



XXV CONGRESO INTERNACIONAL DE
MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS
26 AL 28 DE ABRIL DE 2023. Bogotá - Colombia



Asociación
Colombiana
de Ingenieros

Análisis de energía y exergía de un camión de acarreo para un ciclo de trabajo en una mina de carbón a cielo abierto en Colombia



Ivan Ibañez Noriega

Customer Support Manager HTM/
iibanez@hitachitruck.com





CONTENIDO

- Herramientas metodológicas de análisis energético y exergético en maquinaria y procesos industriales orientadas al aprovechamiento energético.



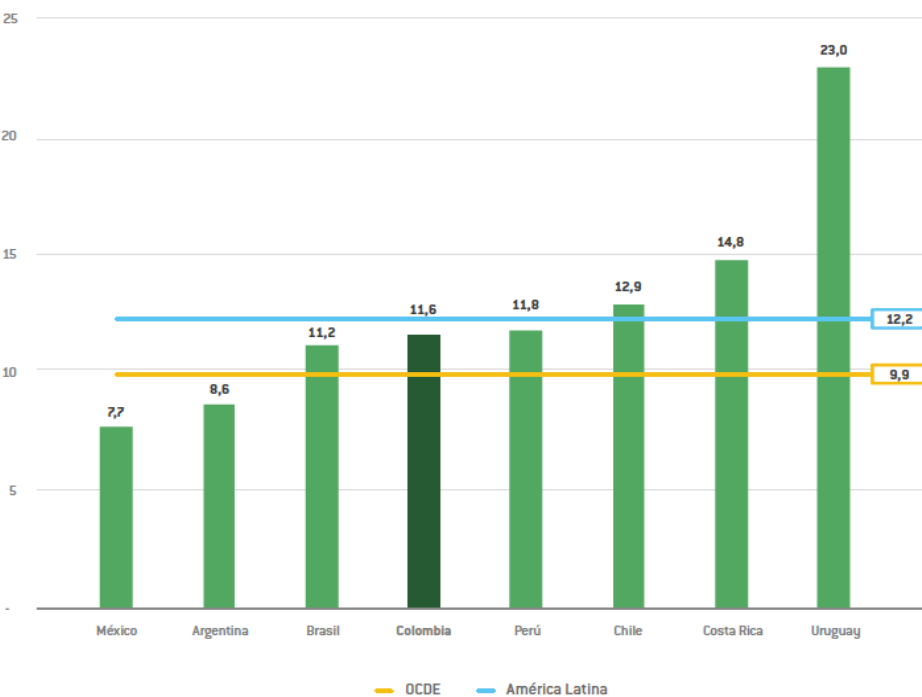
IMPACTO ENERGETICO

- ▶ Encarecimiento de los precios energéticos a lo largo de 2022
- ▶ Confluencia de un intenso repunte en la demanda global de energía (debido a la reactivación del ciclo económico)
- ▶ Debilidad de la oferta (debido a problemas geopolíticos y del cambio del modelo energético hacia los combustibles no fósiles)
- ▶ En 2022, el contexto geopolítico está añadiendo presión adicional sobre los precios internacionales del gas y del petróleo

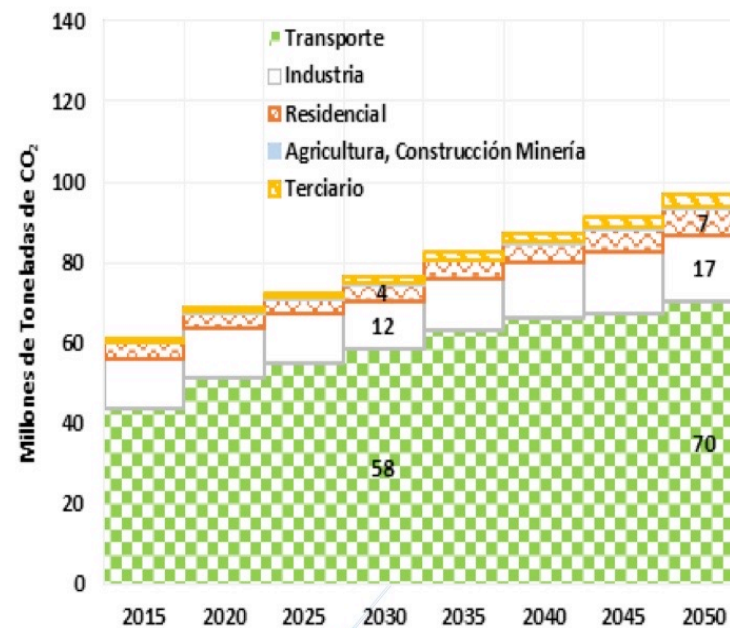


Impacto energético

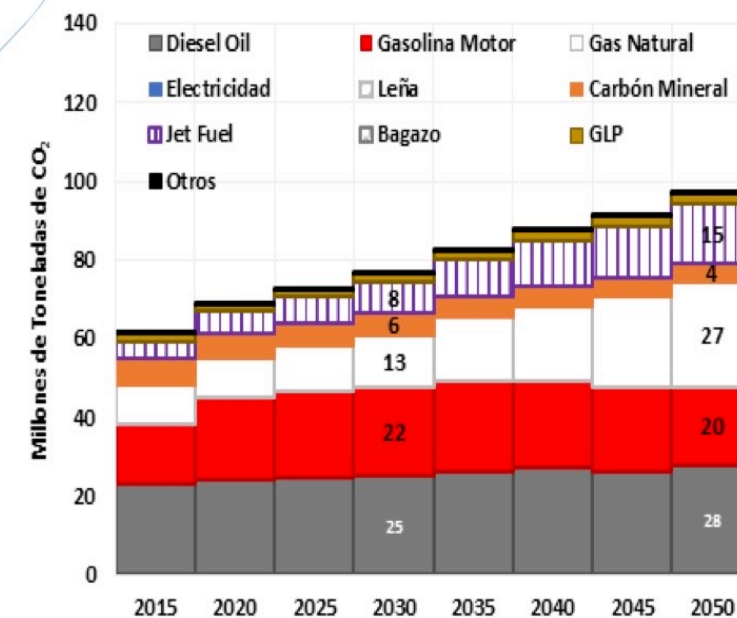
En Colombia el precio promedio de la energía, después de impuestos, para el sector industrial es de USD 11,6 centavos por kWh, inferior al promedio de América Latina, pero superior en 15,2 % al promedio OCDE.



Emisiones asociadas por sector (M Ton CO₂)



Emisiones asociadas por energético (M Ton CO₂)



Fuente, https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/PEN_documento_para_consulta.pdf



ENERGIA Y EXERGIA

- **Energía**
- *Movimiento o capacidad de generar movimiento*
- *Se conserva, ni se crea ni se destruye.*

- **Exergía**
- *Trabajo o capacidad de generar trabajo*
- *Se gasta, se puede destruir y crear*

- *Si queremos optimizar trabajo es más conveniente analizar el consumo de exergía que el de energía, las fuentes de exergía que las de energía*

- **La exergía es el máximo trabajo que puede sacarse de un sistema en interacción con su entorno.**



Importancia del análisis energético y exergético para maquinas y procesos

- Cualquier fenómeno irreversible causa una pérdida de exergía, lo que significa una reducción del potencial de los efectos útiles de la energía, o por el contrario un aumento del consumo de energía



No existe una ley de conservación para la exergía.

Eficiencia termodinámica de segunda ley

- **Eficiencia de segunda ley o principio**

- *Eficiencia 1 principio*

$$\eta_I = \frac{\text{Lo que se Obtiene}}{\text{Lo que se dá}}$$

- *Eficiencia 2 principio*

$$\eta_{II} = \frac{\text{Lo que se Obtiene}}{\text{Lo máximo que podría obtenerse}}$$

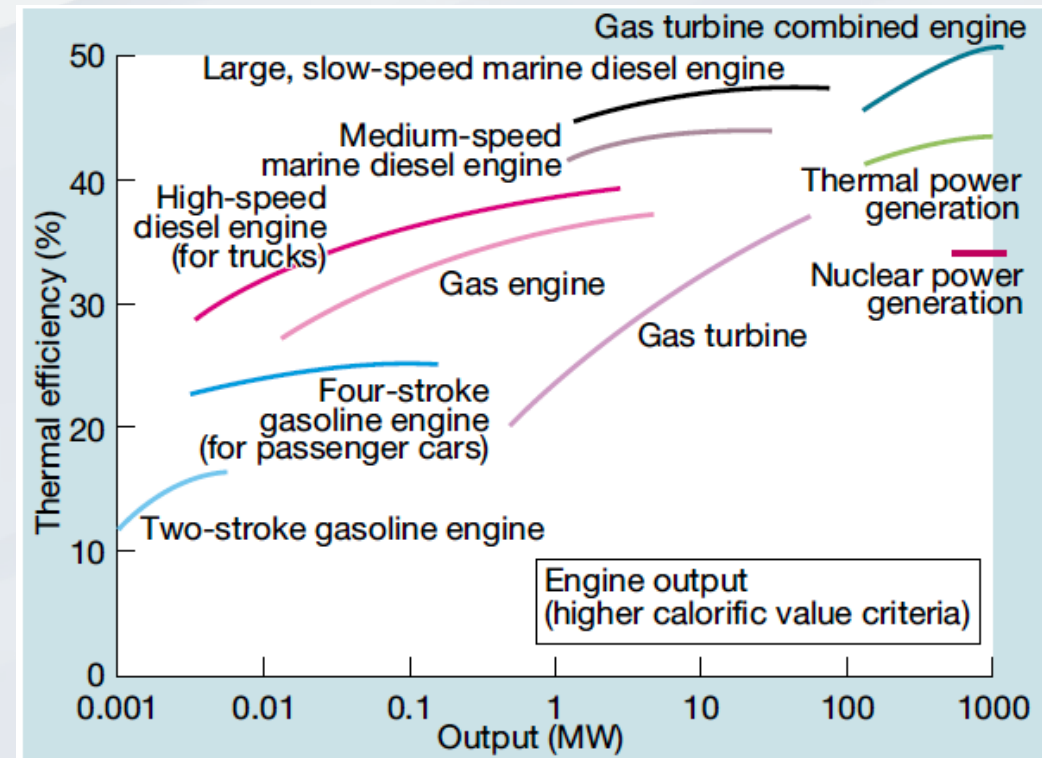
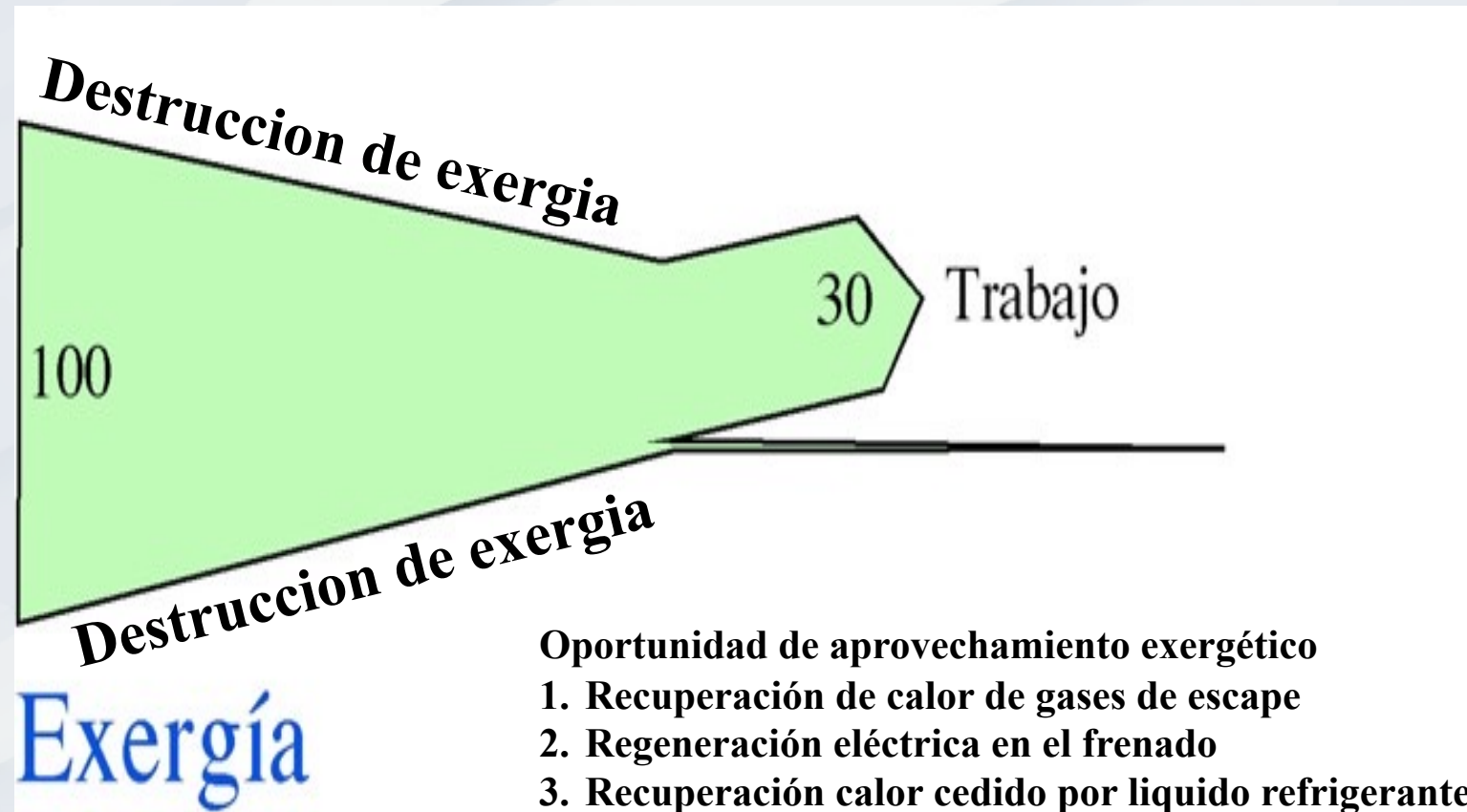


Fig. 1 Thermal efficiencies of various types of small- to medium-sized diesel and gas engines



Análisis exerético





El análisis *energético* y *exergético* es una herramienta que puede ayudar a tomar decisiones orientadas al incremento del aprovechamiento energético que promuevan la competitividad debido al cambio en los costos energéticos en un proceso o en una máquina



Análisis energético y exegético de un camión minero

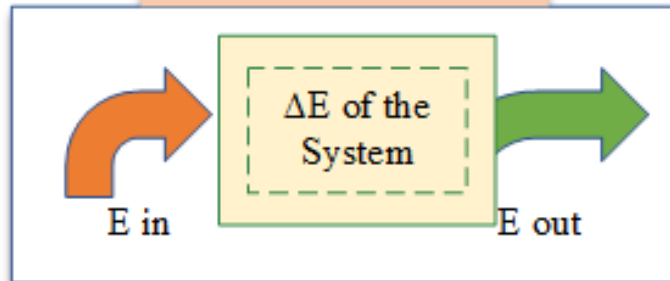


Aplicación y caso de estudio

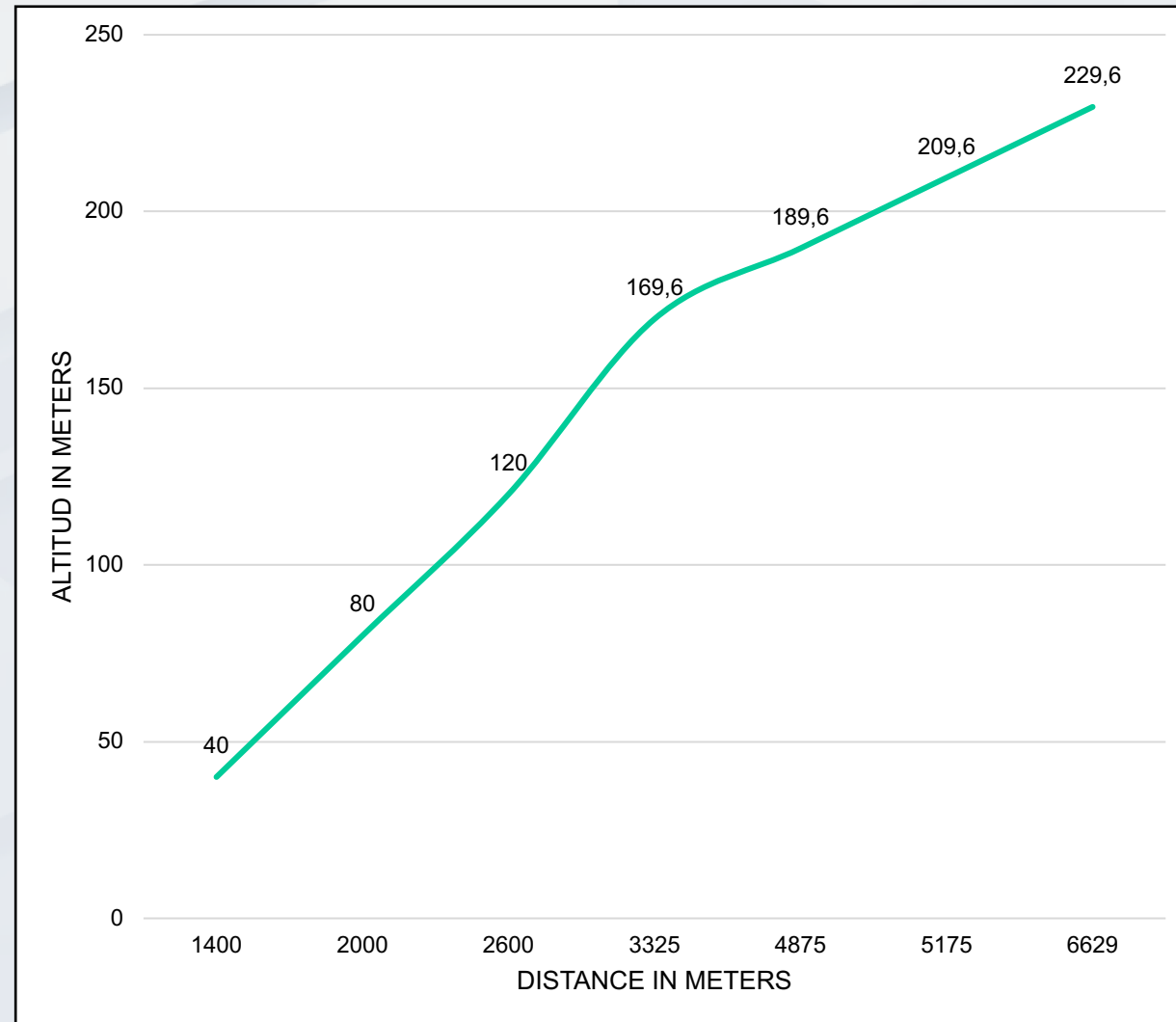
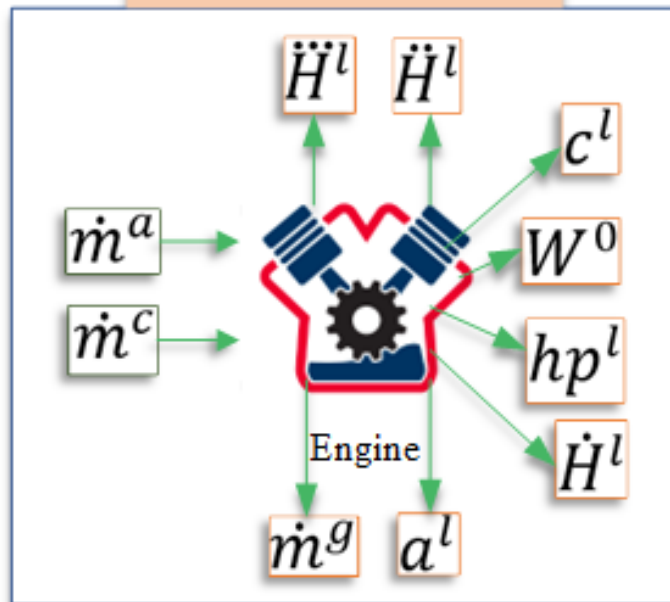


1. Planteamiento de proceso

3A: Energy Balance



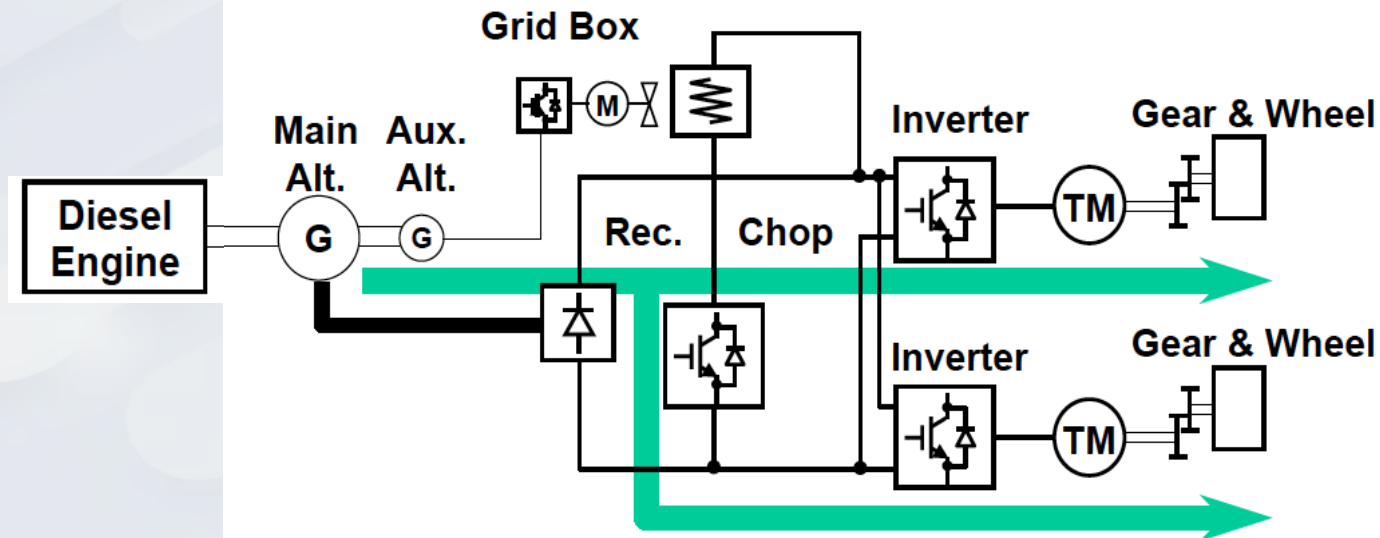
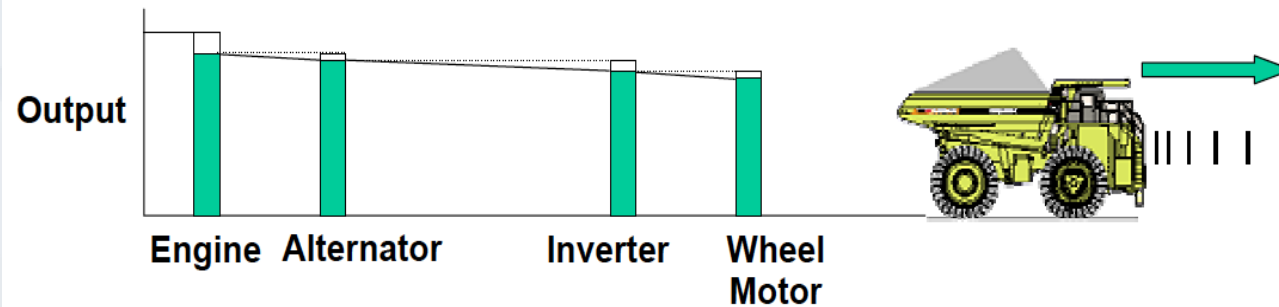
3B: Truck Mass Flow





2. Uso energético y pérdidas

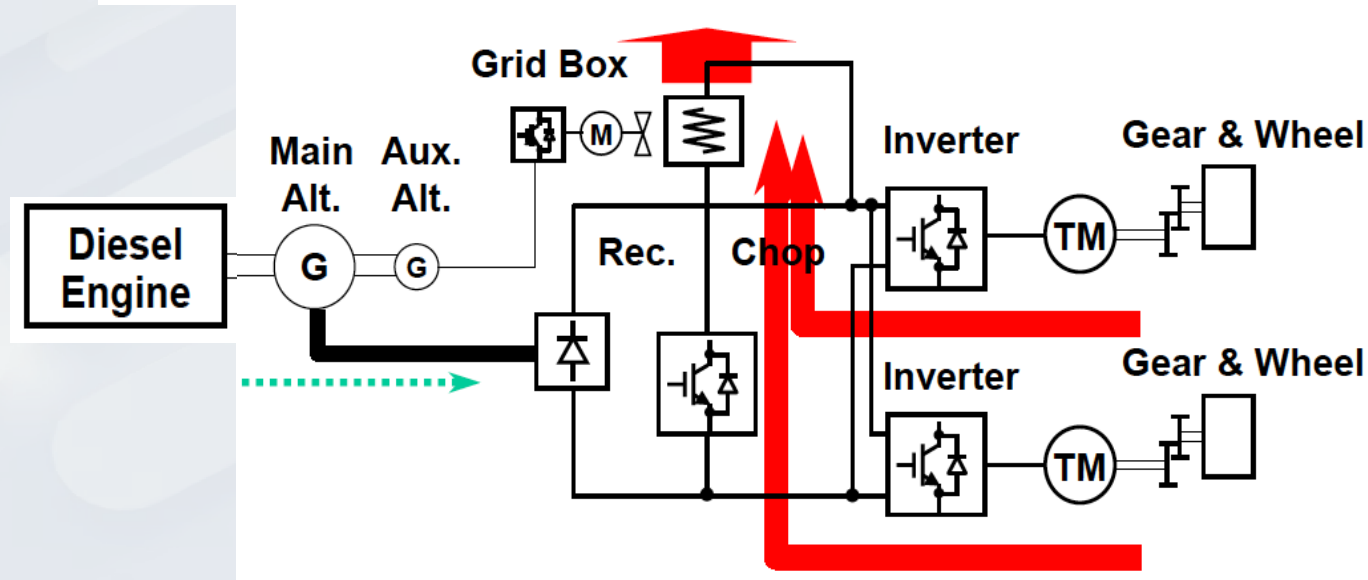
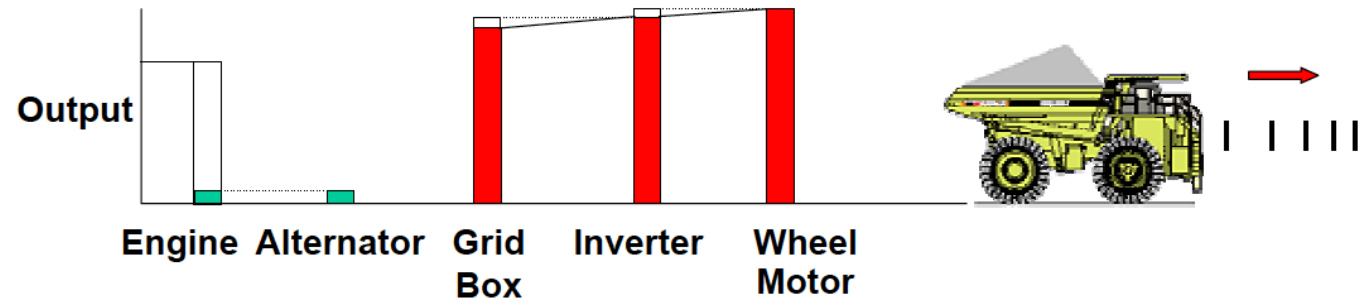
Energy Flow (Acceleration)





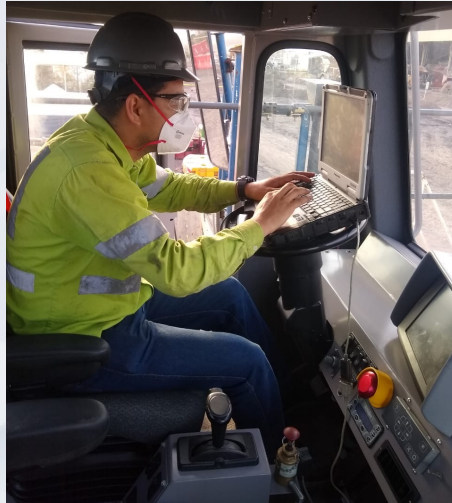
2. Uso energético y pérdidas

Energy Flow (Retardation)





3. Recolección de datos para análisis



Air Inlet Pressure(psi)	Air Pressure	Engine	Fuel Rate	Diesel Flow	Air Flow	Section	Air flow	Exhaust Flow
PSI	Pa	RPM	gal/hr	Kg/s	M3/s f(rpm)	Area x speed	Kg/s	Kg/s
13.75	9.E+06	910.00	4.83	4.37.E-03	3.47	3.55.E-03	4.35.E-03	8.72.E-03
13.75	9.E+06	908.75	4.78	4.33.E-03	3.47	3.55.E-03	4.35.E-03	8.67.E-03
14.00	1.E+07	906.25	4.67	4.23.E-03	3.46	3.55.E-03	4.35.E-03	8.57.E-03
14.00	1.E+07	907.25	4.89	4.42.E-03	3.46	3.55.E-03	4.35.E-03	8.77.E-03
14.00	1.E+07	907.75	4.56	4.13.E-03	3.46	3.55.E-03	4.35.E-03	8.47.E-03
14.00	1.E+07	908.75	5.34	4.83.E-03	3.47	3.55.E-03	4.35.E-03	9.18.E-03
13.75	9.E+06	908.75	5.36	4.85.E-03	3.47	3.55.E-03	4.35.E-03	9.20.E-03
14.00	1.E+07	907.50	4.47	4.04.E-03	3.46	3.55.E-03	4.35.E-03	8.39.E-03

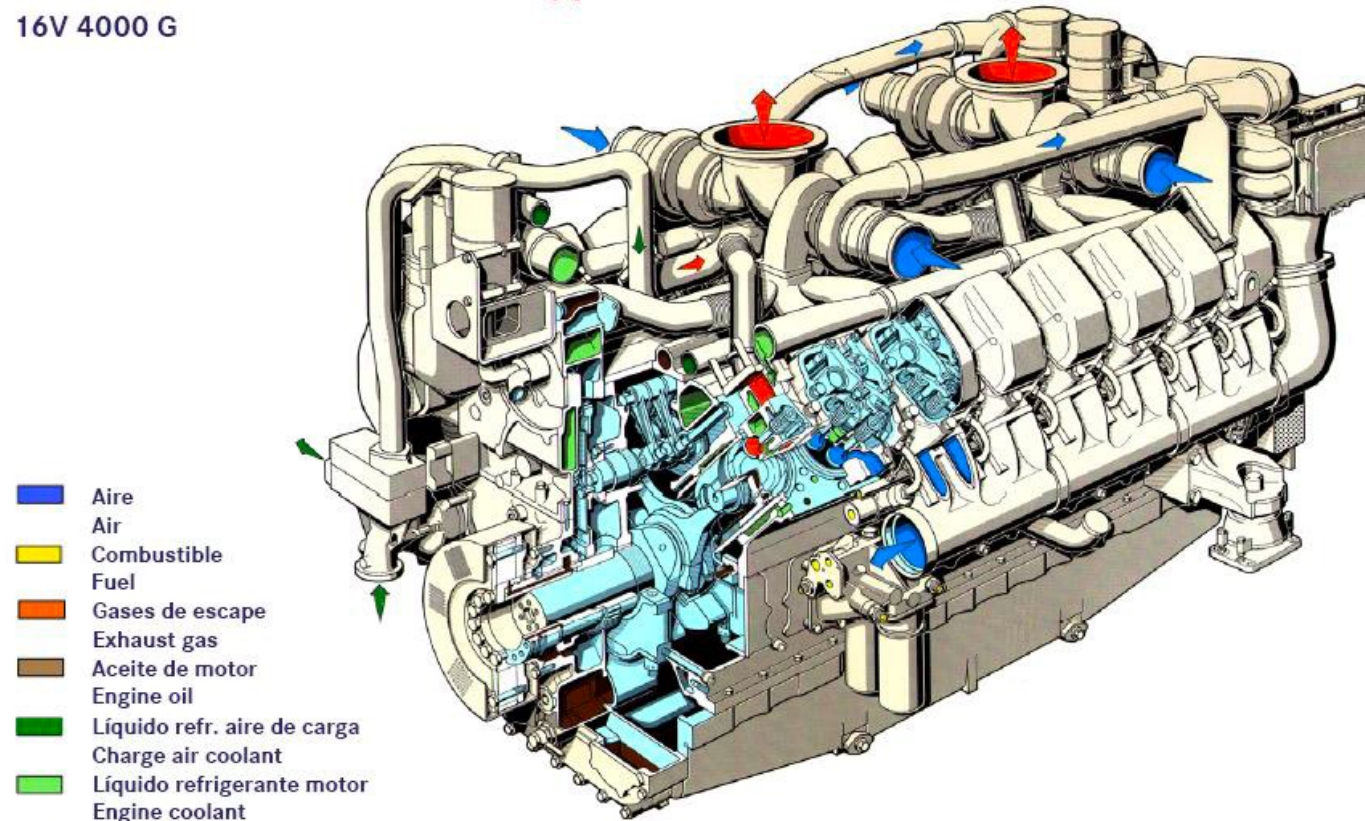
Engine Speed	Steer pump	Hoist pump 1	Hoist pump 2	Steer pump	Hoist pump 1	Hoist pump 2	Steer pump	Hoist pump 1	Hoist pump 2	Coolant Water	Coolant Oil
RPM	GPM	GPM	GPM	HP	HP	HP	KW	KW	KW	KW	KW
906.25	33.90	64.26	64.26	5.93	3.00	3.00	4.43	2.24	2.24	13.88	46.49
900	33.66	63.82	63.82	5.89	2.98	2.98	4.40	2.22	2.22	13.79	46.17
908	33.96	64.39	64.39	5.94	3.01	3.01	4.43	2.24	2.24	13.91	46.58
910	34.04	64.53	64.53	5.96	3.01	3.01	4.44	2.25	2.25	13.94	46.68
908.75	33.99	64.44	64.44	5.95	3.01	3.01	4.44	2.24	2.24	13.92	46.62
908	33.96	64.39	64.39	5.94	3.01	3.01	4.43	2.24	2.24	13.91	46.58
906.25	33.90	64.26	64.26	5.93	3.00	3.00	4.43	2.24	2.24	13.88	46.49
906.5	33.91	64.28	64.28	5.93	3.00	3.00	4.43	2.24	2.24	13.89	46.50
907.25	33.93	64.33	64.33	5.94	3.00	3.00	4.43	2.24	2.24	13.90	46.54
907.25	33.93	64.33	64.33	5.94	3.00	3.00	4.43	2.24	2.24	13.90	46.54
908.25	33.97	64.40	64.40	5.95	3.01	3.01	4.44	2.24	2.24	13.92	46.59
904.25	33.82	64.12	64.12	5.92	2.99	2.99	4.42	2.23	2.23	13.85	46.39
909.25	34.01	64.47	64.47	5.95	3.01	3.01	4.44	2.24	2.24	13.93	46.64
907	33.92	64.31	64.31	5.94	3.00	3.00	4.43	2.24	2.24	13.90	46.53
907.75	33.95	64.37	64.37	5.94	3.00	3.00	4.43	2.24	2.24	13.91	46.57



4. Análisis de flujos masicos o energéticos

V 4000 G Motor Diesel Diesel Engine

16V 4000 G

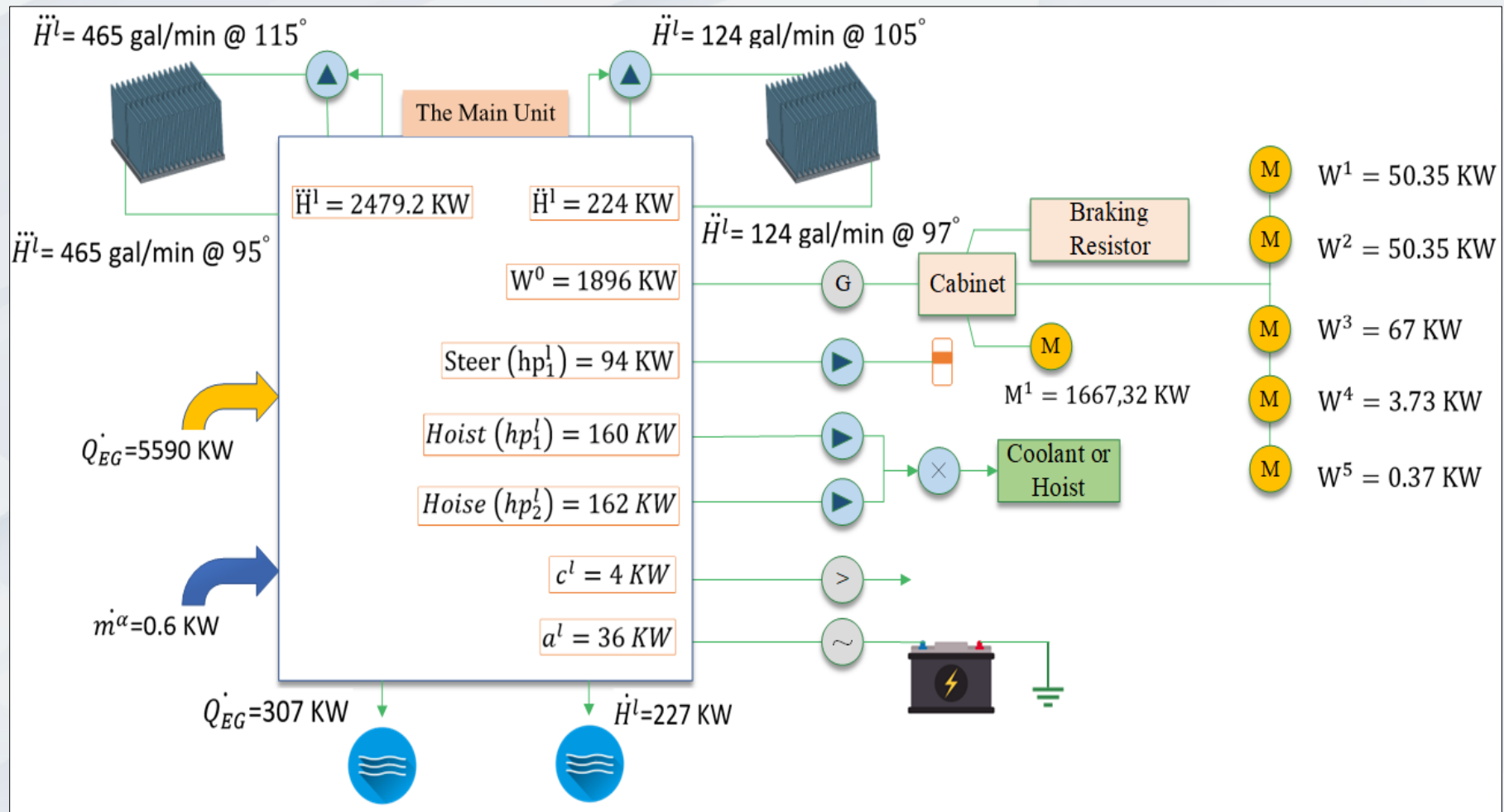


-  Aire
Air
-  Combustible
Fuel
-  Gases de escape
Exhaust gas
-  Aceite de motor
Engine oil
-  Líquido refr. aire de carga
Charge air coolant
-  Líquido refrigerante motor
Engine coolant





4. Análisis de flujos masicos o energéticos





5. Balance energético y exergetico

Equation of general balance

$$\dot{E}x_{diesel+air} = \dot{E}x_{work} + \dot{E}x_{Exhaust\ gases} + \dot{E}x_{coolant\ flows} + \dot{E}x_{destruction}$$

Equation exergy of fuel (diesel) $\dot{E}x_{diesel} = ex^{chemistri} + \dot{e}x^{physics}$

Chemical exergy for liquid fuel with sulphur content

$$\frac{\varphi_{diesel}}{LCV} = 1.0401 + 0.1728 \frac{h}{c} + 0.0432 \frac{o}{c} + 0.2169 \frac{s}{c} (1 - 2.0628 \frac{h}{c})$$

Exergy a analysis by flow

$$\dot{E}x_{flow} = \dot{m}_{flow} \times ex_{flow}^{physics+quimical}$$

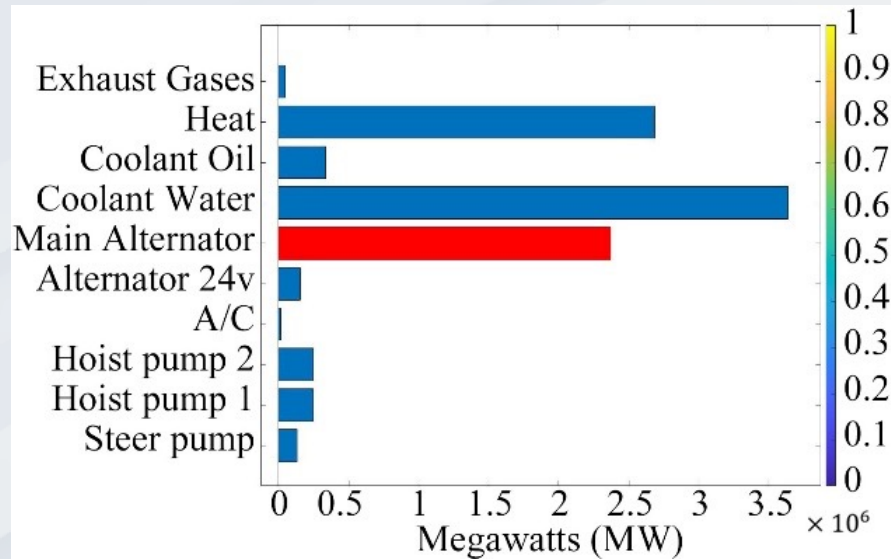
$$\dot{m}_{flow} [(h - h_o)_{flow} - T_o(S - S_o)_{flow}]$$

Technologies not developed enough to recover quimical exergy.

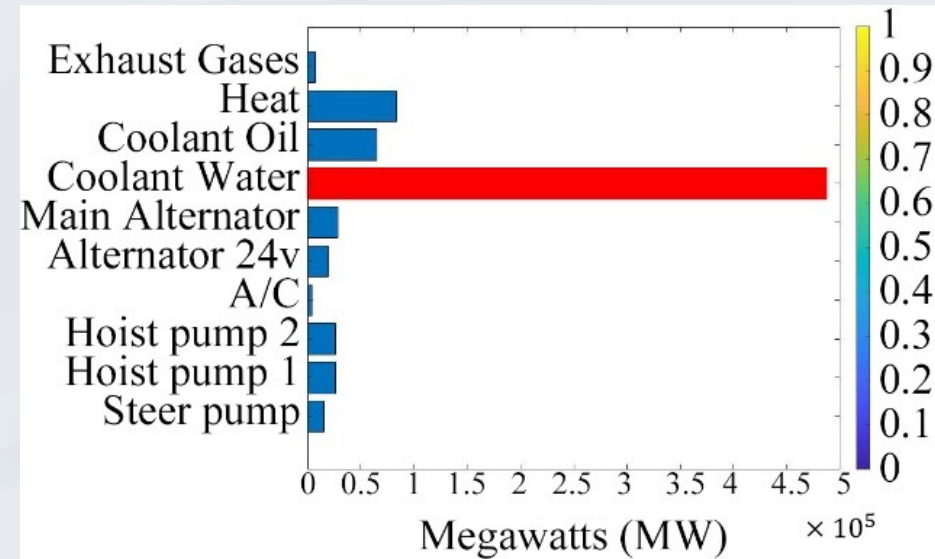


5. Balance energético Uphill & Dowhill

UPHILL

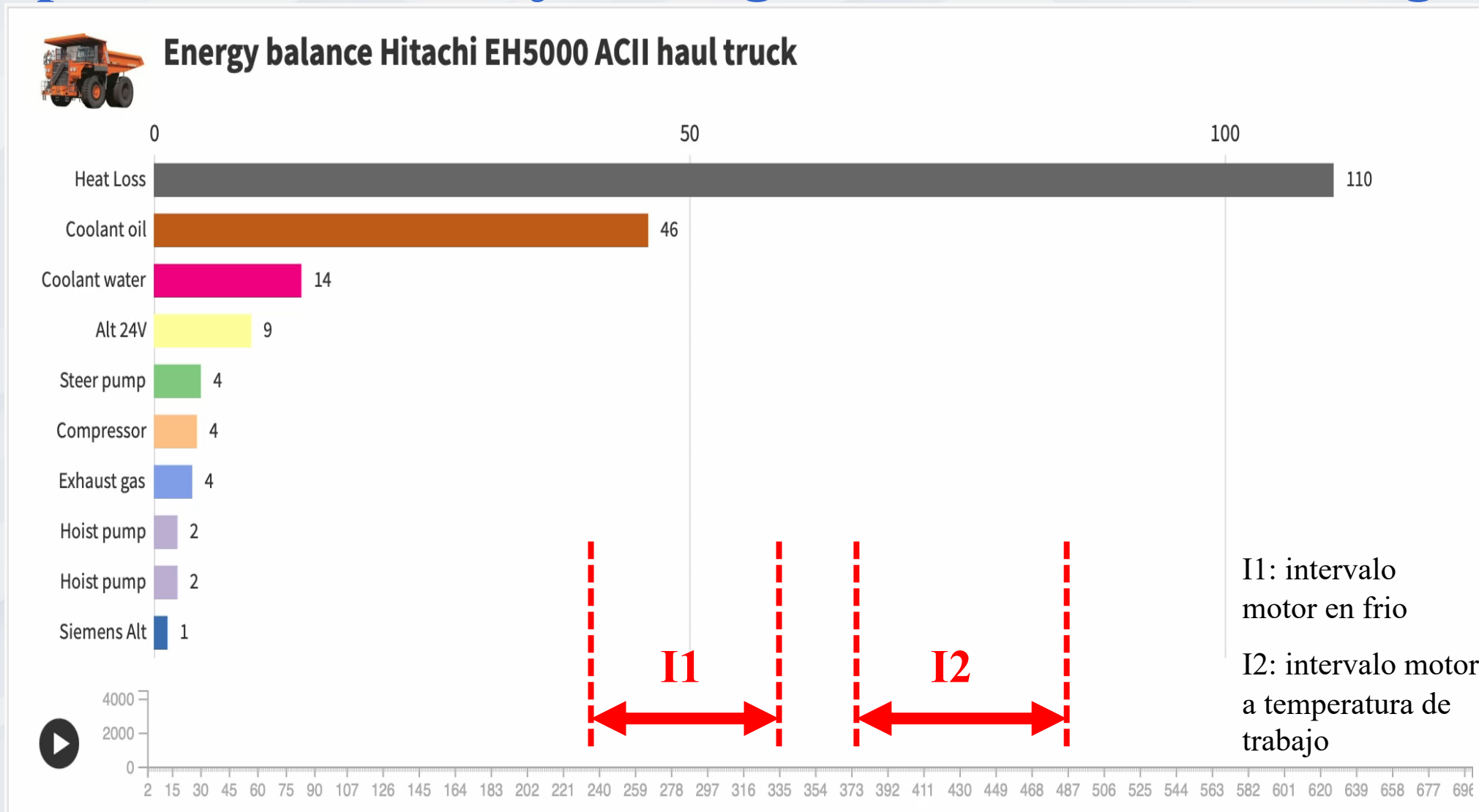


DOWNHILL



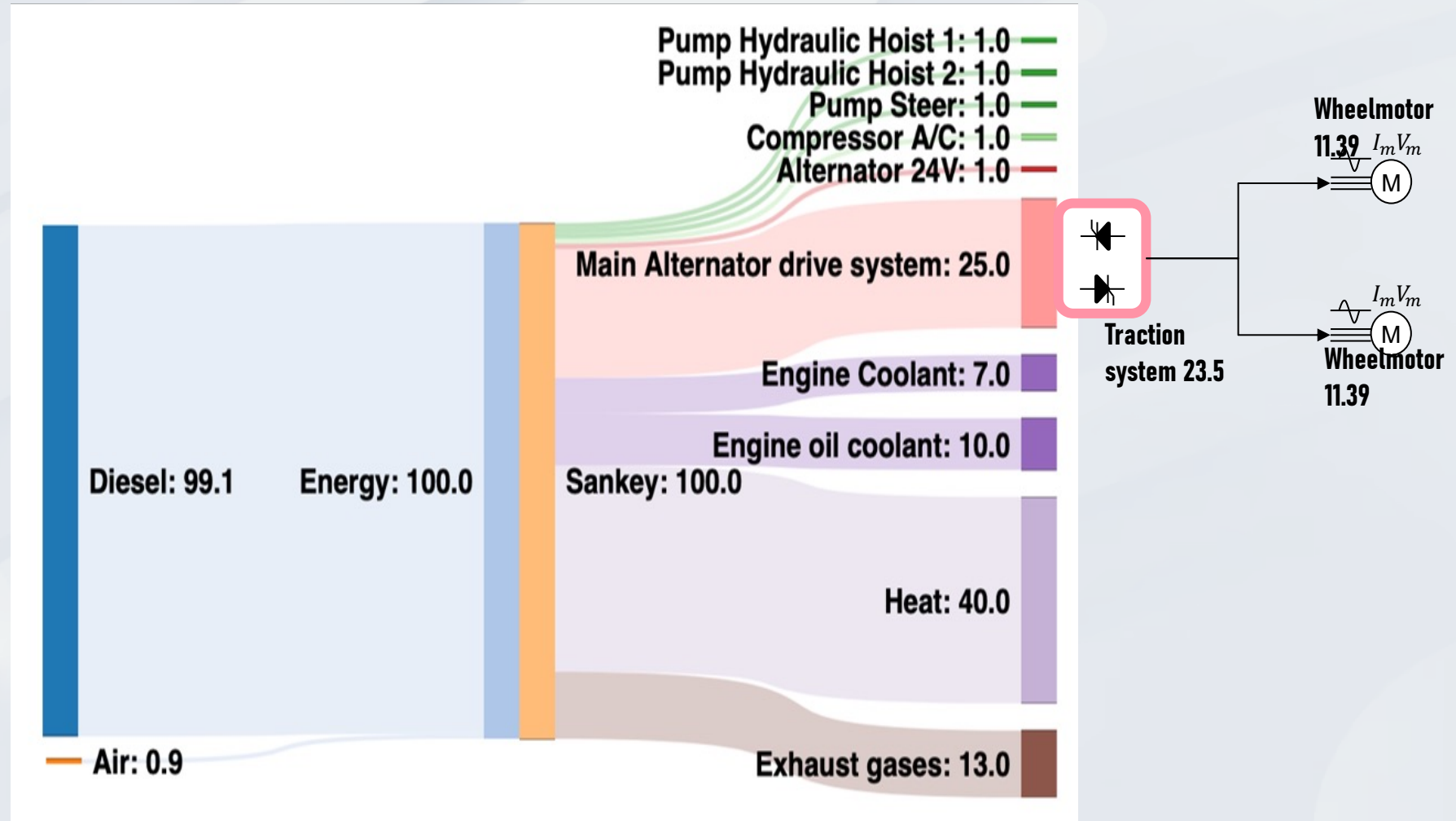


Comportamiento de flujos energéticos en un ciclo de cargue típico



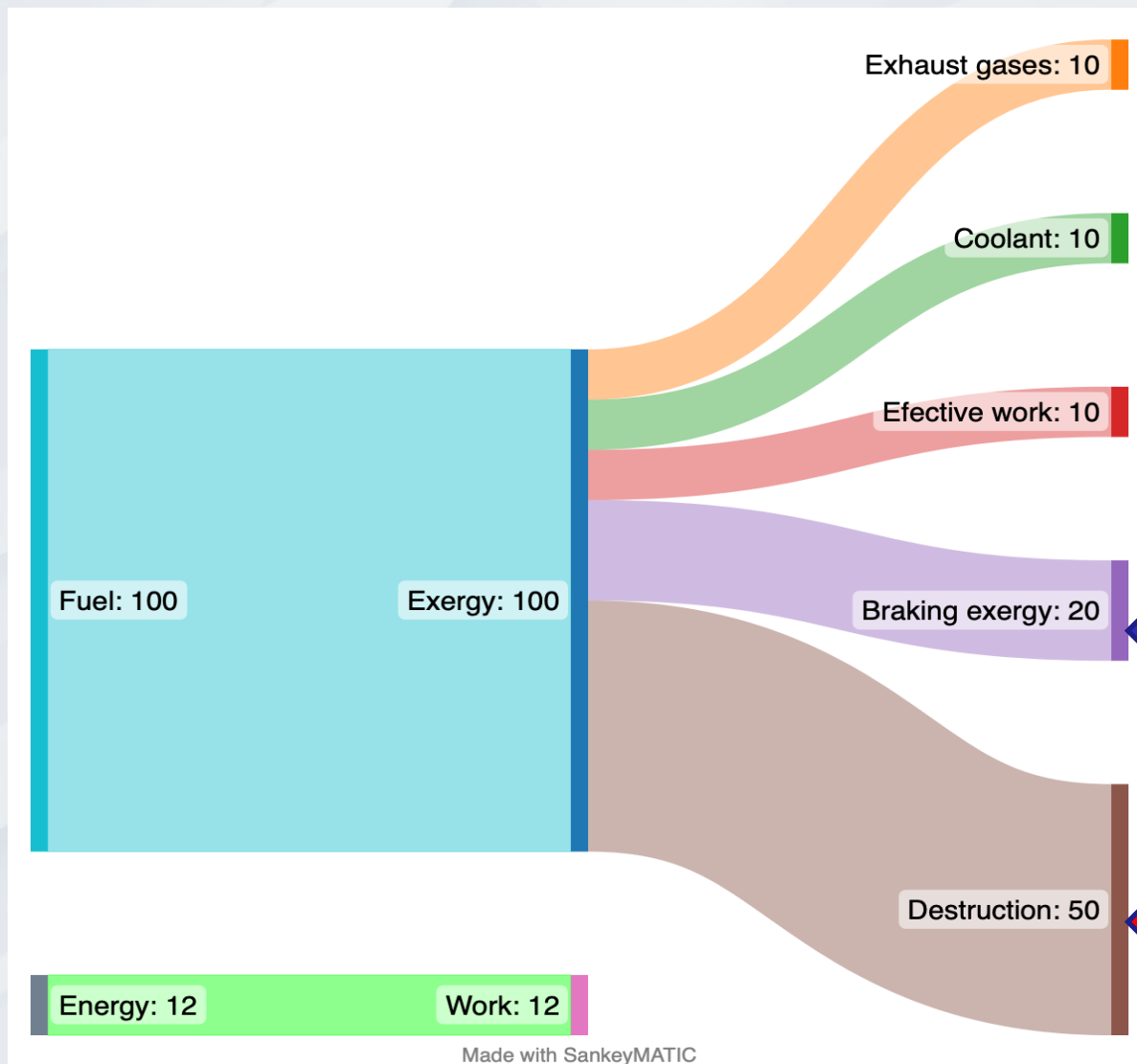


6. Sankey balance energético





7. Balance exergetico camión minero



Oportunidad de
aprovechamiento
energético 20%

Irreversibilidad, sin tecnología o
poco eficiente para recuperación
energética



8. Comparativo general de la maquina

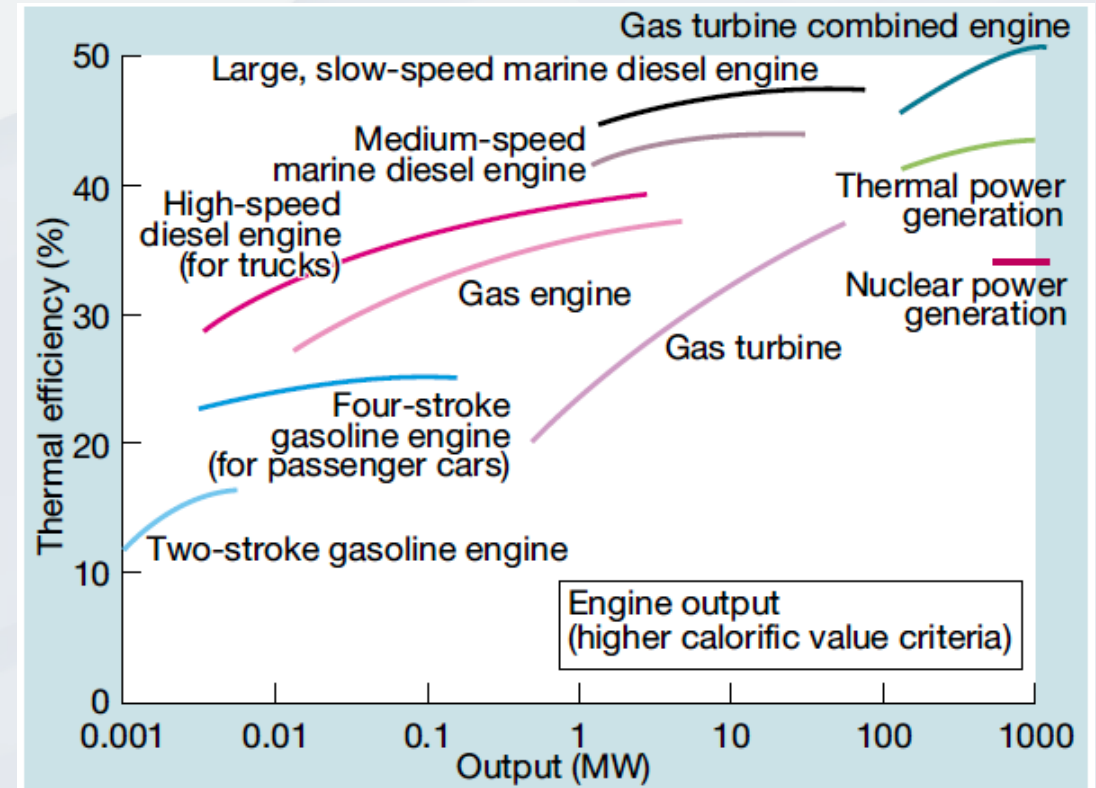
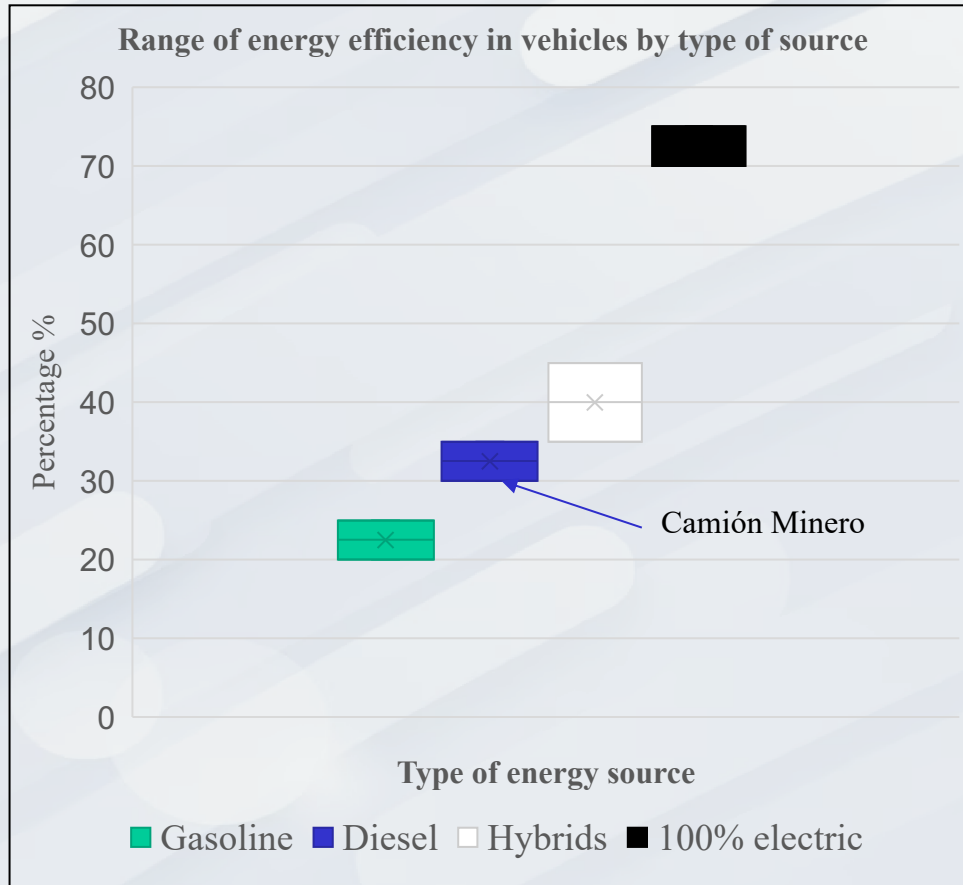


Fig. 1 Thermal efficiencies of various types of small- to medium-sized diesel and gas engines



conclusiones

- **.Del 100% de potencial energético entregado por el diésel en un camión minero la maquina solo usa efectivamente un 30,5%**
- **Un camión minero tiene un 42,6% de potencial de aprovechamiento energético desde su desempeño funcional**
- **Un Camión minero tiene una eficiencia termodinámica de segunda ley equivalente del 32,5% considerando las tecnologías de recuperación energética en las perdidas térmicas del proceso**



XXV CONGRESO INTERNACIONAL DE
MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

26 AL 28 DE ABRIL DE 2023. Bogotá - Colombia



Asociación
Colombiana
de Ingenieros

POR SU ATENCIÓN

¡GRACIAS!

Ivan Ibanez N

iibanez@hitachitruck.com