

Nro. 1
2026



INSTITUTO DE
INVESTIGACIONES
EN INGENIERÍA
PETROLERA
INSPET-UMSA

RECURSOS ENERGÉTICOS

Guía sobre la historia, actualidad y
proyección energética

ACTUALIDAD

- Situación legal de los hidrocarburos
- Contexto económico global
- Tecnología de punta en Bolivia y el mundo

INVESTIGACIÓN

- Recursos energéticos
- Hidrocarburos convencionales y no convencionales
- Recursos energéticos renovables

APORTES COMPLEMENTARIOS

- Opinión política



UNIVERSIDAD
MAYOR
DE
SAN ANDRÉS



CARRERA
DE
INGENIERÍA
PETROLERA



FACULTAD
DE
INGENIERÍA

Simulación de un Sistema Fotovoltaico para la Irrigación Automática de un Cultivo Vertical Hidropónico de Lactuca Sativa, en El Municipio De El Alto

Palabras clave:

Sistemas fotovoltaicos, cultivos hidropónicos, sistemas aislados a la red y sistemas conectados a la red.

Carlos Rafael Villegas • Universidad Privada Boliviana

Resumen

Este trabajo se enmarca dentro del contexto del desarrollo sostenible, integrando energías renovables para optimizar el consumo de agua y energía en la producción agrícola urbana, siendo una brecha identificada en investigaciones que se dedican al área rural en su mayoría. El objetivo del presente, fue simular un sistema fotovoltaico que permita la irrigación automática de un cultivo vertical hidropónico de Lactuca sativa (lechuga) bajo las condiciones climáticas del municipio de El Alto, Bolivia. La metodología para la investigación, fue descriptiva y consistió en un enfoque cuantitativo de carácter cuasi experimental contando con un diseño factorial que permite la simulación de diferentes unidades de análisis llamados experimentos en diferentes condiciones de operación. La simulación realizada de los sistemas fotovoltaicos off grid y on grid permitió observar su comportamiento en parámetros de rendimiento y energía provista por los sistemas en los diferentes escenarios y condiciones propuestas, dentro de la zona de estudio. Dando como resultado que las condiciones óptimas en el sector (sin sombreados y orientación adecuada) de los paneles fotovoltaicos inciden significativamente sobre los resultados, más allá de las variaciones (requerimientos de cada técnica de cultivo hidropónico) que tiene cada uno de los experimentos, siendo más eficientes y viables económicamente los sistemas fotovoltaicos conectados a la red con rendimientos superiores al 80%, y su costo es la mitad o un tercio, que el de un sistema aislado a la red, siendo mejores aquellos que abastecen energía a las técnicas de flujo profundo por sus siglas en inglés (DFT – Deep Flow Technique) que no requieren un sistema continuo de irrigación y por su mejor aprovechamiento de la energía suministrada, bajo las condiciones climáticas de la zona de estudio.

Carlos Rafael Villegas Diaz

Introducción

El cambio climático es uno de los mayores desafíos globales contemporáneos, afectando significativamente la agricultura, especialmente en regiones vulnerables como los Andes bolivianos. En respuesta a este problema, el Acuerdo de París entró en vigor en 2016 con el objetivo internacional de limitar el calentamiento global a menos de 2°C mediante la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Bolivia ha adoptado este compromiso, estableciendo la meta de incrementar la participación de energías renovables en su matriz energética del 39% al 79% para 2030 (Viceministerio de Electricidad y Energías Alternativas, 2020). En este marco, el Municipio de El Alto presenta condiciones ideales para la generación de energía solar, con una irradiación promedio anual de aproximadamente 6 kWh/m², convirtiendo esta zona en altamente propicia para la implementación de sistemas fotovoltaicos (Molina Ortiz et al., 2021).

La agricultura tradicional enfrenta grandes retos debido a factores climáticos como escasez de agua, temperaturas extremas y degradación del suelo, acentuados por el cambio climático. Los cultivos hidropónicos verticales emergen como una solución efectiva por su menor consumo de agua y espacio comparado con métodos tradicionales. Sin embargo, estos sistemas son intensivos en el uso de energía para la automatización del riego y otros procesos técnicos esenciales, lo que implica buscar fuentes energéticas sostenibles como la solar para asegurar su viabilidad a largo plazo (Abdelfatah & El-Arnaouty, 2023).

Estudios recientes han demostrado que la integración de energía fotovoltaica con agricultura vertical puede mejorar significativamente la eficiencia energética y reducir la huella de carbono de estas prácticas agrícolas. Investigaciones sobre sistemas agrivoltaicos han señalado que, aunque existen avances significativos en aplicaciones agrícolas de gran escala e invernaderos comerciales, hay escasez notable en estudios locales y domésticos sobre sistemas fotovoltaicos aplicados a cultivos hidropónicos domésticos en contextos urbanos (Rodríguez et al., 2024; Ravishankar et al., 2021; Blom et al., 2022).

A pesar de estos avances generales, en Bolivia, y particularmente en la ciudad de El Alto, se evidencia una ausencia de investigaciones específicas que evalúen detalladamente la integración de sistemas fotovoltaicos

con técnicas hidropónicas domésticas verticales. Este vacío limita el desarrollo de soluciones energéticas eficientes y sostenibles adaptadas a las condiciones locales, indispensables para enfrentar desafíos agrícolas urbanos.

Por lo tanto, el objetivo central de esta investigación fue simular un sistema fotovoltaico para la irrigación automática de un cultivo vertical hidropónico de *Lactuca sativa*, evaluando su desempeño técnico, económico y ambiental bajo las condiciones específicas del Municipio de El Alto. Este estudio contribuye directamente a llenar el vacío identificado, ofreciendo una evaluación integral que combina eficiencia energética con rentabilidad económica, además de proporcionar datos técnicos precisos para promover la autosuficiencia alimentaria urbana y el uso sustentable de recursos naturales.

Los resultados obtenidos no solo permitirán determinar la factibilidad técnica y económica de implementar sistemas fotovoltaicos en cultivos hidropónicos verticales, sino que además aportan lineamientos claros para futuros proyectos agrícolas urbanos sostenibles en contextos andinos, apoyando así los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), específicamente en términos de energía asequible (ODS 7), producción sostenible de alimentos (ODS 2), acción climática (ODS 13) y consumo responsable (ODS 12).

Materiales y método

Área de estudio

La investigación se desarrolló en la ciudad de El Alto, ubicada en la Provincia Murillo, Departamento de La Paz, Bolivia, específicamente en el Distrito 1, Zona Ciudad Satélite, con coordenadas geográficas 16°31'36.92"S y 68°8'59.71"O y una altitud aproximada de 4.063 m.s.n.m. Las condiciones ambientales promedio registradas en el área de estudio son:

- Irradiancia solar promedio anual: 5,2 kWh/m²-día.
- Temperatura promedio anual: entre -3,14 °C (mínima en invierno) y 14,69 °C (máxima en verano).
- Precipitación promedio anual: 617,1 mm, concentradas en temporada húmeda (octubre-marzo).
- Humedad relativa promedio: entre 50% y 75%.

Metodología de la investigación

El estudio empleó un enfoque cuantitativo con una metodología descriptiva por requerir mediciones numéricas precisas, dimensionamientos técnicos y simulaciones. El tipo de investigación es descriptivo,

dirigido a evaluar y describir el comportamiento técnico y económico de sistemas fotovoltaicos para la irrigación automática de cultivos verticales hidropónicos bajo condiciones definidas de operación, incluyendo análisis estadístico para validar resultados obtenidos.

Diseño experimental

Se aplicó un diseño factorial cuasi-experimental mediante simulaciones computacionales. Las variables independientes evaluadas fueron:

- Técnicas hidropónicas (NFT y DFT).
- Tipos de irrigación (continua e intermitente).
- Tipo de iluminación (natural solar y artificial LED).
- Tipo de conexión eléctrica del sistema fotovoltaico (off-grid aislado de la red y on-grid conectado a la red).
- Condiciones operativas (óptimas sin sombreados y reales con sombreados, inclinación y orientación subóptima).

La elección de estas variables permitió evaluar todas las combinaciones posibles, ofreciendo una visión completa del desempeño del sistema en condiciones diversas. Por lo tanto, se ajustó la factorial de las simulaciones de la siguiente forma:

Total, de experimentos: 4 (bi factorial) por cada técnica; Niveles de conexiones: 2; Niveles de condiciones: 2 condiciones: 2

$$N_s = N_{exp} * N_c * N_x \quad (1)$$

Donde:

- N_s = Número de simulaciones
- N_{exp} = Número de experimentos
- N_c = Número de condiciones
- N_x = Número de conexiones

Por lo tanto, de la ecuación (1):

$$N_s = N_{exp} * N_c * N_x$$

$$N_s = 8 * 2 * 2$$

$$N_s = 32$$

16:por técnica

Por lo tanto, se realizaron realizar 16 simulaciones, por cada técnica de cultivo para observar el comportamiento de los sistemas fotovoltaicos en la irrigación automática de los cultivos verticales para analizar los resultados en diferentes condiciones.

Técnicas y herramientas utilizadas

Métodos: descriptivo, técnico de diseño, simulación computacional, análisis estadístico comparativo y análisis económico-financiero.

Técnicas: Las técnicas empleadas fueron la revisión bibliográfica, análisis documental y descriptivo para seleccionar componentes adecuados al sistema; cálculos técnicos y modelado matemático para dimensionar los sistemas fotovoltaicos; simulación computacional mediante modelado digital integrando datos climáticos específicos; análisis estadístico comparativo y de sensibilidad para evaluar el rendimiento del sistema en diversas condiciones; y análisis económico-financiero incluyendo proyección de flujos de caja, cálculo del Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y periodo de recuperación. Además, se utilizaron pruebas estadísticas específicas (F de Fisher y U de Mann-Whitney) junto con la escala de Likert para evaluar eficiencia energética y económica.

Herramientas: Se utilizó software especializado para simulación fotovoltaica (PVsyst versión 8); hojas de cálculo avanzadas (Excel) para dimensionamiento técnico, análisis estadístico y económico-financiero; bases de datos climatológicas validadas (NASA POWER, Meteonorm); además de manuales técnicos, documentación especializada y catálogos de equipos fotovoltaicos disponibles comercialmente en el contexto local.

Descripción de las unidades de análisis y la operacionalización de variables

La simulación factorial generó combinaciones experimentales según dos técnicas hidropónicas NFT (Nutrient Film Technique), Técnica de película de nutrientes y DFT (Deep Flow technique) técnica de flujo profundo. Cada unidad de análisis se evaluó bajo la modificación de las variables independientes.

Variables Independientes

En la tabla 1, se observan las variables a modificar para los experimentos:

Siendo los experimentos:

- **NFT:** N-I₁L₁, N-I₁L₂, N-I₂L₁, N-I₂L₂
- **DFT:** D-I₁L₁, D-I₁L₂, D-I₂L₁, D-I₂L₂

Variables Dependientes

Fueron consideradas la generación de energía Sistema Fotovoltaico y su operatividad, medida en sus indicadores:

Tabla 1. Distribución de las variables independientes

Cultivo hidropónico	Nivel	Variables							
		Forma de irrigación		Iluminación		Conexión FV		Condiciones operativas	
NFT	I1	Continua	Recirculación 24 h/día	Natural	Luz solar	Off-grid	Sistema independiente con respaldo de baterías	Óptimas	Sin sombras; azimut 0°, inclinación 16°
	I2	Intermitente	30 min encendido / 30 min apagado (12 h/día)	Artificial	LED	On-grid	Sistema conectado a la red pública	Reales	Con sombras; azimut -20°, inclinación 20°
DFT	I1	Intermitente	15 min encendido / 45 min apagado (6 h/día)	Natural	Luz solar	Off-grid	Sistema independiente con respaldo de baterías	Óptimas	Sin sombras; azimut 0°, inclinación 16°
	I2	Intermitente	15 min encendido / 1 h 45 min apagado (3 h/día)	Artificial	LED	On-grid	Sistema conectado a la red pública	Reales	Con sombras; azimut -20°, inclinación 20°

Fuente: Elaboración propia

- Rendimiento (Yf/Yr): % de energía útil = Energía producida / Energía Irradiada
- Fracción solar: % de energía utilizada por el sistema = Energía útil / Energía producida

Y la factibilidad del sistema, medida en sus indicadores:

- Costos: Cultivo + Sistema

Variables de Control

Fueron consideradas:

- Especie vegetal cultivada: Lactuca sativa L.
- Ubicación geográfica: Municipio de El Alto.
- Composición química y concentración constante de la solución nutritiva hidropónica.
- Condiciones internas controladas (temperatura y humedad).

Variables Intervinientes (no manipuladas pero consideradas)

Fueron consideradas:

- Condiciones climáticas externas (irradiancia, temperatura, nubosidad).
- Factores técnicos (eficiencia, pérdidas del sistema eléctrico).
- Condiciones socioeconómicas (costos del mercado local, políticas públicas).

Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

Dimensionamiento off grid (aislado de la red)

Utilizando metodologías estándar (Castejón & Santamaría, 2010; ECOGUZ, 2024), si siguió el siguiente procedimiento donde se definió:

- 1) Angulo de inclinación óptimo del panel
- 2) La irradiación de la zona según el mapa solar de Bolivia, en exclusivo la provincia Murillo: 5,2 kWh/m²-día (Molina Ortiz et al., 2021).
- 3) Selección del voltaje de trabajo y cálculo de la intensidad o corriente donde se tuvo un voltaje igual a 48 V, con el objeto de reducir la intensidad, por lo

tanto, en base a la demanda de cada experimento se usará la fórmula, para hallar la intensidad.

- 4) Se realizó el cálculo de pérdidas.
- 5) Cálculo del arreglo de paneles solares, el cual se realizó para cada experimento a partir de la Intensidad de cada sistema y su Voltaje.
- 6) Cálculos del número de baterías.
- 7) Arreglo y configuración de las baterías.

Dimensionamiento on grid (conectado a la red)

Al igual que en el dimensionamiento off grid, se seguirá el procedimiento en base a (Castejón & Santamaria, 2010). Se siguió siguiente procedimiento:

- 1) Cálculo de la potencia de planta, se realiza a partir de la siguiente definición
- 2) Cálculo de Número de Paneles
- 3) Cálculo de la potencia de planta corregida, se requieren extraer los siguientes valores de las fichas técnicas

Simulación computacional

Se empleó el software PVsyst (versión 8), ingresando:

- Parámetros climáticos locales específicos.
- Configuraciones técnicas según la operacionalización de variables de los sistemas fotovoltaicos y de las cargas eléctricas de los componentes de los cultivos.
- Simulaciones anuales considerando condiciones óptimas y reales.

Análisis económico

Métodos utilizados claramente definidos:

- Valor Actual Neto (VAN)
- Tasa Interna de Retorno (TIR)
- Período de recuperación

Considerando flujos de caja con costos iniciales, operativos, mantenimiento, ahorro energético y reinversiones durante la vida útil del sistema.

Para los análisis económicos se tomaron en cuenta los siguientes factores:

- Vida útil de los Experimentos: 30 años
- Pérdida de Eficiencia de los paneles: 0.42 %/Año
- Costo de la tarifa por la categoría D2-PD-BT: 0.88053 Bs/kWh
- Factor de indexación: 2%
- La energía producida es igual a la demanda por la fracción solar por lo que la energía ahorrada es igual a la energía generada por los sistemas fotovoltaicos de cada experimento por la Fracción solar.
- Existen 2 costos de reinversión, el costo de reposición de baterías y de inversores que depende de cada uno de los experimentos.
- El costo de mantenimiento de las técnicas es uniforme siendo 348 bs por año.

Análisis estadístico

De acuerdo con (Vilchez Guisado & Ramón Ortiz, 2022), se

utilizaron:

- Pruebas aplicadas:
 - Homogeneidad de varianzas
 - F de Fisher
 - U de Mann-Whitney (diferencias significativas entre sistemas)
- Evaluación cualitativa mediante Escala tipo Likert para eficiencia energética y rentabilidad económica:
 - 1 = No eficiente (menor a 50% rendimiento, TIR<10%, VAN negativo).
 - 2 = Regular (rendimiento 50%-70%, TIR=10%, VAN=0).
 - 3 = Eficiente (rendimiento superior a 70%, TIR>10%, VAN positivo).

Resultados

Componentes de los experimentos

En base a la bibliografía, consultada y descrita en el marco teórico se hará una representación gráfica de las técnicas de cultivo elegidas como unidades de análisis:

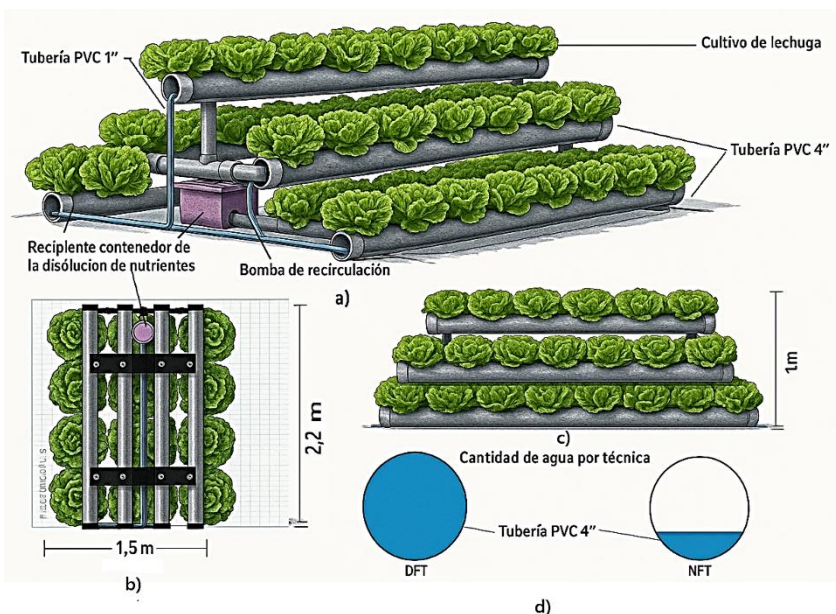


Ilustración 1. Representación gráfica de los cultivos verticales DFT y NFT modelado 3D
Nota: a) Vista ortogonal, b) Vista desde abajo, c) Vista lateral y d) Cantidad de agua por cada técnica (Altura de agua; DFT: 101,6mm; NFT: 5mm)

Fuente: Elaboración propia en base a Abdelfatah & El-Arnaouty, 2023

Como se puede observar las dos técnicas tienen la misma estructura y también se consideró una protección en ambos casos para utilizar en exteriores, la diferencia principal se encuentra en que, las técnicas DFT tienen toda la tubería inundada, y las técnicas NFT solo a una altura de 5 mm, en base a el manual de Abdelfatah & El-Arnaouty, 2023. Además de, que el funcionamiento es diferente, debido a las variaciones tomadas en cuenta para el presente estudio. A continuación, se desglosarán los componentes eléctricos.

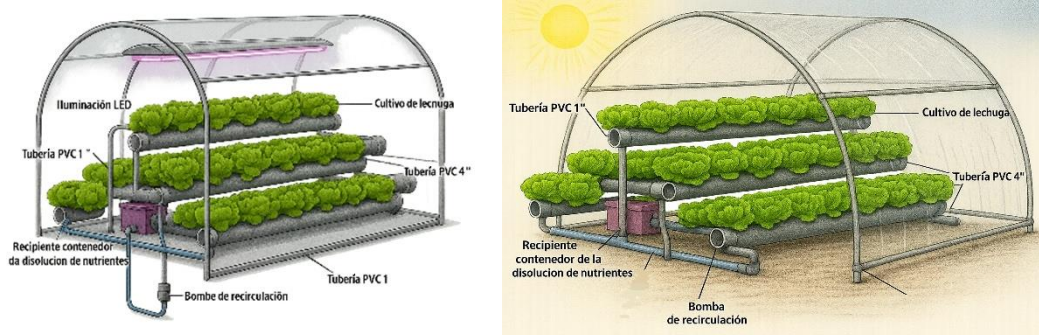


Ilustración 2. Representación gráfica de los cultivos verticales DFT y NFT modelado 3D
 Nota: Izquierda Iluminación LED para interiores y exteriores. Derecha Diseño para exteriores con Iluminación Solar
 Fuente: Elaboración propia en base a Abdelfatah & El-Arnaouty, 2023

Componentes de las técnicas de cultivo DFT

Los componentes y sus costos respectivos para el cultivo hidropónico DFT son los siguientes:

Tabla 2. Costos referenciales para la implementación de un cultivo hidropónico vertical DFT

Descripción	Marca - modelo	Potencia	Unidad	Cantidad	Unidad	Costo unitario Bs	Costo total Bs	Fuente
Con energía								
Interruptor automático	HAMA	N/A	N/A	2	Pza.	181,15	362,3	amazon.es, 2024
Bomba de irrigación	PKm60	370	W	1	Pza.	500	500	amazon.es, 2024
Oxigenador	Acco-001	18	W	1	Pza.	320	320	fabella.com, 2024
Termo ventilador	MAGEFESA MGF-1290	1000	W	1	Pza.	300	300	Magefesa, 2024
*Luz Led ultravioleta	QIANYAN	80	W	1	Pza.	600	600	amazon.es, 2024
Calentador de pecera	JBL Protemp S 100 W	100	W	1	Pza.	70	70	amazon.es, 2024

Fuente: Elaboración propia a partir de observación directa, 2024; Abdelfatah & El-Arnaouty, 2023
 *Solo lo utilizan los experimentos que tienen iluminación LED

Como se puede observar los costos entre ambas técnicas son diferentes debido a sus componentes y los cargos anuales de operación.

Componentes de las técnicas de cultivo NFT

Los componentes y costos de los equipos de la técnica NFT, se agrupan en la siguiente tabla:

Tabla 3. Costos referenciales para la implementación de un cultivo hidropónico vertical NFT

Descripción	Marca - modelo	Potencia	Unidad	Cantidad	Unidad	Costo unitario Bs	Costo total Bs	Fuente
Con energía								
Interruptor automático	HAMA	N/A	N/A	2	Pza.	181,15	362,3	amazon.es, 2024
Bomba de irrigación	PKm60	370 W	W	1	Pza.	500	500	amazon.es, 2024
Termo ventilador	MAGEFESA MGF-1290	1000 W	W	1	Pza.	300	300	Magefesa, 2024
*Luz Led ultravioleta	QIANYAN	80 W	W	1	Pza.	600	600	amazon.es, 2024

Fuente: Elaboración propia a partir de observación directa, 2024; Abdelfatah & El-Arnaouty, 2023
 *Solo lo utilizan los experimentos que tienen iluminación LED

Consumo diario de energía eléctrica de los cultivos

Los consumos eléctricos de los cultivos o demandas se realizaron por cada uno de los experimentos, en base a los componentes requeridos por los cultivos a realizarse y en base a cada una de las técnicas, las horas de funcionamiento tiene una distribución homogénea a lo largo del día, en base a la revisión bibliográfica y el diseño experimental, en ese sentido funcionan el mismo tiempo durante el día y la noche. En la siguiente tabla todas las unidades se tendrán en kW. De acuerdo con la disposición de los tiempos de uso de los componentes eléctricos se obtienen los siguientes consumos diarios:

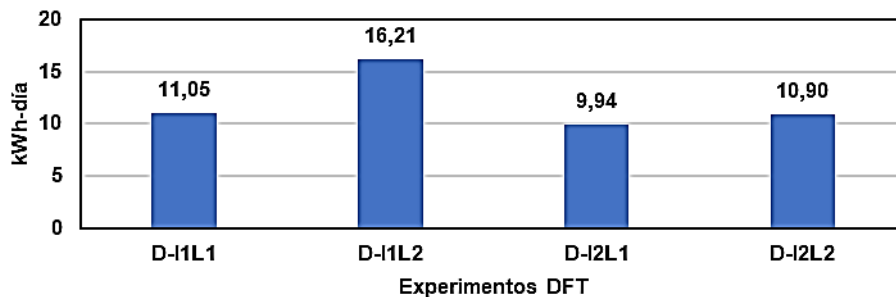


Ilustración 3. Consumo diario de los Experimentos de la técnica DFT
Fuente: Elaboración propia a partir de la tabla 3

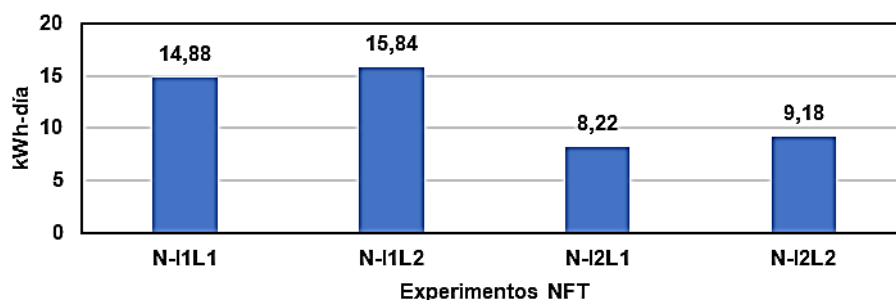


Ilustración 4. Consumo diario de los Experimentos de la técnica NFT
Fuente: Elaboración propia a partir de la tabla 4

Tabla 4. Memoria de cálculo del sistema off grid
Nota: Configuración primer dígito # de equipos en serie; segundo dígito # de equipos en paralelo
Fuente: Elaboración propia a partir de las fichas técnicas

Descripción	Marca	Modelo	Cantidad	Configuración	
Panel solar de 585 Wp	Top Con	SN(585W)-144MT	D-I ₁ L ₁	5	5x1
			D-I ₁ L ₂	7	7x1
			D-I ₂ L ₁	5	5x1
			D-I ₂ L ₂	5	5x1
			N-I ₁ L ₁	7	7x1
			N-I ₁ L ₂	7	7x1
			N-I ₂ L ₁	4	4x1
			N-I ₂ L ₂	4	4x1
Batería de 250 Ah	Just series	GEL12-250	D-I ₁ L ₁	12	4x3
			D-I ₁ L ₂	12	4x3
			D-I ₂ L ₁	12	4x3
			D-I ₂ L ₂	12	4x3
			N-I ₁ L ₁	12	4x3
			N-I ₁ L ₂	12	4x3
			N-I ₂ L ₁	12	4x3
			N-I ₂ L ₂	12	4x3
Inversor – cargador	Nat Power,	MPS-H 5500	D-I ₁ L ₁	1	-
			D-I ₁ L ₂		
			D-I ₂ L ₁		
			D-I ₂ L ₂		
			N-I ₁ L ₁		
			N-I ₁ L ₂		
Inversor – cargador	Voltronic	Axpert VMIII 5000 - 48	N-I ₂ L ₁	1	-
			N-I ₂ L ₂		

Como se observa en las ilustraciones 3 y 4 los experimentos que cuentan con la Irrigación continua tienen mayores consumos eléctricos, debido a que la bomba de Irrigación de la solución nutritiva funciona 24h en el nivel 1 y solo 6h, los consumos diarios por cada técnica y experimento son diferentes, lo que garantizará en el dimensionamiento y las simulaciones un análisis de cada uno para evaluar su eficiencia.

Dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos

De acuerdo con el dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos se tienen los siguientes resultados agrupados en las tablas:

Tabla 5. Memoria de cálculo del sistema on grid
Nota: Configuración primer dígito # de equipos en serie; segundo dígito # de equipos en paralelo
Fuente: Elaboración propia a partir de las fichas técnicas

Descripción	Marca	Modelo	Cantidad por experimento		Configuración
Panel solar de 585 Wp	Top Con	SN(585W)-144MT	D-I ₁ L ₁	3	3x1
			D-I ₁ L ₂	4	4x1
			D-I ₂ L ₁	2	2x1
			D-I ₂ L ₂	3	3x1
			N-I ₁ L ₁	3	3x1
			N-I ₁ L ₂	4	4x1
			N-I ₂ L ₁	2	2x1
Inversor ON GRID	GROWATT energy	MIC 2000TL-X	D-I ₁ L ₁	1	-
			D-I ₂ L ₁	1	
			D-I ₂ L ₂	1	
			N-I ₁ L ₁	1	
			N-I ₂ L ₁	1	
			N-I ₂ L ₂	1	
		MIC 2500TL-X	D-I ₁ L ₂	1	
			N-I ₁ L ₂	1	

Con los dimensionamientos realizados se procedió a realizar las simulaciones en el Software especializado PVsyst (versión 8).

Simulaciones

En la etapa de simulación se utilizó el programa PVsyst (versión 8) para examinar el desempeño de los sistemas fotovoltaicos dimensionados. Se modelaron dos escenarios contrastantes de acuerdo a las variables establecidas. Cada informe resultado de las simulaciones se estructura en diferentes apartados. Donde se obtuvo: Resumen del proyecto, detalla la localización geográfica (coordenadas, altitud y huso horario) y la fuente de datos meteorológicos. “Resumen del sistema” diferencia entre configuraciones aisladas, que incorporan un banco de baterías de 48 V y 750 Ah, y configuraciones conectadas a la red, acopladas a inversores Growatt; asimismo describe la orientación, la inclinación y el consumo diario vinculado a cada técnica hidropónica (Nutrient Film Technique o Deep Flow Technique) y a cada régimen de riego-iluminación.

“Resumen de resultados” presenta la energía aprovechable, la producción específica y el Performance Ratio anual o rendimiento, “Parámetros generales” fijan los modelos de irradiancia y las hipótesis de pérdidas, “Características del generador fotovoltaico” se documentan los equipos dimensionados; “Pérdidas del conjunto” desglosa los efectos de suciedad, temperatura y cableado.

En “Definición del horizonte”, “Parámetro de sombreados cercanos” y “Diagrama de iso-sombreados” cuantifican la reducción de irradiancia provocada por la orografía y las edificaciones. Las “Necesidades detalladas del usuario” incluye las cargas, eléctricas por horarios. Los “Resultados principales” concentran el balance energético mensual que sustenta el análisis posterior de donde fueron extraídos los resultados más importantes como son el rendimiento y la fracción solar; el “Diagrama de pérdida” que ilustra la cadena de transformaciones y mermas desde la irradiancia incidente hasta la energía entregada al punto de consumo. Finalmente, el “Costo del sistema” desglosa la

REVISTA DE LOS **RECURSOS ENERGÉTICOS**

Esta revista presenta un análisis profundo de los recursos energéticos en Bolivia y el mundo, abordando temas actuales, avances tecnológicos e investigaciones especializadas.

MISIÓN

Impulsando la investigación
energética para el futuro de Bolivia



**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
EN INGENIERÍA PETROLERA**

INSPET - UMSA