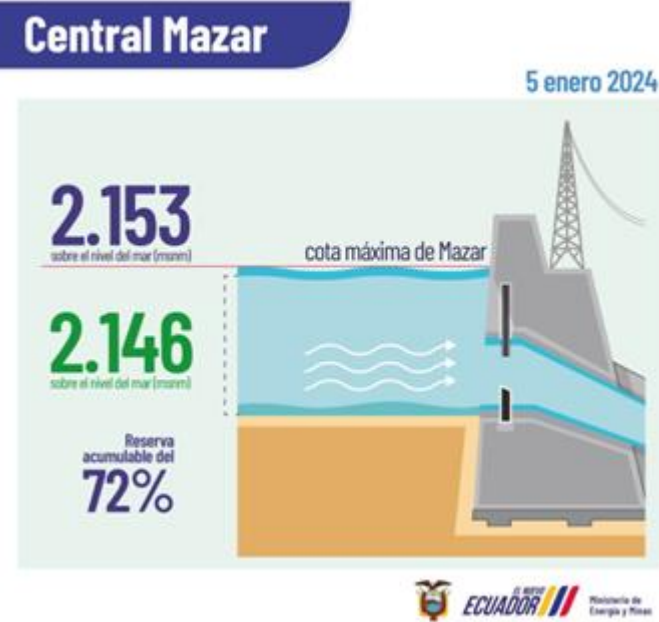
Ecuador enfrenta una sequía debido al llamado *fenómeno del niño*, que afecta a las regiones del país de diferente manera, en la región costa con lluvias constantes y en la región oriental con sequias, en esta última es donde se encuentran situadas el 50% de las plantas generadoras de electricidad, y por ende son las que abastecen la demanda en el país.

El 27 de octubre el gobierno de Ecuador dio a conocer los racionamientos eléctricos continuos, los cuales fueron de cuatro horas en las regiones Sierra y Amazonía, y de tres horas en la región Costa.

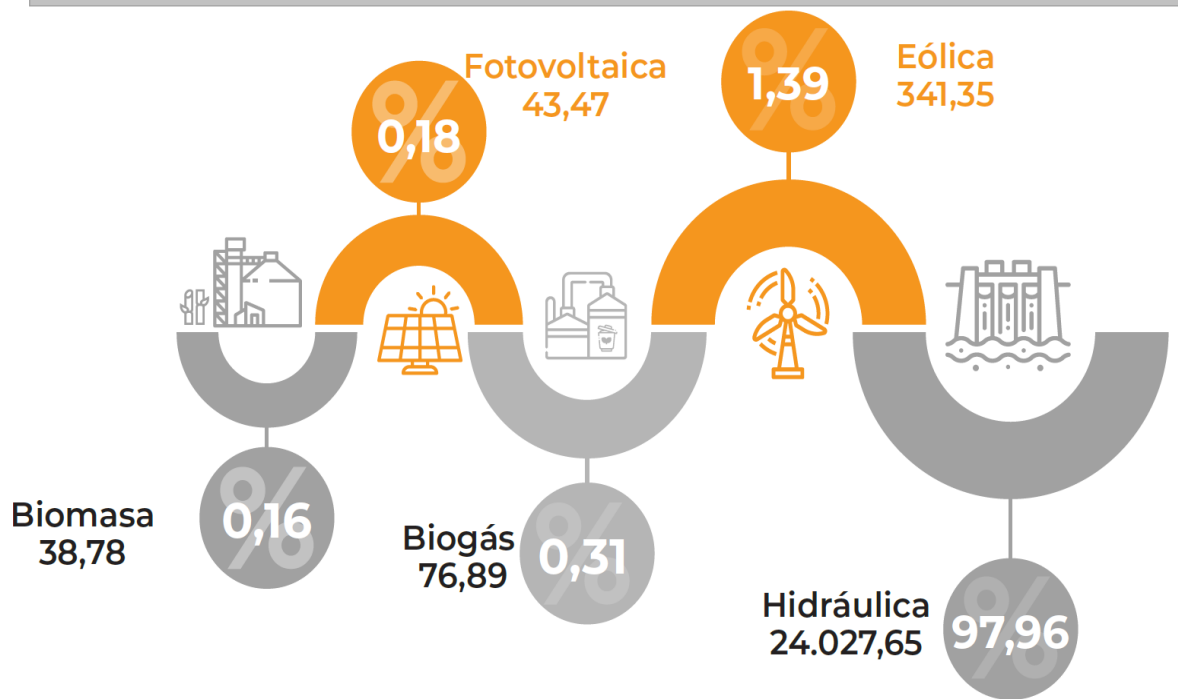
Los horarios previstos de corte de energía eléctrica fueron establecidos por las empresas eléctricas de cada región, desde las 07:00 a.m a 06:00 p.m, descartando los apagones en la noche o madrugada debido a la inseguridad que vive el país. Las empresas eléctricas dosificaron los apagones y crearon cronogramas de los cortes de energía eléctrica a través de sus sitios web.

La Cámara de Comercio de Guayaquil estima que el sector productivo ya ha perdido USD 438 millones debido a los cortes sucedidos.





Energía renovable a febrero 2023 (GWh), a febrero 2023



Ante la crisis energética que enfrenta el país, la central Mazar garantizó el abastecimiento de energía eléctrica mientras que Coca Codo Sinclair entró en mantenimiento los días 6 y 7 de enero de 2024. La central Mazar el 5 de enero presentó una cota en la represa de 2,146 metros sobre el nivel del mar (msnm), lo que resulta favorable para el abastecimiento de energía eléctrica al país



Países que mejor aprovechan las energías renovables

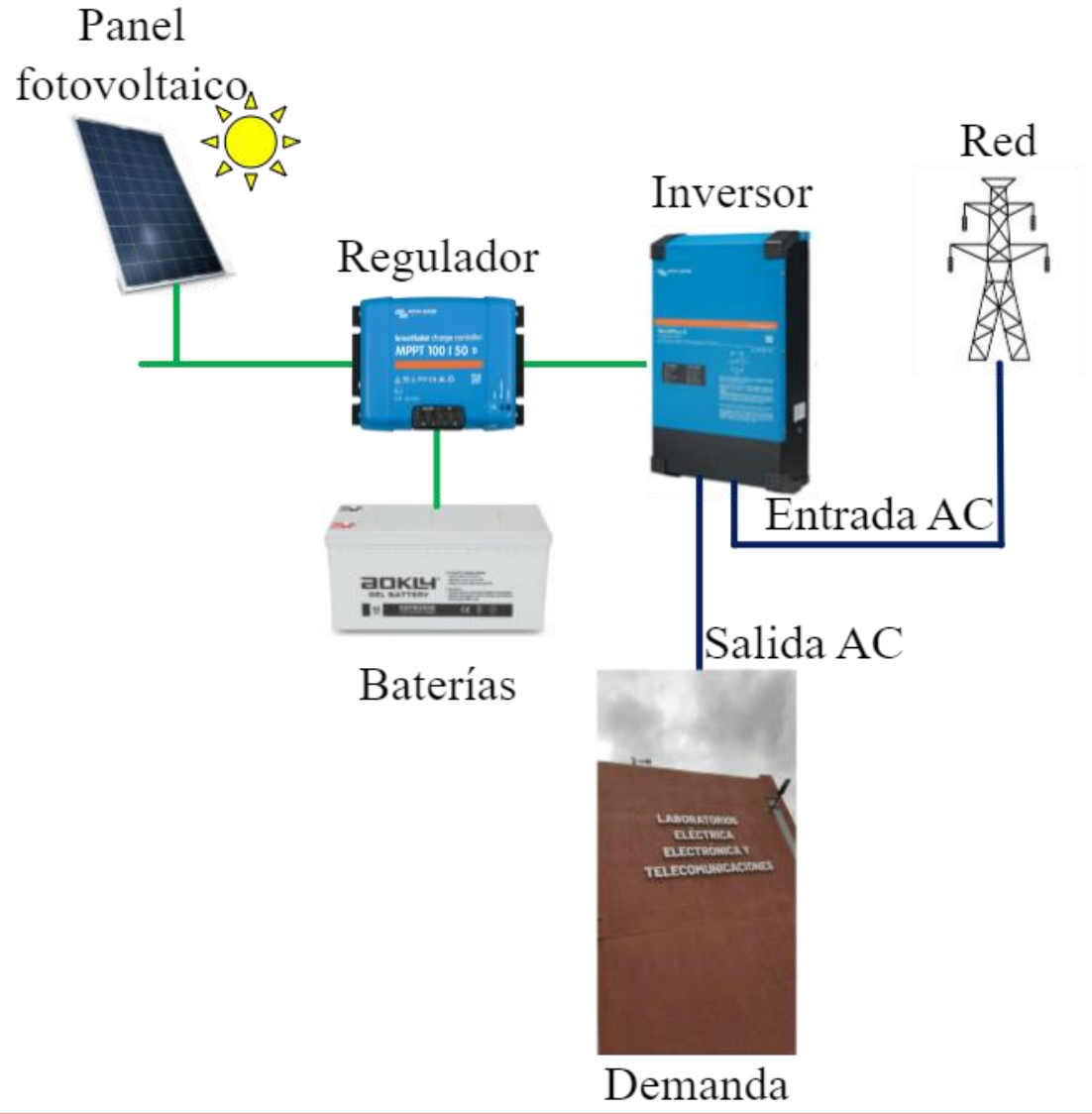
Las energías renovables juegan un papel importante ante cortes de luz, una de ellas es aprovechar la energía solar haciendo uso de los paneles solares con sistemas de almacenamiento de energía, así como la implementación de microrredes, sistemas híbridos y generación distribuida

Alemania se ha convertido en el líder mundial, por excelencia, en la producción de energías renovables. El camino que tomó el país es de abastecer a todo el país generando su propia energía, siendo la solar la primera fuente de generación. Este país ha logrado cubrir casi al 100% de la demanda eléctrica de su país con el uso de energías limpias.

Finlandia es uno de los países que está apostando por la energía solar en 2008 el precio de los paneles solares en Finlandia cayó 80% lo que hizo que muchos aprovecharan el costo para instalarlos tanto en el sector residencial como en el comercial.

China desarrolla energía solar y eólica en potencia y, según el Instituto Alemán para la Investigación Económica, ha tomado liderazgo por encima de Europa, aún no logra un funcionamiento total del país con el uso de las energías sostenibles, pero camina a pasos agigantados para que así sea en 2050





Los laboratorios del campus Belisario Quevedo también fueron expuestos a los apagones y como solución a esto se propone adoptar un sistema híbrido de generación eléctrica, para ello se podría satisfacer la demanda en el Laboratorio de Energías Renovables mediante la implementación de sistemas híbridos de generación.

Gracias a que estos sistemas pueden estar basados en baterías y paneles fotovoltaicos que se conectan a la red, para así poder garantizar un suministro continuo y estable.



Campus Guillermo Rodríguez Lara, sede Latacunga



AGENDA:

- MOTIVACIÓN
- OBJETIVOS
- THEORETICAL BACKGROUND
- METODOLOGÍA
- CASO DE ESTUDIO
- ANÁLISIS DE RESULTADOS
- CONCLUSIONES
- RECOMENDACIONES



Objetivo General

- Diseñar e implementar un sistema de generación híbrida para la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE en el campus Gral. Guillermo Rodríguez Lara.

Objetivos Específicos

- Recopilar la suficiente información relevante para el diseño de un sistema de generación híbrida.
- Realizar el diseño del sistema de generación fotovoltaica híbrida que estará conectado a la red.
- Analizar los métodos de diseño, tradicional y óptimo del sistema híbrido.
- Comparar los métodos tradicional y óptimo para su respectiva implementación.
- Realizar un análisis de costos, para la implementación del sistema de generación híbrida.
- Implementar el sistema de generación híbrida.



AGENDA:

- MOTIVACIÓN
- OBJETIVOS
- THEORETICAL BACKGROUND
- METODOLOGÍA
- CASO DE ESTUDIO
- ANÁLISIS DE RESULTADOS
- CONCLUSIONES
- RECOMENDACIONES



Theoretical Background

¿Qué es una micro-red?

Una micro-red es un conjunto de generadores distribuidos y sistemas híbridos de generación que operan en forma coordinada para abastecer demanda.

Estos sistemas son la respuesta al crecimiento de la demanda energética en el planeta, haciendo uso de las energías renovables. Las microrredes pueden ser conectadas a la red y sean masificadas o desconectadas de la red, ya que son implementados para abastecer una demanda local o para el propio consumo donde hay zonas de difícil accesibilidad a la red eléctrica pública. Para así abordar problemas de suministro eléctrico o cortes de energía.



Theoretical Background

Sistemas híbridos

Dos o más sistemas de generación de energía se combinan en una sola instalación para la generación de energía eléctrica

Una configuración típica de los sistemas híbridos puede constar de:

Sistemas de acondicionamiento de potencia



Inversores, reguladores de carga

Sistemas de regulación y control



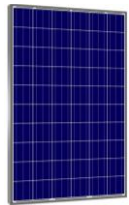
Subestaciones

Sistemas de almacenamiento



Baterías

Unidades de generación de fuentes renovables



Fotovoltaica



Eólica



Hidráulica

Generación convencional



Basados en combustibles fósiles

Carga



Estos sistemas pueden funcionar de manera aislada o conectada a la red



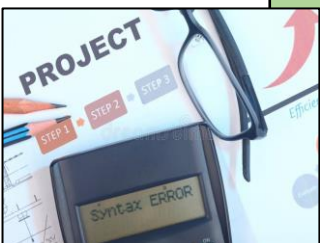
Diseño y dimensionamiento de un sistema híbrido

Dimensionamiento tradicional

Se realiza el diseño de un sistema híbrido, mediante un proceso matemático, ya que se considera varios inputs (datos) para poder realizar el dimensionamiento de los componentes en función de ecuaciones y cálculos analíticos además de simplificaciones.

- Caracterización de la demanda
- Independientemente del generador se debe evaluar el recurso el cual puede ser hídrico, solar o eólico.
- Dimensionamiento de unidades de generación (datos técnicos)

El modelo tradicional se lo puede realizar de manera manual mediante las ecuaciones respectivas de dimensionamiento y este método esta vinculado a sistemas aislados.



Dimensionamiento optimizado

Este modelo se basa en el análisis de los diferentes inputs (datos) formulando el problema de optimización mediante ecuaciones y restricciones, usando métodos de optimización como el estocástico o el determinístico.

- Caracterización de la demanda
- Independientemente del generador se debe evaluar el recurso el cual puede ser hídrico, solar o eólico.
- Dimensionamiento de unidades de generación (datos técnicos)

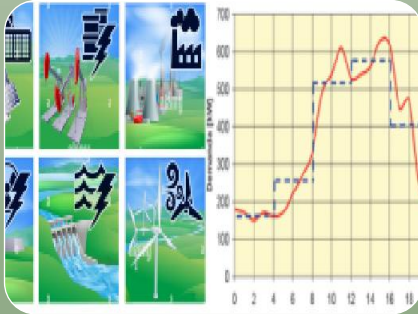
Después de formular el problema de optimización del sistema híbrido, se hace uso de un software para poder resolver el problema de optimización el cual es FICO® Xpress.

Inputs

FICO® Xpress Optimization



Modelo tradicional



Recolección y levantamiento de información

- Caracterización de la demanda
- Independientemente del generador, adquisición del recurso (hídrico, solar, eólico) disponible para el dimensionamiento de los diferentes dispositivos



Dimensionamiento de las unidades de generación

- Generador (fotovoltaico, hidroeléctrico, eólico)
- Inversor
- Regulador
- Baterías

Diseño y dimensionamiento de un sistema híbrido

Modelo optimizado

Determinístico: Se fundamenta en decisiones y datos en los que no se considera la presencia de incertidumbre. En ciertos casos puede considerarse, pero se aleja de la realidad, ya que la mayoría de los sistemas involucran datos que están sujetos a variabilidad y aleatoriedad.

Estocasticidad o incertidumbre: Se considera como la falta de conocimiento sobre cómo ocurrirán los eventos en el futuro. Los modelos estocásticos incorporan datos, estadísticas e historiales para permitir la toma de decisiones óptimas en función de esta incertidumbre. Estos modelos son especialmente relevantes para sistemas híbridos, como los datos energéticos (hídricos, eólicos o solares), donde la variabilidad es inherente a la naturaleza de las fuentes de energía.

En un modelo energético, las decisiones importantes suelen tener incertidumbre en los datos. Para tomar decisiones acertadas, es necesario modelar adecuadamente la incertidumbre y sus consecuencias. Los modelos estocásticos permiten controlar la inestabilidad de los resultados.

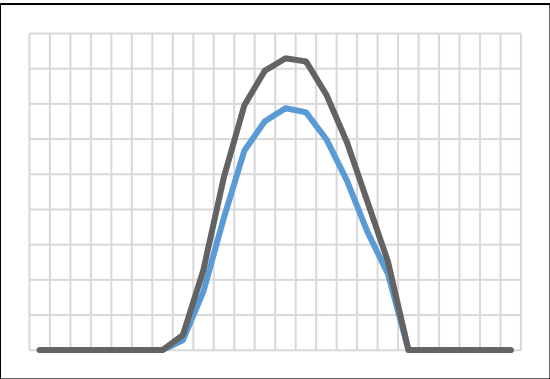


Theoretical Background

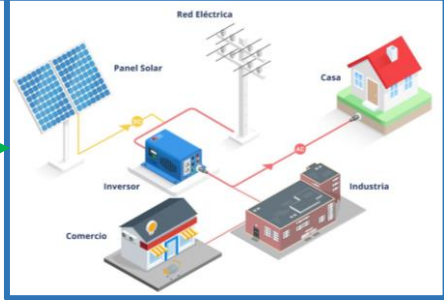
Diseño y dimensionamiento de un sistema híbrido-Modelo Optimizado

Determinístico, Toma la variable recurso como un promedio dando como resultado una sola curva, suponiendo la variable conocida con certeza.

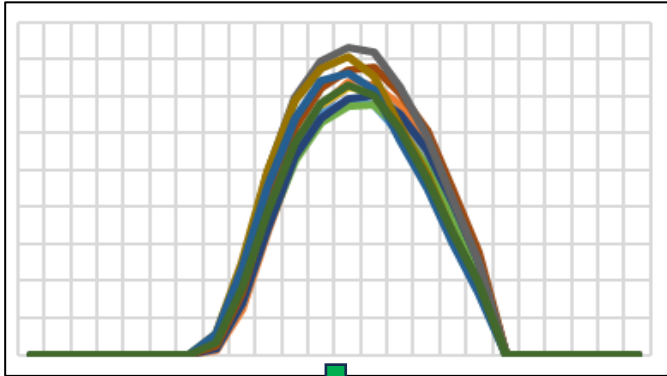
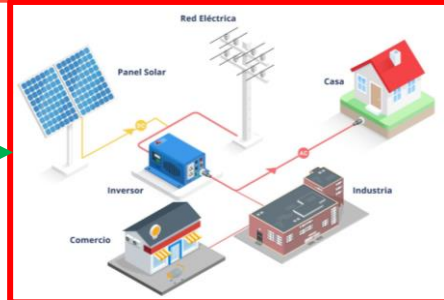
Estocástico, Toma la variable recurso como varias curvas, tomando en cuenta la incertidumbre donde esta puede variar con el tiempo.



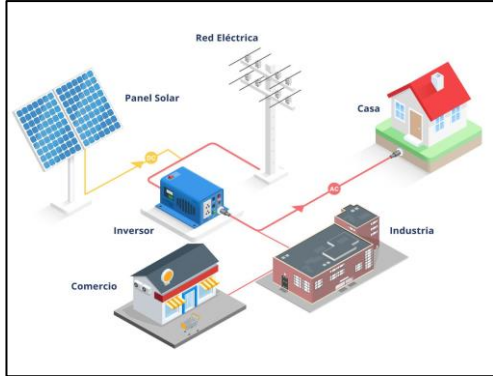
Sistema sobre dimensionado



Sistema sub dimensionado



Sistema óptimo, donde el sistema conste con el número de generadores y unidades de almacenamiento adecuados



AGENDA:

- MOTIVACIÓN
- OBJETIVOS
- THEORETICAL BACKGROUND
- METODOLOGÍA
- CASO DE ESTUDIO
- ANÁLISIS DE RESULTADOS
- CONCLUSIONES
- RECOMENDACIONES



Evaluación de información

Se recopila la información necesaria, que permita dimensionar los sistema híbridos, en base a curvas características, estudio de la demanda y caracterización de la misma.

Dimensionamiento Tradicional: Este modelo permite diseñar el sistema de generación en base a un procedimiento matemático definido por ecuaciones.

Procedimiento: Se deben seguir una serie de pasos que involucran ecuaciones para dimensionar el sistema híbrido. Estas ecuaciones permiten determinar la potencia, energía y componentes necesarios para el sistema

Modelo Optimizado: Este modelo implica aprovechar la predictibilidad estadística del rendimiento solar, la demanda en el sistema. Maximizando la eficiencia energética y reduciendo los costos.

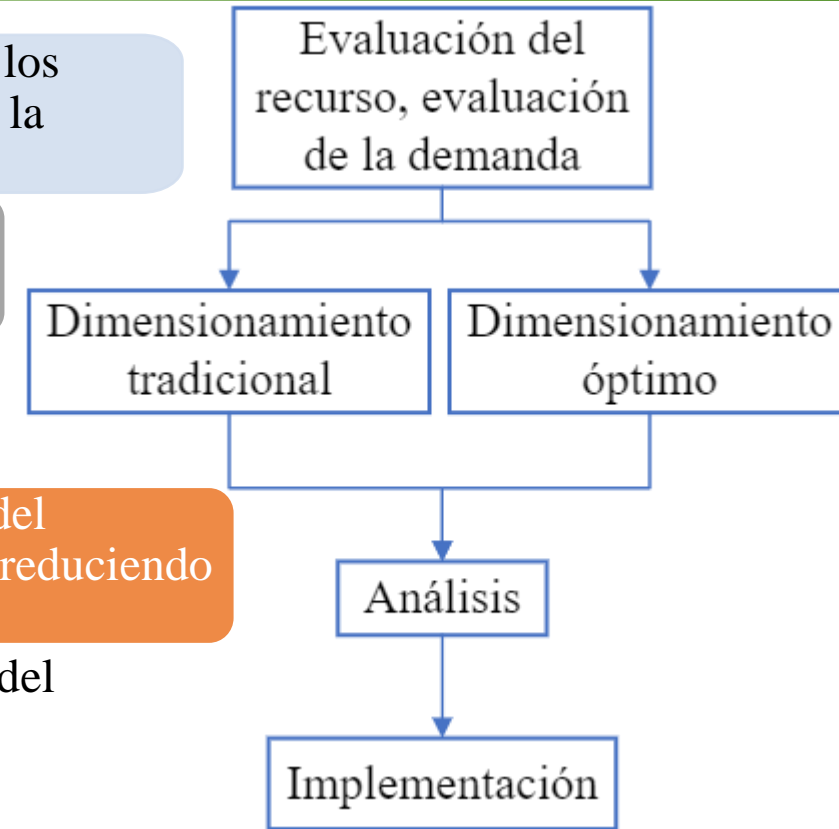
- **Función Objetivo:** busca minimizar los costos de inversión de los componentes del sistema híbrido como el costo operativo a lo largo del horizonte
- **Restricciones:** son ecuaciones para el dimensionamiento del inversor, baterías, y paneles fotovoltaicos. Pueden ser de igualdad o desigualdad

Análisis

Compara los diseños, tanto el dimensionamiento tradicional como el optimizado.

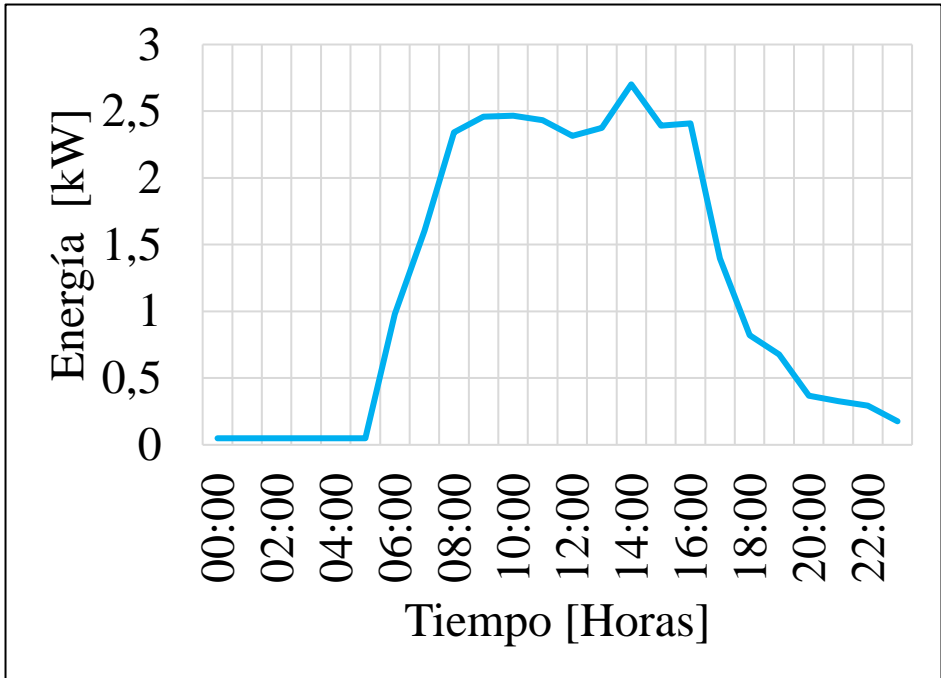
Implementación

En base al análisis de los diferentes modelos se toma la decisión con la menor inversión y que logre producir la energía necesaria.

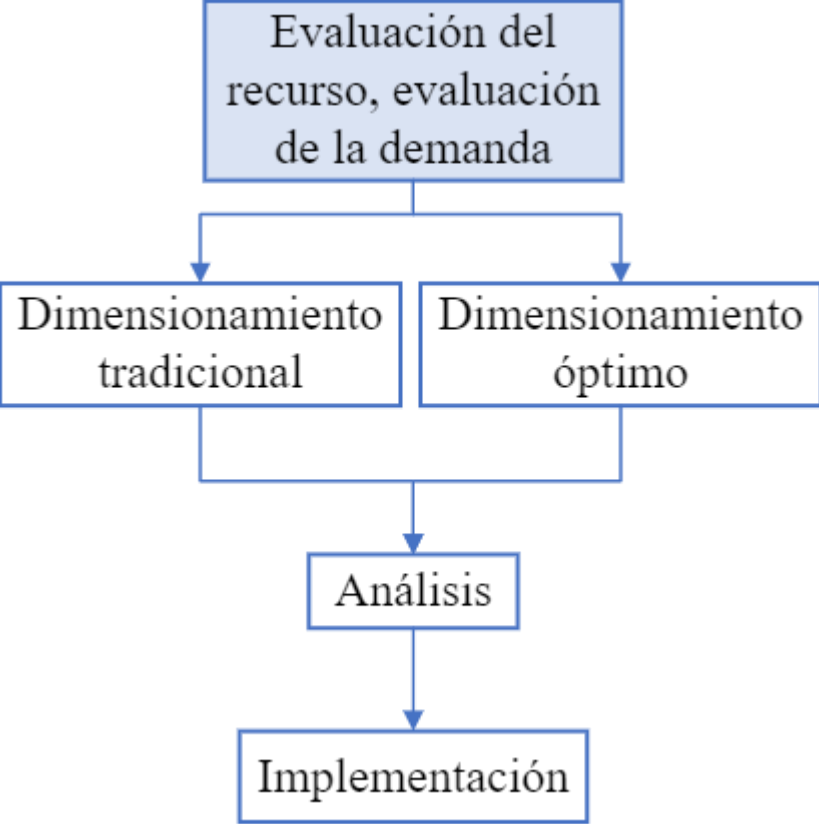


Se realiza un levantamiento de información y recolección de datos

Caracterización de la demanda diaria



Evaluación del recurso primario de energía, en este caso solar



Dimensionamiento tradicional

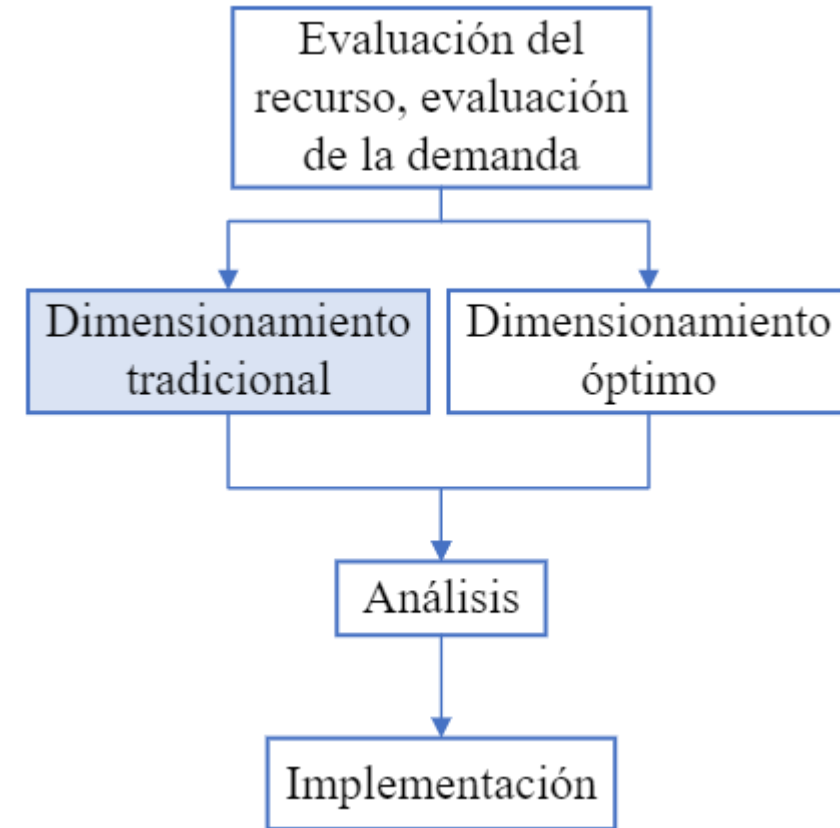
Procedimiento sistema aislado Horas Sol Pico HSP

1. Analizar los elementos de consumo, potencias y utilización de los mismos

DEMANDA CA				
N.º de unidades	Tipo	Potencia [W _{AC}]	Horas / día	Consumo diario [Wh/día]
1	Laboratorio	28813	1	28813
Total		28813		28813

2. Cálculo de la energía total, requerida diariamente

$$E_T = E_{CC} + \left(\frac{E_{CA}}{\eta_{Inv}} \right)$$



Dimensionamiento tradicional

Procedimiento sistema aislado Horas Sol Pico HSP

3. Cálculo de las Horas Sol Pico (HSP)

Horas de Sol Pico [kWh/m ²]						
Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
	5,01	5,03	4,90	4,89	4,78	4,71
HSP	5,01	5,03	4,90	4,89	4,78	4,71

Horas de Sol Pico [kWh/m ²]						
Meses	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
	4,94	5,51	5,88	5,44	5,11	4,89
HSP	4,94	5,51	5,88	5,44	5,11	4,89

4. Determinación del rendimiento genérico de la instalación

$$R = (1 - k_B - k_C - k_D) \left(1 - k_V \cdot \left(\frac{N}{P_D} \right) \right)$$

5. Cálculo de la energía diaria que debe recibir el acumulador

$$E = E_T / R$$

6. Cálculo de la capacidad útil y total del acumulador

$$C_U = E \cdot N / V_{NS}$$

$$C = C_U / P_D \cdot K_T$$



Dimensionamiento tradicional

Procedimiento sistema aislado Horas Sol Pico HSP

7. Cálculo de número de acumuladores en serie

$$A_S = \frac{V_{NS}}{V_{NA}}$$

8. Cálculo del número de grupos de acumuladores en paralelo

$$A_p = \frac{C}{C_{NA}}$$

9. Cálculo del número total de acumuladores

$$A_T = A_S \cdot A_p$$

10. Cálculo de potencia del generador fotovoltaico

$$E_G = E/\eta_R$$

11. Cálculo de la potencia nominal del generador fotovoltaico

$$P_N = \frac{E_G}{(HSP \cdot \eta_G)}$$

12. Cálculo del número de módulos en serie del generador fotovoltaico

$$M_S = \frac{V_{NS}}{V_{NM}}$$

13. Cálculo del número de módulos en paralelo del generador fotovoltaico

$$M_p = \frac{P_N}{M_S \cdot P_p}$$

14. Cálculo del número total de módulos y potencia pico instantánea

$$M_T = M_S \cdot M_p$$

$$P_{NI} = M_T \cdot P_p$$

15. Comprobación de compatibilidad entre el generador FV y el acumulador

$$I_{CCG} = I_{CC} \cdot M_p$$

$$C/25$$

16. Cálculo del regulador e intensidad de entrada del regulador

$$I_{PG} = M_p \cdot I_p$$

$$I_R = I_{PG} \cdot 1.25$$

17. Cálculo del inversor

$$P_{NI} = \frac{P_S}{\eta}$$



Dimensionamiento Optimizado

Resolución por el método estocástico

Formulación del problema de optimización

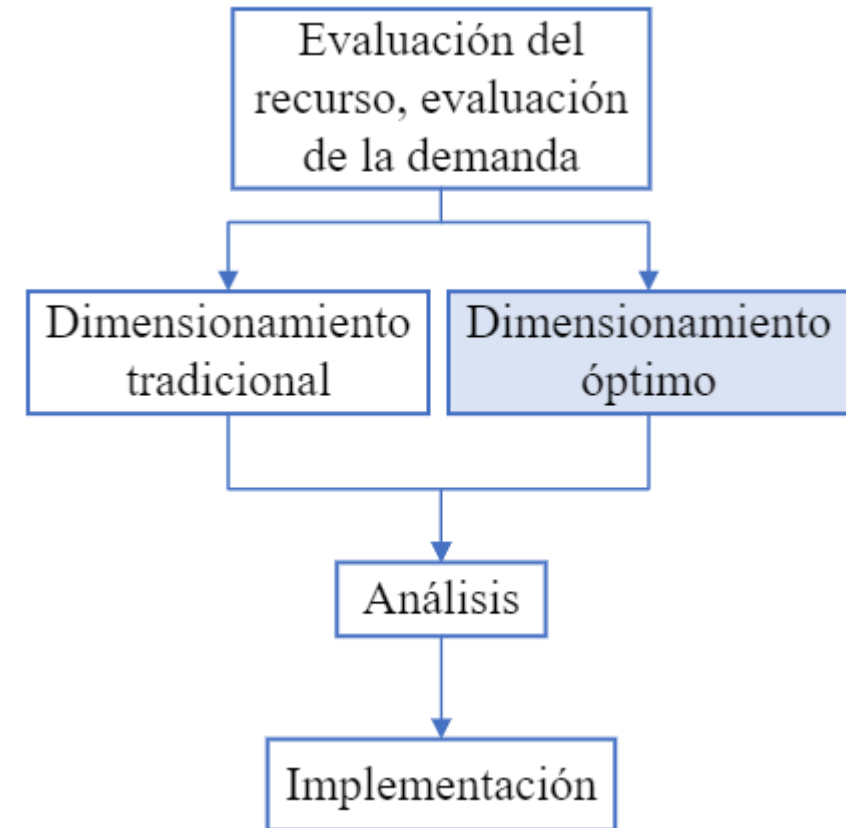
1. Función objetivo

Minimizar los costos de inversión y costos de operación

$$\text{Min}\{CI + CO\}$$

$$CI = \frac{FRC}{8760} \cdot T \cdot (C^{fv} \cdot x^{fv} + C^{bat} \cdot x^{bat} + C^{inv} \cdot p^{inv})$$

$$CO = \frac{1}{N} \cdot \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T (C^{des} \cdot p_{n,t}^{des} + C^{red} \cdot p_{n,t}^{red} + C^{ens} \cdot p_{n,t}^{ens} + C^{ver} \cdot p_{n,t}^{ver})$$



Dimensionamiento Optimizado

2. Modelación del sistema fotovoltaico

Inyección de potencia activa esperada de un sistema fotovoltaico

$$p_{n,t}^{fv} = x^{fv} \cdot \bar{p}^{fv} \left(\frac{I_{n,t}}{1000 \left[\frac{W}{m^2} \right]} \cdot \left(1 - \alpha \cdot (T_{n,t}^{cel} - 25[^\circ C]) \right) \right) \cdot n_{inv}$$

$$\forall n \in N, \forall t \in T$$

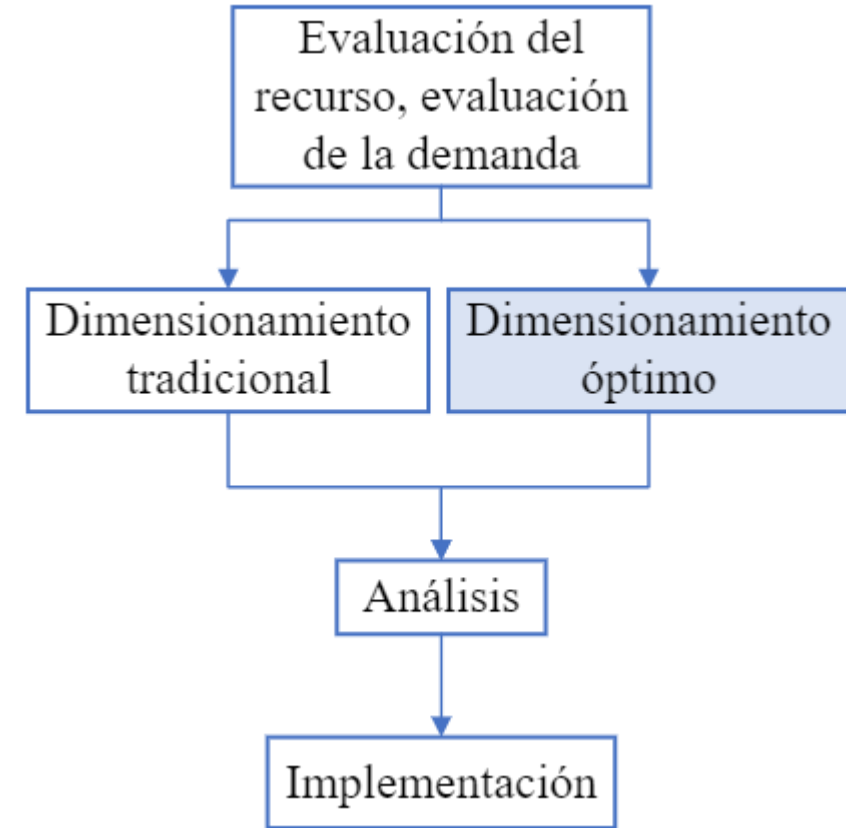
• La temperatura de las células solares

$$T_{n,t}^{cel} = T_{n,t}^a + \frac{I_{n,t}}{800 [W/m^2]} [NOCT - 20[^\circ C]]$$

$$\forall n \in N, \forall t \in T$$

• Cantidad de paneles a instalar

$$x^{fv} \cdot A^{fv} \leq A^{max}$$



Dimensionamiento Optimizado

3. Modelamiento del BESS

$$p^{bess} = \frac{x^{bat} \cdot V^{bat} [v] \cdot I^{bat} [Ah]}{1000}$$

Cantidad inicial de energía en la batería

$$E_0 = SOC_0 p^{bess}$$

Energía disponible

$$E_{n,t} = E_0 - \frac{p_{n,t}^{des}}{n_{inv}} + n_{inv} \cdot p_{n,t}^{car}$$

$$\forall n \in N, \forall t = 1 \in T$$

$$E_{n,t} = E_{n,t-1} - \frac{p_{n,t}^{des}}{n_{inv}} + n_{inv} \cdot p_{n,t}^{car}$$

$$\forall n \in N, \forall t \geq 1 \in T$$

Restricciones BESS

Número de baterías en serie

$$x^{bat} = \frac{V^{diseño}}{V^{bat}} \cdot y^{bat}$$

Limitaciones de carga y descarga (Desacople Big M)

$$0 \leq p_{n,t}^{des} \leq (1 - B_{n,t}) \cdot M$$

$$0 \leq p_{n,t}^{car} \leq B_{n,t} \cdot M$$

Estado de carga (mín 20% y máx 90%)

$$0.2 \cdot p^{bess} \leq E_{n,t} \leq 0.9 \cdot p^{bess}$$

Variable binaria de decisión

$$\forall n \in N, \forall t \in T$$

$$B_{n,t} \in \{0,1\}$$



Dimensionamiento Optimizado

4. Modelación del inversor

$$p_{n,t}^{fv} - p_{n,t}^{car} + p_{n,t}^{des} \leq p^{inv}$$

$$\forall n \in N, \forall t \in T$$

5. Ecuación de balance

$$p_{n,t}^{fv} + p_{n,t}^{des} - p_{n,t}^{car} + p_{n,t}^{red} = p_{n,t}^{dem} - p_{n,t}^{ens} + p_{n,t}^{ver}$$

$$\forall n \in N, \forall t \in T$$

Restricciones

$$0 \leq p_{n,t}^{ens} \leq p_{n,t}^{dem}$$

$$p_{n,t}^{ver} \leq p_{n,t}^{fv}$$

$$ENS \leq p_{n,t}^{dem}$$

$$\forall n \in N, \forall t \in T$$

Restricción para análisis con conexión a la red

$$p^{red} \leq 0$$

Se considera un sistema *aislado y conectado* a la red ya que es necesario tener una micro-red que como mínimo tenga un día de autonomía desconectado de la red por problemas de suministro de energía actuales que vive el país

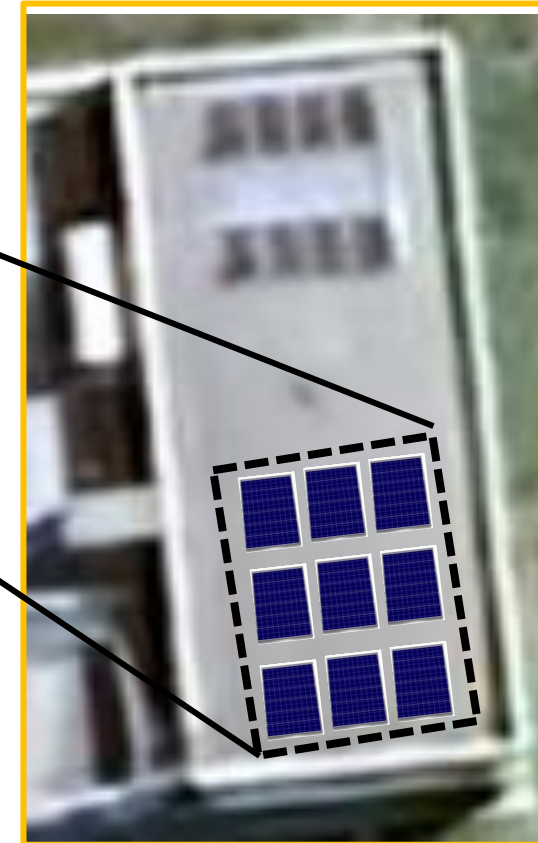


AGENDA:

- MOTIVACIÓN
- OBJETIVOS
- THEORETICAL BACKGROUND
- METODOLOGÍA
- CASO DE ESTUDIO
- ANÁLISIS DE RESULTADOS
- CONCLUSIONES
- RECOMENDACIONES



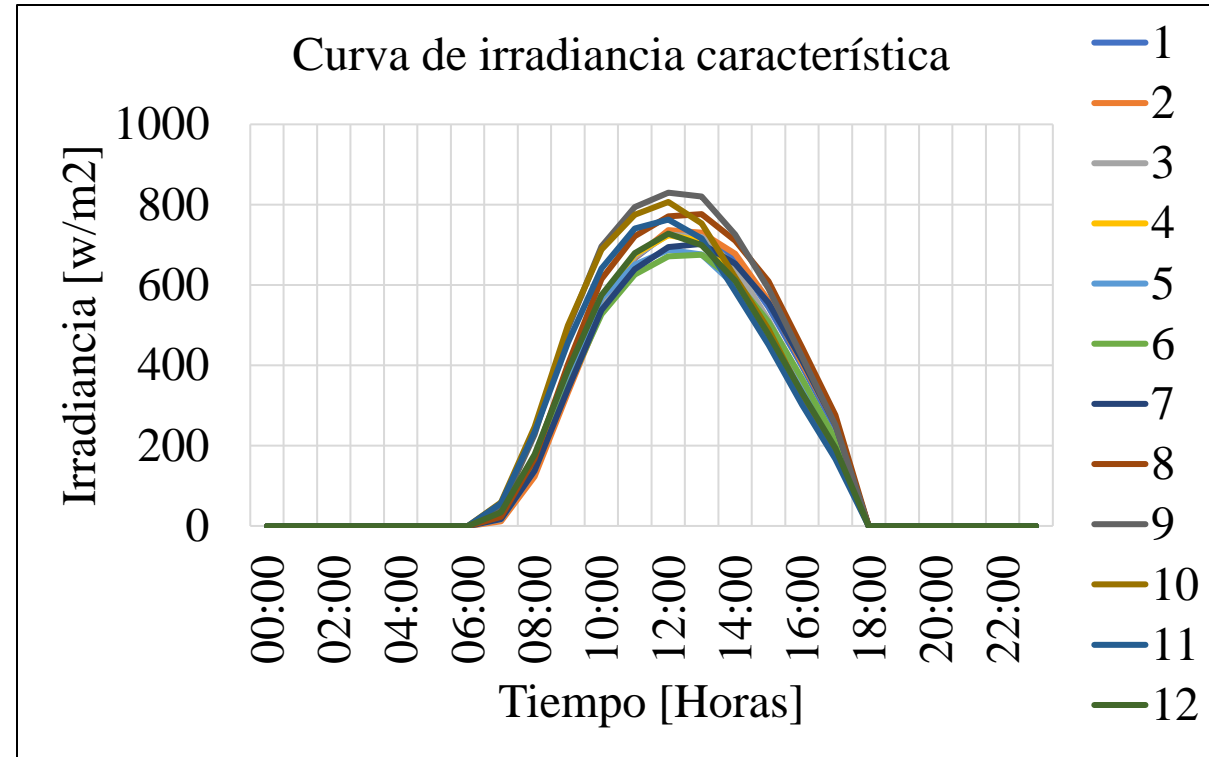
Ubicación del sistema fotovoltaico híbrido



Azotea del Laboratorio de Energías Renovables en el edificio de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE campus Gral. Guillermo Rodríguez Lara. Ubicado en la parroquia de Belisario Quevedo



Curvas de irradiancia característica del lugar



Google Maps permite obtener la Latitud: -0,998196 y Longitud: -78,582274 del laboratorio. Usando PVGIS se puede recolectar el recurso solar, de la zona ingresando la ubicación, de esta manera se obtiene un histórico de las curvas de irradiancia típicas en un año.

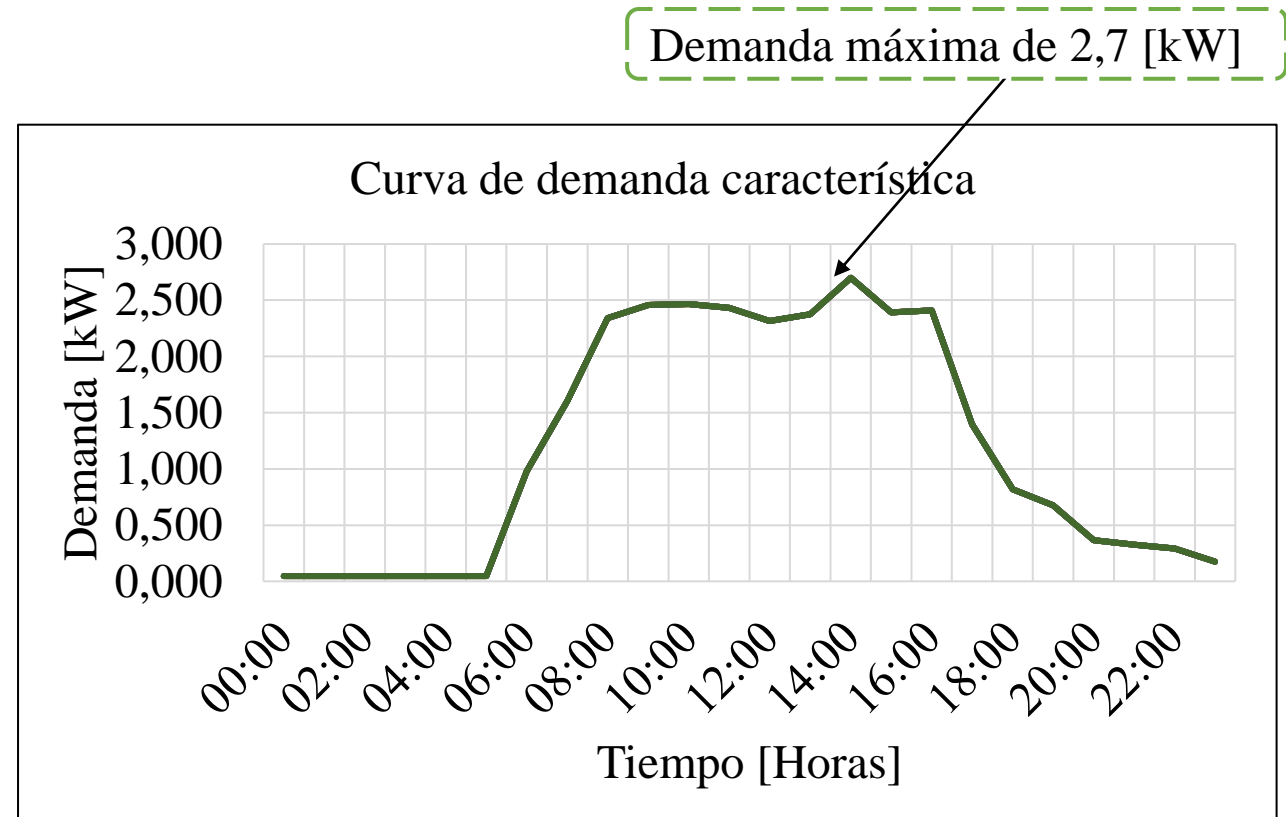


Caracterización de la demanda del laboratorio

DEMANDA CA

N.º de unidades	Tipo	Potencia [kW _{AC}]	Horas / día	Consumo diario [kWh/día]
1	Laboratorio	28,81	1	28,81
Total		28,81		28,81

Se caracteriza la curva de demanda diaria, en base a la demanda máxima existente en el laboratorio.



AGENDA:

- MOTIVACIÓN
- OBJETIVOS
- THEORETICAL BACKGROUND
- METODOLOGÍA
- CASO DE ESTUDIO
- ANÁLISIS DE RESULTADOS
- CONCLUSIONES
- RECOMENDACIONES



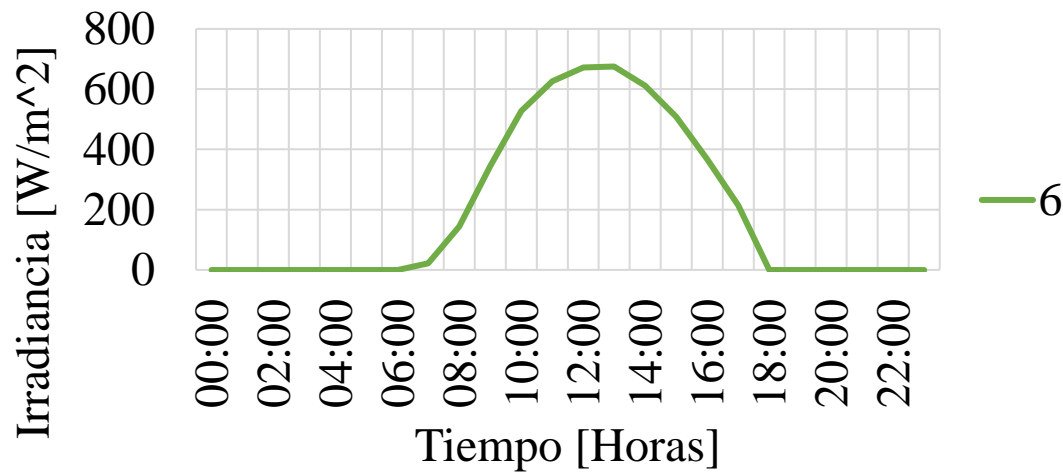
Obtención de curvas características de irradiación en la zona

Se considera las curvas características típicas de irradiancia en la zona

Dimensionamiento tradicional

De la base de datos se considera la curva de menor irradiancia, para este caso se toma en cuenta el mes de junio con un valor de 4,7 HSP

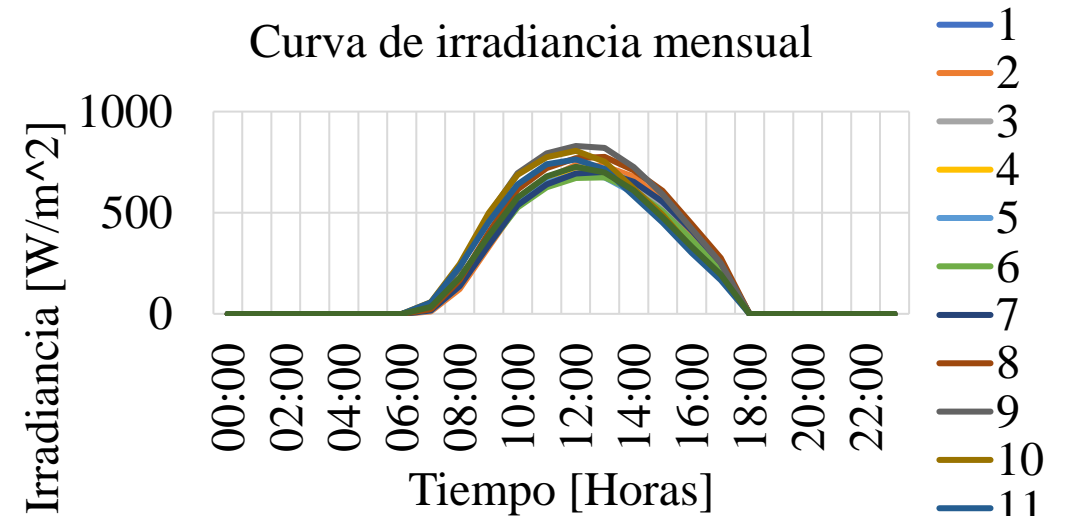
Curva de irradiancia del mes de junio



Dimensionamiento Optimizado

Para este modelo se considera las 12 curvas de irradiancia de cada mes del año medias en 24 horas que se presenta en el año

Curva de irradiancia mensual



Modelo tradicional HSP

Cálculos	Valor	Dimensión
Energía total, requerida diariamente	30,33	[kWh/día]
Horas Sol Pico, HSP	4,71	HSP
Factor global de rendimiento de la instalación	0,95	[Adm.]
Energía que debe recibir el acumulador	31,92	[kWh/día]
Capacidad del acumulador	886,83	[Ah]
Número de acumuladores en serie	4	Baterías
Número de grupos de acumuladores en paralelo	4	Baterías
Número total de acumuladores	16	Baterías
Potencia del generador fotovoltaico	7,69	[kW]
Número de módulos en serie del generador FV	6	Paneles
Número de ramas en paralelo (MP) del generador FV	4	Paneles
Número total de módulos (MT) y potencia pico instalada	24	Paneles
Cálculo del inversor	2,7	[kW]

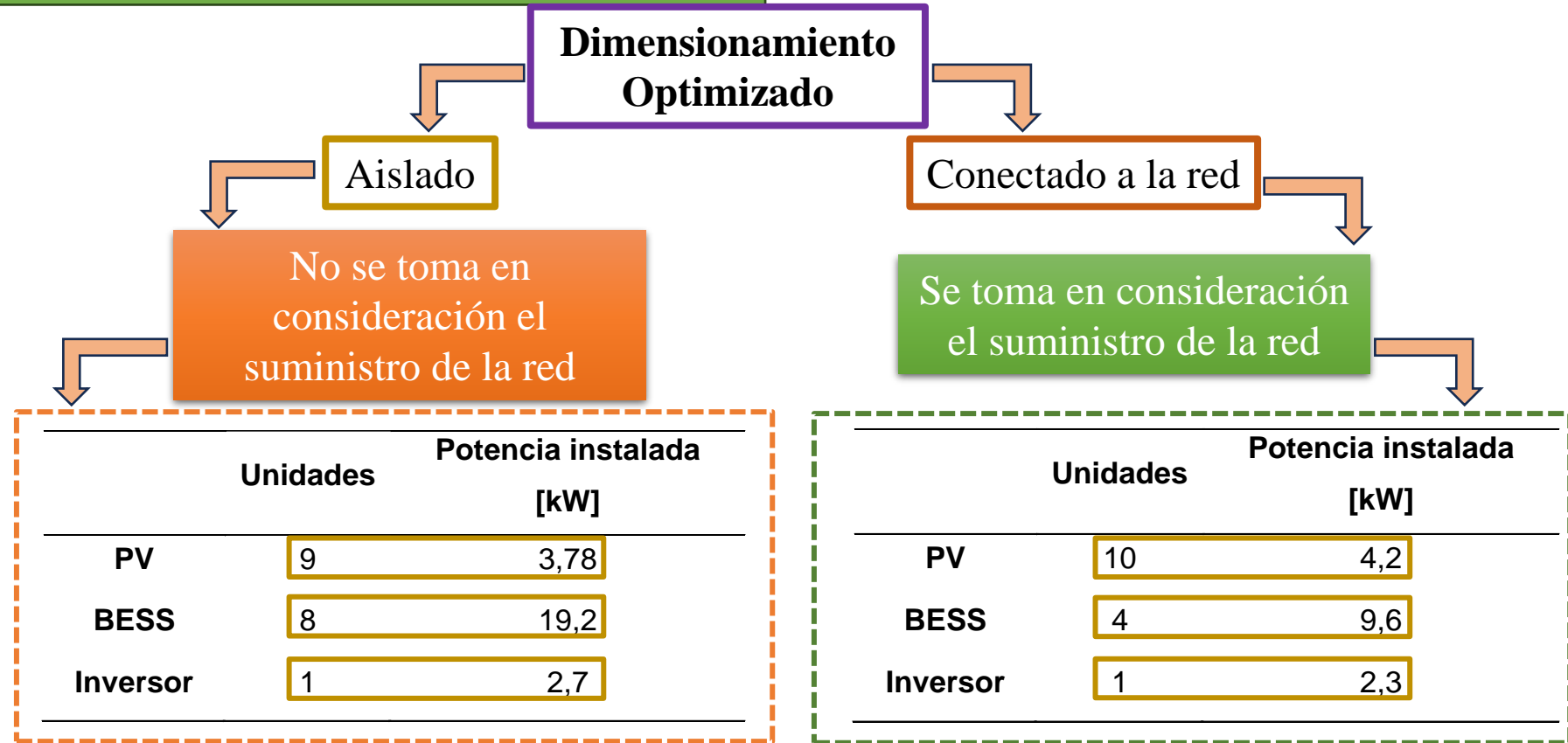
Datos obtenidos mediante las ecuaciones del modelo tradicional



Diseño y dimensionamiento de un sistema fotovoltaico híbrido

FICO® Xpress Optimization

Al resolver el problema de optimización mediante el uso del software se obtienen los siguientes resultados

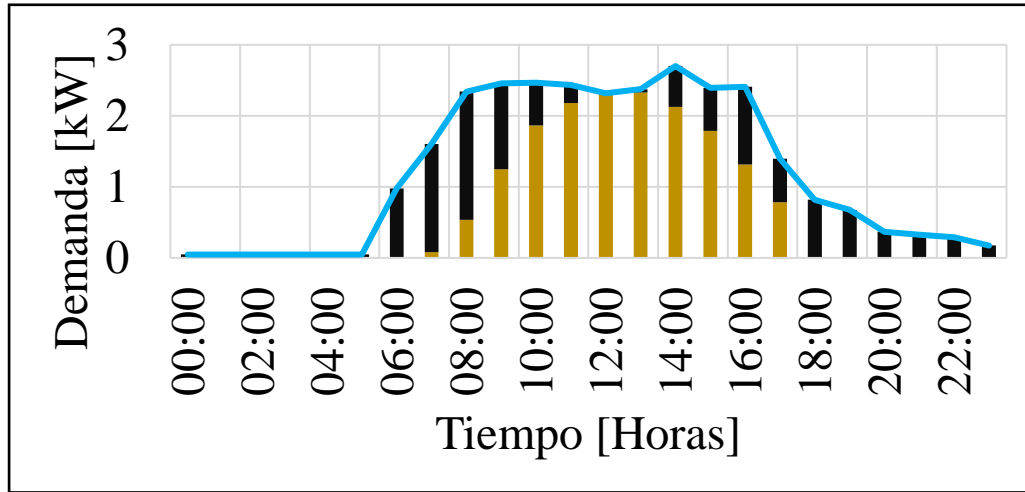


Es importante considerar esta restricción ya que nos interesa tener un sistema híbrido, que como mínimo tenga un día de autonomía desconectado de la red por los problemas actuales que vive el país

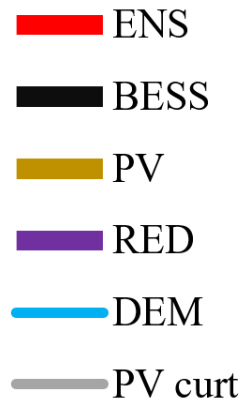
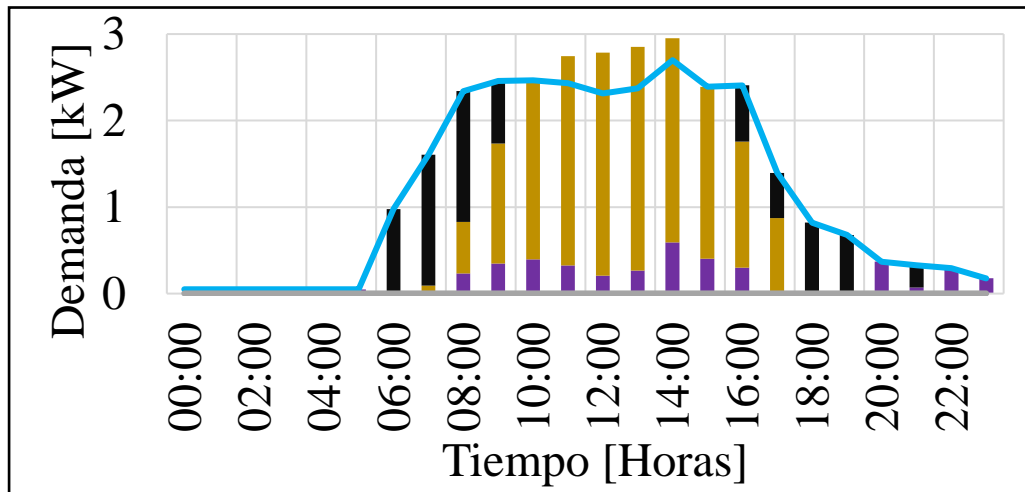


Modelo Optimizado

Aislado



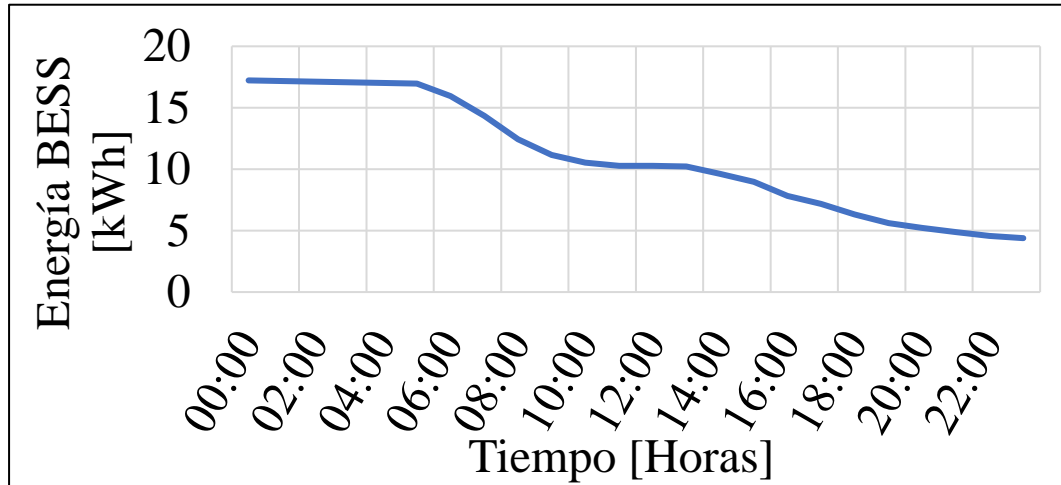
Conectado a Red



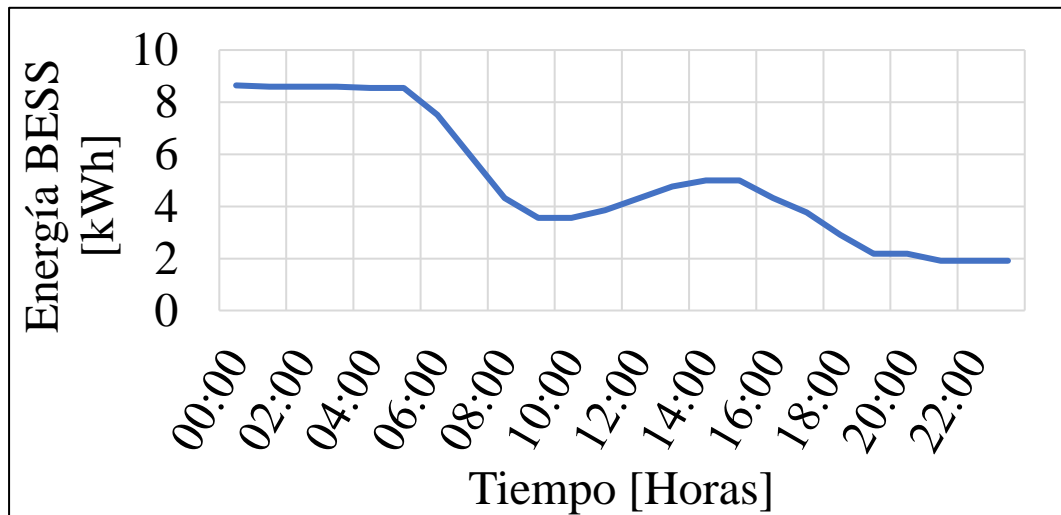
- Tanto en el modelo aislado como el conectado a red, presenta un despacho de energía a través de paneles fotovoltaicos y baterías.
- En el sistema conectado a la red, para poder cumplir con las necesidades de la demanda, además de los paneles y las baterías, existe un aporte de la red.
- El sistema aislado, demuestra que la demanda puede ser cumplida de manera satisfactoria en las horas requeridas sin necesidad de una conexión a red, garantizando la generación de energía necesaria para cumplir con suministro a la demanda.



Aislado



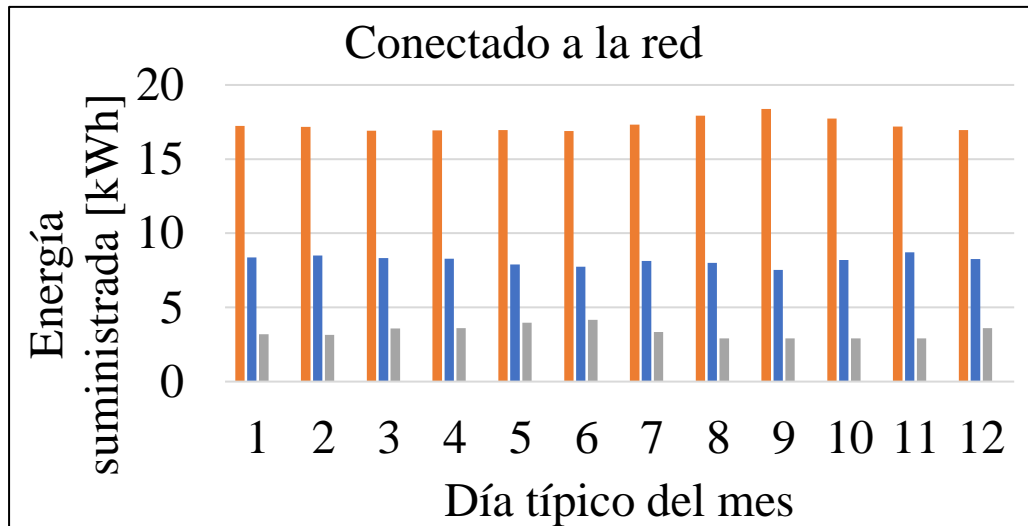
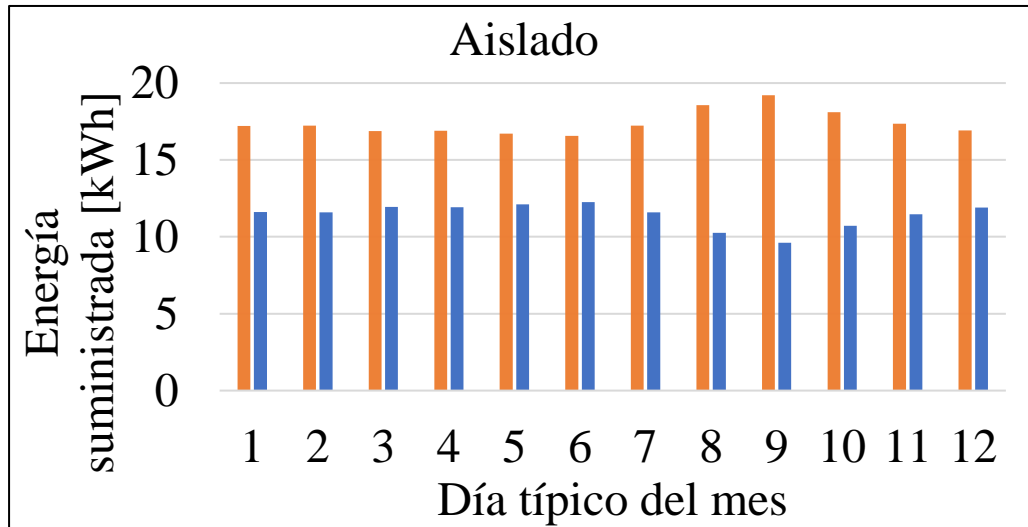
Conectado a Red



- La descarga de baterías se efectúa en el rango de descarga y carga permitido, del 20% al 80% respectivamente
- En el caso del sistema aislado se produce una descarga de baterías, de manera similar a una rampa, tratando de optimizar el recurso energético, al no tener recurso por parte de la red, la energía de las baterías y los paneles debe lograr cumplir con la demanda de acuerdo al diseño de las mismas.
- En el sistema conectado a la red el uso de las baterías, es menor gracias a la energía proveniente de la red, por lo cual en ciertas horas decrece de manera significativa. En el momento en que esta empieza a dejar de enviar energía, esta se carga, después de un tiempo esta empieza a entregar energía nuevamente hasta que llega al límite de descarga.



Modelo Optimizado



- PV
- BESS
- RED
- PV Curt

- Tanto en el modelo aislado como el conectado a red, cuando menor sea el recurso energético suministrado por parte de los paneles fotovoltaicos, mayor será el recurso entregado por las baterías.
- El sistema conectado a red usa tanto energía de los paneles, baterías y la red, para suministrar la energía requerida por la demanda.
- Los ciclos de uso de la batería en el sistema aislado es mayor ya que la energía que entrega la batería es mayor, que la que debe entregar cuando el sistema esta conectado a la red.



Comparación de los métodos

Métodos

Cantidad		Optimizado			Potencia [kW]	Optimizado		
		Tradicional	Aislado	Conectado a la red		Tradicional	Aislado	Conectado a la red
Módulos PV		18	9	10	7,68	3,78	4,2	
Baterías		16	8	4	19,2	19,2	9,6	
Inversor		1	1	1	2,7	2,7	2,3	

Para el modelo tradicional se tiene un sobredimensionamiento en el número de módulos PV y baterías, así mismo como la potencia de los módulos PV

Para el modelo optimizado aislado se tiene un número de módulos PV y baterías óptimas con el cual, el sistema puede abastecer a la demanda satisfactoriamente

Para el modelo optimizado conectado a la red se tiene un número mayor de módulos PV y un número menor baterías en comparación con el aislado esto debido que el sistema híbrido necesita por lo menos un día de autonomía desconectado de la red



ANÁLISIS DE RESULTADOS

Método Tradicional			
	Cantidad	Valor unitario	Costo total
Panel fotovoltaico	18	\$ 293,00	\$ 5.274,00
Batería	16	\$ 411,60	\$ 6.585,60
Inversor	1	\$ 910,54	\$ 2.458,46
Total			\$ 16.076,06

Método Optimizado: Aislado			
	Unidades	Costos [USD]	Costo total
PV	9	\$ 293,00	\$ 2.637,00
BESS	8	\$ 411,60	\$ 3.292,80
Inversor	1	\$ 910,54	\$ 2.458,46
Total		-	\$ 8.388,26

Método Optimizado: Conectado a red			
	Unidades	Costos [USD]	Costo total
PV	10	\$ 293,00	\$ 2.930,00
BESS	4	\$ 411,60	\$ 1.646,40
Inversor	1	\$ 910,54	\$ 2.101,74
Total		-	\$ 6.678,14

El sistema diseñado mediante el modelo tradicional requiere de más módulos y equipos, lo que eleva el costo de inversión.

El modelo aislado se adapta a lo establecido, en los datos y los requerimientos económicos, ya que logra cubrir la demanda, sin inconvenientes, con autonomía de un día.

Los sistemas conectados a la red, se adaptan con un menor número de BESS, ya que el suministro de la red conjuntamente con el sistema de generación, por esto el costo es menor.



ANÁLISIS DE RESULTADOS

Análisis de costos VAN y TIR, en sistema eléctrico sin subsidio.

32

	Parámetro	Anual
<i>Aislado</i>	Energía [MWh]	10,52
	Beneficio	\$ 2.104,00
<i>Conectado a red</i>	Energía [MWh]	9,456
	Beneficio	\$ 1.891,20

Se considera un costo de [kWh] sin subsidio, ya que el subsidio es una barrera importante para la integración de generación distribuida en el país

USD/kWh
0,20
Años
5
TRC
0,2183545
7
Interés
0,03

Cálculo del VAN y el TIR en Excel

Modelo	Parámetro	Año 0 / Inversión	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
<i>Aislado</i>	Flujo de caja	\$-8.388,26	\$ 2.104,00	\$ 2.104,00	\$ 2.104,00	\$ 2.104,00	\$ 2.104,00
<i>Conectado</i>	Flujo de caja	\$-6.678,14	\$ 1.891,20	\$ 1.891,20	\$ 1.891,20	\$ 1.891,20	\$ 1.891,20

	Aislado	Conectado
Inversión	\$8.388,26	\$6.678,14
TD	3%	3%
BNA	\$9.635,70	\$8.661,14
VAN	\$1.247,45	\$1.983,00
TIR	8%	13%

Los sistemas analizados con el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), demuestran que los sistemas eléctricos que no tienen subsidio por parte del estado pueden instalarse y producir una ganancia teniendo en cuenta los años de vida útil del sistema de generación.

Se considera que la implementación del sistema es viable, porque se tiene un VAN y TIR mayor y porque son valores óptimos ya que se considera el costo de la red y se tiene un beneficio mayor.



Implementación



Implementación



AGENDA:

- MOTIVACIÓN
- OBJETIVOS
- THEORETICAL BACKGROUND
- METODOLOGÍA
- CASO DE ESTUDIO
- ANÁLISIS DE RESULTADOS
- CONCLUSIONES
- RECOMENDACIONES



- La introducción del sistema híbrido con energía solar impulsa la universidad hacia la sostenibilidad energética, reduciendo la dependencia del petróleo y contribuyendo al plan nacional de diversificación energética, así como a la autonomía universitaria.
- La generación fotovoltaica enfrenta problemas debido a la política de subsidios eléctricos, que hace que la energía producida sea costosa para empresas generadoras. Sin embargo, en instituciones educativas como esta, la implementación es viable para abastecer la demanda del laboratorio y potencialmente de todo el edificio en el futuro con energías renovables.
- En este trabajo se compararon dos metodologías para dimensionar sistemas de generación híbridos. La primera, tradicional, utiliza ecuaciones matemáticas y datos de irradiancia y demanda para seleccionar equipos del mercado. La segunda es una optimización que considera la variabilidad solar y establece objetivos y restricciones para modelar y optimizar el sistema, mostrando ser más económica que el método tradicional al evitar sobredimensionamiento.
- La aplicación de diseño óptimo a un sistema híbrido fotovoltaico con baterías reduce la inversión en un 52.1% respecto al diseño tradicional. Aunque el proyecto no busca lucro económico, el retorno de inversión en el diseño óptimo es de 5 años, mientras que en el tradicional es de 10 años.



- El dimensionamiento tradicional de sistemas híbridos fotovoltaicos permite mayor potencia instalada, pero el recurso solar es estocástico. Para abordar esta variabilidad, la optimización del diseño analiza datos considerando restricciones y parámetros, reduciendo costos y maximizando la producción de energía.
- El diseño tradicional de sistemas híbridos fotovoltaicos se basa en decisiones y ecuaciones, considerando las peores condiciones posibles, lo que resulta en sistemas sobredimensionados. En contraste, un enfoque optimizado utiliza el recurso solar como una variable aleatoria y evalúa la demanda según curvas características, evitando así el sobredimensionamiento y garantizando el funcionamiento eficiente del sistema incluso con recursos limitados.
- En el campus Belisario Quevedo se ha implementado un sistema de energías renovables en el laboratorio correspondiente. Este sistema, basado en optimización, actualmente está en funcionamiento e incluye un sistema fotovoltaico de 9 arreglos (3 en serie y 3 en paralelo) con una potencia de 3.78 kW, junto con un sistema de almacenamiento por baterías que consta de 8 baterías con una potencia instalada de 19.2 kW. Este proyecto ha permitido aumentar la potencia instalada con fuentes renovables en el campus, complementando el sistema híbrido existente de 2.1 kW.



AGENDA:

- MOTIVACIÓN
- OBJETIVOS
- THEORETICAL BACKGROUND
- METODOLOGÍA
- CASO DE ESTUDIO
- ANÁLISIS DE RESULTADOS
- CONCLUSIONES
- RECOMENDACIONES



- Para el dimensionamiento optimizado se debe formular de manera correcta la función objetivo, la penalización a la generación, teniendo en cuenta también las restricciones que están ligadas a este, por lo que de esto dependerá el dimensionamiento correcto del sistema híbrido.
- Es muy importante la caracterización de la demanda, ya que de esto dependerá la potencia instalada que deberá tener la instalación del sistema híbrido de generación fotovoltaica.
- Se recomienda que para la instalación de los paneles fotovoltaicos se delimite el área a ocupar por todo el arreglo fotovoltaico, ya que de esto dependerá las distancias resultantes entre los equipos, y de ahí se tomará como referencia el cableado y conductores a ocupar en las conexiones.
- Al momento de la implementación es importante poseer las aplicaciones de conectividad de los dispositivos actualizado caso contrario ninguno de los dispositivos será identificado para el monitoreo.



Gracias



Descarga de baterías

