

**Modelo de simulación de un sistema de  
generación híbrido solar fotovoltaico  
acoplado a un motor de combustión interna  
diésel bi-fuel integrando un gasificador de  
biomasa para zonas no interconectadas**

Enmanuel Alberto Duarte Cáceres

Director: Ph,D. Leonardo Pacheco

Codirector:

M.Sc. Carlos A. Díaz

Ph,D. Luis Sebastián Mendoza.

# CONTENIDO

---

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

---

OBJETIVOS

---

METODOLOGÍA

---

RESULTADOS

---

CONCLUSIONES

---

RECOMENDACIONES



# PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

- 52% territorio nacional
- IPSE
- 1320 plantas diésel instaladas
- 8 – 10 horas diarias



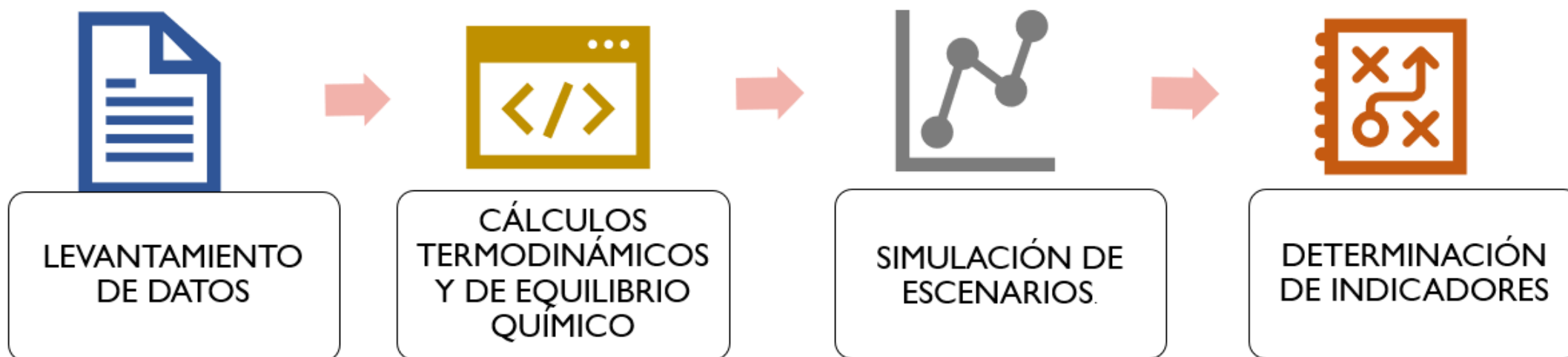
# OBJETIVOS

Modelar y simular un sistema de generación híbrido solar fotovoltaico acoplado a un MEC bi-fuel sometido a diferentes condiciones de carga

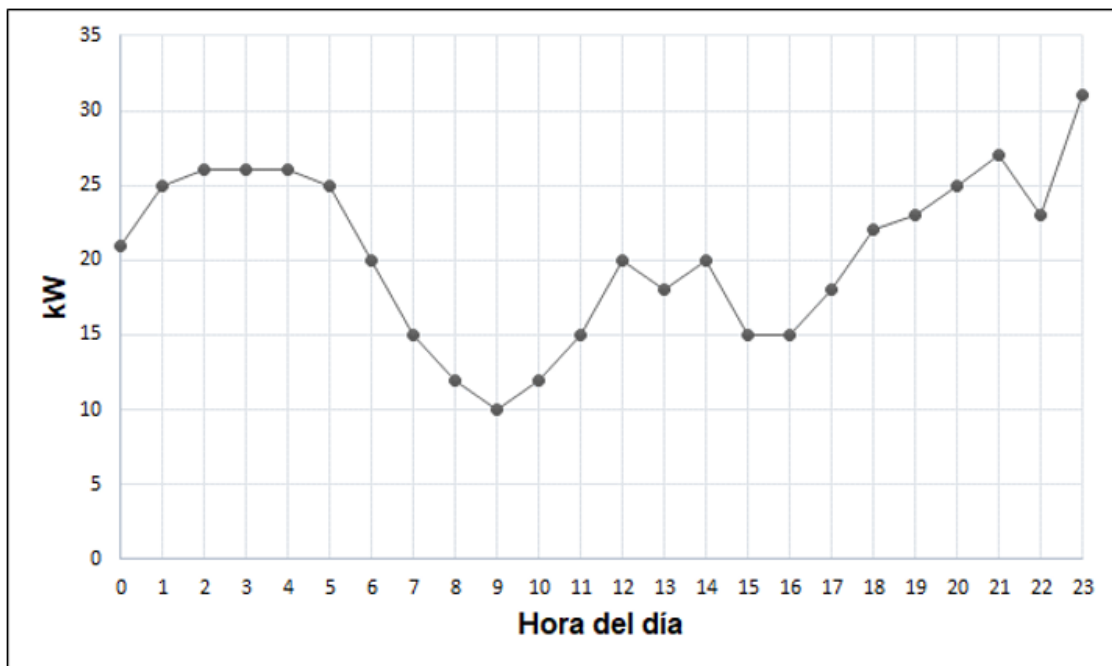
## Objetivos específicos

1. Modelar el sistema MEC de operación bi-fuel (diésel- syngas).
2. Modelar un gasificador de biomasa para el gas producido.
3. Simular el sistema acoplando gasificador, MEC, paneles fotovoltaicos para diferentes condiciones de carga.
4. Determinar indicadores de desempeño energético-ambiental.

# METODOLOGÍA



# LEVANTAMIENTO DE DATOS



Fuente: Adaptación de IPSE [3]

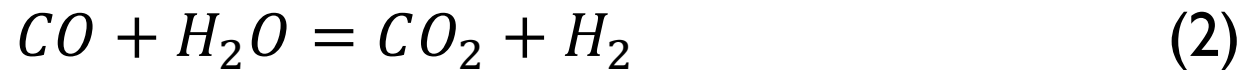


Fuente: EMEAN power.

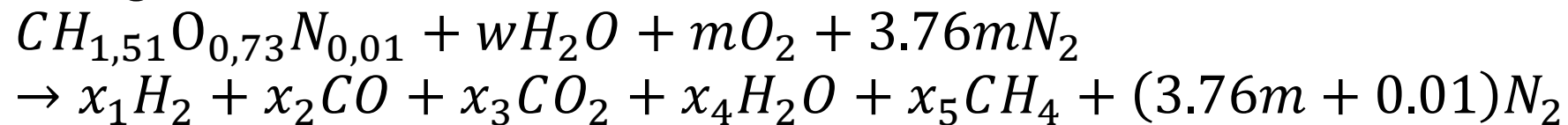
# MODELO DE GASIFICACIÓN

Consideraciones :

- Humedad presente en la biomasa : 20%
- Condición ambiente (Temperatura, presión, humedad específica)
- $CH_{1,51}O_{0,73}N_{0,01}$  formula empírica de la caña flecha
- Reacciones:



- Reacción global:

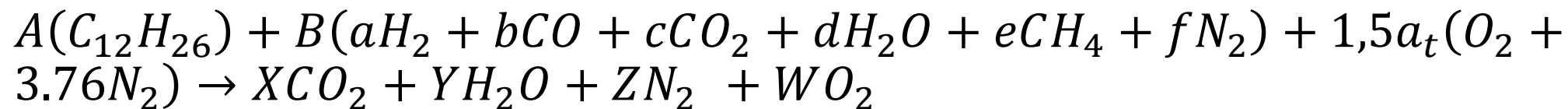


# MODELO GRUPO MOTOR GENERADOR

Consideraciones:

- Modelo estático
- El ciclo de potencia es igual al ciclo ideal del motor, se corrige mediante eficiencias.
- El diésel se representa con el dodecano  $C_{12}H_{26}$
- El gas de síntesis viene del modelo anterior

Reacción global del proceso de combustión





# MODELO GRUPO FOTOVOLTAICO

Para el sistema fotovoltaico se trabajó con el modelo realizado por Juan David Hernández para calcular la potencia real del panel.

## Consideraciones

- El sistema no tendrá almacenamiento, es decir, solo brindará energía útil cuando la radiación solar lo permita, la energía mínima entregada por el arreglo será de 0.112 kW.
- Los valores de radiación solar fueron tomados de la estación meteorológica de la Universidad Autónoma de Bucaramanga y se realizó un promedio anual de radiación hora a hora

# FACTORES DE EMISION DE COMBUSTIBLES (FECOC)

Los factores de emisión se calcularon de acuerdo a la metodología planteada por la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales para los factores de emisión de los combustibles colombianos (FECOC)

- $E_{CO_2diesel} = X_{diesel} * \left( \frac{M_{CO_2}}{M_C} \right)$
- $X_{diesel} = \frac{moles\ C * M_C}{M_{diesel}}$

Nota: Para los cálculos de emisión se siguió considerando el diésel como dodecano.

- $E_{CO_2gasdesintesis} = \left( (Y_{CO} + Y_{CH_4} + Y_{CO_2} * 0.001161) \right) * 16.0225 * \rho_{sg}^{-1}$

# COSTO NIVELADO DE ENERGÍA

El costo nivelado de energía (LCOE) es el coste teórico de generar energía eléctrica, permite analizar los costos durante todo el ciclo de vida de la tecnología. Está dado en unidades de Dinero/energía, normalmente USD/kWh o €/kWh.

$$LCOE = \left( \frac{LC_{fijo}}{kWh_{año_{nivelado}}} + \frac{LC_{fuel}}{kWh_{año_{nivelado}}} + \frac{LC_{OyM}}{kWh_{año_{nivelado}}} \right)$$

Componentes:

- Costos fijos
- Costos de operación y mantenimiento
- Costo de combustible

# ESCENARIOS

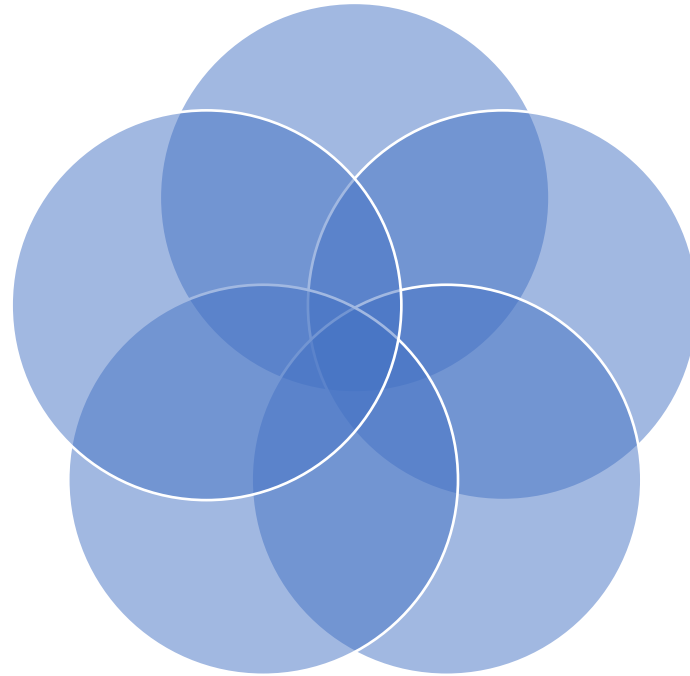
**DIESEL**

**BI-FUEL +  
SFV 60%**

**BI-FUEL**

**BI-FUEL +  
SFV 40%**

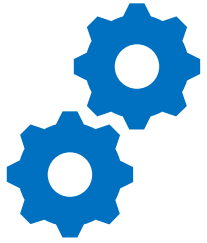
**BI-FUEL +  
SFV 20%**



# COSTO NIVELADO DE ENERGÍA

<b>Escenarios</b>	<b>Diesel</b>	<b>Bi-fuel</b>	<b>Bi-fuel - SFV 20%</b>	<b>Bi-fuel - SFV 40%</b>	<b>Bi-fuel - SFV 60%</b>
<b>Tasa de retorno</b>	11%	11%	11%	11%	11%
<b>Cargo fijo</b>	15%	25%	25 y 30%	25 y 30%	25 y 30%
<b>Vida útil</b>			10 años		

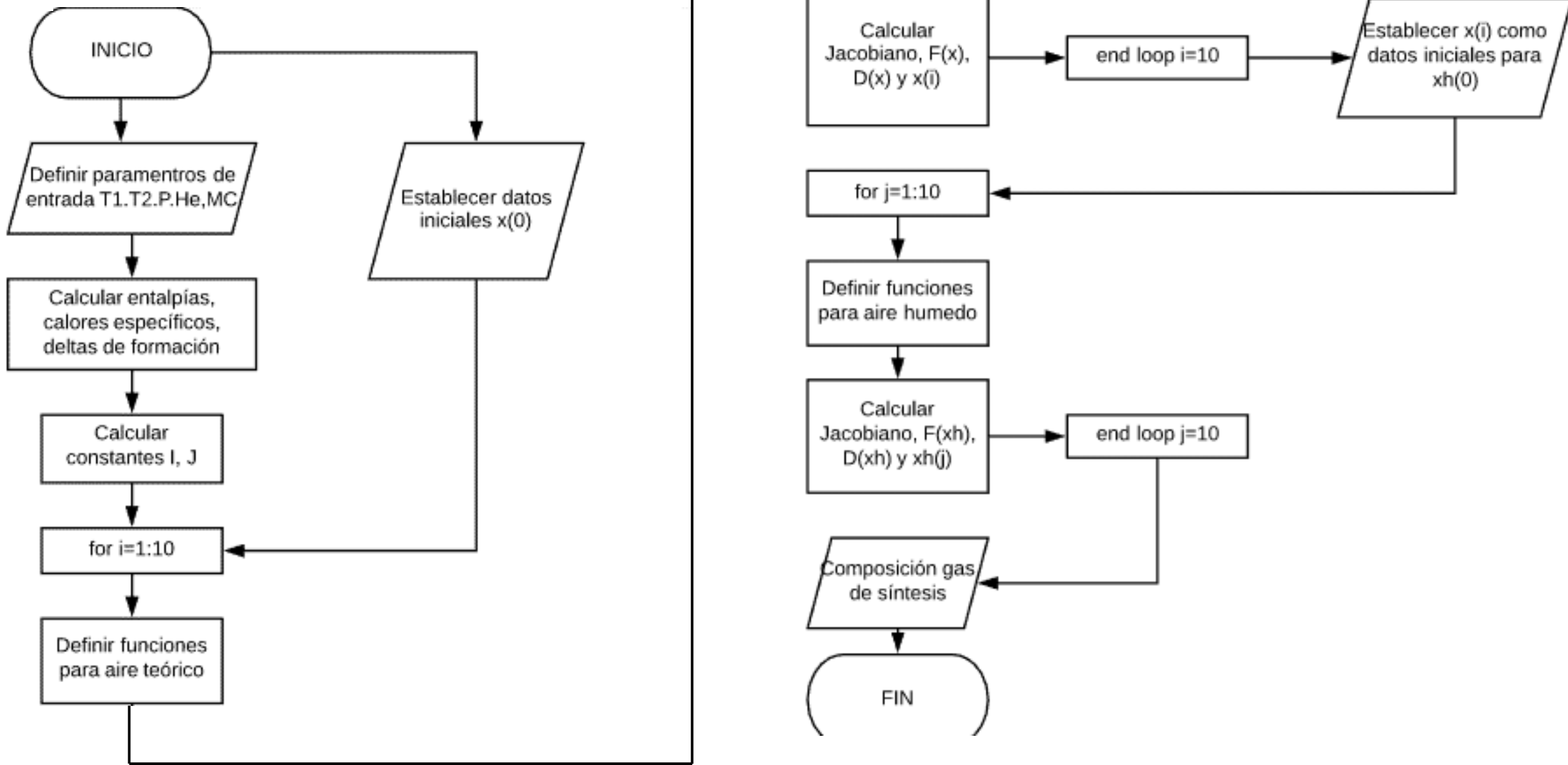
**Fuente:** Elaboración propia.

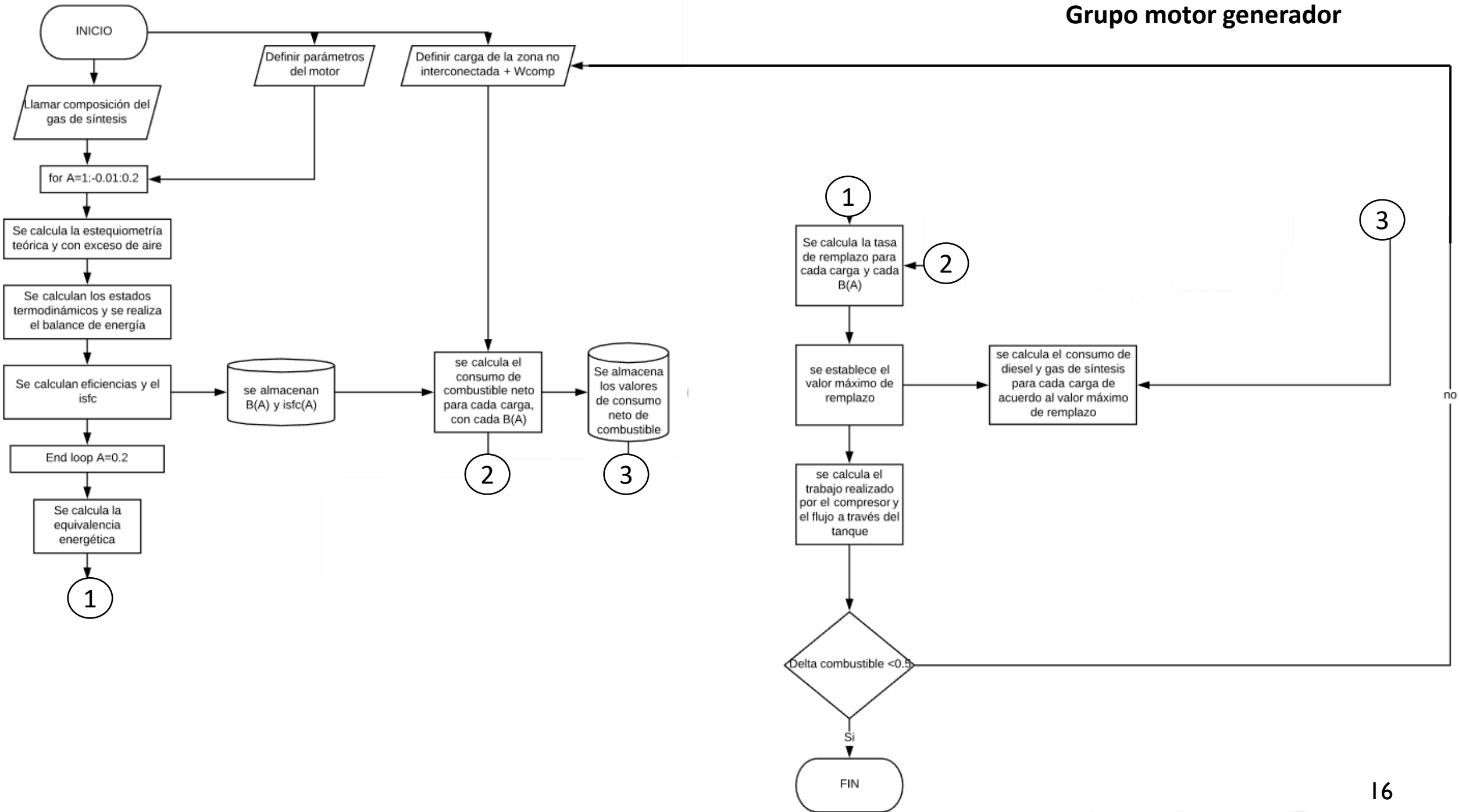


# ALGORITMOS



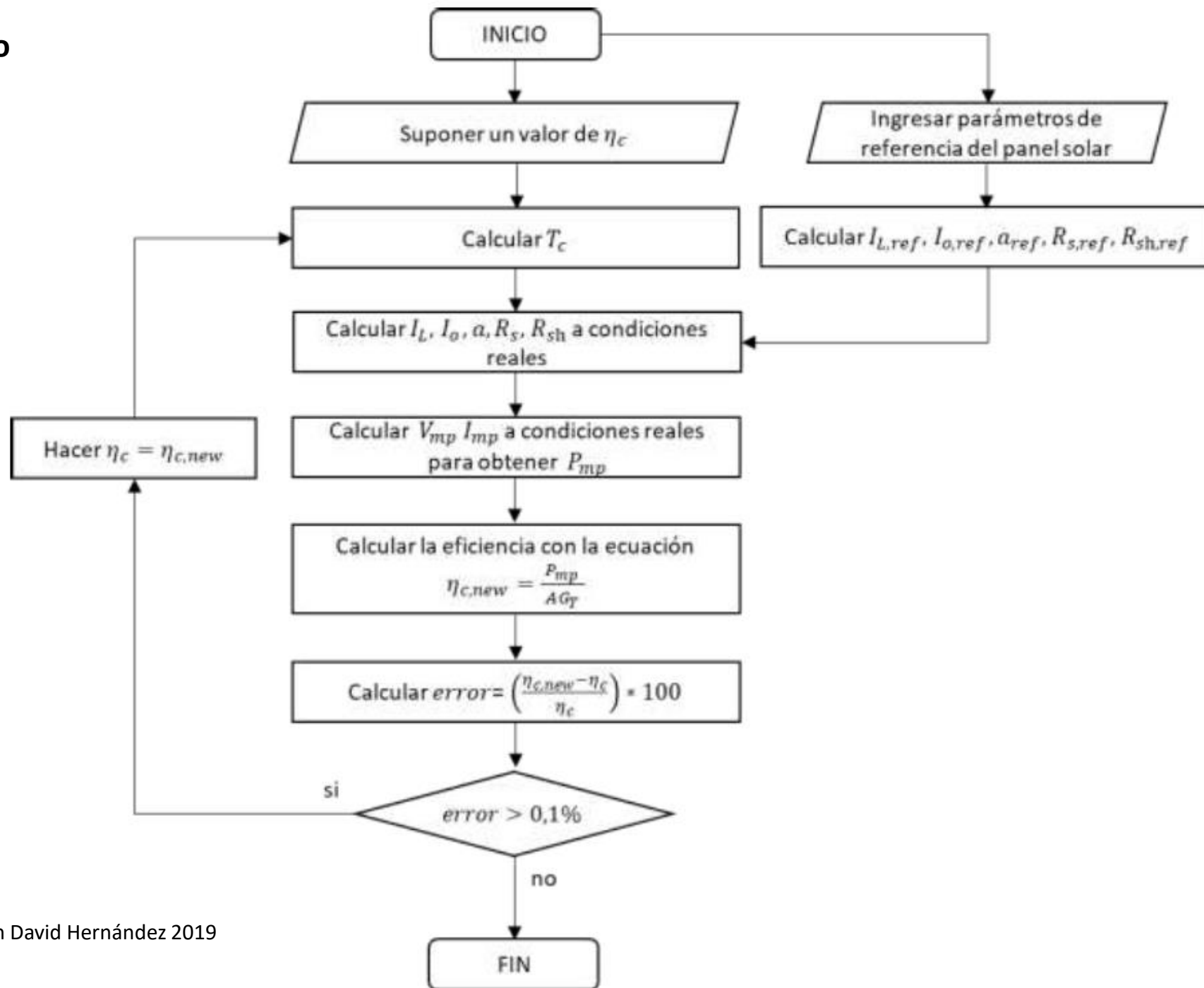
# Gasificación

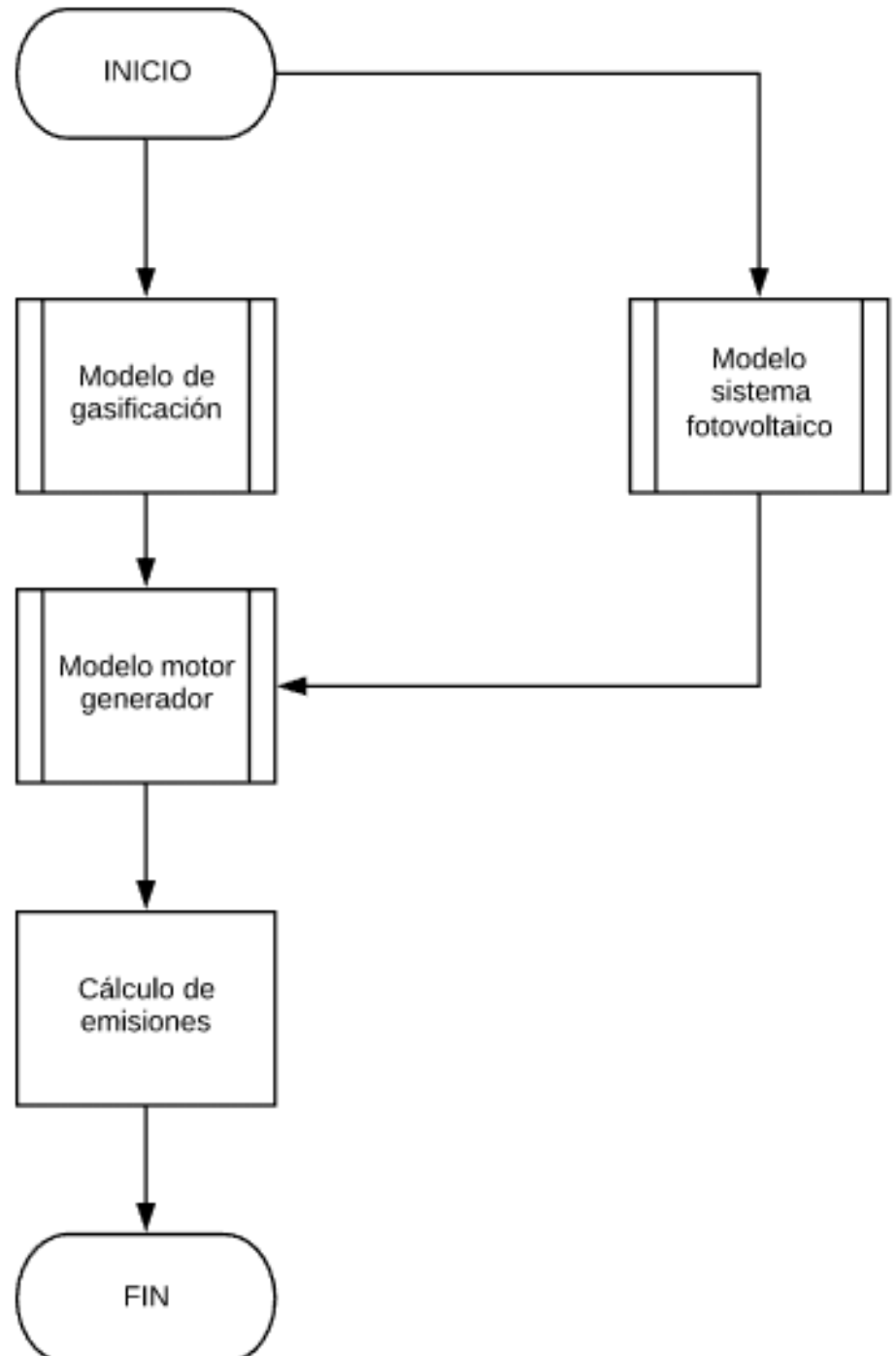


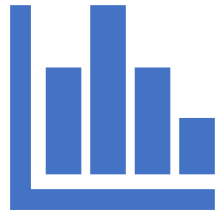




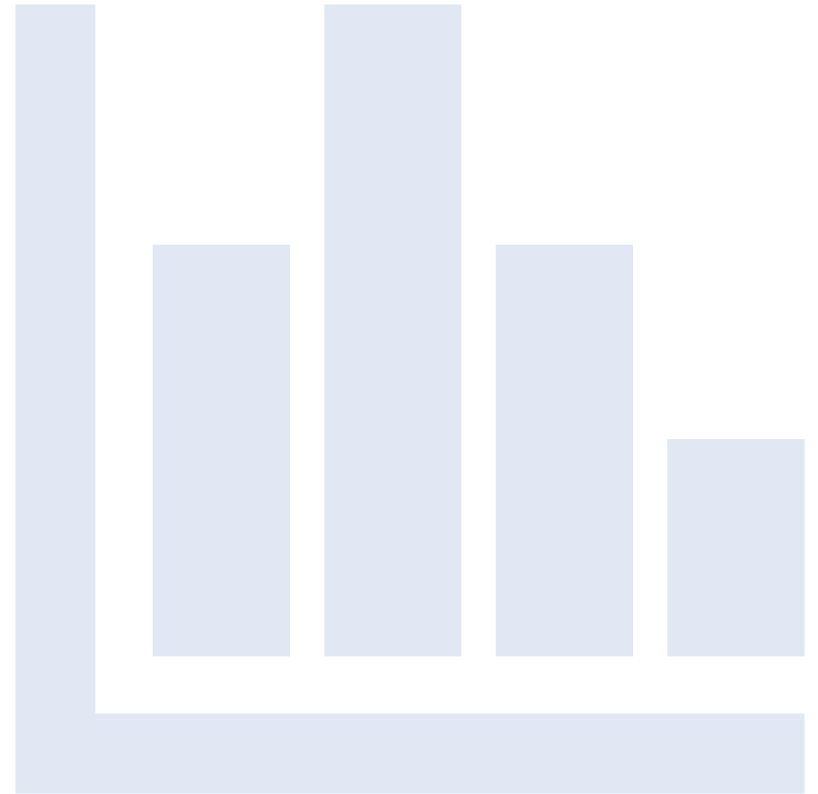
## Panel fotovoltaico







# RESULTADOS



# GAS DE SÍNTESIS

Compuesto	Fracción molar	
	Modelo	Bhaduri
H <sub>2</sub>	0.23	0.22
CO	0.3	0.19
CO <sub>2</sub>	0.06	0.12
CH <sub>4</sub>	0.01	0.02
H <sub>2</sub> O	0.04	0
N <sub>2</sub>	0.36	0.45

**Fuente:** Adaptado de [5]

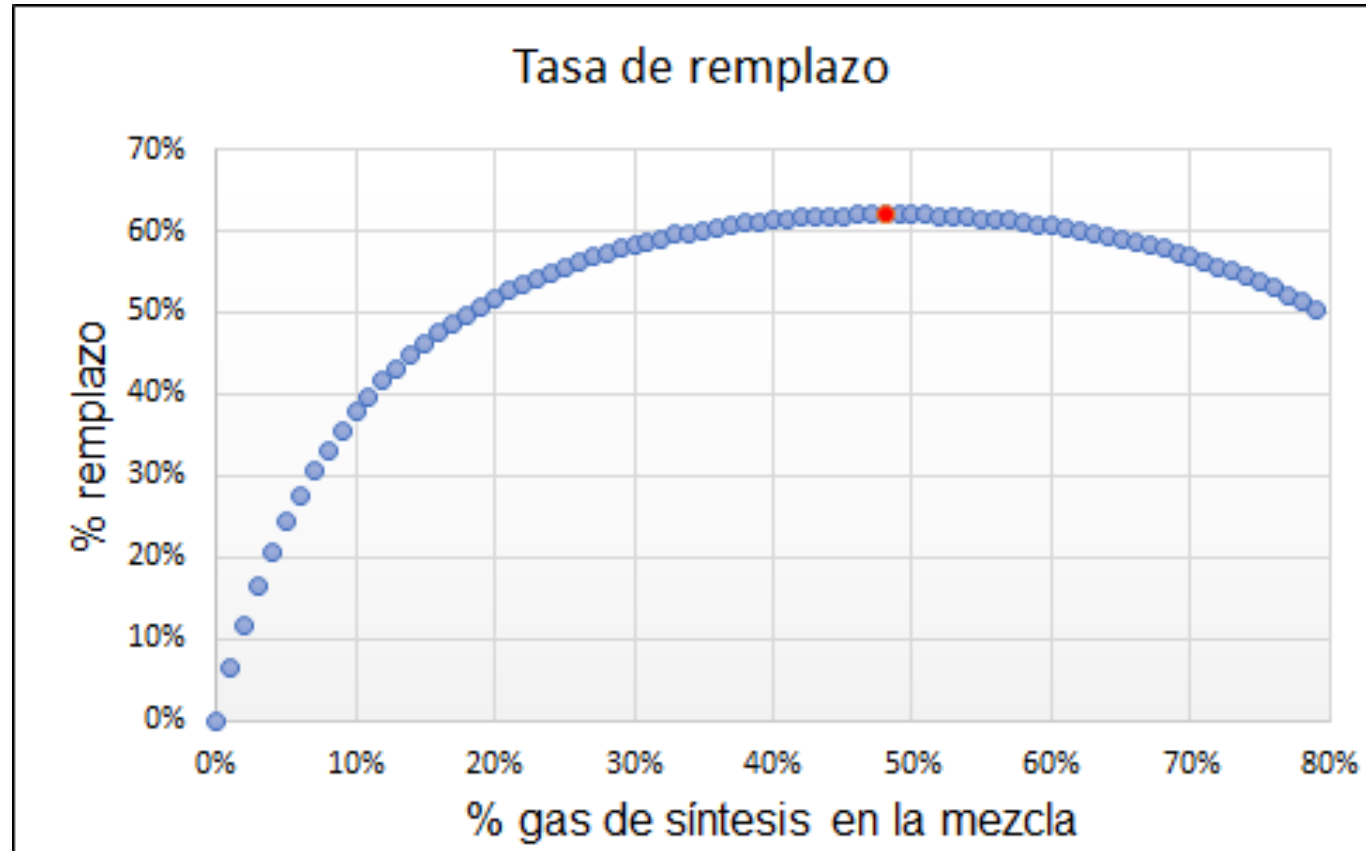
Poder calorífico inferior

- Modelo: 5647 [kJ/kg]
  - Bhaduri: 5133 [kJ/kg]
- 10 % de error

# GRUPO MOTOR GENERADOR

Tasa máxima  
de remplazo :  
61,99%

Fracción molar  
de syngas :  
48%

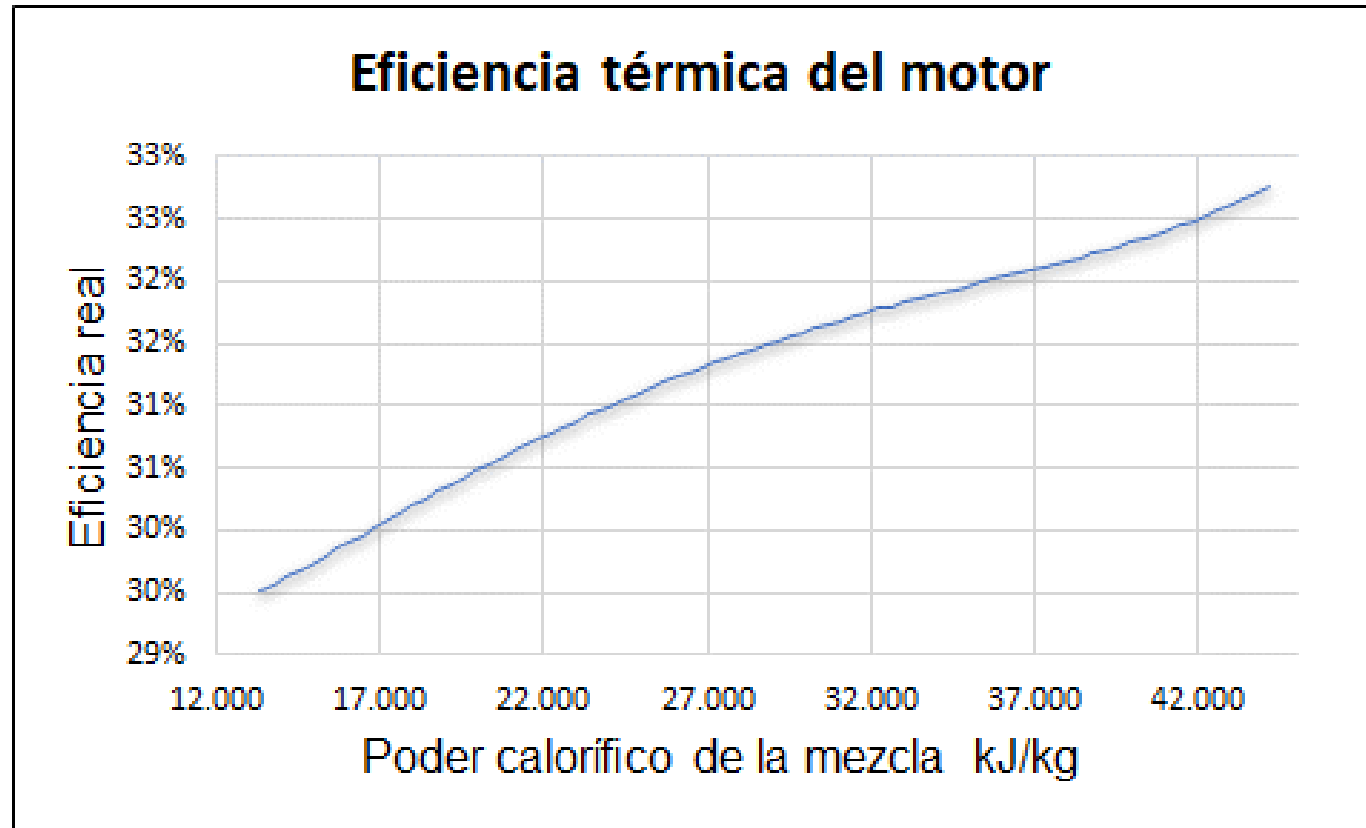


# GRUPO MOTOR GENERADOR

Eficiencia :  
31,19%

%Syngas ↑

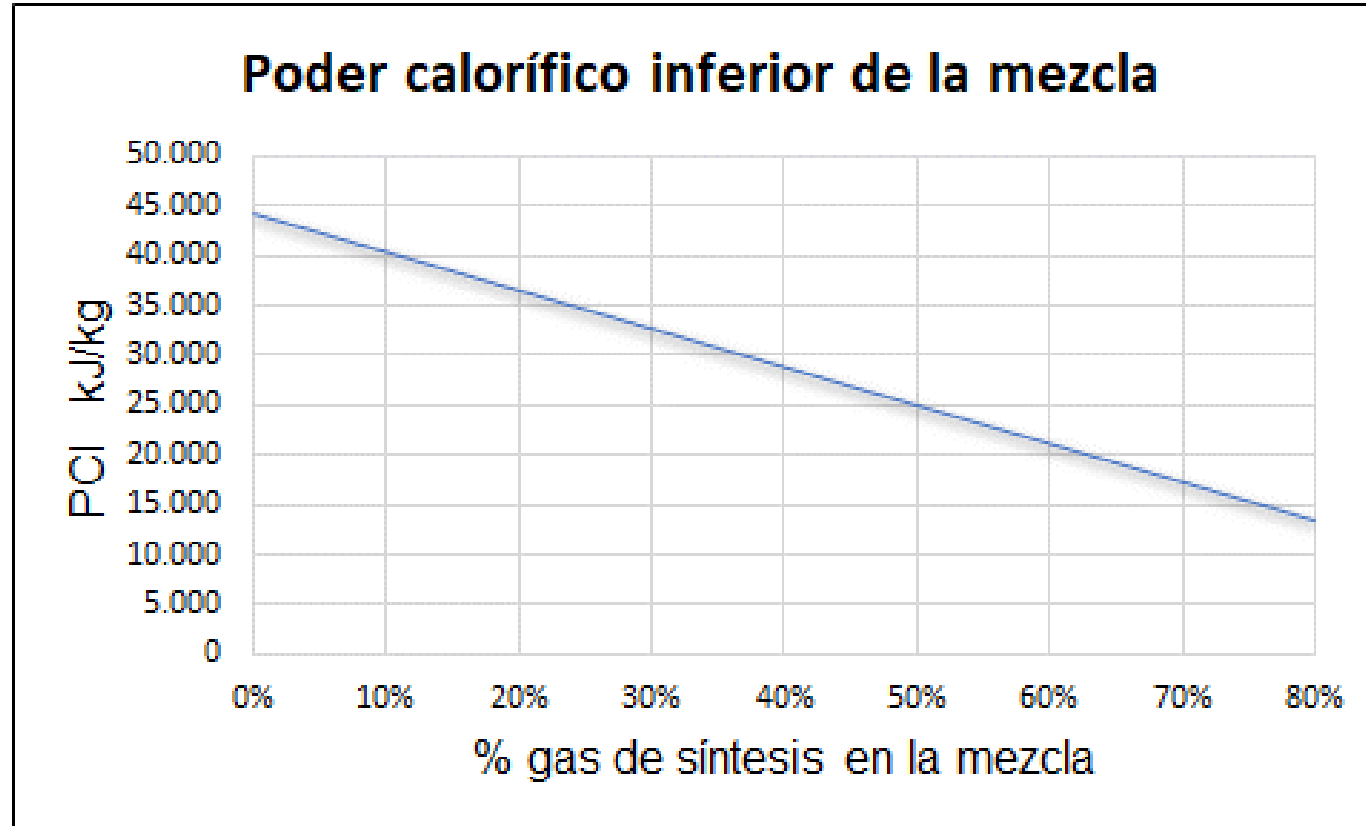
Eficiencia ↓

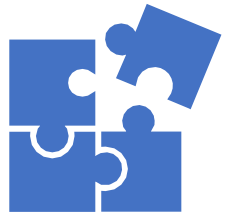


# GRUPO MOTOR GENERADOR

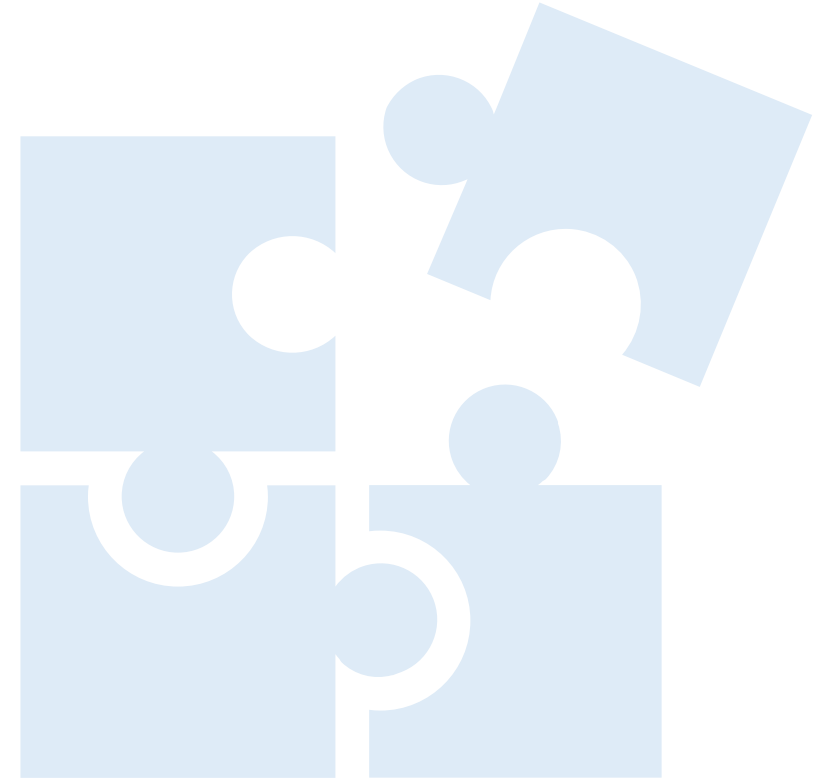
Modo Bi-fuel:  
25667 [kJ/kg]

Modo Standalone:  
44147 [kJ/kg]





# COMPARACIÓN DE ESCENARIOS



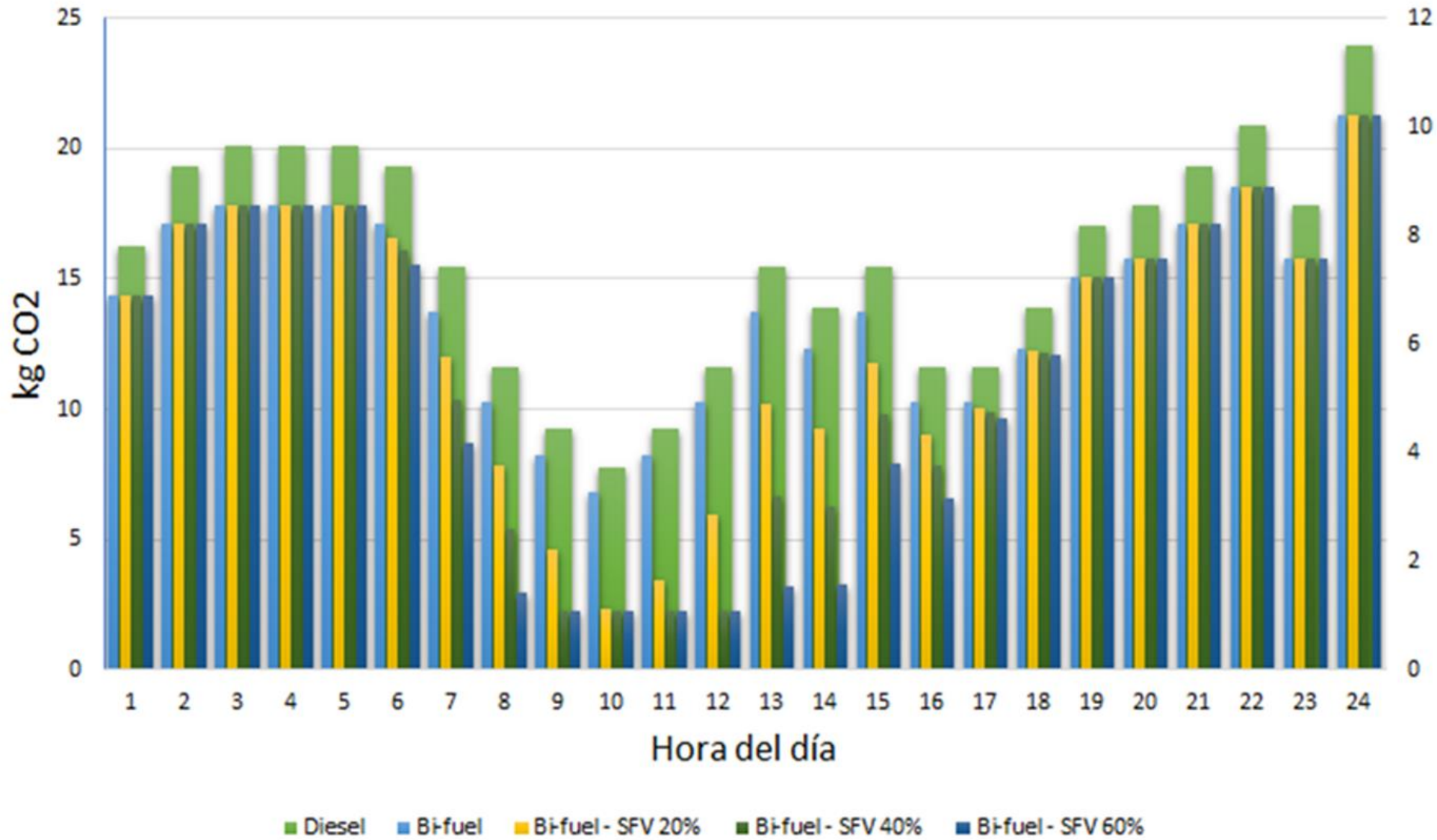


# COSTO NIVELADO DE ENERGÍA

<b>Escenarios</b>	<b>Diésel</b>	<b>Bi-fuel</b>	<b>Bi-fuel-SFV 20%</b>	<b>Bi-fuel-SFV 40%</b>	<b>Bi-fuel-SFV 60%</b>
USD/kWh	0,435	0,269	0,279	0,2798	0,2756
COP/kWh	1305,41	807,95	837,61	839,58	826,89

**Fuente:** Elaboración propia.

## Emisiones CO2



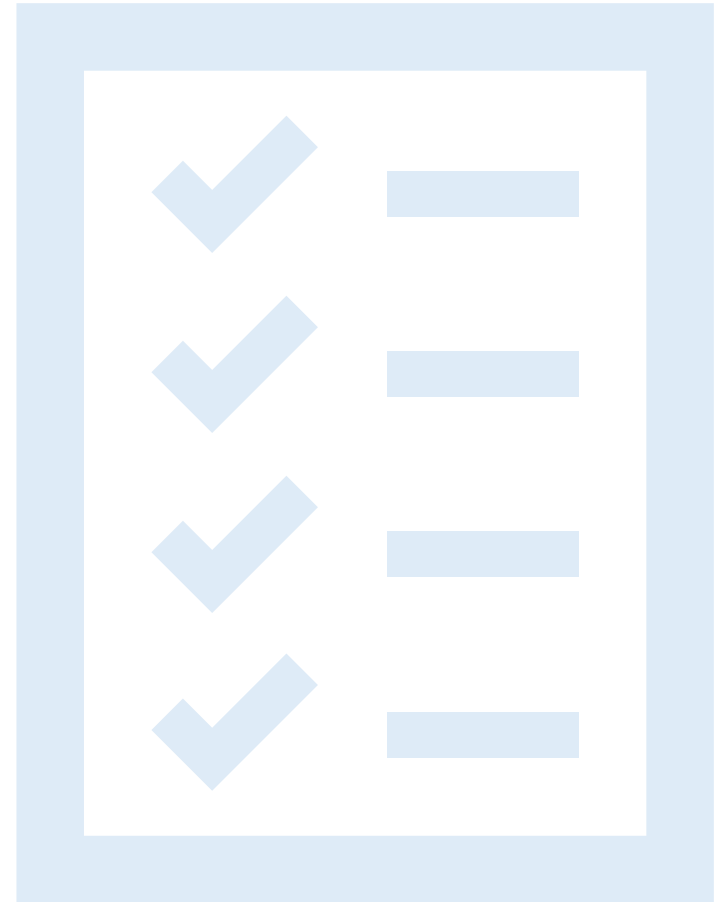
# EMISIONES

<b>Escenarios</b>	<b>Diesel</b>	<b>Bi-fuel</b>	<b>Bi-fuel - SFV 20%</b>	<b>Bi-fuel - SFV 40%</b>	<b>Bi-fuel - SFV 60%</b>
Emisiones diarias	378,885	161,159	145,863	135,260	128,370
Reducción kg CO2	0	217,7258	233,022	243,6247	250,5148
% Reducción	0%	57%	62%	64%	66%

**Fuente:** Elaboración propia.



# CONCLUSIONES



Simulación

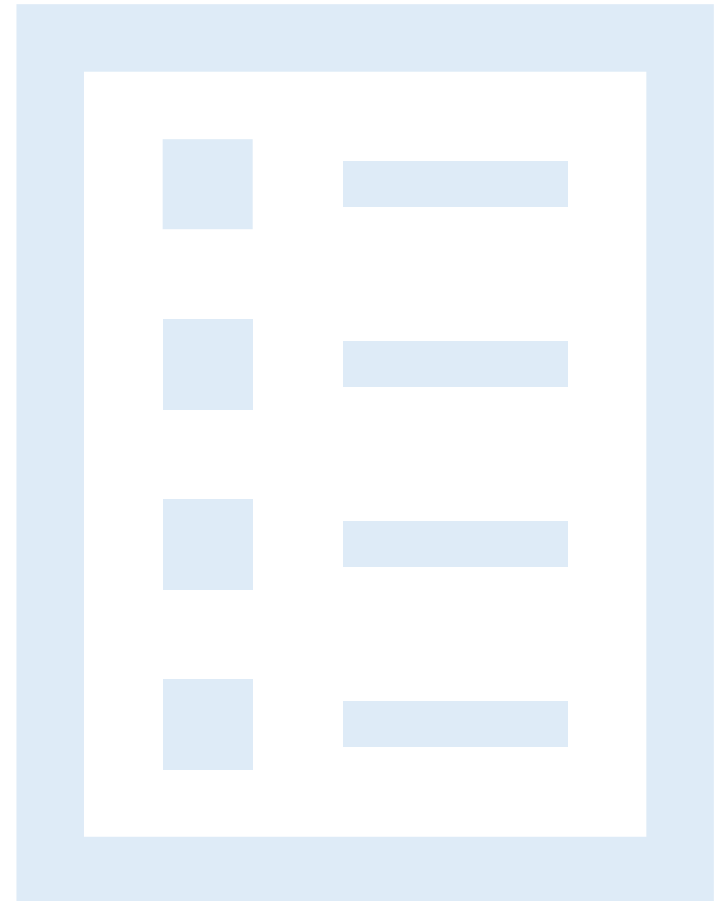
ISFC 0,4497 [kg/kWh]

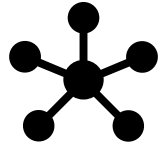
Viabilidad económica por parte de ambos sistemas

Reducción de emisiones superiores al 50%

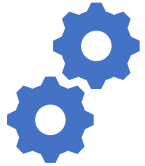


# RECOMENDACIONES

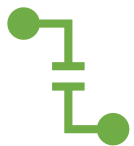




Se recomienda implementar un sistema de control para el mecanismo de alimentación del motor,



Modelar y dimensionar el gasificador de biomasa en estado dinámico junto con el grupo motor generador.



Integrar el sistema como tipo micro red para futuros trabajos (transformadores, generación, almacenamiento, cargas, interruptores, protecciones)

