

TÍTULO: Diseño de un sistema hidráulico para la extracción del aceite usado en los grupos electrógenos de 2 500 kW de Felton.

TITLE: Design of a Hydraulic System to Extract the Oil Used in Felton's 2,5 MW Generating Sets.

AUTORES:

(1)MsC. Ing. Alberto Carballo Peña.

COAUTOR:

(2)Ing. Luis Aramís Driggs Sampera

PAÍS: Cuba

RESUMEN:

Se analiza que el diseño de un sistema de evacuación rápida del aceite usado de los motores HYUNDAI, modelo HIMSEN 9H25/33, en la Central Diesel Eléctrica de Felton, permite disminuir los tiempos del mantenimiento y poner en línea la energía que se hubiera dejado de generar por la demora en el arranque, aumentando la disponibilidad de generación de electricidad del emplazamiento con un ahorro considerable de combustible. El sistema hidráulico sustituye el método manual recomendado por el fabricante, permitiendo realizar producciones más limpias y humanizar el trabajo del personal de mantenimiento. Esa solución puede ser generalizada en otros emplazamientos de Centrales Diesel Eléctrica con similares características, lo que indudablemente reportaría un significativo beneficio al sistema electroenergético nacional.

PALABRAS CLAVES: SISTEMA HIDRÁULICO, GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD, AHORRO DE COMBUSTIBLE, GRUPOS ELECTRÓGENOS.

ABSTRACT:

The design of a system for the fast extraction of used oil from HIMSEN 9H25/33 HYUNDAI motors at Felton's Diesel Power Station, allows decreasing maintenance time and to re-establish the generated energy in the power line more quickly; thus increasing power generation's availability of the unit with a considerable saving of fuel. The hydraulic system substitutes the hand-held method recommended by the manufacturer, ensuring cleaner productions and humanizing the work of the maintenance staff. That solution can be generalized to similar diesel power stations emplacements which would undoubtedly yield significant benefits to the national power generation system.

KEY WORDS: HYDRAULIC SYSTEM, POWER GENERATION, SAVING OF FUEL OIL, GENERATING SETS.

INTRODUCCIÓN

La Unión Nacional Eléctrica (UNE) decide instalar una Central Diesel Eléctrica en Felton, que funciona como régimen base consumiendo combustible fuel oil, compuesto por 24 motores de tecnología HYUNDAI, con una potencia unitaria de 2,5 MW y potencia total de 60 MW, modelo HIMSEN 9H25/33. La tecnología coreana contempla sistemas automáticos de bombeo para la recepción y transferencia del aceite limpio; sin embargo, no existe en el diseño original ningún sistema que permita el retorno del aceite usado, desde la sala de motores hacia la estación de aceite existente, la cual se encuentra a una distancia de 252 m del emplazamiento de los grupos electrógenos.

Para llevar a cabo los ciclos de reparación y mantenimiento de las baterías de motores se plantea como solución, según el fabricante, su extracción y traslado de forma manual. Esta última se realizaría en bidones de 202 litros de capacidad, mediante carretillas, desde el emplazamiento hasta la estación de aceite mencionada anteriormente, con el consiguiente riesgo en la manipulación, ya que se provocarían derrames de este lubricante en estado de contaminación, dañando el medio ambiente.

Considérese además, que cada uno de los 24 motores del emplazamiento contienen 1970 litros de aceite para desecho, lo que da muestras del grado de deshumanización y exceso de trabajo para el personal encargado de la actividad, así como de la prolongación del tiempo de mantenimiento y, por consiguiente, demora en el arranque de la batería de grupos electrógenos.

Para resolver este problema, se decide diseñar un sistema de bombeo para la evacuación del aceite usado de los motores HYUNDAI, aprovechando la disponibilidad de bombas de accionamiento positivo, con el objetivo de disminuir el tiempo de mantenimiento, incrementar la disponibilidad de generación de electricidad, así como ahorrar combustible al considerar que durante la parada del motor, esta energía dejada de producir se suple por grupos de emergencia que funcionan con combustible diésel, mucho más cotizado en el mercado mundial

MATERIALES Y METODOS.

- La observación en emplazamientos similares para conocer la realidad mediante la percepción directa de los objetos y fenómenos estudiados y consulta de expertos para tener en cuenta opiniones, criterios y sugerencias de otros especialistas en la materia objeto de investigación.
- Cálculo y análisis de parámetros hidráulicos fundamentales para la propuesta del nuevo sistema de evacuación del aceite usado.

RESULTADOS DEL TRABAJO

El sistema hidráulico está compuesto por dos subsistemas:

1. El primero, cuya función es trasegar aceite desde el motor correspondiente hasta el un colector central, y está conformado por una bomba portátil y una tubería o colector principal con sus accesorios.
2. El segundo, cuya función es el trasiego de aceite desde un foso de almacenamiento intermedio, hasta el tanque receptor final. Está conformado por una bomba, el sistema de tuberías, accesorios y el tanque receptor, con capacidad para 60 m³.

En la inversión se contaba con un suministro el cual fue propuesto por la propiedad de la instalación, el cual tiene las siguientes características:

Suministro nacional

1. Electrobomba de tornillo modelo MN 042-1, con un caudal Q de 6 m³/h; carga 0,25 MPa (2,5 bar); potencia instalada, P, de 2,2 kW; aislamiento del tipo F, IP 55, motor eléctrico certificado Eexd II B T 5; ambiente de trabajo salino; tensión de 480 V/3Φ/ 60Hz.

Suministro coreano

1. Módulo de dos electrobombas de tornillo marca IMO AB, modelo ACG 045K7 NVBP; caudal Q de 6 m³/h; presión de salida, Ps 0,25 MPa; viscosidad del liquido ν de 25,8 m²/s; potencia absorbida P de 0,7 kW; velocidad V de 1 759 rpm; diámetro de entrada DN 80 (3 in) y en la salida DN 65 (2 ½ in).
2. Módulo de dos electrobombas de tornillo marca IMO AB; presión de salida Ps 0,4 MPa; caudal Q de 25 m³/h; viscosidad del liquido, ν de 25,8 m²/s; diámetro de entrada, DN 80 (3 in) y salida DN 80 (3 in).

Para el análisis del subsistema 1 se consideró utilizar la electrobomba No. 1; los cálculos arrojan el siguiente resultado:

Tabla 1.

Parámetro calculado	Resultado	Observación
Re_L	786,39	R.L.
Re_U	327,21	R.L.
H_{sist}	28,03.m	$H_{sist} \leq H_B$
$NPSH_{disp.}$	4,97.m	$NPSH_{disp} \geq NPSH_{req}$
Δh	6,95.m	$\Delta h \geq 0$
P_2	$0.2 * 10^6 \text{ Pa}$	supera a la presión atmosférica 2 veces
Q_B	$0.001666 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B \geq Q_{sist}$

No obstante al cumplimiento positivo de determinadas condiciones, los autores consideran esta bomba como sobredimensionada, por cuanto existe una presión a la salida del sistema que duplica la presión atmosférica y por consiguiente un consumo de energía innecesario, por lo que se proponen otra bomba con similares parámetros; los cálculos arrojaron el siguiente resultado:

Tabla 2.

Parámetro calculado	Resultado	Observación
Re_L	786,39	R.L.
Re_U	327,21	R.L.
H_{sist}	16,819.m	$H_{sist} \leq H_B$
$NPSH_{disp.}$	4,976.m	$NPSH_{disp} \geq NPSH_{req}$
Δh	6,95.m	$\Delta h \geq 0$
P_2	$0.105 * 10^6 \text{ Pa}$	-
Q_B	$0,00166 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_B \geq Q_{sist}$

Para el análisis del subsistema 2 se consideró utilizar la electrobomba No. 3 teniendo en cuenta una mayor presión de salida de la bomba; los cálculos arrojan el siguiente resultado:

Tabla 3

Parámetro calculado	Resultados	Observación
Re	1638,88	R.L
H_{sist}	44,85.m	R.L
$NPSH_{disp}$	4.4905.m	$H_{sist} \leq H_B$
Δh	6,734.m	$NPSH_{disp} \geq NPSH_{req}$
P_2	$0.18 * 10^5 \text{ Pa}$	menor que la presión atmosférica
Q_B	0,00694 m ³ /s	$\Delta h \geq 0$

Como esta bomba no es la idónea para este subsistema desde el punto de vista de la energía que desarrolla, ya que lo que se obtiene a la salida es una depresión, no garantiza su correcta funcionabilidad; los autores proponen utilizar en su lugar la bomba modelo MN 042-1, en cuyo recálculo se obtuvo:

Tabla 4.

Parámetro calculado	Resultados	Observación
Re	325,69	R.L
H_{sist}	27,94.m	R.L
$NPSH_{disp}$	4.4905.m	$H_{sist} \leq H_B$
Δh	6,734.m	$NPSH_{disp} \geq NPSH_{req}$
P_2	$0.142*10^6 \text{ Pa}$	-
Q_B	0,00166 m ³ /s	$\Delta h \geq 0$

En ambos subsistemas se realizaron nuevas propuestas de bombas, ya que de una forma u otra las bombas que se proponían inicialmente no satisfacían las condiciones energéticas de operación.

Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMEF)

Para el mantenimiento de los sistemas hidráulicos se aplicó el AMEF, el cual es un **método** analítico estandarizado para detectar y eliminar problemas de forma sistemática y total, cuyos **objetivos** principales son:

- Detectar las fallas potenciales y las causas asociadas con el diseño
- Determinar los efectos de las fallas potenciales en el desempeño del sistema.
- Identificar las acciones que podrán eliminar o reducir la oportunidad de que ocurra la falla potencial.

-Analizar la confiabilidad del sistema.

Luego de calculados los subsistemas hidráulicos y teniendo en cuenta los tiempos y recursos utilizados para realizar el mantenimiento de forma manual y mecánico, se realiza una valoración económica, donde se obtiene el siguiente resultado:

- Potencia Total: 60 MW
- Duración de la Evacuación Aceite Usado: 1 hr
- Cambio de aceite: 1 motor/año
- Duración total del cambio/año: 24 hrs/año
- Energía dejada de servir : 1296 MWh/año
- CEB Motores Diesel: 220 g/kWh
- Consumo de combustible: 285 ton/año
- Precio Diesel: 605 cuc/ton
- Consumo de Energía de la Bomba: 4,3 kW
- Consumo de Energía de la Bomba Anual: 0.1032 MWh
- Costo de operación y mantenimiento del sistema: 120 cuc
- Costo de operación y mantenimiento del sistema: 138 cup
- Costo de Inversión: 24 000 cuc
- Costo total de Inversión: 27 600 cup
- Ahorro de Combustible: 172 494 cuc/año
- Período de Recuperación: 1 año

Base Teórica.

Para determinar de manera analítica el tipo de flujo por tuberías, se calcula el Número de Reynolds (Re), el cual está dado por:

$$Re = \frac{V * d * \rho}{\mu} = \frac{V * d}{\nu}$$

Donde:

V- velocidad media del fluido por las tuberías (m/s);

d - diámetro interior de la tubería (m);

ρ - densidad del fluido (kg/m³);

μ - viscosidad absoluta del fluido (Pa.s);

ν - viscosidad cinemática (m²/s).

Para valores del número de Reynold menores a 2300 el régimen se presenta laminar. El paso del régimen laminar al turbulento se produce dentro de un rango de valores, que para el caso del flujo por tuberías normalmente oscila entre 2300 y 4000. Dentro de ese rango recibe el nombre de régimen de transición.

Determinación de la velocidad media de circulación del aceite:

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{4 * Q}{\pi * d^2}$$

Diseño de un sistema hidráulico para la extracción del aceite usado en los grupos electrógenos de 2 500 kW de Felton.

Donde:

Q – gasto, (m³/s)

S – sección transversal de la tubería, (m)

Como se cumple que $Re \leq 2300$, el régimen es laminar.

Cálculo de la carga neta de succión positiva para el subsistema No.1.

La carga neta de succión positiva de la bomba se calcula mediante la ecuación:

$$NPSH_{disponible} = \frac{P_1}{\rho * g} - \frac{P_v}{\rho * g} \pm Z_1 - h_{ts}$$

Donde

P_1 : presión absoluta en la aspiración (Pa);

P_v : presión de vapor (absoluta), (Pa);

Z_1 : altura de aspiración estática (m);

h_{ts} : pérdida de carga en la aspiración (m);

ρ : densidad (Kg/m³);

g : aceleración de la gravedad, (m/s²).

El $NPSH_{disponible}$ debe ser siempre mayor que : $NPSH_{req} \cdot NPSH_{disponible} > NPSH_{req}$.

La pérdida de carga en la aspiración se determina por la formula:

$$h_{ts} = \left(\frac{64}{Re} * \frac{L}{d} \right) * \frac{V_e^2}{2 * g} + \left(\frac{64}{Re} * \frac{\Sigma L_{equ}}{d} \right) * \frac{V_e^2}{2 * g}$$

Para el cálculo de la longitud equivalente, se empleó la ecuación que resulta de igualar las ecuaciones de Darcy y Euler.

$$l_{eq} = K_{loc} * d * \frac{Re}{64}$$

Donde:

l_{eq} Longitud equivalente,

K_{loc} Coeficiente de pérdidas locales,

d Diámetro de la tubería en (m),

Re Número de Reynolds.

Condición de no cavitación

En el caso general, la condición de que funcione la bomba sin cavitación, se puede expresar por la ecuación:

$$P_d \pm h * \gamma - \sum P_c - P_i - \frac{u_e^2 * \gamma}{2 * g} \geq P_c$$

Donde:

P_d : presión en el depósito de líquido que alimenta la bomba;
 h la diferencia entre el nivel del líquido en el depósito y la boquilla de entrada de la bomba;

$\sum P_c$: sumatoria de la pérdida de carga de presión en la tubería de principal de aspiración;

P_i : pérdida de la carga de presión debida a la aceleración del líquido en los canales aspirante de la bomba y la tubería de suministro;

u_e : velocidad del líquido en la ventanilla de entrada (canal) de la bomba;
 γ : peso volumétrico del líquido;

P_c : presión crítica con la cual comienzan a desprenderse activamente las burbujas de aire desde el líquido; esta presión depende de la viscosidad del líquido y de su temperatura, así como del grado en que se ha saturado el líquido por el aire.

Coeficiente de reserva cavitacional

Este es otro de los parámetros que se evalúan a la hora de ver si existe o no cavitación en un sistema de bombeo, este coeficiente de reserva cavitacional se calcula por la siguiente expresión:

$$\Delta h = \frac{P_e}{\gamma_{AC}} + \frac{V_e^2}{2 * g} - P_{SAT} \quad P_{SAT} = \frac{P_v}{\gamma_{AC}}$$

Donde:

Δh Coeficiente de reserva cavitacional;

P_e Presión a la entrada de aspiración de la bomba;

V_e Velocidad en la aspiración de la bomba;

P_v Presión de vapor;

P_{SAT} Presión de saturación.

Y por consiguiente, para que no ocurra cavitación, deben cumplirse la siguiente condición: $\Delta h \geq 0$

Cálculo de la presión de salida

A partir de la ecuación de Bernoulli:

$$\frac{P_1}{\gamma_{AC}} + Z_1 + \alpha_1 * \frac{V_1^2}{2 * g} = \frac{P_2}{\gamma_{AC}} + Z_2 + \alpha_2 * \frac{V_2^2}{2 * g} + K * Q^m$$

Diseño de un sistema hidráulico para la extracción del aceite usado en los grupos electrógenos de 2 500 kW de Felton.

Como d variable, y el régimen es laminar: $m=1$; $\alpha=2$.
Donde el coeficiente K se calcula como:

$$K = \frac{128 \nu (\sum L + \sum L_{equ})}{\pi g d^4}$$

Se despeja la presión a la salida del subsistema:

$$P_{A2} = \left[\frac{P_{A1}}{\gamma_{AC}} + Z_{A1} - Z_{A2} + \alpha_{A1} \frac{V_{A1}^2}{2g} - \alpha_{A2} \frac{V_{A2}^2}{2g} - K Q \right] \gamma_{AC}$$

Como la tubería es de diámetro variable, el coeficiente de pérdidas K se calcula como la suma de sus valores para cada uno de los tramos correspondientes, quedando la expresión como:

$$P_{A2} = \left[\frac{P_{A1}}{\gamma_{AC}} + Z_{A1} - Z_{A2} + \alpha_{A1} \frac{V_{A1}^2}{2g} - \alpha_{A2} \frac{V_{A2}^2}{2g} - (K_1 + K_2) Q \right] \gamma_{AC}$$

Luego de tener todos los datos se calcula H_{SIST} por la siguiente ecuación:

$$H_{SIST} = \frac{P_1}{\gamma_{AC}} = \Delta Z + K Q^n$$

Donde:

ΔZ , altura geométrica, (m)

K , coeficiente de resistencia local, adimensional;

Valoración económica

	0	1	2	3	4	5
Flujo de Caja en Divisas	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Ahorros	0	172484	172484	172484	172484	172484
Egresos	24000	120	120	120	120	120
Inversión	24000					
Operación y mnto		120	120	120	120	120
Utilidades	-24000	172364	172364	172364	172364	172364
Utilidad Act. Acumulada	-24000	132694	275144	404643	522370	629395
VAN 10%	629395	cuc				
TIR	718%					
Período de Recuperación	1	año				
	0	1	2	3	4	5
Flujo de Caja en Moneda Total	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Ahorros	0	172484	172484	172484	172484	172484
Egresos	27600	138	138	138	138	138
Inversión	27600					
Operación y mnto		138	138	138	138	138
Utilidades	-27600	172346	172346	172346	172346	172346
Utilidad Act. Acumulada	-27600	129078	271513	400999	518713	625726
VAN 10%	625726	cuc				
TIR	624%					
Período de Recuperación	1	año				

CONCLUSIONES

1. Se propone el diseño de un sistema con su cálculo hidráulico para la evacuación del aceite usado, que humaniza el trabajo del personal de mantenimiento.
2. Se propone aplicar el mantenimiento de Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMEF)
3. que permite prever las roturas y paralización del sistema innecesariamente.
4. Existe un efecto económico positivo, con ahorro sustancial de combustible al incrementar la disponibilidad de generación de electricidad y así evita la entrada en servicio de los grupos diésel con un consumo específico mayor.
5. La aplicación de Producciones más limpias evitan los derrames del aceite, evitando contaminaciones al medio.

RECOMENDACIONES

1. Su empleo puede generalizarse en los restantes emplazamientos del país con el consiguiente ahorro de combustible por concepto de reducción del tiempo de mantenimiento.

BIBLIOGRAFÍA

1. Análisis modal de fallos y efectos. [documento en línea]. <http://www.fundibeq.org> [Consultado: 23 ene. 2009].
2. Bashta, T. M. Hidráulica en la construcción de maquinaria. Moscú: Editorial Mir, 1987. 771 p.
3. Bombas: clasificación: funcionamiento: centrífugas: positivas: bombas. [documento en línea]. <http://apuntes.rincondelvago.com/bombas.html> [Consultado: mar. 2008]
4. Carballo Peña, A. Mecánica de los Fluidos para Ingenieros Mecánicos: monografía. Holguín; Universidad "Oscar Lucero Moya", 2008. 66 h.
5. Karassik Igor, J. Bombas Centrífugas: selección, operación y mantenimiento / J. Karassik Igor, Roy Carter. La Habana: Pueblo y Educación, 1987. 560 p.
6. Karl Georg, Alfred. La Escuela del técnico mecánico: tratado de Mecánica y de sus ciencias auxiliares destinado a la enseñanza autodidáctica / Georg Kart, Weitzel Holzt. Barcelona: Editorial Labor, 1986. 458 p
7. Nekrasov, B. Hidráulica. 3. reimpr. La Habana: Pueblo y Educación, 1986. 432 p.
8. Norma Cubana 90-00-06-6. Sistema Internacional de Medidas. Tabla de equivalencias de otras unidades de medidas a las del SI. 1983. 47 p.
9. O & M operación y mantenimiento. Corea; HYUNDAI, 2008. 150 h. (Documentación suministrada por el fabricante)
10. Ramos Páez, Néstor. Bombas, ventiladores y compresores. La Habana; Editorial ISPJAE, 1989. 398 h.

DATOS DE LOS AUTORES

Nombre:

(1) MsC. Ing. Alberto Carballo Peña.

COAUTOR(ES):

(2) Ing. Luis Aramís Driggs Sampera.

Correo:

albertocar@facing.uho.edu.cu
inelhol@hol.une.cu

Centro de trabajo:

(1) Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya". Avenida XX Aniversario, Piedra Blanca, Holguín, CP 80100

(2) INEL. Empresa de Ingeniería y Proyecto de la Electricidad. Calle Narciso López, Nro. 135, % Arias y Aguilera, Holguín. CP 80100