

*UNIVERSIDAD DE CAMAGÜEY*  
*“Ignacio Agramonte Loynaz”*

*FACULTAD ELECTROMECAÁNICA.*  
*DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA.*

*RECUPERACIÓN DE CALOR EN LOS*  
*GRUPOS ELECTRÓGENOS A FUEL. CON UN*  
*CICLO RANKINE ORGÁNICO*

*AUTORES:*

*ING. RAFAEL S. LEYVA CANAVACIOLO. M.SC.*

email [rafael.leyva@reduc.edu.cu](mailto:rafael.leyva@reduc.edu.cu)

*ING. MARÍA MAGDALENA FALS ACUÑA. M.SC.*

email [maria.fals@reduc.edu.cu](mailto:maria.fals@reduc.edu.cu)

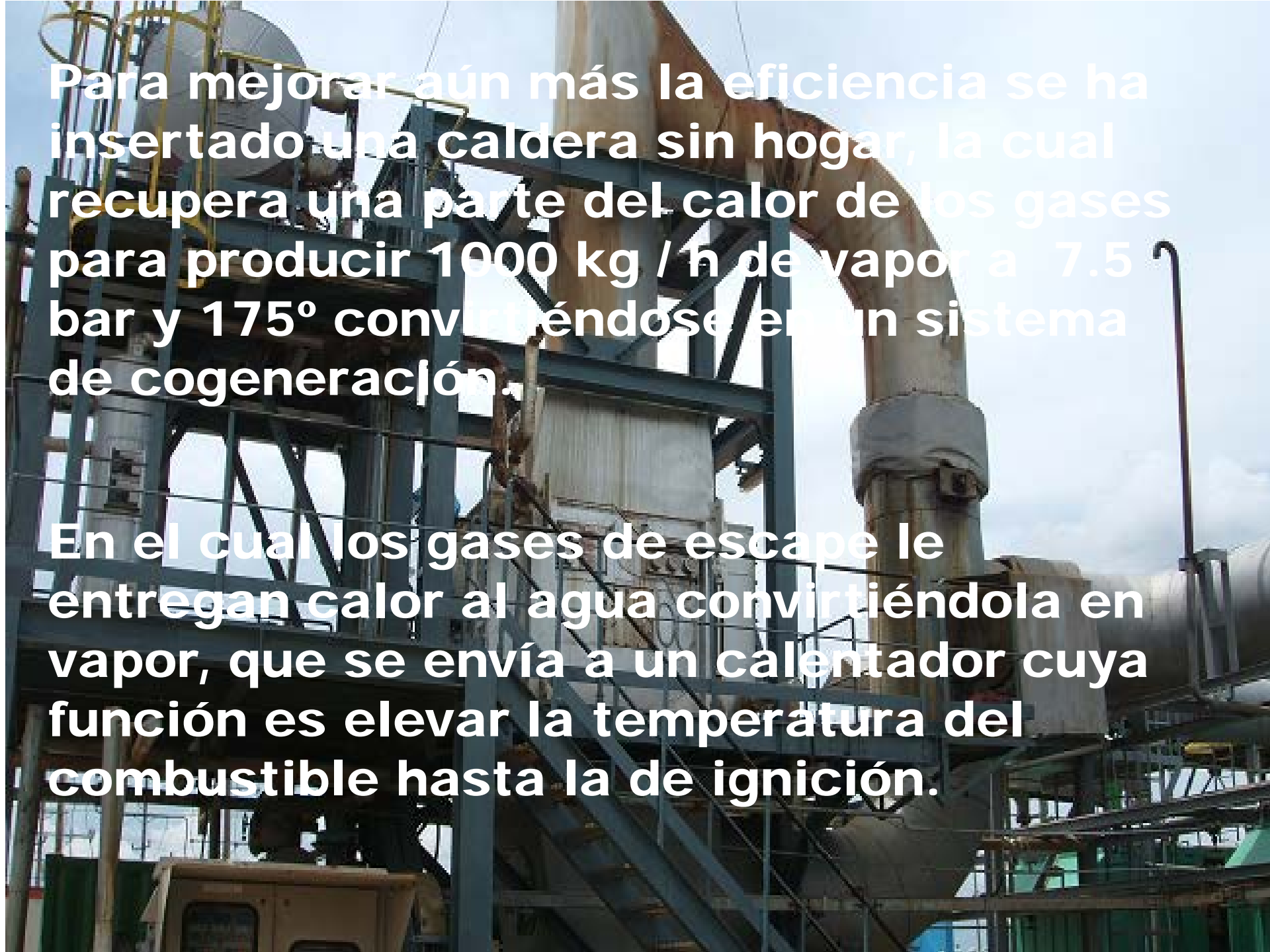
*ING. IVÁN ERNESTO SALVADOR FRÍAS.*

# Principio de funcionamiento:

El motor Diesel mueve un generador y expulsa gases a la atmósfera, en el tubo de salida de los gases se inserta una turbina que mueve un compresor centrífugo, alimentando con aire parcialmente comprimido a los cilindros del motor, incrementando la eficiencia entre un 10 y un 15 % y la potencia en un 30 %.

# ***PROBLEMA CIENTÍFICO***

**GRANDES PÉRDIDAS  
ENERGÉTICAS Y EXERGÉTICAS  
EN LOS GASES EXPULSADOS A  
LA ATMÓSFERA POR LOS  
MOTORES DIESEL, DE LAS  
BATERÍAS DE GRUPOS  
ELECTRÓGENOS A FUEL.**

A photograph of an industrial facility, likely a power plant or refinery. The image shows a complex network of metal structures, including a large, curved, light-colored pipe that arches over a central area. The background features a clear blue sky with some light clouds. The overall scene is industrial and technical.

Para mejorar aún más la eficiencia se ha insertado una caldera sin hogar, la cual recupera una parte del calor de los gases para producir 1000 kg / h de vapor a 7.5 bar y 175° convirtiéndose en un sistema de cogeneración.

En el cual los gases de escape le entregan calor al agua convirtiéndola en vapor, que se envía a un calentador cuya función es elevar la temperatura del combustible hasta la de ignición.

# HIPÓTESIS

Si se utiliza un Ciclo Rankine Orgánico

a la salida de los gases de escape aumentarán:

- La eficiencia energética- del ciclo termodinámico.
- La eficiencia exergética del ciclo termodinámico.
- La producción de electricidad.
- La eficiencia económica.

Y disminuirá:

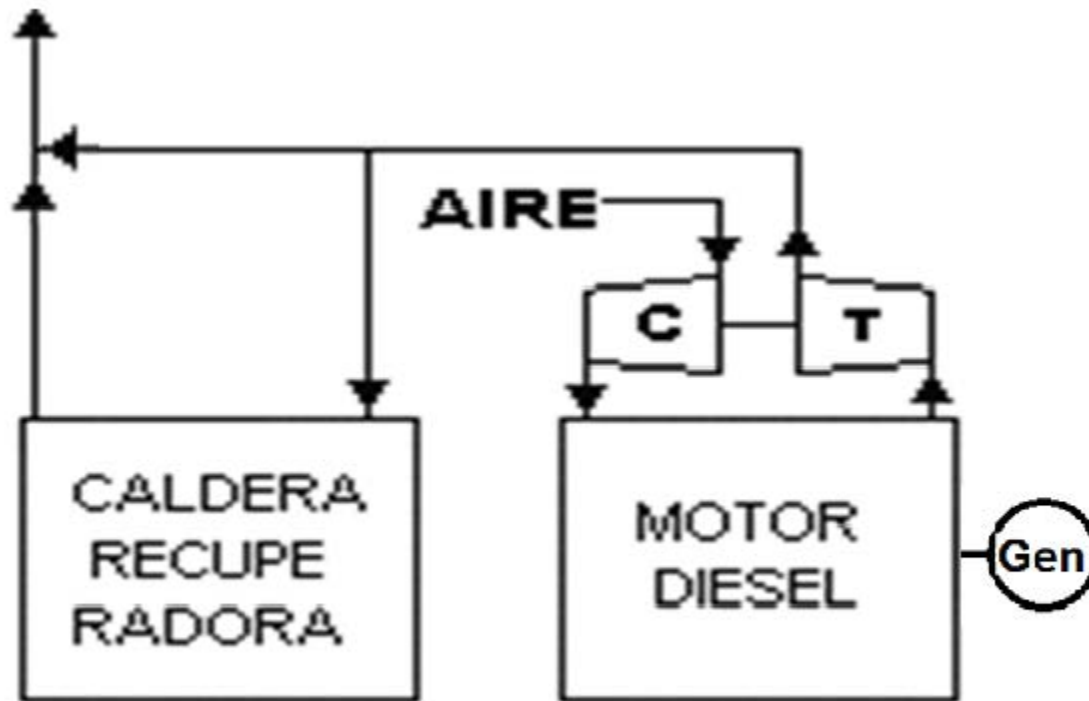
- La emisión de gases contaminantes a la atmósfera

# OBJETIVO

Realizar un estudio comparativo entre el esquema básico utilizado para la cogeneración en los Grupos Electrógenos a Fuel, con una variante que combina este esquema con un ORC para la determinación de un posible incremento, como alternativa del mejoramiento de la eficiencia y la producción de electricidad.

# ESQUEMA DEL CASO BASE.

## A LA CHIMENEA



**CASO BASE**

La figura anterior representa el esquema de cogeneración compuesto por un motor diesel, un turbocompresor, una caldera recuperadora de calor y un generador eléctrico.

A photograph of a complex industrial structure, likely a power plant component, featuring a tall metal framework with multiple levels of walkways and railings. Large, insulated pipes are visible, including a prominent vertical pipe and a large horizontal pipe on the right. The background is a clear blue sky.

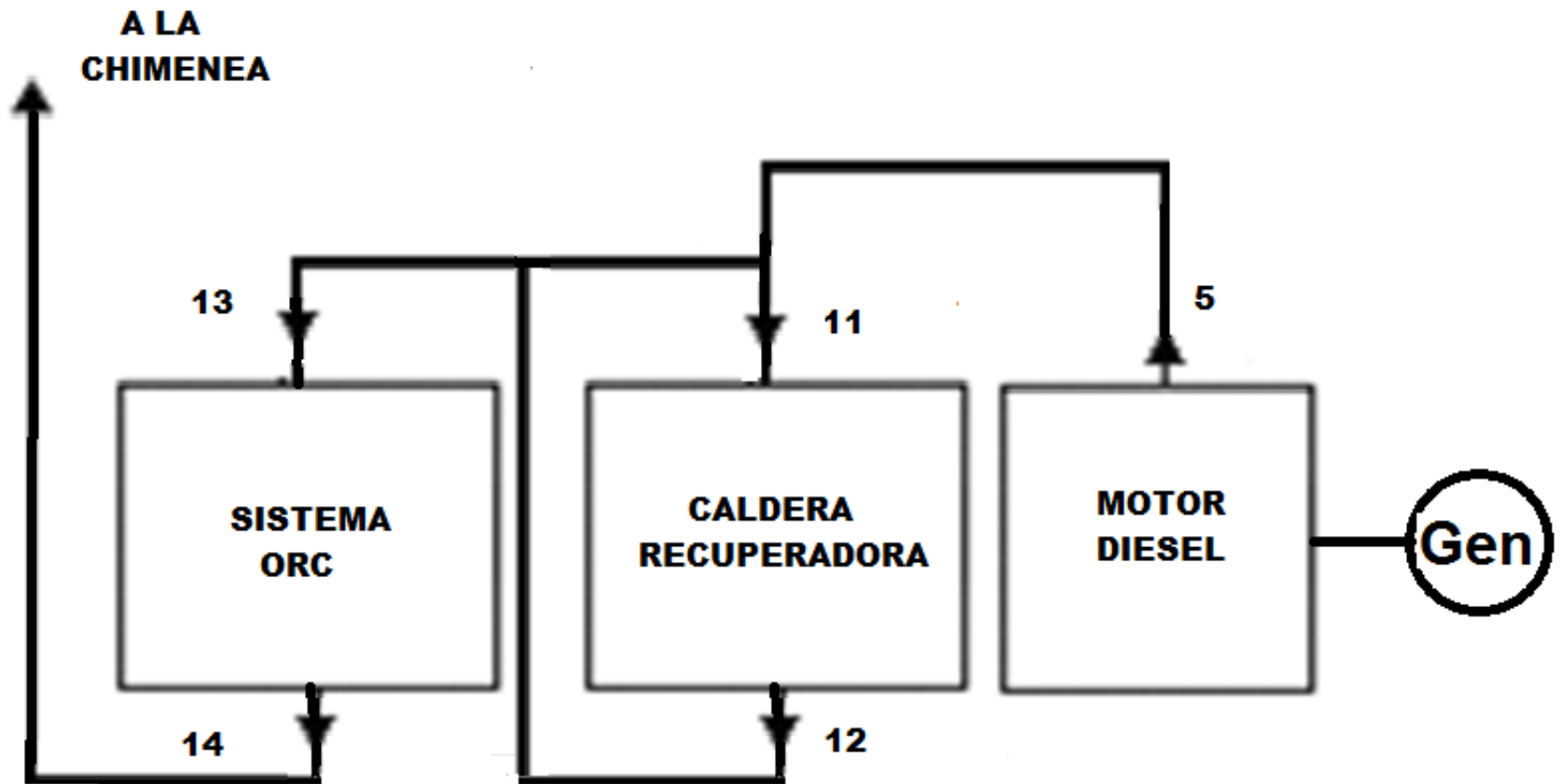
*VARIANTE CON EL*

*SISTEMA ORC*

*(Organic Rankine Cycle)*



# VARIANTE CON ORC



# ¿QUE ES UN SISTEMA ORC?

ES UN CICLO RANKINE DE POTENCIA QUE EN LUGAR DE AGUA COMO AGENTE DE TRABAJO UTILIZA UN FLUIDO ORGANICO DE BAJA TEMPERATURA DE EBULLICIÓN.

MUY UTILIZADOS EN CENTRALES GEOTERMICAS DE BAJA ENTALPIA CON:

- NH<sub>3</sub>
- R134A
- R245FA

# CENTRALES DE BAJA ENTALPÍA

Una reserva con temperaturas entre 110 y 160°C no tiene suficiente calor para producir rápidamente suficiente vapor pero puede ser utilizada para producir electricidad en una central "binaria".

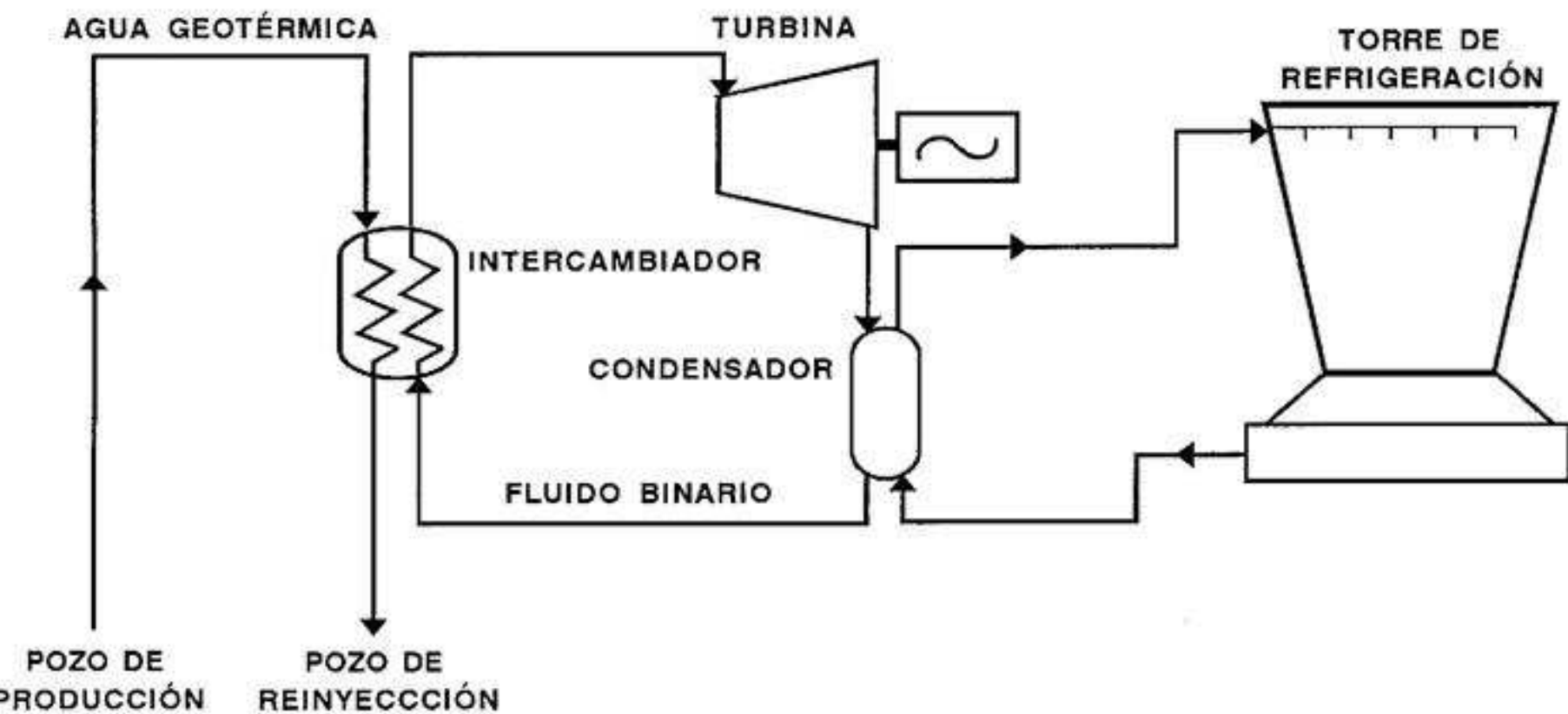
En un sistema binario el agua geotérmica pasa a través de un intercambiador de calor, donde el calor es transferido a un segundo líquido que hierve a temperaturas más bajas que el agua.

Cuando es calentado, el líquido binario se convierte en vapor, que como el vapor de agua, se expande y mueve las hélices de la turbina. El vapor es luego condensado y convertido en líquido, utilizado repetidamente. En este ciclo cerrado, no hay emisiones al aire.

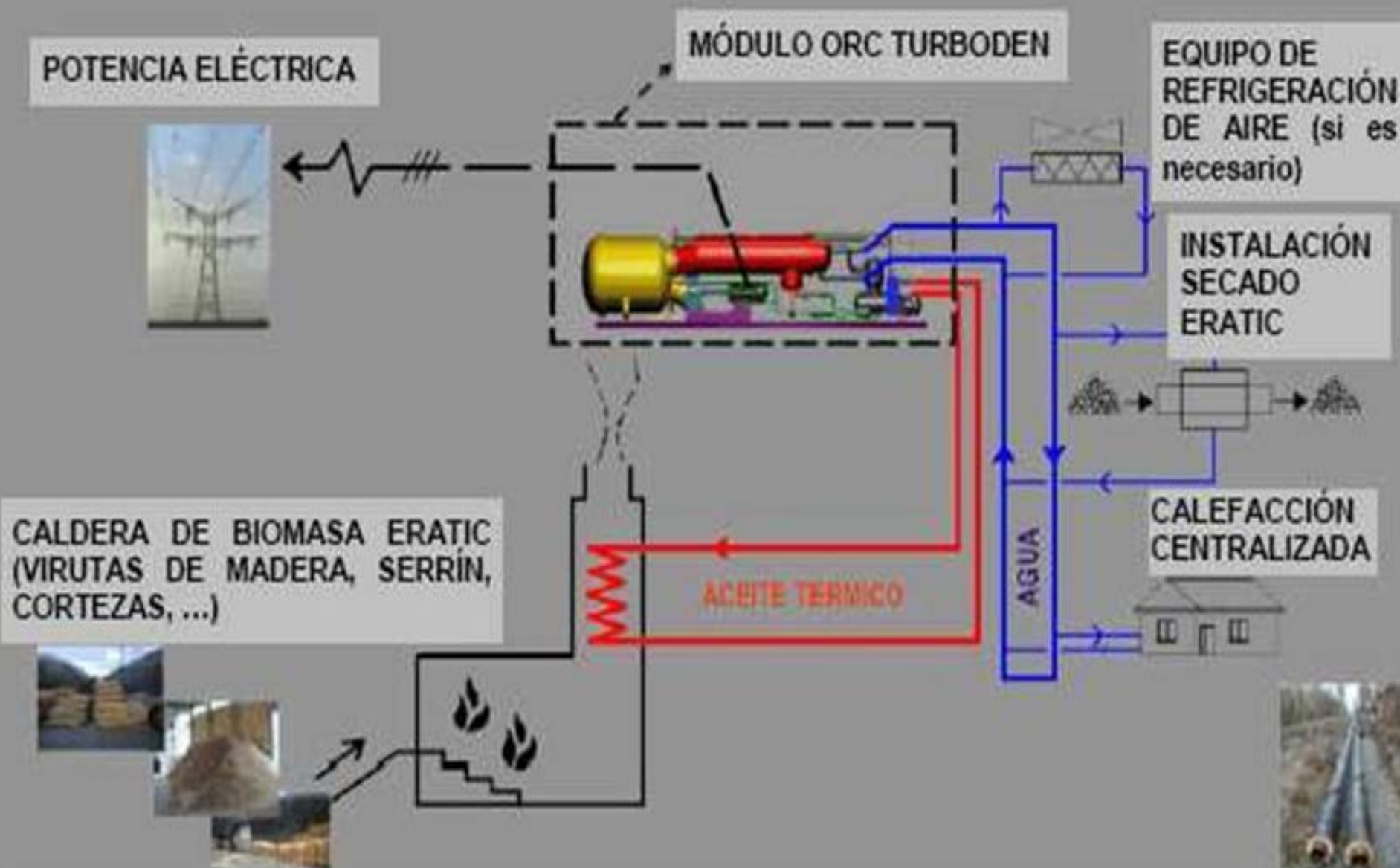
**CENTRAL WENDELL-  
AMADEE DE  
CICLO BINARIO  
(ESTADOS UNIDOS)**



**CENTRAL GRANJA  
EMPIRE DE CICLO  
BINARIO (3,6 MW)  
(ESTADOS UNIDOS)**



**APROVECHAMIENTO DE AGUA CALIENTE MEDIANTE CICLO BINARIO**

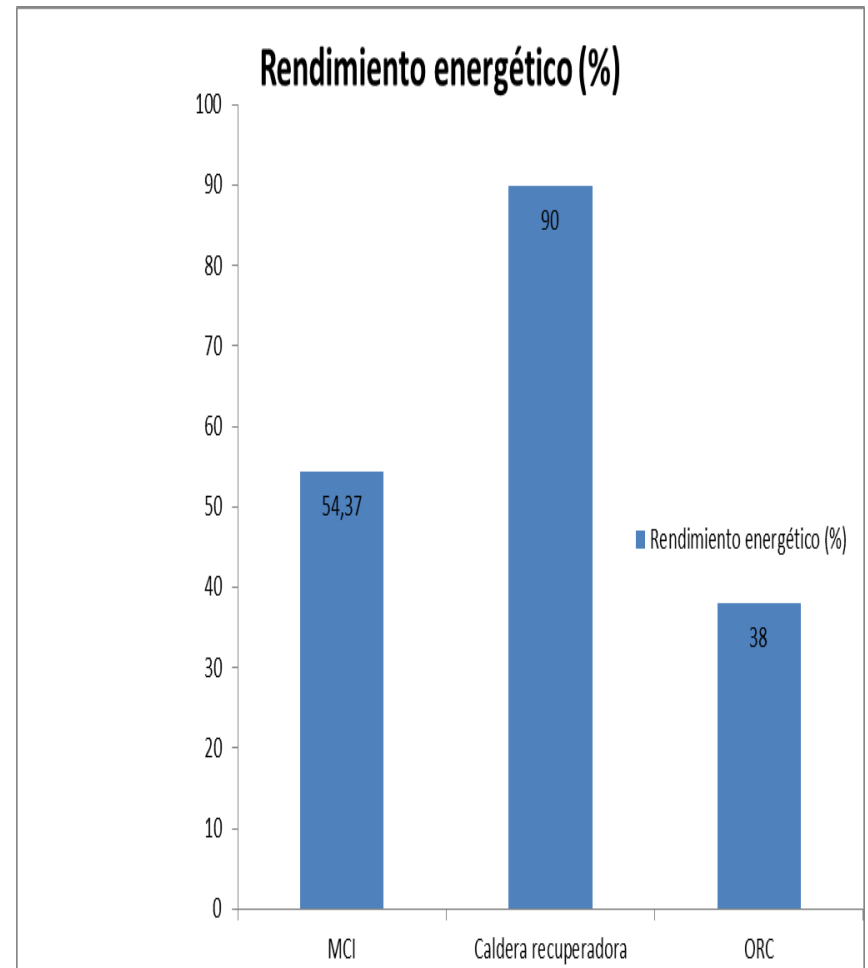
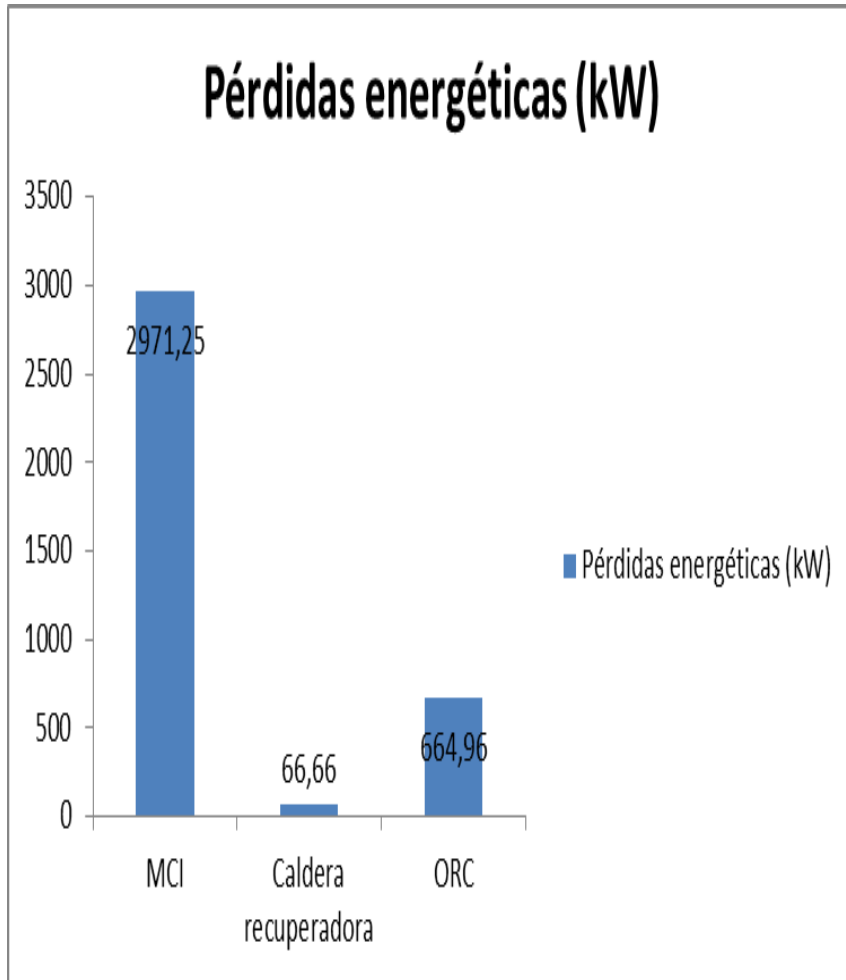


Propuesta de TURBODEN para una planta de 1MW para un aserradero en la localidad de Macurije, municipio Guane, provincia Pinar del Rio.

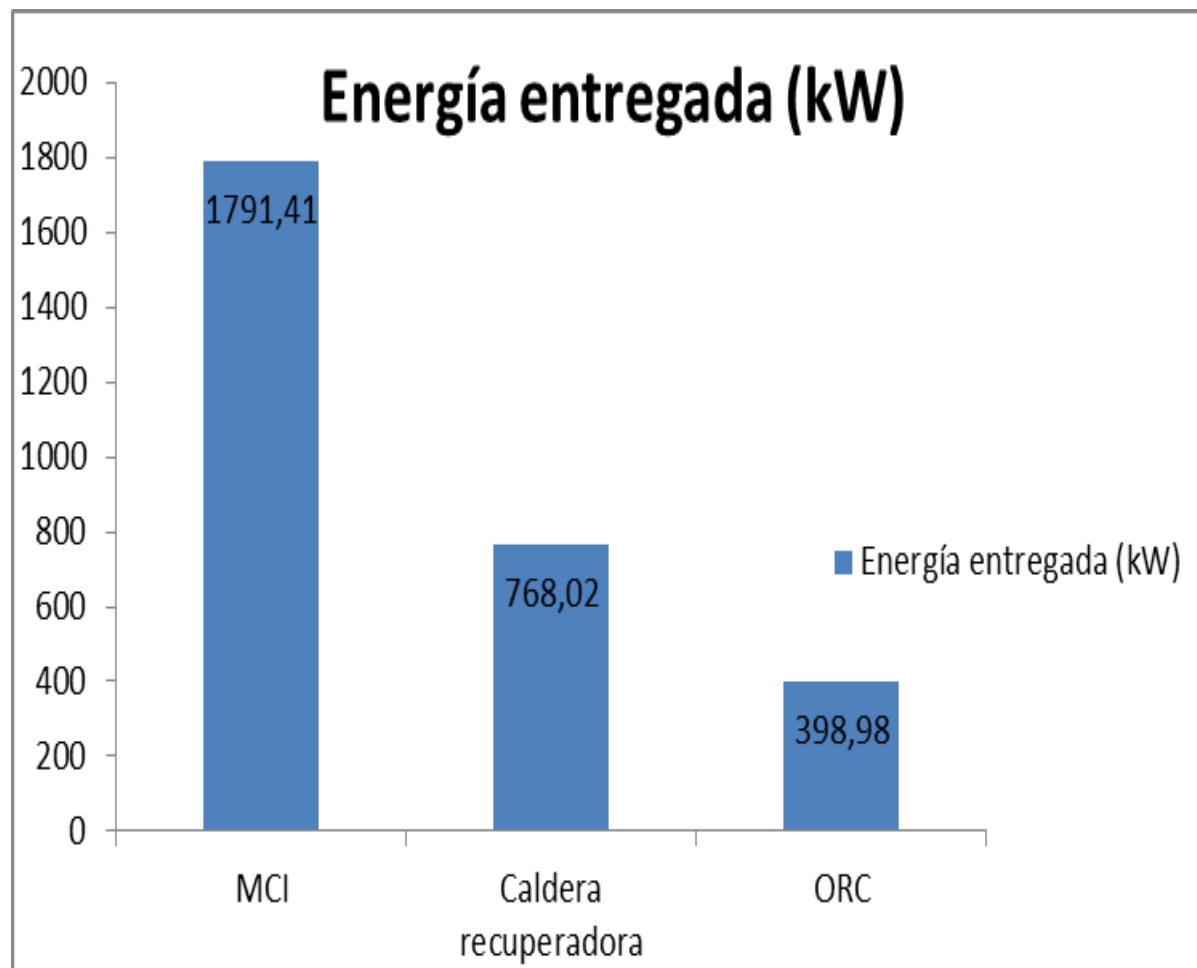
# Resultados obtenidos

	<i>Unidad</i>	<i>MCI</i>	<i>Caldera recuperadora</i>	<i>ORC</i>
<b><i>Pérdidas energéticas</i></b>	<b><i>(kW)</i></b>	<b><i>2971,25</i></b>	<b><i>66,66</i></b>	<b><i>664.96</i></b>
<b><i><math>\eta_{ener}</math></i></b>	<b><i>(%)</i></b>	<b><i>54,37</i></b>	<b><i>90,00</i></b>	<b><i>38,00</i></b>
<b><i>Pérdidas exergéticas</i></b>	<b><i>(kW)</i></b>	<b><i>1426,04</i></b>	<b><i>82,31</i></b>	<b><i>702.6</i></b>
<b><i><math>\eta_{exer}</math></i></b>	<b><i>(%)</i></b>	<b><i>46,96</i></b>	<b><i>69,3</i></b>	<b><i>51,00</i></b>
<b><i>Energía entregada</i></b>	<b><i>(kW)</i></b>	<b><i>1791.41</i></b>	<b><i>768.02</i></b>	<b><i>398.98</i></b>

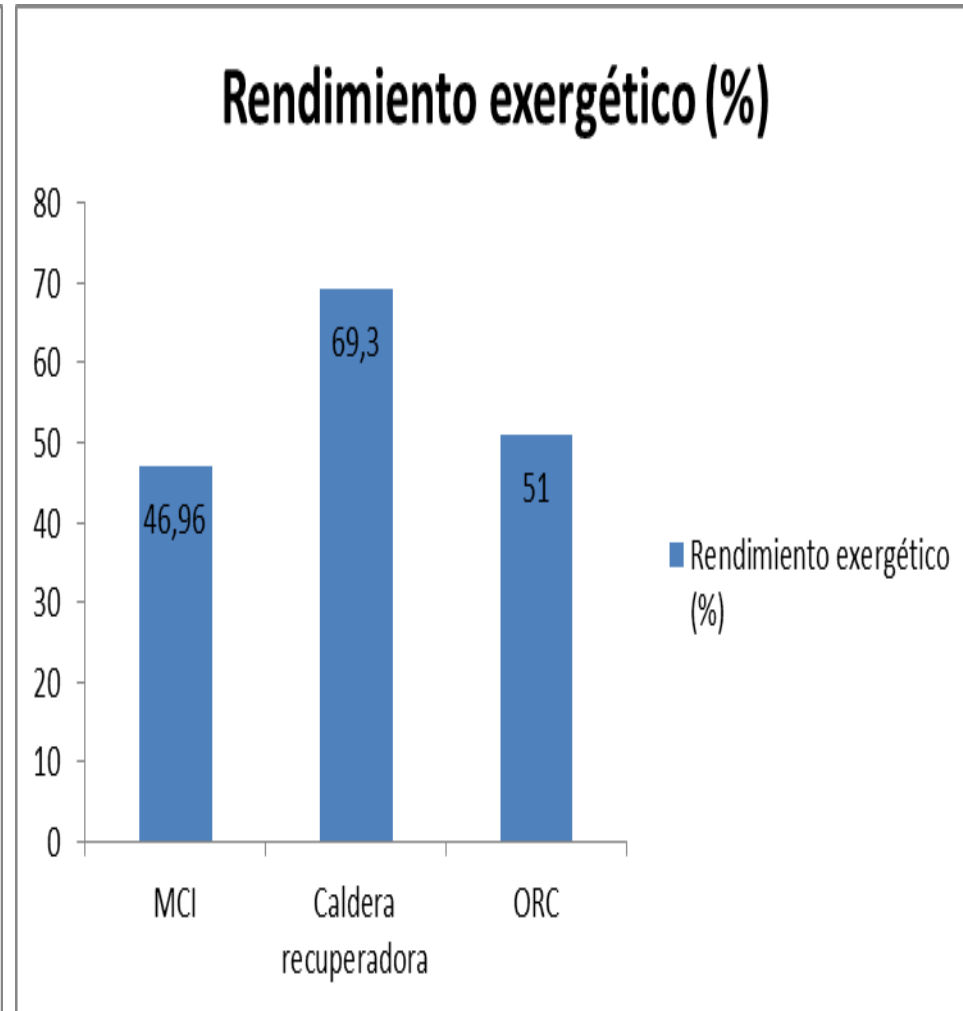
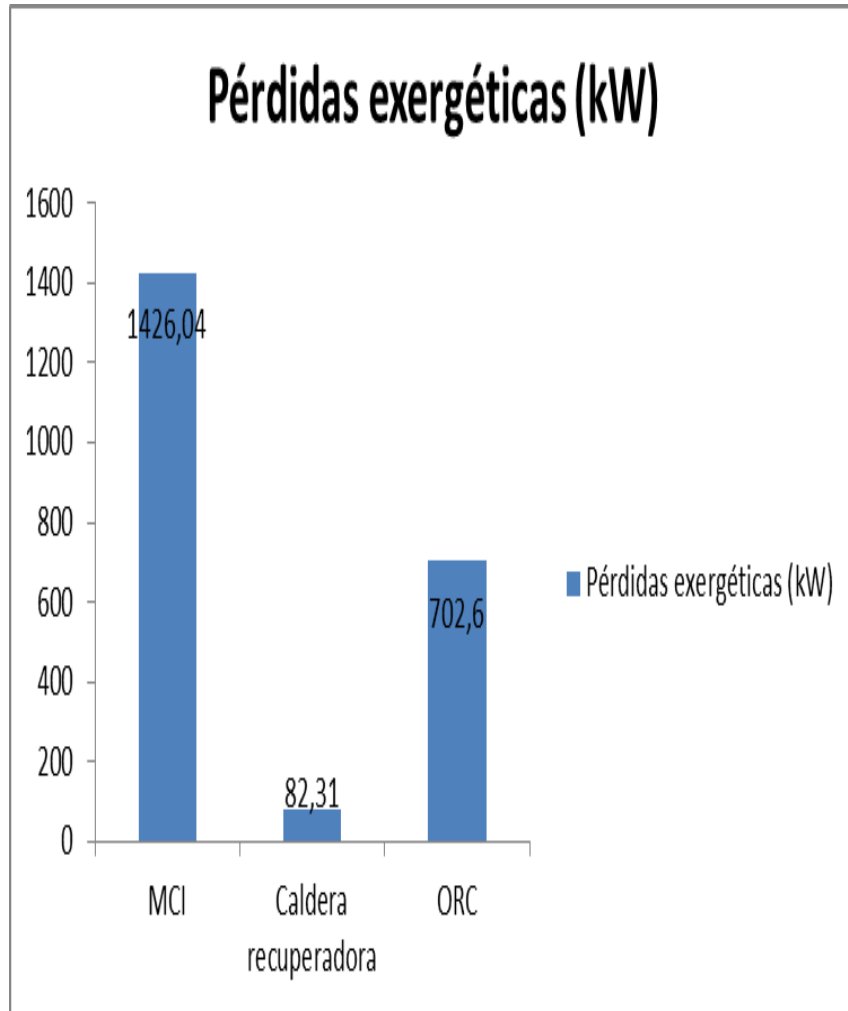
# Análisis energético



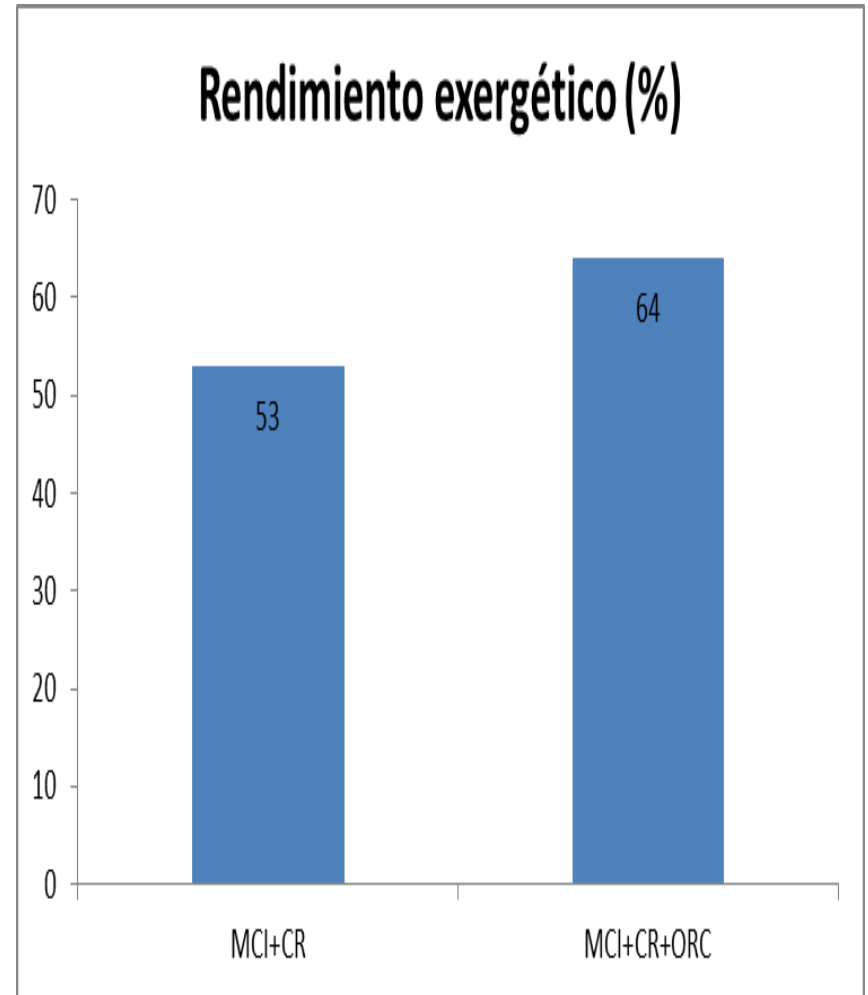
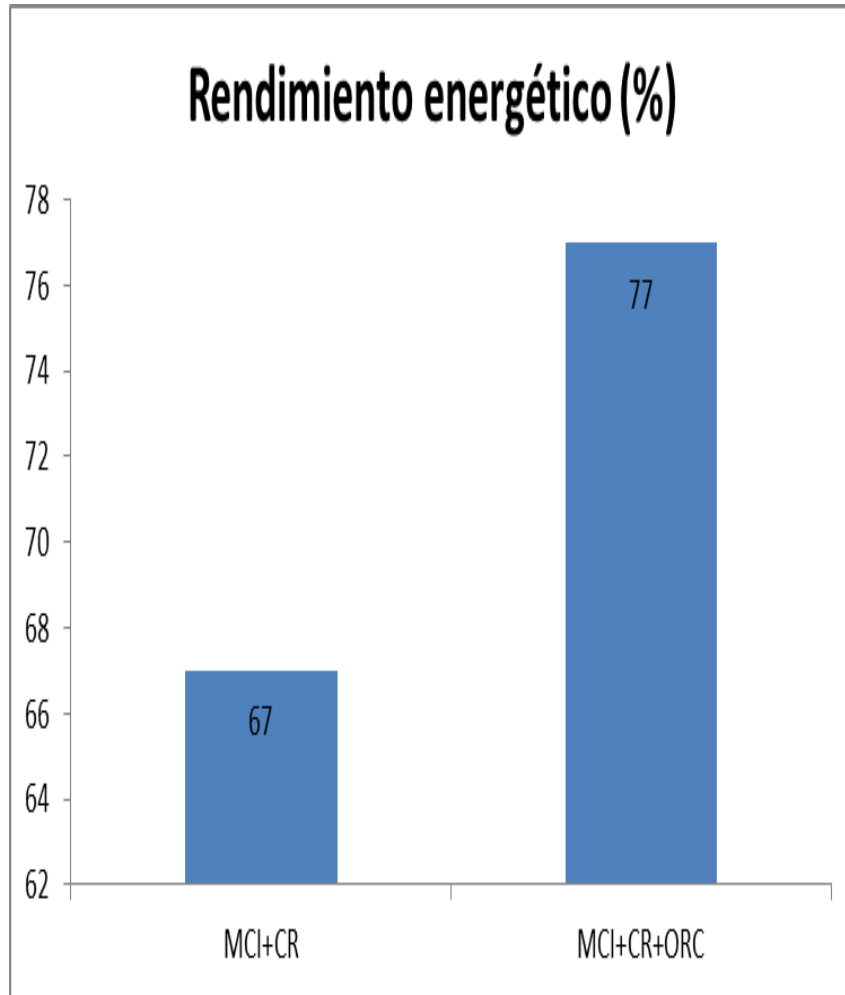


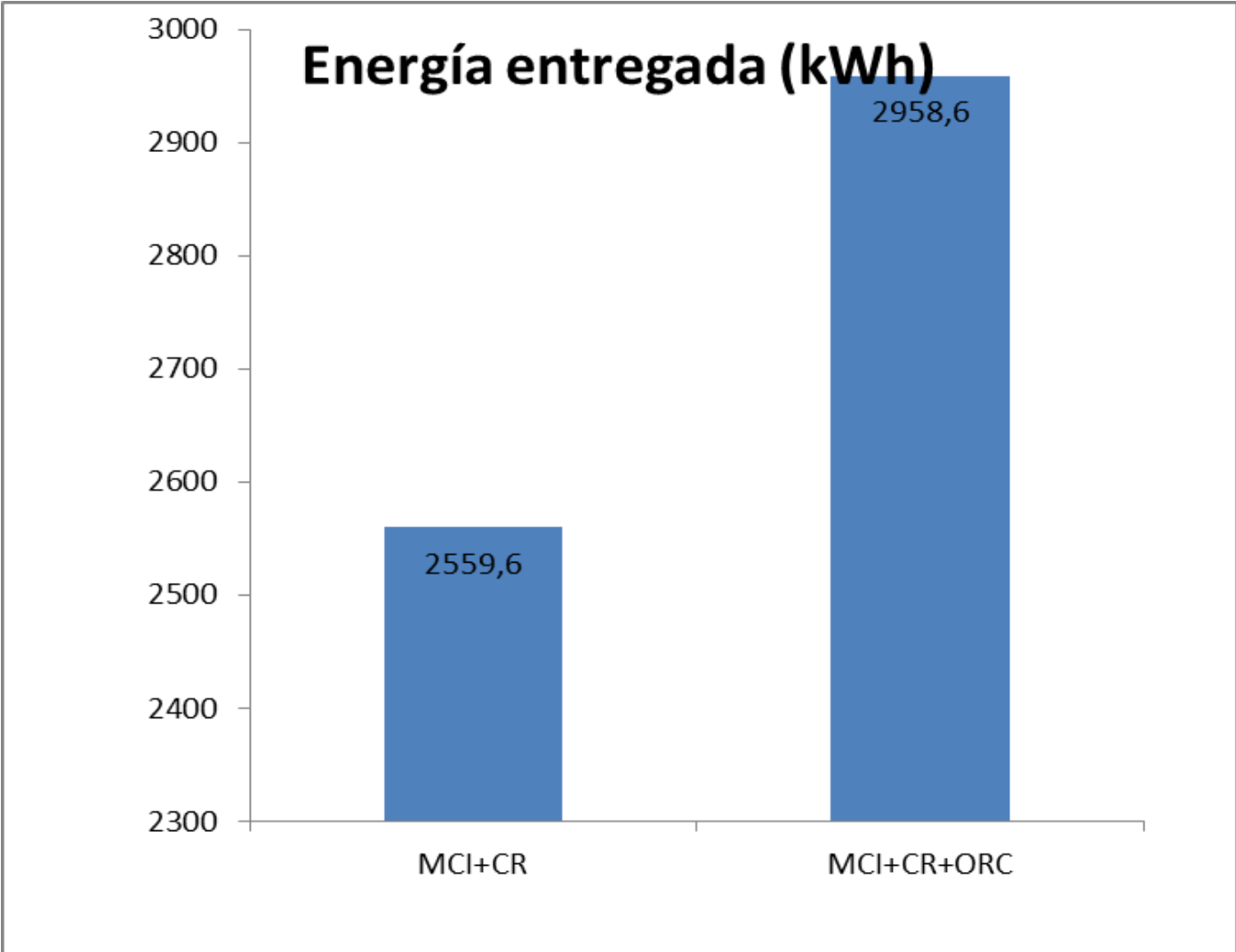


# Análisis exergético.



# Comparación entre ambas variantes en función de los rendimientos







# Conclusiones

- 1. Se demuestra que la instalación de un sistema ORC permite aprovechar el calor que portan los gases producto de la combustión a la salida de la caldera recuperadora.
- 2. El rendimiento energético en la combinación MCI-CR es de un 67 %, mientras que con el sistema MCI-CR-ORC se alcanza un 77 %.
- 3. El rendimiento exergético en la combinación MCI-CR es de un 53 %, mientras que con el sistema MCI-CR-ORC se alcanza un 65 %.
- 4. La energía entregada en el caso base MCI-CR es de 2559,61 kWh , en tanto que en la variante MCI-CR-ORC es de 2958,6 kWh
- .La diferencia de entrega de 398,99 kWh es para una batería de 4 motores, para un emplazamiento típico de 4 baterías será de 1595,96 kWh.
- El periodo de recuperación del financiamiento, se estima menor de 5 años

# MINISTERIO DE FINANZAS Y PRECIOS

## RESOLUCION No.425/2011

1. Por cada kWh entregado al SEN en el horario del día:
  - (De las 5:00 horas a las 17:00 horas)
  - $(0.0254 \text{ \$/ kWh} * K + 0.012 \text{ \$/ kWh})$
2. Por cada kWh entregado al SEN en el horario pico:
  - (De las 17:00 horas a las 21:00 horas)
  - $(0.0508 \text{ \$/ kWh} * K + 0.012 \text{ \$/ kWh})$
3. Por cada kWh entregado al SEN en el horario de la madrugada:
  - (De las 21:00 horas a las 5:00 horas del día siguiente)
  - $(0.0169 \text{ \$/ kWh} * K + 0.012 \text{ \$/ kWh})$

### **CONSIDERACIONES:**

Se aplica el coeficiente K de ajuste por variación del precio de los combustibles, con las modificaciones que correspondan, según lo aprobado por el Ministerio de Finanzas y Precios y de Economía y Planificación.

Dada en La Habana, a los 27 días del mes de diciembre de 2011.

Lina O. Pedraza Rodríguez

Ministra