

## **Medidas para el incremento de la eficiencia energética en una turbina.**

**AUTORES: Dr. Francisco Martínez Pérez**  
**Centro de Estudios de Ingeniería en Mantenimiento.**  
**Facultad de Ingeniería Mecánica**  
**Universidad técnica de La Habana, Cuba**  
**Email: [fmartínez@ceim.cujae.edu.cu](mailto:fmartínez@ceim.cujae.edu.cu)**  
**Teléfono: 266 3643**  
**Ing. Yoismel Pérez Paz**  
**Centro de Estudios de Ingeniería en Mantenimiento.**  
**Facultad de Ingeniería Mecánica**  
**Universidad técnica de La Habana, Cuba**

### **Resumen:**

El presente trabajo realizado en una central termoeléctrica da a conocer un conjunto de recomendaciones, basadas en el análisis tribológico, para incrementar el diagnóstico y mejorar la eficiencia a través del análisis del sistema de análisis del lubricante en una turbina generadora de electricidad.

En el desarrollo del trabajo se llevaron a cabo herramientas importantes como el análisis de criticidad de la turbina, las recomendaciones para la toma de muestras de lubricantes, en estos activos, así como en el trasiego del mismo en la CTE. Se emplearon normas internacionales, como la ISO 4403, y tabulaciones de cálculos especializados. Todo esto permitió desarrollar recomendaciones para alcanzar los objetivos propuestos, lo que es recomendable extender a otras termoeléctricas. Se hace una valoración económica de inversiones y su recuperación.

### **Abstract:**

The present work carried out in a thermoelectric power station, will give to know a group of recommendations, based on the tribological analysis, to increase the diagnose and to improve the efficiency through the analysis of lubrication system and the lubricant in a generating turbine of electricity.

In the development of the work they were carried out important tools as the criticality analysis of the turbine, the recommendations for the taking of samples of lubricant, in these assets, as well as in the manage of the lubricant in CTE. International norms were used, as ISO 4403, and specialized tabulations of calculations. All this allowed to develop recommendations to achieve the objectives proposed in the work, which is advisable to extend to others thermo electric. In the work is carried out an economical investment and the time of it recovery.

## **1. Introducción.**

El presente trabajo se desarrolló en una central termoeléctrica. En el se abordaron un conjunto de análisis, basados en un enfoque tribológico, con vistas a incrementar la eficiencia y vida útil, a través del manejo y análisis del lubricante, en la turbina de Vapor, los cuales permitirán optimizar la relación entre la cantidad de energía consumida y los productos y servicios finales obtenidos. Esto es factible lograrlo a través de la implementación de diversas medidas e inversiones a nivel tecnológico, de gestión y de hábitos culturales en la planta.

Los individuos y las organizaciones que son consumidores directos de la energía deben ahorrar energía para reducir costos energéticos y promover sostenibilidad económica y ambiental.

Las industrias que son grandes consumidoras de electricidad, por ejemplo, cementeras, metalúrgicas, centrales eléctricas, etc. aplican en sus procesos de producción diversas estrategias de producción y tecnológicas para reducir al máximo el consumo de electricidad. Entre estas estrategias está la aplicación consecuente del análisis tribológico en forma de sistema, una de cuyas herramientas esenciales es la selección adecuada de la implementación del diagnóstico a utilizar. Entre las muchas tecnologías de diagnóstico que pueden ser empleadas en una turbina, el del análisis integral del lubricante es el que proporciona el diagnóstico proactivo más eficaz. En el trabajo se desarrolla una metodología como ejemplo de esto. En el desarrollo del trabajo se llevaron a cabo herramientas importantes como el análisis de criticidad de la turbina, las recomendaciones para la toma de muestras de lubricantes en estos activos, así como en el trasiego del mismo en la central termoeléctrica. Se emplearon normas internacionales, como la ISO 4406 y tabulaciones de cálculos especializados. Todo esto permitió desarrollar recomendaciones para alcanzar los objetivos propuestos.

## 2. Desarrollo.

### 2.1 Conceptos relacionados.

La tribología como ciencia que estudia el fenómeno de la fricción, la lubricación y el desgaste es esencialmente un proceso energético. Para analizar la importancia de esta, bastaría con hacer el análisis de diversos aspectos con los que se logra un substancial efecto económico.

Cerca del 30% de la energía que se pierde en la industria mundial, se pierde en la fricción. Países como Inglaterra, Japón y Alemania pierden anualmente más de dos mil millones de dólares como resultado del desgaste. Pérdidas, solo por fricción en diferentes industrias y ramas económicas, pueden apreciarse en el Figura 1

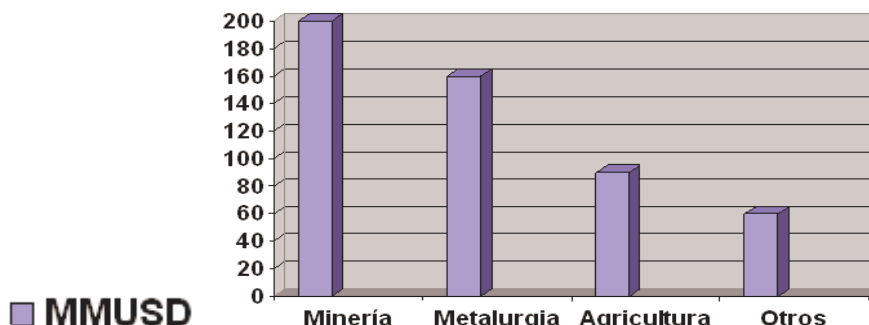
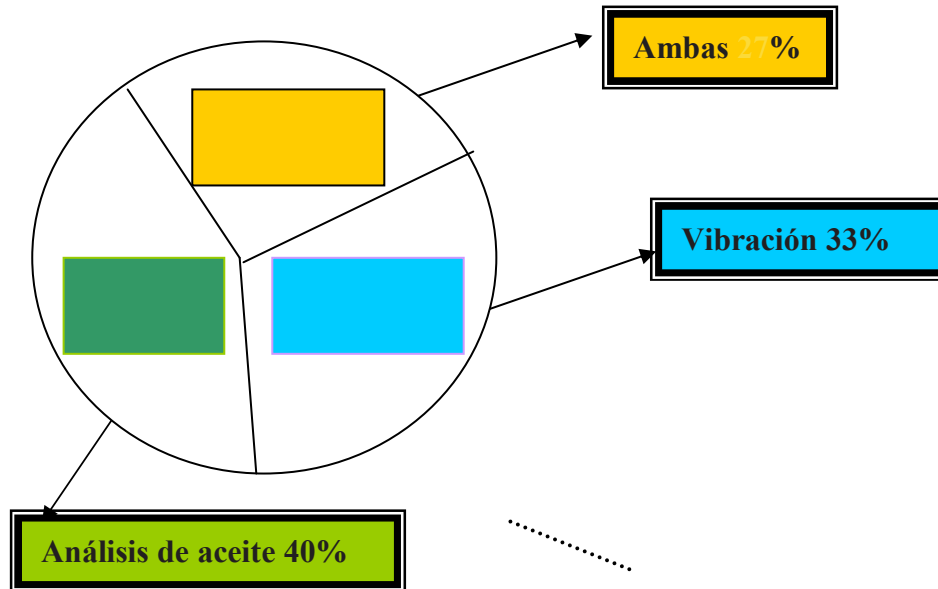


Figura 1 Grafico de pérdidas por fricción.

Estas pérdidas son solo por fricción y están basadas en precios del petróleo en 1990, siendo las de desgaste muy superiores. A ello habría que adicionar las pérdidas por paradas, las de mantenimiento y las de nuevas piezas; pudiendo todo haber sido evitado o disminuido.

Analizando con más detalle algunas de las consecuencias de la fricción y el desgaste, se puede conocer que varias agencias dedicadas a la investigación sobre las consecuencias del desgaste refieren que los costos por desgaste significan, para cada ciudadano, un valor de entre 25 y 250 USD por día (datos de 1996).

A continuación se muestra los resultados que se obtuvieron en una Termoeléctrica de Arizona (Fig. 2), aplicando la detección de fallas por varias vías. Puede observarse que la que alcanzó mayores resultados fue la que utilizó la técnica de análisis de partículas y análisis de aceite. Por cada dólar invertido en la tecnología de detección se recuperaron 6,50 USD por reducción de costos de mantenimiento.



**Figura 2. Análisis de diagnóstico para detección de fallas en la estación de Generación de Energía de Termoeléctrica en Arizona.**

## 2.2 Información sobre la turbina analizada.

La turbina de vapor analizada una capacidad nominal de 100 000 Kw y su capacidad de régimen es de 3600 rpm. Esta diseñada para operar con vapor sobrecalentado con una presión de 130 atm y una temperatura de 540 °C a la entrada de la válvula de cuello, con un recalentamiento hasta 540 °C a una presión de 26,5 atm a carga nominal. La presión de trabajo del condensador es de 0,95 atm con una temperatura de agua de mar de 33 °C. Está provista de 4 válvulas de admisión y la distribución de vapor a ésta se realiza a través de 4 bloques de toberas ubicada en la carcasa interna.

## 2.3 Metodología de la investigación.

Para poder desarrollar un adecuado proceso en la investigación se confeccionó un algoritmo (Fig. 3) en el cual se expone una metodología de trabajo para analizar todos los puntos que se tomaron en cuenta en la investigación. A continuación se muestra el algoritmo empleado para analizar los diferentes aspectos de la investigación y en base a los resultados, realizar recomendaciones de mejora en el sistema tribológico de la turbina generadora de electricidad, así como en el manejo del lubricante.

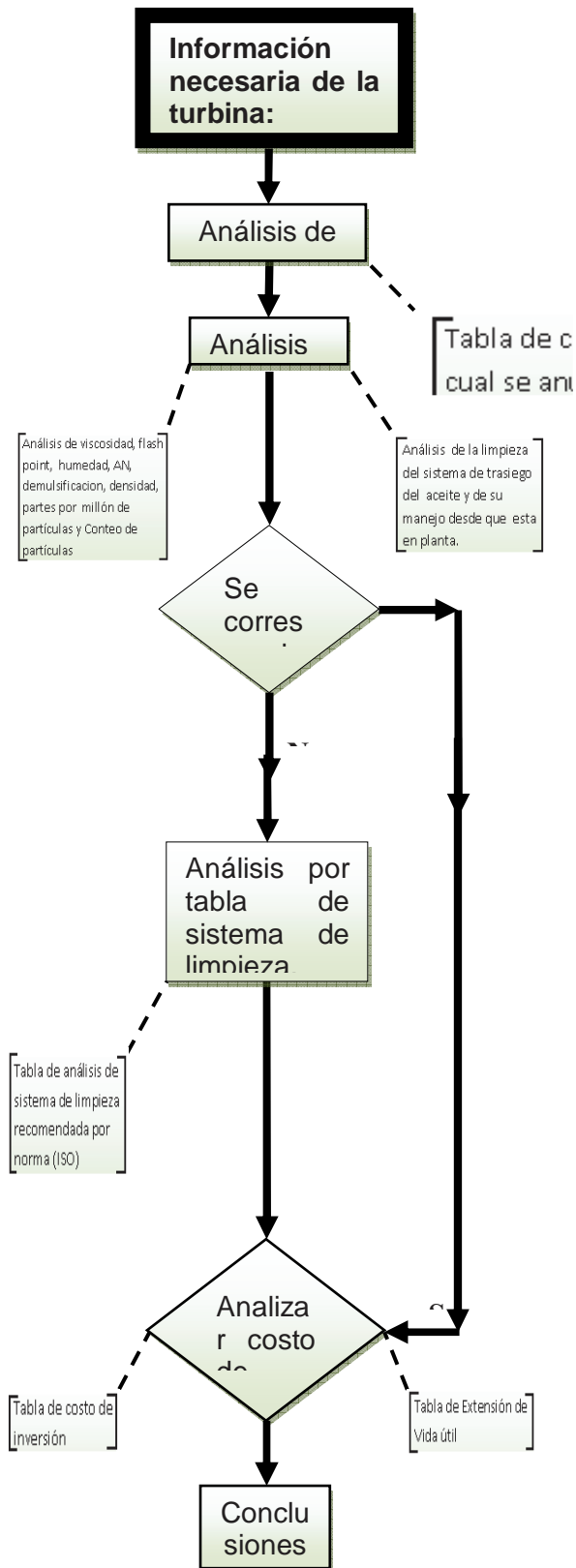


Fig. No 3. Algoritmo para el desarrollo de la Investigación.

### 3. Resultados obtenidos.

#### 3.1 Análisis de la criticidad de la turbina.

El análisis de criticidad hecho con especialistas de la central y con una valoración conservadora en cada punto, dio como resultado un factor de penalización por confiabilidad de 8 siendo el máximo 10, de ahí se aprecia que el grado de criticidad del activo es elevado. Esto puede apreciarse en la tabla 1.

<b>FACTOR DE PENALIZACION POR CONFIABILIDAD(FPC)</b>		<b>MAQUINA I.D:</b> <u>Turbina</u>
		<b>FECHA:</b> <u>17/4/2009</u>
<b>RIESGOS DE SEGURIDAD POR LA FALLA</b>		<b>Calificación</b>
<p>Ninguno                  Bajo                  Medio                  Alto</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>0                  1                  4                  8</p>		<b>1</b>
<b>COSTO POR PARO DEL EQUIPO</b>		
<b>COSTO DE PARO POR HORA O DIA (A)</b>		<b>A X B</b>
<p>Bajo                  Medio                  Alto                  Extremadamente Alto</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>0                  1                  2                  3</p>		<b>2 x 2</b>
<b>DURACION PROMEDIO DEL PARO (B)</b>		<b>4</b>
<p>Corto                  ←—————→                  Largo</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>0                  1                  2                  3                  4</p>		
<b>EFICIENCIA DE LOS SISTEMAS DE DETECCION TEMPRANA</b>		<b>Calificación</b>
<p>Altamente efectivos ←—————→ No Efectivos</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>0                  1                  2                  3</p>		<b>1</b>
<b>FRECUENCIA DE FALLAS</b>		<b>Calificación</b>
<p>Baja                                  Media                                  Alta</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>2                                  4                                  8</p>		<b>2</b>
<b>TOTAL</b>		<b>Suma (FPC)</b>
10 Máx.		<b>8</b>

Tabla 1. Análisis de la criticidad de la turbina.

3.2 Manejo integral del aceite lubricante.

### 3.2.1 Trasiego del aceite lubricante.

El análisis realizado mostró errores en el trasiego de lubricante, desde que el mismo llega a la planta y en su almacenamiento. De igual forma se detectaron errores en cómo se lleva el lubricante desde el almacén hasta su aplicación en el sistema de la turbina. Esto se agrava en esta central termoeléctrica, teniendo en cuenta que la misma se encuentra cerca de una planta productora de cemento y cerca del mar, condiciones ambas propicias para una severa contaminación. A continuación en la Foto 1 se puede observar las condiciones de unos de los tanques en el almacén.



Foto 1 Condiciones de uno de los tanques en el almacén.

### 3.2.2 Toma de muestras.

Se detectaron diferentes errores en la toma de muestras del aceite lubricante, tanto en los lugares en que la toma de muestras se lleva a cabo, que no se corresponden con los recomendados internacionalmente. En ocasiones la muestra se realiza en tuberías con movimiento del flujo pobre, no recogiendo las cantidades de partículas sólidas reales debido a que estas siguen de largo o se adhieren a las paredes de la tubería. En la foto 2 se puede apreciar una comparación en cuanto al lugar donde se toman las muestras.

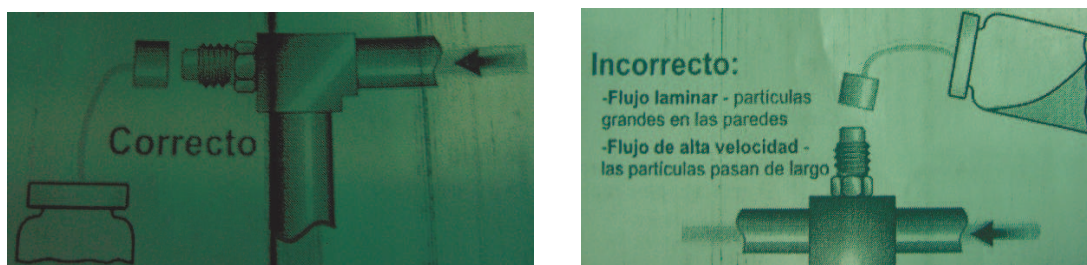


Foto 2 Comparación en cuanto al lugar en que debe tomarse una muestra de lubricante en forma correcta e incorrecta.

### 3.2.3 Frecuencia del muestreo.

#### Frecuencia del muestreo.

En los resultados analizados con los especialistas, se estuvo de acuerdo en recomendar que esta se debe analizar cada aproximadamente 11 días. Este análisis se llevo a cabo por una tabla (Tabla 2) en la que se observa que la

toma de la muestra debe ser más frecuente, debido a la edad la maquina. Esto, comparado con lo que se realiza actualmente, significa un incremento en el análisis del lubricante de aproximadamente tres veces.

Por otra parte, la toma de muestras, no garantiza, en la forma que se realiza, evitar la contaminación ambiental, tanto en cuanto a la humedad como a la posible penetración de partículas de la fábrica de cemento. Pueden obtenerse en el mercado frascos adecuados con esta finalidad.

<b>GENERADOR DE FRECUENCIA DE MUESTRA</b>									
<b>Frecuencia por Default:</b>									
Turbina de vapor					(500 Hrs)				
<b>Factores de ajuste por aplicación:</b>									
<b><u>Penalización económica por la falla</u></b>									
Muy alto				Normal					Bajo
0.1	0.25	0.5	<b>0.75</b>	1.0	1.25	1.5	1.75	2.0	
<b><u>Severidad del ambiente de operación de los fluidos</u></b>									
Muy alto				Normal					Bajo
0.1	0.25	0.5	<b>0.75</b>	1.0	1.25	1.5	1.75	2.0	
<b><u>Edad de la maquinaria</u></b>									
Nueva				Edad Media					Muy Vieja
0.1	0.5	1	1.5	2.0	2.0	1.5	1.0	<b>0.5</b>	0.1
<b><u>Edad del Aceite</u></b>									
Nueva				Edad Media					Vieja
0.1	0.5	<b>1</b>	1.5	2.0	2.0	1.5	1.0	0.5	0.1
<b><u>Exigencias de Objetivo</u></b>									
Riguroso				Normal					Tolerante
0.1	0.25	0.5	<b>0.75</b>	1.0	1.25	1.5	1.75	2.0	
<b>Frecuencia de Muestreo = 0.5 x 500 = <u>250 Hrs</u> , 250/24 ≈ <u>11 Días</u></b>									

Tabla 2. Análisis de la frecuencia en que debe realizarse el muestreo.

### 3.2.4 Análisis del aceite.

Por los análisis realizados, el aceite no cumple con los parámetros establecidos, realizándose, a su vez, un análisis del sistema de limpieza recomendada por norma (ISO 4406) en el caso de turbinas de vapor. El sistema de limpieza establecido actualmente en la turbina es superior aún al

sistema sucio de la norma ISO. Esto se realizó, por tablas recomendadas (Tabla 3).

<b>Código (ISO)</b>	<b>*/14/11</b>	<b>*/16/13</b>	<b>*/18/15</b>
<b>Aceite de turbinas</b>	Muy Limpio	Limpio	Sucio

**Tabla 3. Recomendación de limpieza en una turbina, según las normas ISO.**

Por tabla (Tabla 4) se cálculo en cuanto se podía extender la vida útil de la turbina si el sistema se llevara solo al limpio establecido por la ISO. El resultado fue de un incremento en 7.5 veces.

	*/20/17	*/19/16	*/18/15	*/17/14	*/16/13	*/15/12	*/14/11	*/13/10
*/25/23	5 3	7 3.5	9 4	>10 5	>10 6	>10 7.5	>10 9	>10 >10
	4 2.5	4.5 3	6 3.5	8.5 4	7.5 5	8.5 6.5	10 7	>10 9
*/25/22	4 2.5	5 3	7 3.5	9 4	>10 5	>10 6	>10 7	>10 9
	3 2	3.5 2.5	4.5 3	5 3.5	6.5 4	6 5	9 6	10 7.5
*/24/21	3 2	4 2.5	6 3	7 4	9 5	>10 6	>10 7	>10 9
	2.5 1.5	3 2	4 2.5	5 3	6.5 4	7.5 5	8.5 6	9.5 7
*/23/20	2 1.5	3 2	4 2.5	5 3	7 3.5	9 4	>10 5	>10 6
	1.7 1.3	2.3 1.5	3 2	3.7 2.5	5 3	6 3.5	7 4	8 5
*/23/19	1.6 1.3	2 1.6	3 2	4 2.5	5 3	7 3.5	8 4	>10 5
	1.4 1.1	1.8 1.3	2.3 1.7	3 2	3.5 2.5	4.5 3	5.5 3.5	7 4
*/21/18	1.3 1.2	1.5 1.5	2 1.7	3 2	4 2.5	5 3	7 3.5	9 4
	1.2 1.1	1.5 1.3	1.8 1.4	2.2 1.6	3 2	3.5 2.5	4.5 3	5 3.5
*/20/17		1.3 1.2	1.6 1.5	2 1.7	3 2	4 2.5	5 3	7 4
		1.2 1.05	1.5 1.3	1.8 1.4	2.3 1.7	3 2	3.5 2.5	5 3
*/18/16			1.3 1.2	1.6 1.5	2 1.7	3 2	4 2.5	5 3
			1.2 1.1	1.5 1.3	1.8 1.5	2.2 1.7	3 2	3.5 2.5
*/18/15				1.3 1.2	1.6 1.5	2 1.7	3 2	4 2.5
				1.2 1.1	1.5 1.3	1.8 1.5	2.3 1.7	3 2
*/17/14					1.3 1.2	1.6 1.5	2 1.7	3 2
					1.2 1.1	1.5 1.3	1.8 1.5	2.3 1.7
*/16/13						1.3 1.2	1.6 1.5	2 1.7
						1.2 1.1	1.5 1.3	1.8 1.5
*/15/12							1.3 1.2	1.6 1.5
							1.2 1.1	1.5 1.4
*/14/11								1.3 1.3
								1.3 1.2
*/13/10								

Nivel de Limpieza Actual (Código ISO)

Hidráulicos y Motores a Diesel	Rodamientos
Cojinetes y Turbo Maquinaria	Cajas de Engranajes y Otros



#### **Tabla 4. Tabla para el cálculo del incremento de la vida útil de activos físicos.**

##### **3.2.5. Análisis económico.**

Por último, se valoró mediante tabla especializada, el costo beneficio que se obtendría en la empresa, mediante la ejecución de inversiones para cambiar radicalmente el sistema de trasiego del lubricante, la toma de muestras, la adquisición de tecnologías novedosas de diagnóstico del lubricante, complementando algunos análisis que hoy no se realizan así como incorporando el análisis de partículas, aspecto sumamente importante en la detección temprana de fallos en potencia y la capacitación del personal de la planta, incluyendo la introducción de un sistema de certificación.

El análisis efectuado para un periodo inversionista de 5 años, con un monto total de aproximadamente 320 000 USD, permite una recuperación del mismos en menos de dos años.

#### **4. Conclusiones.**

1. Se confirmó que mediante el algoritmo desarrollado, se hace factible desarrollar una metodología de diagnóstico, basada en el análisis integral tribológico de una turbina y así recomendar las medidas a tomar con vistas a disminuir las pérdidas energéticas e incrementar la disponibilidad del turbogruppo.
2. Se pudieron recomendar un conjunto de inversiones para incrementar la vida útil de la turbina, establecer tecnologías de diagnóstico más proactivas y elevar la capacitación en la planta, que puede ser recuperadas en un tiempo inferior a dos años.