

# CONFIABILIDAD EN SISTEMAS DE BOMBEO

Ernesto Primera / Ingeniero Especialista de Confiabilidad en Equipos Rotativos / primeram2@asme.org

**El presente artículo describe la forma como en la industria de nuestro continente se mide el desempeño de la gestión del mantenimiento de los equipos rotativos de plantas de Petróleo, Gas, Petroquímica y Termoeléctricas, específicamente el desempeño de los sistemas de bombeo.**

Este desempeño es medido en términos de fallas, horas operacionales, tiempo calendario y población de bombas instaladas. Se utilizaron referencias internacionales como **OREDA** (*Offshore Reliability Data*), **CCPS** (*Center For Chemical Process Safety*) del **AIChE** (*American Institute of Chemical Engineers*), **ESREDA** (*European Safety, Reliability and Data Association*) así como artículos de importantes Revistas como **HPI** (*Hydrocarbon Processing*) y la revista del **AIR** (*American Institute of Reliability*). También son utilizadas referencias Internacionales y Nacionales de estándares como **ASME**, **API** y **COVENIN**. Además de la medición del desempeño organizacional, el artículo concluye orientando el camino hacia lo específico y tangible en términos de búsqueda de resultados de mejoras de los equipos, partiendo del análisis de los datos utilizados en la medición.

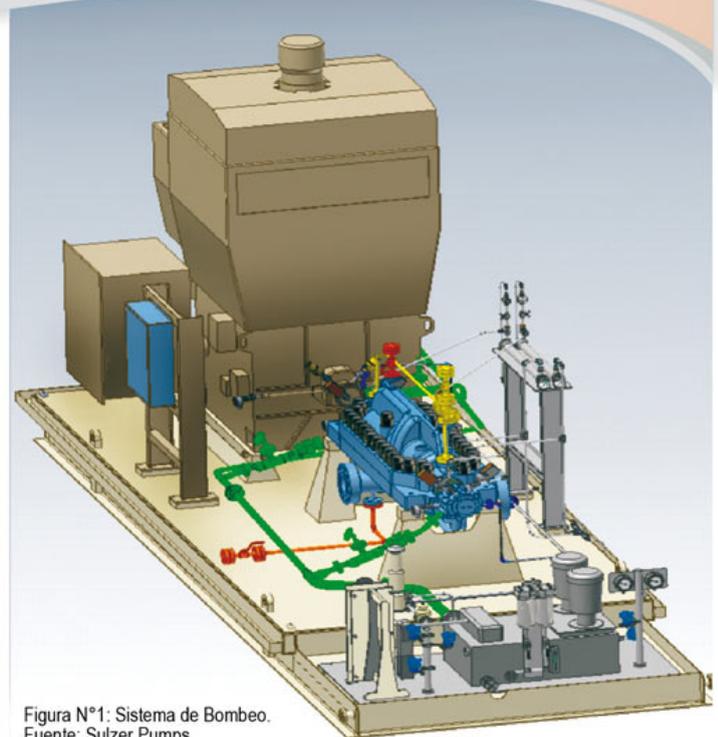


Figura N°1: Sistema de Bombeo. Fuente: Sulzer Pumps.

## Para comenzar aclaremos el término **Confiabilidad**

“Probabilidad de que un equipo, maquinaria o sistema cumpla adecuadamente con la función requerida ante condiciones específicas, durante un período de tiempo determinado”

Joel Nachlas 1995

Es de considerar que la Confiabilidad es de notación Probabilística y expresada por la función:

$$R(t) = 1 - F(t)$$

**R(t):** es la Función de Confiabilidad (Reliability), probabilidad de que el activo no falle en un tiempo (t).

**F(t):** es la Función de Falla, probabilidad de que el activo falle en un tiempo (t).

Esta es una función netamente probabilística y se le puede asignar una función de distribución: Exponencial, Logarítmica Normal, Li-

neal, etc. Por ejemplo si analizamos fallas en un período de tiempo (t), estamos tratando con una variable aleatoria que se le puede dar tratamiento como una Función Probabilística Exponencial del tiempo de falla.

Por lo tanto la confiabilidad será:

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

Donde, **e** es la base del sistema logarítmico natural. **t** es el tiempo considerado en el estudio

**$\lambda$**  es la tasa de fallas,  **$\lambda = \text{cantidad de fallas} / \text{cantidad de horas de operación}$**

Durante los últimos 10 años hemos visto en diferentes publicaciones el uso del término Confiabilidad relacionado con ecuaciones de cálculo de índices de mantenimiento (En Términos de Fallas) como los que utilizaremos en el presente artículo, pero el término también se emplea con fines descriptivos de desempeño de un equipo, sistema o planta, sin embargo es claro su origen probabilístico.

## GENERALIDADES

Iniciamos con el término Tiempo Promedio Entre Fallas (TPEF): Identifica el intervalo de tiempo más probable entre un arranque y la aparición de una falla: COVENIN-3049

Según resultados de un estudio estadístico realizado por el Editor de Confiabilidad de la revista HPI en los años 2000s “HPIN Reliability Marzo-2006” el TPEF en sistemas de bombeo está distribuido según la Tabla-N°1, cuyo cálculo fue realizado según la ecuación:

$$TPEF = \frac{\text{N}^\circ \text{ Equipos Instalados}}{\text{N}^\circ \text{ de Fallas}}$$

Expresado en unidad de tiempo.

Tiempo Promedio Entre Fallas. (Años)

Descripción	Años
Bombas ASME/ANSI. Promedio U.S.A.	2
Bombas API. Promedio U.S.A.	5
Bombas API. Promedio Oeste de Europa.	6
Bombas API. Promedio Países en Desarrollo.	1
Bombas API. Promedio Región Caribe.	3
Bombas API. Mejores en su Clase. Refinerías de California U.S.A.	9
Bombas API. Mejores en su Clase. Petroquímicas Texas U.S.A.	10

Tabla N°1: Estadística TPEF 2002.

Según los datos de la Tabla N°1, Venezuela estaría ubicada entre la Región Caribe y Países en desarrollo obteniendo un valor medio de TPEF de 2,7 años, tomando como referencia el desempeño de algunas de las plantas de Petróleo y Gas del Complejo Petrolero y Petroquímico "José Antonio Anzoátegui" en el Estado Anzoátegui durante el 2003. Como referencia dos de las Plantas de Petróleo del Complejo "José Antonio Anzoátegui".

**Caso N°1:**

Población de 300 Bombas  
 Total de 98 fallas en un año (2002)  
 TPEF= 300/98= 3 años

Como podemos observar esta es una medida muy general que solo tiene fines de medición de desempeño táctico de las organizaciones, donde hay factores que juegan un papel fundamental en su variación:

**Caso N°2:**

Población de 648 Bombas  
 Total de 521 fallas en 1 año (2003)  
 TPEF= 648/521= 1,2 años

- Confiabilidad en el Diseño
- Tiempo Total de Operación de los Equipos
- Calidad del Mantenimiento
- Factores de Operación y Proceso

"Servir bien es nuestra norma, servirles mejor nuestro deseo..."

Antonio Varela / Presidente & Fundador / Electrin C.A.



Rif: J-08018407-6

**ELECTRIN C.A.**  
**MOTORES ELÉCTRICOS**



- Bobinado y Servicio de Mantenimiento a Motores Eléctricos AC y DC
- Reparación de Generadores Eléctricos
- Reparación de Electrobombas Sumergibles y Horizontales
- Equipos de Diagnóstico y Prueba de Última Tecnología
- Balanceo Dinámico Computarizado de Equipos Rotativos hasta 8.000 Lbs
- Análisis de Vibraciones y Balanceo en sitio
- Prueba a Tensión Plena de Motores Eléctricos hasta 4160VAC 2500HP / 600VDC 400ADC



MIEMBRO ACTIVO DE:



[www.electrin.com](http://www.electrin.com)

Calle Sucre #128. Sector El Pensil - Puerto la Cruz - Estado Anzoátegui - Venezuela.  
 Teléfonos: +58 (281) 266.15.50 / 269.81.86 - Fax: +58 (281) 269.57.72 - e-mail: info@electrin.com

Considerando estos factores, puede existir una variación del desempeño táctico en el orden de un 50%, es por ello que es importante resaltar que este tipo de estudios comparativos (Benchmarking) arroja una visión del nivel de gestión de mantenimiento de los equipos rotativos, específicamente para el caso de los Sistemas de Bombeo, sin embargo deben realizarse en condiciones, términos, contextos y entornos similares para la objetividad de la medición, como por ejemplo aplicar el estudio a los 04 Mejoradores de Crudo Extrapesados que operan en el complejo petrolero y petroquímico "José Antonio Anzoátegui" en Venezuela.

Cabe resaltar que este tipo de índice no toma en cuenta el factor "costo" que sería el aspecto que equilibra el concepto confiabilidad expresado en términos de eficiencia financiera (optimización de los recursos), donde sumáramos al concepto de Confiabilidad: "Y a un costo Efectivo/Eficiente"

Esto destaca la importancia de saber siempre "A Qué Costo" tenemos los mejores índices de fallas en nuestra planta.

### MÁS ESPECÍFICO

Entrando a lo específico, se han desarrollado estudios estadísticos en los cuales se involucran los cálculos de TPEF para familias, grupos y equipos particulares, entre los cuales tenemos los sistemas de bombeo, estudios reconocidos como los desarrollados por los Proyectos OREDA, EsREDA y CCPS.

A diferencia de los datos que mostramos en las generalidades, uno de los muchos detalles que involucran estos estudios, consideran el análisis del índice TPEF como un valor estadístico de un número de instalaciones, una población de equipos de una misma familia y medido el indicador en tiempo calendario y tiempo de operación, además de su desviación estándar estadística.

N° Taxonómico		Item:				
Población	Instalación	Tiempo en Servicio				
		Tiempo Calendario			Tiempo operacional	
Modos de Fallas		N° de Falla	Rata de Fallas			
			Bajo	Promedio	Alto	DS

DS: Desviación Estandar  
n/t: Número total de fallas entre el tiempo total en servicio.

Tabla N°2: Plantilla de datos OREDA

## Extractos del Proyecto OREDA:

Población de: 350 Bombas Centrífugas. Con horas de Operación Total de:  $5,7 \times 10^6$   
 Número de fallas: 464  
 $TPEF = 5,7 \times 10^6 / 464 = 1,4$  años  
 Fallas críticas en Bombas Centrífugas.

Según el estudio OREDA se concluye que una referencia efectiva de TPEF específico para fallas críticas, para la familia de bombas centrífugas, estándares API y ASME, instaladas en Plataformas Petroleras Offshore es de: 1,4 años.

### Extractos del CCPS:

Población de: 350 Bombas Centrífugas Criogénicas. Con horas de Operación Total de: 366.000  
 Número de fallas: 86  
 $TPEF = 366.000 / 86 = 0,5$  años. (6 meses)

### Relacionado con los Estándares

Luego de observar una serie de datos y determinar algunos TPEF para los sistemas de bombeo de la industria del petróleo/gas/petroquímica/energética, los comparamos con los estándares (API y ASME) que rigen los criterios de diseño/construcción entre otros, de los sistemas de bombeo para estas industrias, la Tabla N°3 muestra estos resultados.

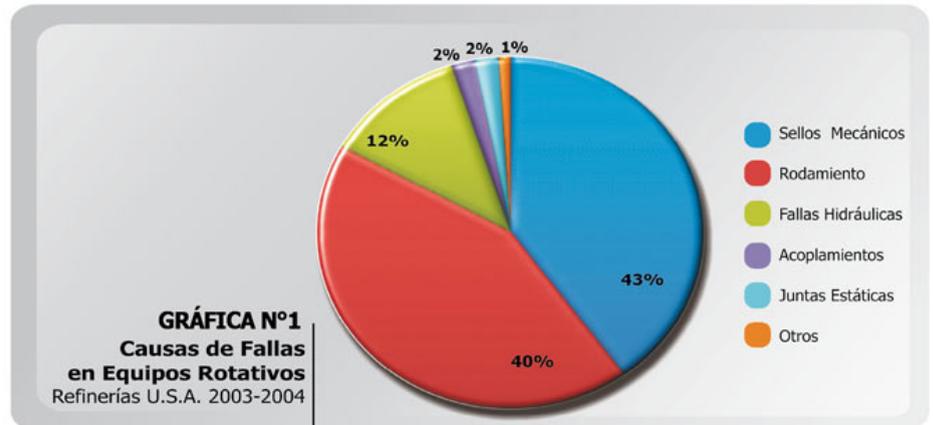
Antes de abordar los resultados de las referencias estándares, es preciso aclarar el enfoque y para ello analizamos un artículo de un estudio estadístico de fallas en Equipos Rotativos realizado durante los años 2003 y 2004 por la revista "Reliability Advantage Volumen-6 Sep-2005". En la gráfica extraída se pueden observar las principales causas de fallas que afectan los sistemas de bombeo en las plantas de refinación de petróleo.

	RODAMIENTOS		SELLOS MECÁNICOS	
	Norma ASME	Norma API	Norma ASME	Norma API
Mínima vida esperada	2 años	**	**	3 años

Tabla N°3: Mínima expectativa de vida de estándares.

El objetivo de mostrar la gráfica N°1, es asociar los componentes críticos de los sistemas de bombeo con su confiabilidad expresada en TPEF o expectativa mínima de vida útil operativa antes de ocurrir una falla, es esta la forma como podemos relacionar los números con los tiempos descritos en la norma, y cuyo valor es reforzado a través del término falla crítica utilizada por los estudios OREDA, EsREDA y CCPS.

Luego de poder generar una relación entre los valores calculados de TPEF y los tiempos descritos por los Estándares, podemos resumir lo indicado en la Tabla N°4, donde podemos analizar los resultados de los diferentes estudios y referencias ya mostradas y poder llegar a una conclusión mas clara y específica de los valores medios que pueden ser referencia para nuestras plantas, teniendo como valor referencial asertivo concluido por el autor en un valor de 2 años en TPEF de un sistema de bombeo, traducido también como la mínima expectativa de vida de los componentes críticos del sistema como lo son los sellos mecánicos y los rodamientos.



**TIEMPO PROMEDIO ENTRE FALLAS (TPEF)**  
**Sistemas de bombeado**

<b>Proyectos estadísticos</b>	<b>1 año</b>
<b>Artículos estadísticos</b>	<b>2 años</b>
<b>Esperado por los estándares (ASME / API)</b>	<b>2,5 años</b>
<b>Conclusión del autor</b>	<b>2 años</b>

Tabla N°4: Resultado Análisis de Datos TPEF

**El Camino Correcto**

Pudimos observar en la plantilla de datos descrita por OREDA similares a las del CCPS y EsREDA; la descripción de los Modos de Fallas para los respectivos cálculos estadísticos. Aquí hacemos acotación al concepto de modos de fallas descrito por la Norma ISO-14224, la cual es una guía para identificar que cada modo de falla es correspondiente a un evento no deseado de un ítem mantenible de nuestro sistema de bombeo. Con esto si podemos identificar los verdaderos

malos actores en términos estadísticos para luego de su análisis poder llegar a las causas raíces y a las acciones proactivas o centradas en confiabilidad correspondientes, que es el camino al éxito para mejorar el desempeño en la gestión de activos dinámicos.

Para culminar esta primera parte de nuestro artículo, destacaremos la importancia de desarrollar catálogos de fallas en nuestros Sistemas de Gestión de Mantenimiento como el mostrado en

la Tabla N°5, esto ayudará a adoptar la cultura de documentación y almacenamiento del dato de falla beneficiando el proceso de análisis.

El análisis de Confiabilidad involucra el empleo e interpretación de diversos formatos de gráficas tales como probabilidad de peligro, expectativa de vida remanente, entre otras. Estas serán tratadas en la continuación de este artículo en la próxima edición.

Equipo	CODIGO	Modo de Falla	CODIGO	CAUSA
-	006	Fuga Sellos Mec. Lado Acople	001	SUCIEDAD
-	-	-	002	FRACTURA
-	-	-	003	SOBRECALENTAMIENTO
-	007	Vibracion en Rodamiento Axial	001	SOBRECARGA
-	-	-	002	CORROSION
-	-	-	003	PITTING

Tabla N°5: Extracto de un catálogo de Fallas

**Sobre el Autor:**

Ernesto Primera es especialista en Confiabilidad de Equipos Rotativos con 14 años de experiencia en la Industria Petrolera y Energética Latinoamericana. Ingeniero de Mantenimiento con Postgrado en Confiabilidad y Riesgo. Su experiencia ha sido destacada como parte del Staff de Empresas como: Petrolera Ameriven - ConocoPhillips - Accroven -SKF - Flowserve. Ocupando cargos como: Especialista en Equipos Rotativos, Asesor Técnico, Inspector de Equipos Mecánicos, Especialista en Turbinas y Supervisor de Mantenimiento. Miembro y Certificado como facilitador por: ASME, ASTM y AIR. Autor de los Libros "Fundamentos en Bombas Centrífugas" y "Análisis de Causas Raíces". Se ha desempeñado como profesor de Mantenimiento en universidades Venezolanas. Ha Presentado y publicado diversos artículos en el área de mantenimiento y Confiabilidad en revistas físicas y electrónicas reconocidas en América y Europa. primeram2@asme.org