



CONGRESO INTERNACIONAL DE
IV DISEÑO E
INGENIERÍA
NAVAL

11 - 13 DE MARZO DE 2015

Evaluation of Medium Speed Diesel generator sets and energy storage technologies as alternatives for reducing fuel consumption and exhaust emissions in electric propulsion systems for PSVs

Cristian A. Morales Vásquez

COTECMAR - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Dr. Hélio Mitio Morishita

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo



Contenido

- Introducción y Objetivo
- Sistema de propulsión Diesel-Eléctrico para PSVs
- Motores Diesel y dispositivos de almacenamiento de energía
- Propuesta metodológica
- Arreglos propulsivos propuestos
- Dimensionamiento de las alternativas propulsivas
 - Comparativo de masa, volumen y costo de inversión inicial
- Perfil operacional y perfil de carga para el PSV caso de estudio
- Análisis del comportamiento de los primotores para cada alternativa
 - Estimación y comparativo del consumo de combustible
 - Estimación y comparativo de las emisiones contaminantes
- Conclusiones y recomendaciones

Introducción y Objetivo

Sistema de propulsión eléctrica en PSVs



PSV con sistema de propulsión eléctrica y propulsores cicloidales (Voith Schneider) – Edda Fram

- En Brasil el número de PSVs con propulsión eléctrica aumenta. Tendencia a ser la norma en el sector.
- Ofrecen bajo consumo de combustible y emisiones, mayor confiabilidad, flexibilidad, redundancia.
- Arreglo típico generador Diesel alta rotación+motor de inducción para propulsión.
- Otros arreglos pueden reducir consumo de combustible y emisiones de gases.

Objetivo

Determinar y evaluar la influencia de los generadores Diesel de media rotación y bancos de baterías en el consumo de combustible, emisión de gases, masa, volumen y costos de inversión inicial en PSVs con propulsión eléctrica.

Sistema de propulsión eléctrica para PSVs

Almacenamiento de Energía:

- Baterías
- Super-capacitores

Reducción de armónicas:

- Transformadores
- Filtros

Motores Propulsores:

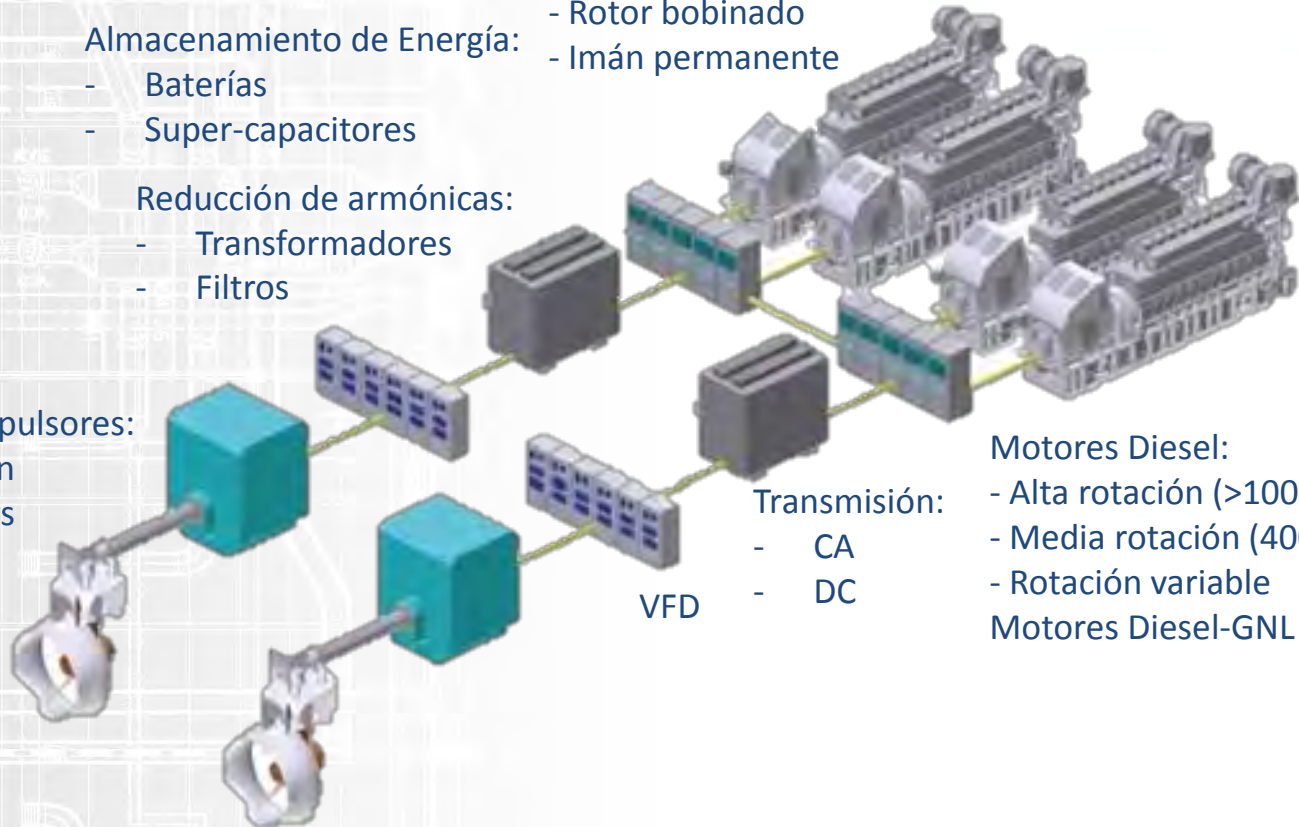
- Inducción
- Síncronos

Unidades Propulsoras:

- Azimutales
- Prop. Cicloidales
- Prop. Tipo POD
- Eje propulsor

Generadores:

- Rotor bobinado
- Imán permanente

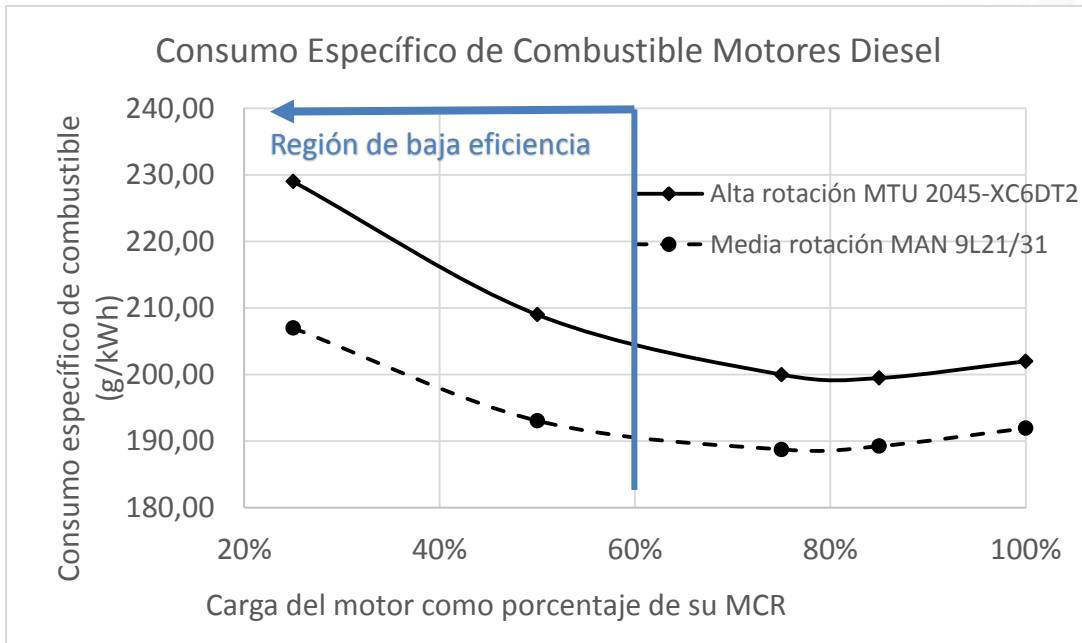


Motores Diesel:

- Alta rotación (>1000rpm)
- Media rotación (400-1000rpm)
- Rotación variable

Motores Diesel-GNL

Motores Diesel – Almacenamiento de energía



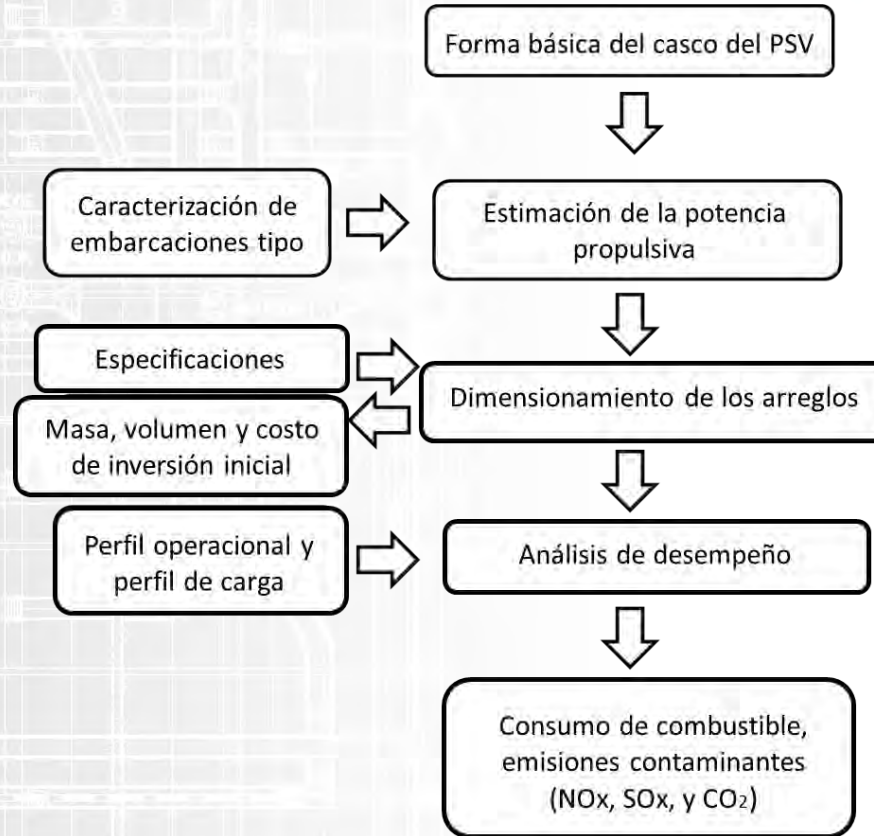
	Alta rotación	Media rotación
Consumo específico de combustible (g/kWh)	200-220	170-210
Masa específica (kg/kW)	2,3-6	5-20
Volumen específico (dm ³ /kW)	2,8-8	4-28
Costo específico (US\$/kW)	236-315	289-433
Tipo de combustible	MGO	MGO, MDO, HFO
Emisiones de NO _x (g/kWh)	7-13	10-18

Dispositivos de almacenamiento de energía

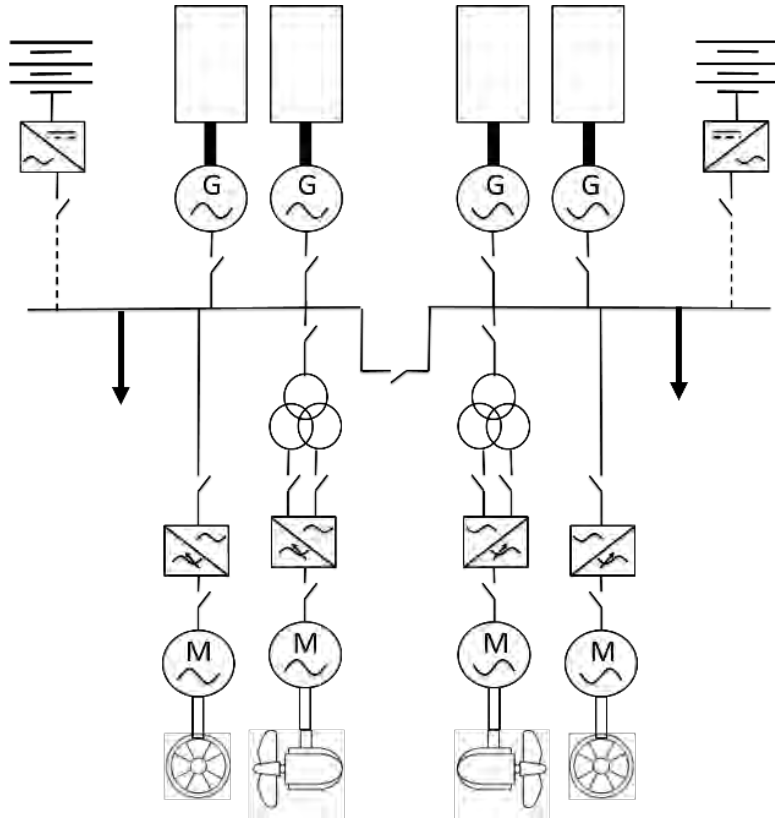
Baterías - Sodium/Nickel Chloride (ZEBRA)

Evaluation of Medium Speed Diesel generator sets and energy storage technologies as alternatives for reducing fuel consumption and exhaust emissions in electric propulsion systems for PSVs

Propuesta metodológica



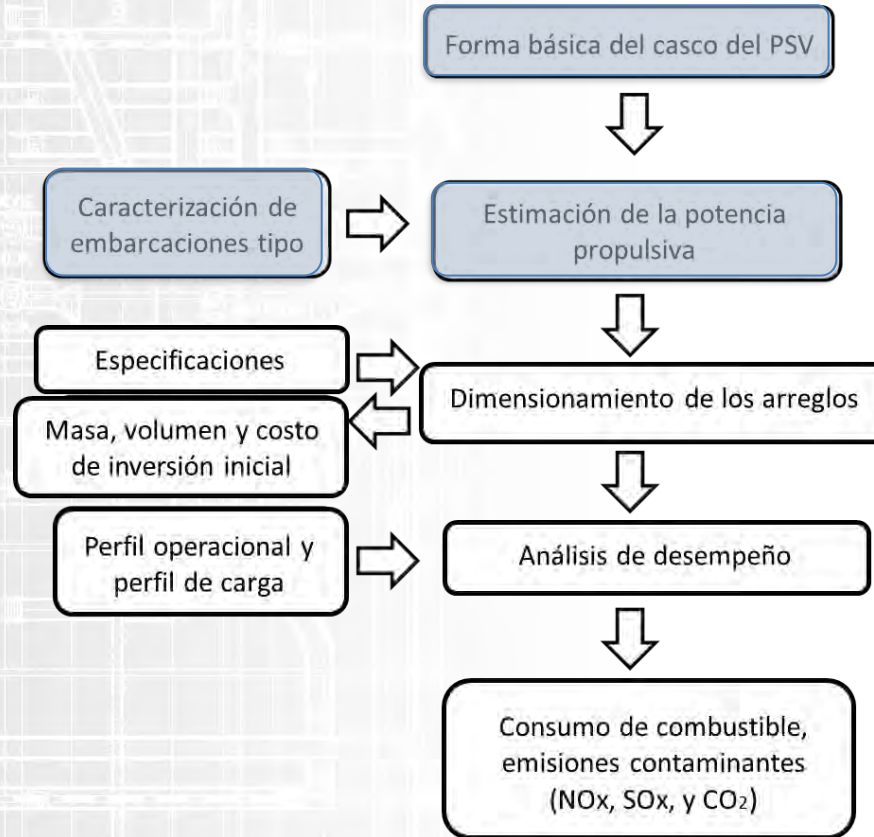
Arreglos propulsivos propuestos



Arreglos propulsivos propuestos:

1. Motor Diesel alta rotación/sin banco de baterías (típico em PSVs eléctricos)
2. Motor Diesel média rotación/sin banco de baterías
3. Motor Diesel alta rotación/con banco de baterías
4. Motor Diesel média rotación/con banco de baterías

Propuesta metodológica

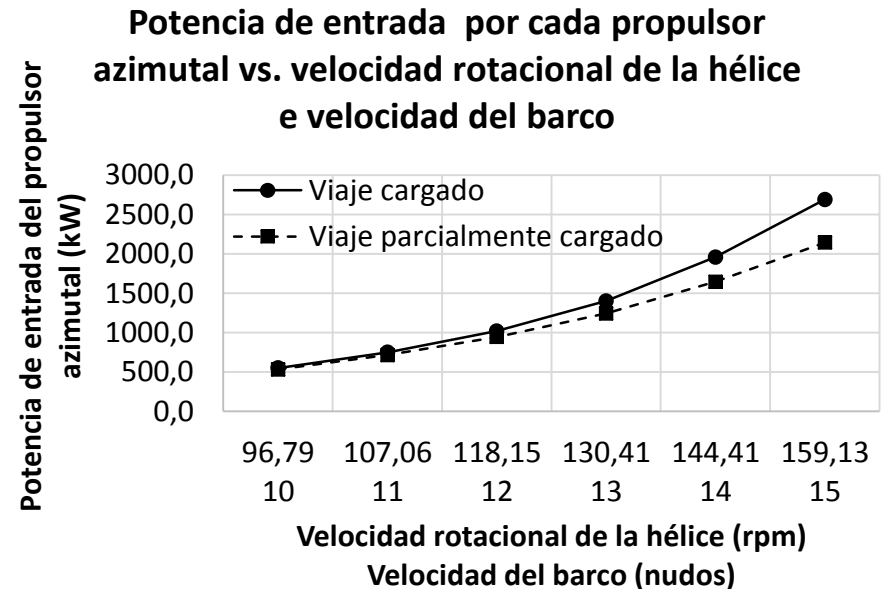


Forma básica del casco y estimación de potencia propulsiva

Caso estudio: proyecto conceptual de PSV para plataformas offshore en cuenca de Santos (Brasil)

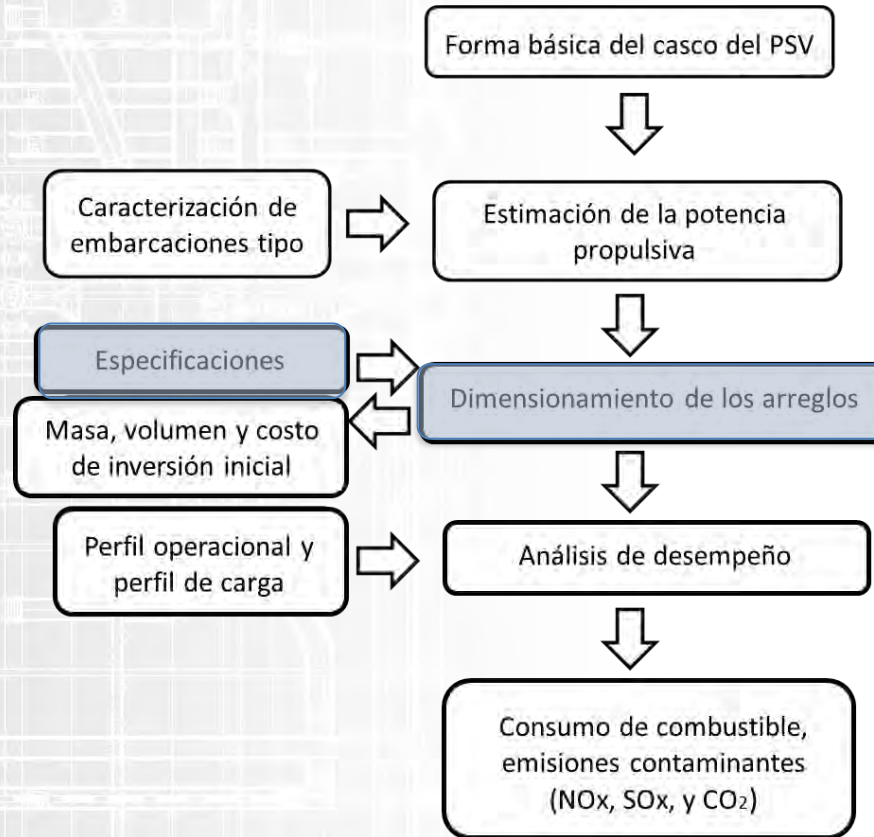


Parámetro	Valor
Manga	19m
Calado	6,6m
Eslora	86,9m
Velocidad de servicio	15 nudos
Capacidad de carga	4500DWT
Clase DP	2



$P_{\max}(\text{cada prop.}) = 2929 \text{ kW}$; $P_{\max}(\text{total}) = 5858 \text{ kW}$, $\eta_{\text{transm}} = 0,9$

Propuesta metodológica



Dimensionamiento de los arreglos

Diagrama unifilar sistema de propulsión arreglos 2 y 4

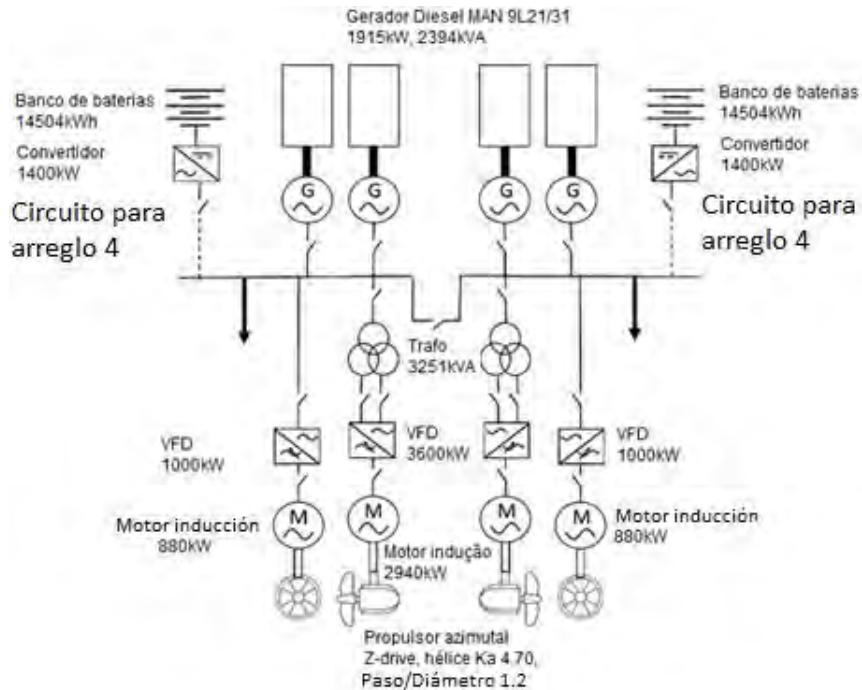
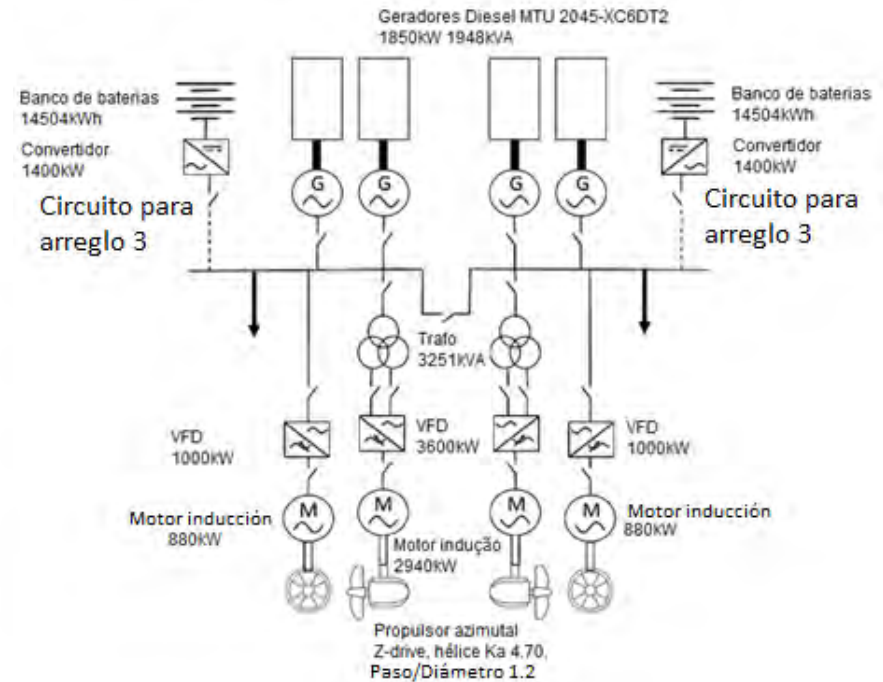
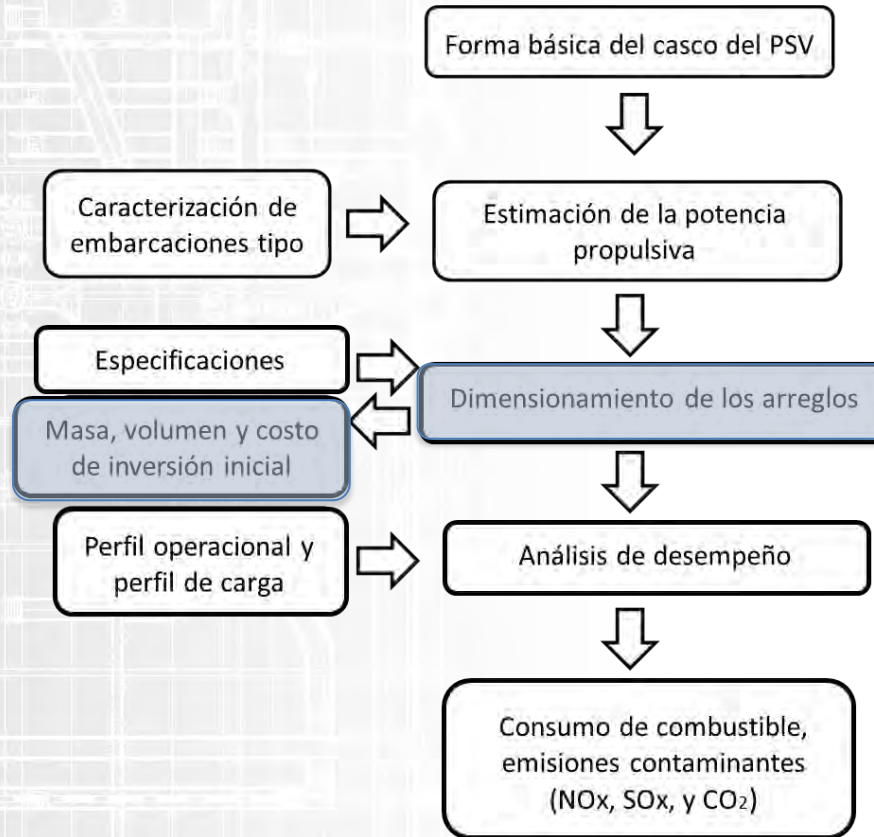


Diagrama unifilar sistema de propulsión arreglos 1 y 3



Propuesta metodológica



Comparativo de masa, volumen y costo inversión inicial

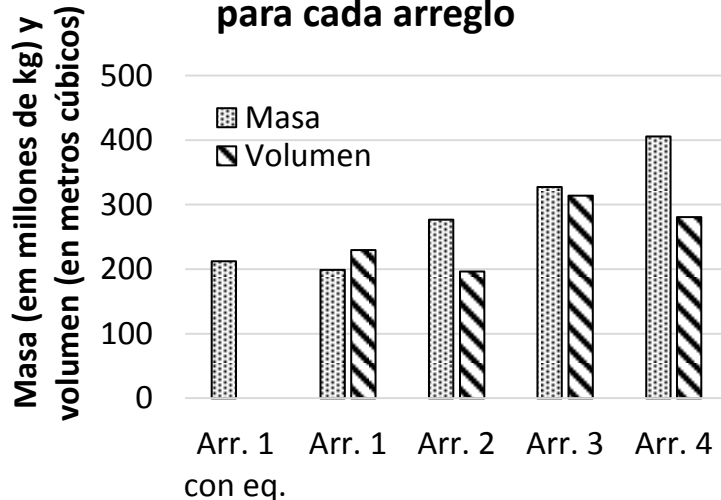
Ecuación para estimación de masa de un arreglo típico de propulsión eléctrica para PSVs



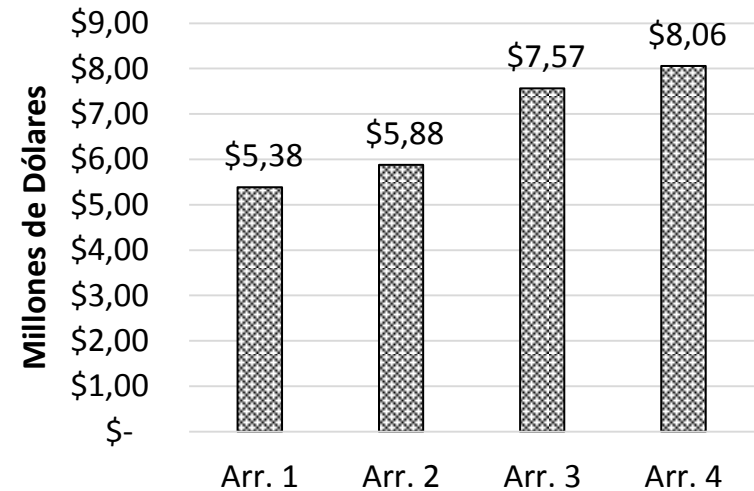
$$M_{DE} = 3 \times 10^{-6} P_p^2 + 0,0119 P_p + 38,834$$

Donde, M_{DE} = masa del arreglo y P_p = potencia instalada para propulsión

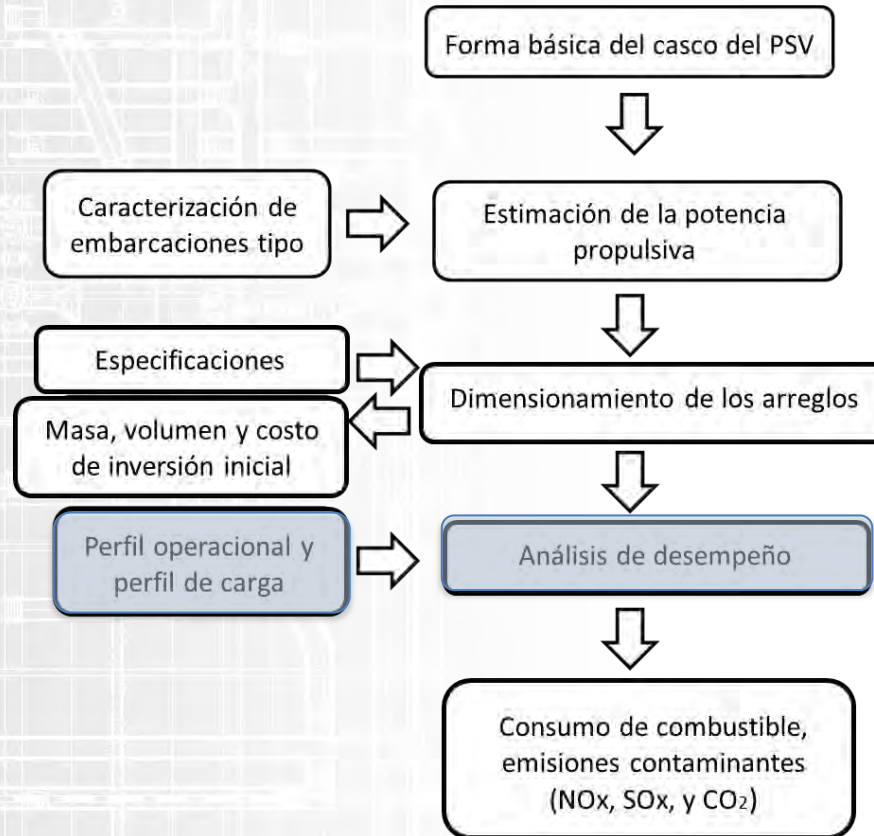
Comparativo de masa y volumen para cada arreglo



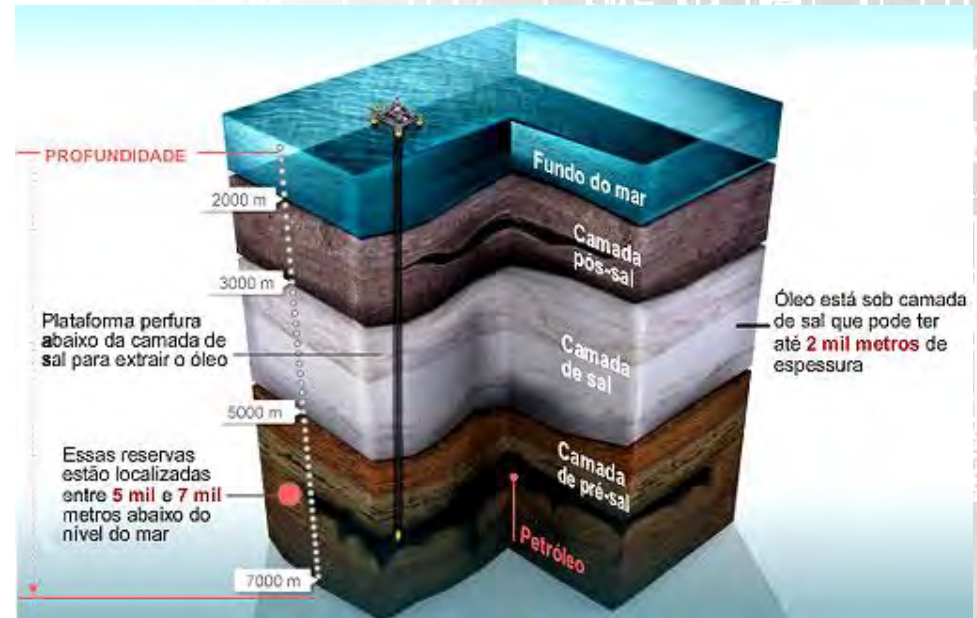
Costo de inversión inicial



Propuesta metodológica

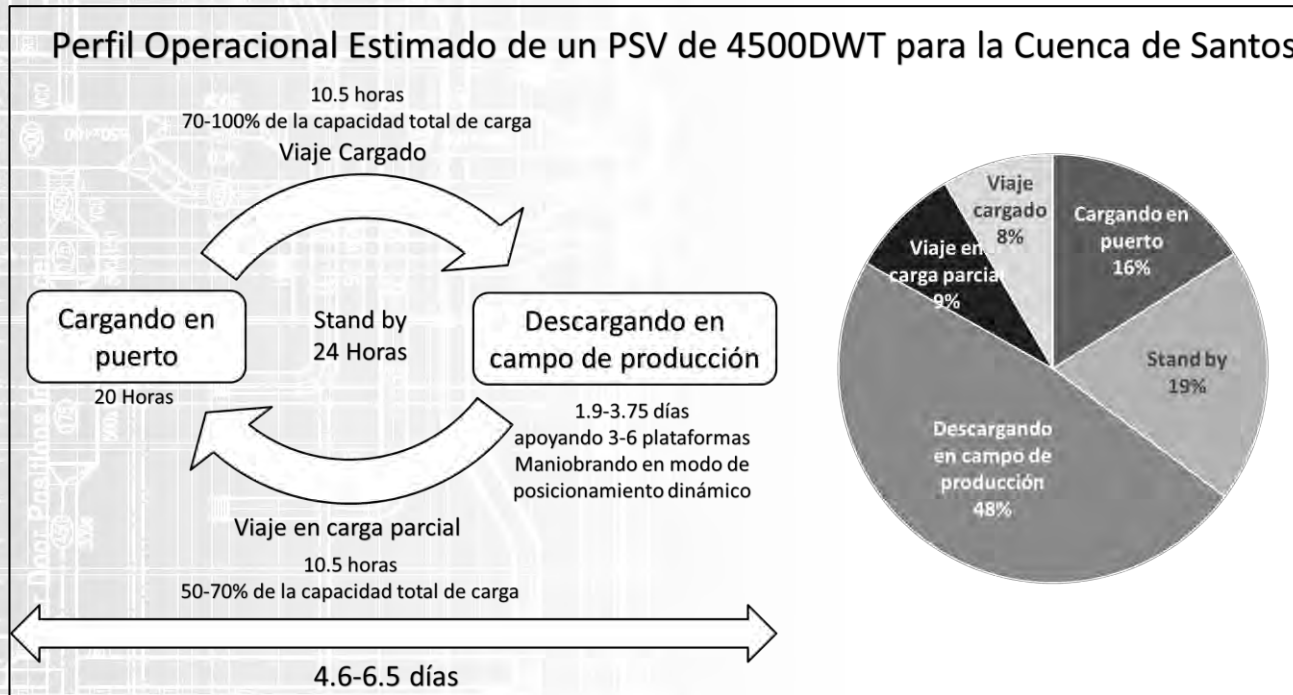


Perfil operacional y perfil de carga



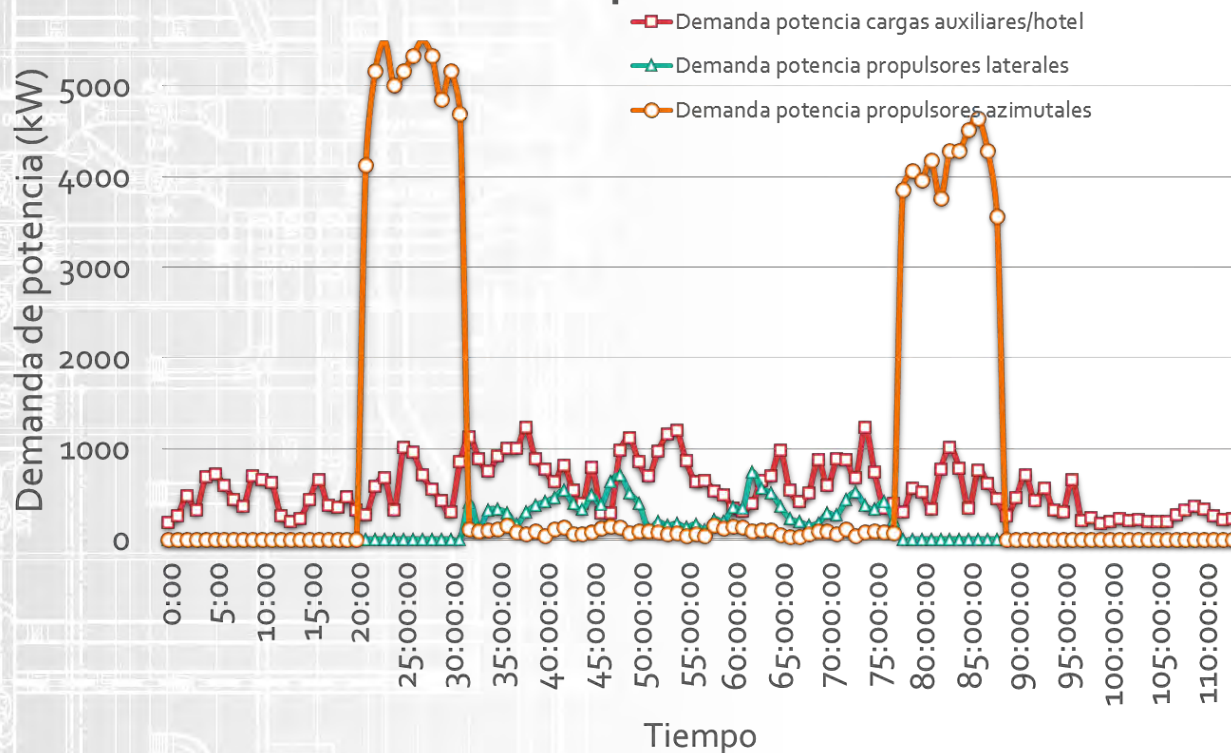
Evaluation of Medium Speed Diesel generator sets and energy storage technologies as alternatives for reducing fuel consumption and exhaust emissions in electric propulsion systems for PSVs

Perfil operacional y perfil de carga



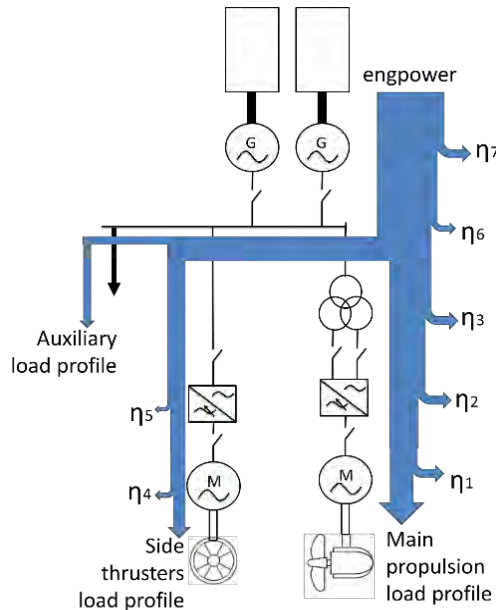
Perfil operacional y perfil de carga

Perfil de carga de referencia para un servicio completo



Análisis de desempeño de generadores

Perfil de carga es utilizado como entrada para estimar parámetros: consumo de combustible y emisión de gases contaminantes

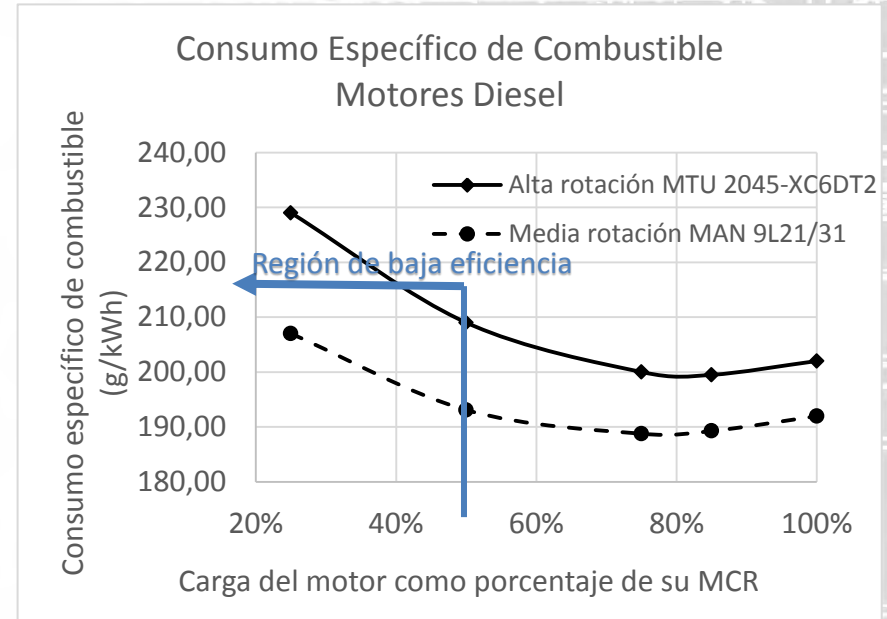


$$\text{Consumo comb.} = \int_{t_1}^{t_2} h \text{ SFOC}_n \text{ Engpow}_n dt$$

$$\text{SFOC}_n = f\left(\frac{\text{Engpow}_n}{P_n \text{ engine}}\right)$$

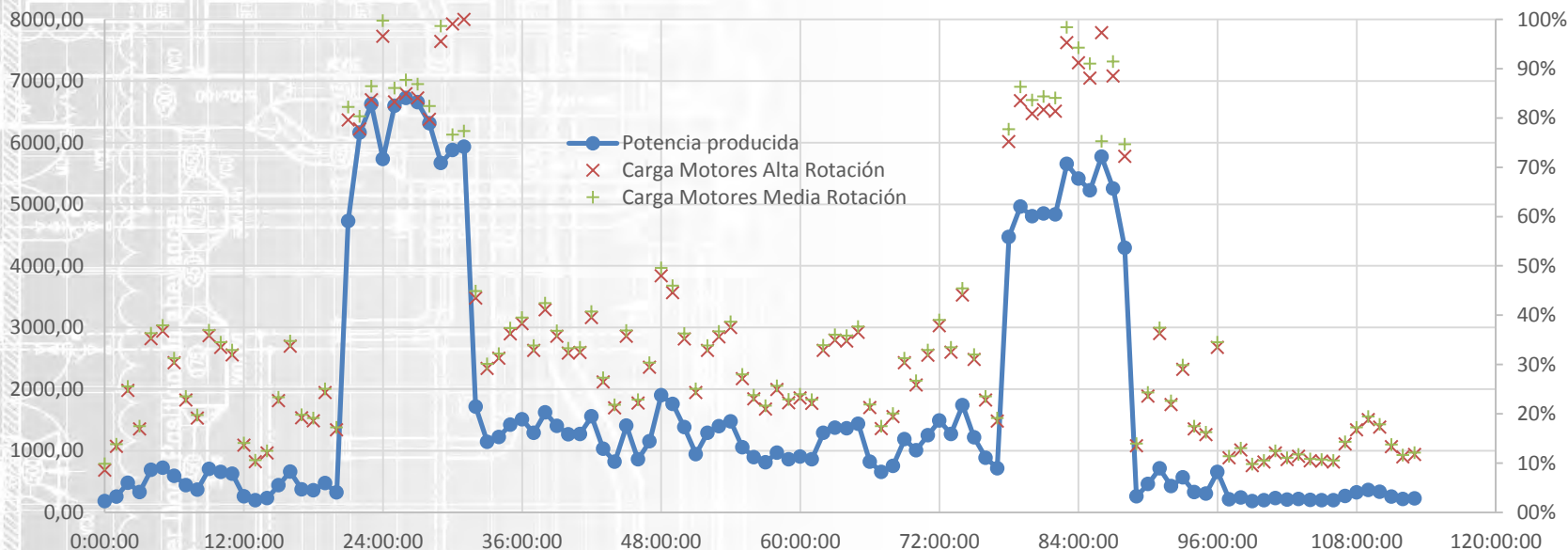
Carga de los motores Diesel

$\eta_x = \text{eficiencia de cada elemento}$



Análisis de desempeño de generadores

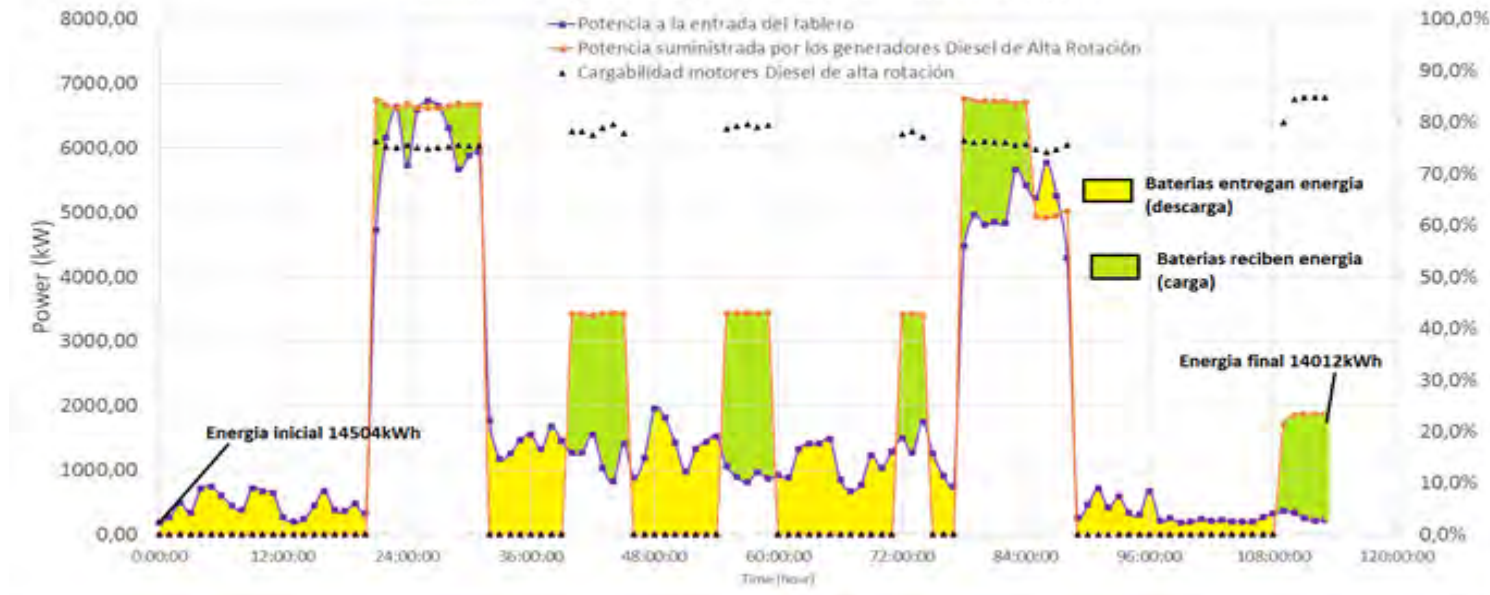
Potencia total producida y carga de los motores Diesel para el arreglo 1



La carga de los motores es menor al 50% para mayor parte de la operación.

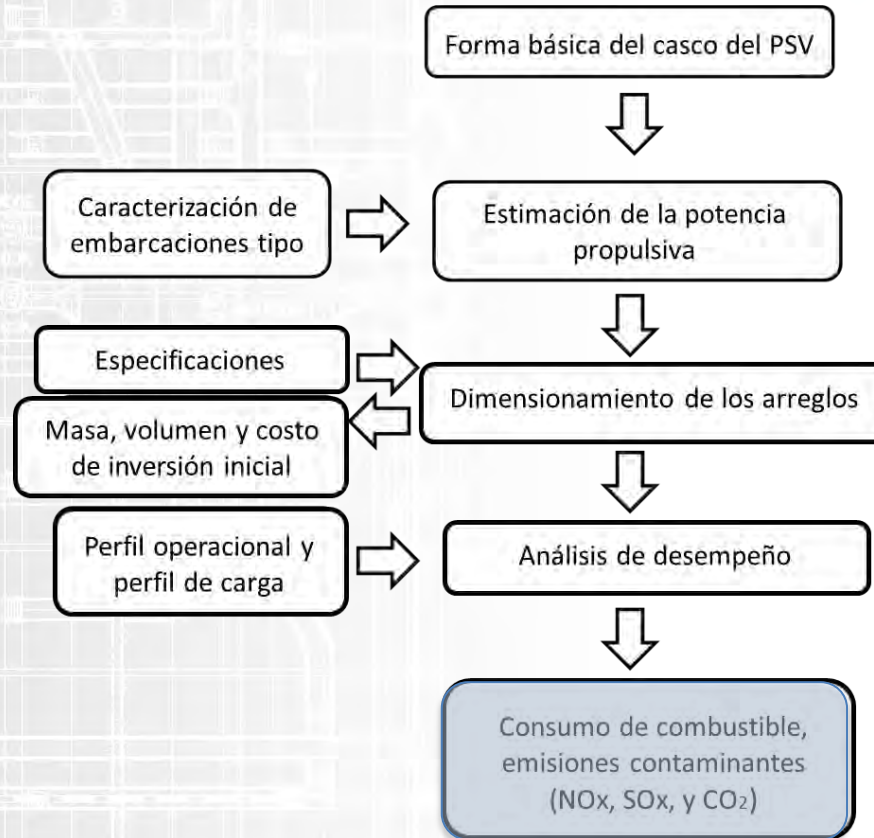
Análisis de desempeño de generadores

Potencia producida y carga de los generadores Diesel de alta rotación y energía suministrada/recibida por las baterías para el arreglo 3



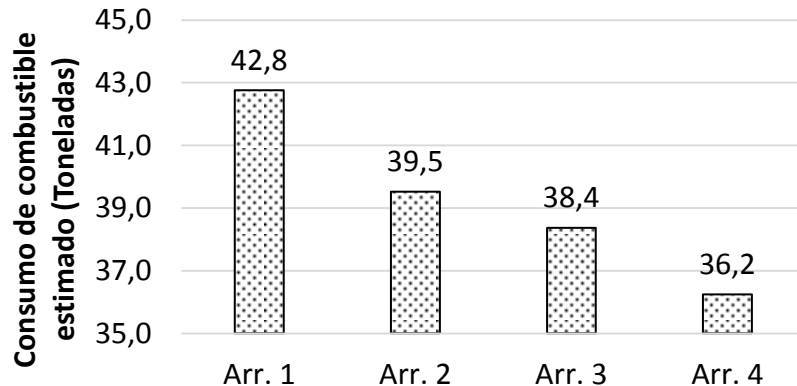
Baterías mantienen a los generadores entregando potencia constante, compensando el exceso/falta de potencia. Motores Diesel están cargados todo el tiempo entre 75-85%

Propuesta metodológica

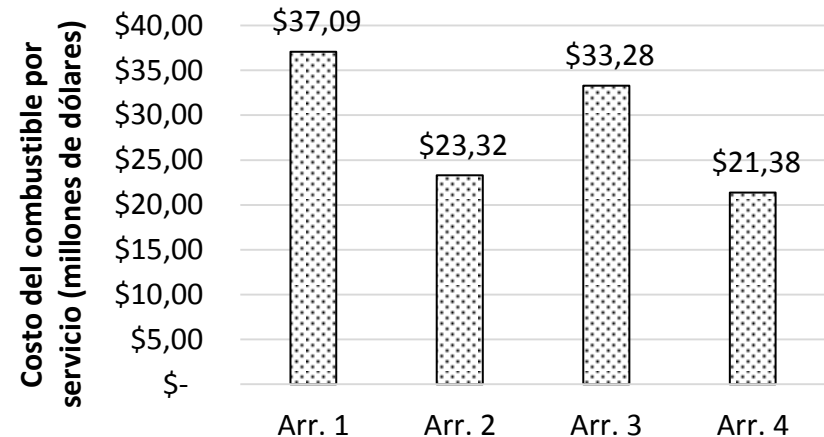


Comparativo de consumo de combustible y emisiones de gases

Consumo de combustible estimado por servicio



Costo del combustible por servicio



- Asumiendo 6 servicios por mes, el ahorro de combustible puede ser mayor que US\$1 millón por año.

Precio del combustible referenciado para el puerto de Singapur el día 18-08-2014

Comparativo de consumo de combustible y emisiones de gases

$$NO_X = (ef_{NO_X}) \int_{t_1}^{t_2} h Engpow_n dt$$

$$CO_2 = (ef_{CO_2}) consumo comb.$$

$$SO_X = (ef_{SO_X}) consumo comb.$$

$$ef_{SO_X} = 20 \times \%contenido azufre$$

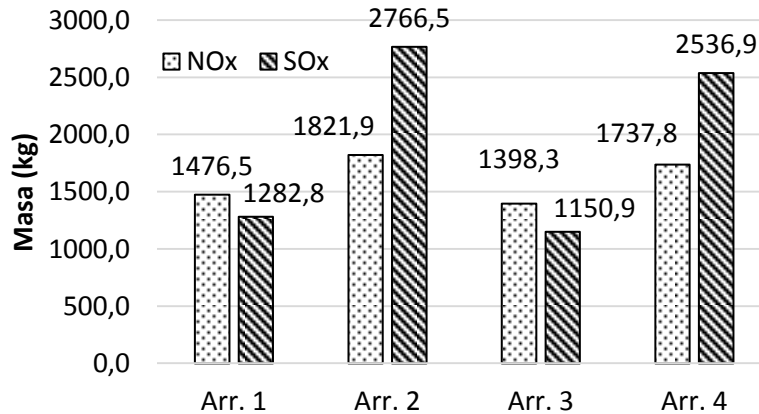
- Masa de NOx depende de la energía suministrada por los motores.
- Masa de SOx y dióxido de carbono depende del consumo de combustible.

ef_{NO_X} = informado por cada fabricante de motor Diesel.

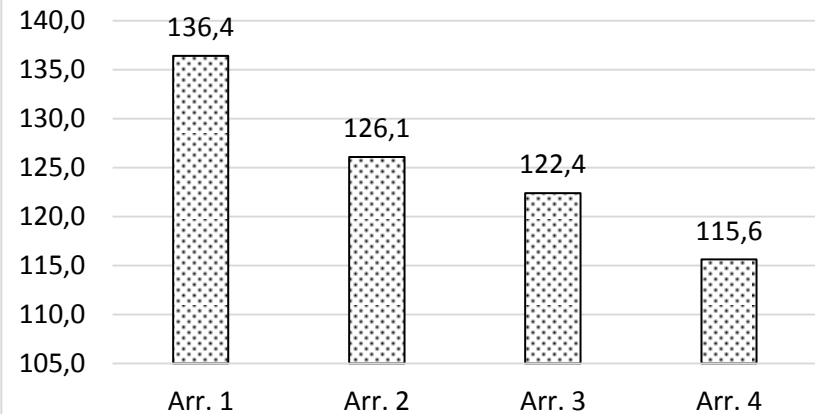
$\%ef_{CO_2} = 3190kg$ por cada ton de combustible quemado

$\%contenido azufre = 3,5\%$ para HFO e $1,5\%$ para MDO

Emisiones de Nox y SOx



Emisiones de CO2 (Toneladas)



Conclusiones

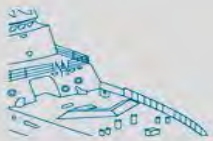
- Motores Diesel de media rotación consumen menos combustible y emiten menos CO₂ que alta rotación. Mayor masa, costo de inversión y emisiones NO_x y SO_x.
- Mantener los motores Diesel suministrando una potencia fija con bajo consumo específico de combustible es necesario para reducir consumo de combustible. Baterías ayudan en ese propósito. Masa adicional de baterías puede reducir ingresos por transporte de carga.
- Emisiones de Sox y CO₂ dependen del consumo de combustible. NO_x no se reducen con el consumo de combustible, dependen de la energía entregada por los motores Diesel.
- Se propone estudio del efecto de la masa y volumen adicional de los arreglos sobre la capacidad de transporte de carga.

MUCHAS GRACIAS



cramorales@gmail.com

hmmorish@usp.br





CONGRESO INTERNACIONAL DE
IV DISEÑO E
INGENIERÍA
NAVAL

11 - 13 DE MARZO DE 2015