

# VARIADOR DE FRECUENCIA VARIABLE: CONFIABILIDAD

*Comparar la confiabilidad de los variadores de frecuencia de media tensión (VFD) puede resultar confuso. Este documento define los términos esenciales utilizados al comparar de confiabilidad y utiliza dos métodos de evaluación de confiabilidad comúnmente utilizados por los fabricantes de VFD. El objetivo es proporcionar una manera clara para que los usuarios puedan comparar los productos VFD desde el punto de vista de la confiabilidad.*

## Introducción

La confiabilidad del producto es un tema cotidiano en muchas áreas de nuestra vida. Compramos un vehículo nuevo con la esperanza y la expectativa de que encienda sin fallas y luego continúe funcionando correctamente al conducirlo. Los mismos requisitos y expectativas se aplican a muchos productos de los cuales dependemos diariamente: teléfonos celulares, lavadoras, copiadoras y servicios como la energía eléctrica. Y cuando nuestras expectativas no se cumplen, consideramos que esos productos o servicios no son confiables.

Podemos experimentar insatisfacción general o extrema respecto a un producto o servicio en particular, pero las personas responsables de su desempeño consistente han desarrollado métodos estadísticos para medir la confiabilidad. Uno de los métodos más comunes es Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF siglas en inglés). EL MTBF es el tiempo promedio estadístico entre instancias en que el producto falló o el servicio no estuvo disponible. Por ejemplo, si durante un período de cinco años un automóvil no arranca o falla cinco veces, el tiempo medio entre fallos (MTBF) es de 5 años / 5 fallos = 1 año MTBF.

## La confiabilidad aplicada a los sistemas VFD

Las mismas medidas generales de confiabilidad se aplican a los VFD. El MTBF para un VFD es la medida, en promedio, de la frecuencia con la que un usuario puede esperar ver su operación interrumpida debido a un problema interno con el VFD. Además de conocer el precio y aplicabilidad, los usuarios potenciales de VFD deben ciertamente comparar las cifras de MTBF publicadas por los fabricantes antes de finalizar su compra. ¿Cómo se calculan estas medidas estadísticas? ¿Algunos métodos de cálculo MTBF son intrínsecamente más prácticos que otros? ¿Y cómo se diseñan los productos VFD para hacerlos confiables? Veamos estas áreas una a la vez.

## Cálculos Iniciales

Cuando se crean nuevos diseños, pero no hay experiencia operacional, ¿cómo estiman los diseñadores la confiabilidad del producto? Se basan en las medidas estadísticas de cada uno de los componentes y sub-ensamblajes incluidos en su diseño. Los fabricantes de componentes y sub-ensamblajes publican estos números para este propósito. Todo el

ensamblaje tendrá un MTBF resultante de la suma del efecto de cada uno de los componentes. Por ejemplo, para un sistema que consta de 10 partes, cada una con un promedio de un fallo por cada 10.000 horas de funcionamiento, el ensamblado final tendría una tasa de fallos de  $10 \times 1 = 10$  fallos por 10.000 horas. El MTBF sería el inverso; ó  $10.000 \text{ horas} / 10 \text{ fallas} = 1.000 \text{ horas}$ .

Los componentes típicamente incluidos en un VFD tienen promedios de falla medidos en fallas por billón de horas. Por ejemplo, un diodo de potencia suele tener un promedio estadístico de falla de 80 fallos por billón de horas, o  $80 \times 10^{-9}$  horas. Esta medida se llama promedio "FIT" (siglas en inglés para: Fallas en Tiempo), y a cada componente o ensamblado se le asigna un número de acuerdo a su fabricante. Para un nuevo diseño de VFD, los ingenieros enumeran todos los componentes y sus cantidades, los multiplican por sus promedios FIT y los suman para obtener un promedio FIT total esperado en el sistema. El MTBF esperado del sistema se calcula entonces como la inversa de este promedio FIT.

$$\text{MTBF} = 1 / \Sigma \text{Promedios FIT de componentes}$$

Por simplicidad, se usan los promedios de falla compuestos de los sub-ensamblajes tales como fuentes de alimentación, en lugar de la suma de los respectivos promedios FIT de componentes individuales. Estas fuentes de alimentación de control pueden tener un promedio FIT de  $1.000 \times 10^{-9}$  horas.

**Ejemplo.** Cálculos del promedio FIT para un hipotético variador de media tensión utilizando un convertidor de tiristor y un inversor SGCT con dos semiconductores de potencia serie por tramo:

Fuente de Corriente INV con Convertidor SCR Activo de 18 Pulsos			
	FIT*	Cantidad	IGCT INV
Dispositivo de Switched (SCR)	80	18	1,440
Dispositivo de Switched (SGCT)	13	12	960
Compuerta (SGCT)	3,115	12	37,380
Compuerta (SGCT)	1,000	12	12,000
Compuerta (SCR) EST	200	18	3,600
Compuerta (SCR)	1,000	11	000
Total			56,380

\*Fallas/Billón de Horas

El MTBF del Sistema completo se calcularía

$$\text{MTBF} = 1 / (56,380 \times 10^{-9}) = 17,737 \text{ horas},$$

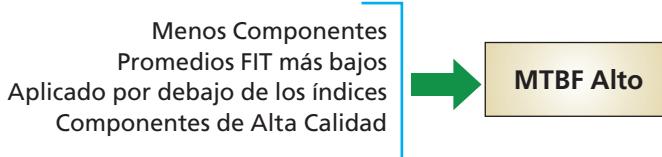
O poco más de 2 años. No es particularmente bueno, por ello un buen diseñador tomaría medidas para mejorar esto.

## Factores Clave

Varios factores importantes afectan el MTBF calculado (y la experiencia real de MTBF) una vez que el producto es lanzado, incluyendo:

- número total de componentes
- promedio FIT de cada componente
- la calidad de los componentes
- qué tan conservadora es la utilización de los componentes

Se podría esperar un VFD con menos componentes, cada uno con un excelente promedio FIT, (diseñado y utilizado correctamente bajo sus calificaciones publicadas) para tener un MTBF mucho más alto que un VFD diseñado y construido de forma menos conservadora, con componentes más baratos.



## Luego del lanzamiento del producto

Un fabricante puede seguir utilizando el MTBF calculado en sus anuncios durante parte o toda la vida útil del producto. El fabricante puede aplicar un factor de conservadurismo u optimismo a este número calculado basado en su experiencia previa con diseños similares. En el hipotético ejemplo VFD de la página anterior, en el que calculamos MTBF de poco más de 2 años, el fabricante puede considerar su experiencia de la base instalada y duplicarla a 4 años para su publicidad. Posteriormente, el MTBF pronosticado puede basarse en la experiencia de la base instalada.

## Disponibilidad vs. Confiabilidad

Aquí es importante distinguir entre disponibilidad y confiabilidad. Algunos fabricantes han añadido componentes adicionales (como los interruptores bypass para cortar las celdas de energía falladas) para que su VFD pueda seguir funcionando a un nivel de potencia inferior después de que una de las celdas falle. Para que este sistema de bypass funcione, el sistema de detección, los interruptores de alimentación y otros componentes relacionados tienen que ser funcionales. Aunque se puede obtener una mayor disponibilidad operativa, se requiere más componentes. Incluso puede cubrir problemas inherentes a la falta de confiabilidad. Esta es una de las razones por las que TMEIC elige no agregar componentes que disminuyan la confiabilidad para obtener una mayor disponibilidad.

## Confiabilidad de la base instalada (Flota)

Otro método de cálculo del MTBF utiliza registros cuidadosamente mantenidos de fallas de equipos de la flota operativa de VFDs. Este método requiere la acumulación de horas de operación de la flota VFD. MTBF se calcula dividiendo esta cifra por el número de fallas en el mismo período.

## Opción para el mantenimiento de registros

$$\text{MTBF} = \frac{\text{Horas de Operación}}{\text{Fallas durante el período}}$$

Las horas de funcionamiento y las fallas se puede registrar desde el primer día, cuando el primer sistema comienza a funcionar. Alternativamente, pueden mantenerse los promedios de fallas durante períodos de 12 o 24 meses. El seguimiento de las fallas de la vida útil y las horas de funcionamiento es más preciso, ya que incluye los primeros problemas experimentados cuando un nuevo VFD se utiliza por primera vez. Sin embargo, los totales son bastante válidos. Reflejan la experiencia más reciente y probablemente incluyen la experiencia de las correcciones aplicadas a los problemas de la flota. Además, los promedios para los cálculos de MTBF pueden mostrar rápidamente cambios en el producto, para bien o para mal. Una verdadera mejora del producto podría aumentar el MTBF. O bien, un lote malo de componentes de un proveedor que causa problemas en el variador reducirá el MTBF calculado. Cuando se reemplazan las partes defectuosas, los resultados mejoran el MTBF rápidamente.

Después de realizar todo el trabajo de diseño en forma cuidadosa y calcular la confiabilidad del diseño VFD inherente, es la confiabilidad de la flota la que realmente importa. Por esta razón, la política de TMEIC es publicar solamente la confiabilidad de la flota una vez que se ganan relativamente algunos meses de experiencia de campo de VFD.

**Ejemplo.** Estos son algunos cálculos de MTBF de la flota basados en la experiencia reciente de TMEIC para uno de sus variadores:

Ítem	Valor Bruto	Valor Conservador
Días por mes	30	30
Porcentaje de Tiempo Operación Diaria (Factor Conservador)	100%	80%
Horas de funcionamiento por mes	720	576
Flota de Variadores en operación	620	620
Horas de flota mensual	446,400 (B)	357,120 (B)
Promedio de eventos significativos 12 meses/ Mes	2.58 (A)	2.58 (A)
Horas Variador entre fallas	172,800 (C)	138,240 (C)
Horas/Año	8,760	8,760
Años MTBF entre eventos significativos	19.7 (D)	15.8 (D)

En el ejemplo de arriba, **446,400** horas de flota mensual (B) / **2.58 fallas por mes (A)** = **172,800** horas promedio por falla (C). Dividido entre **8,760** horas por año da como resultado un MTBF de **19.7 years**. Un factor conservador de **80%** reduce este valor a **15.8 years (D)**. Este factor tiene en cuenta que no todos los variadores pueden estar operando en un mes en particular y que algunos eventos pueden no haber sido reportados. Utilizando el período más conservador de 15,8 años (D) permite una publicidad veraz que afirma que "la confiabilidad del variador es superior a 15 años".

## Reglas Básicas

Se han establecido algunas reglas fundamentales básicas y definiciones para reunir dicha información. Estas incluyen las siguientes:

### ¿Cuáles son los eventos significativos?

En general, son eventos que resultan de fallas de hardware TMEIC o del sistema que detienen el funcionamiento de la unidad. Éstas incluyen:

- Eventos tales como cortocircuitos no reprogramables que requieren reemplazo o reparación de hardware, reemplazo de fusibles fundidos, etc.
- Eventos que resultan del fallo o mal funcionamiento de los componentes internos del variador suministrados e incluidos por TMEIC, tales como interruptores, inductores, fuentes de alimentación, etc.

### ¿Qué eventos se excluyen del MTBF

- Los eventos que ocurren antes de que se complete la puesta en marcha (incluso durante la puesta en marcha) no se cuentan, pero se analizan para su mejora.
- Eventos que se producen a partir de un problema después de que se ha identificado una solución (como cambios de firmware) mientras se aplica la solución a la flota.
- Eventos que son el resultado del equipo del cliente o condiciones del sitio (cableado y conexiones, polvo, temperatura excesiva en la sala de control, mantenimiento deficiente, etc.).
- Eventos que, después de la ingeniería individual y/o la revisión de la fábrica, resultan en que no se encuentra falla (ejemplo - módulo de potencia regresado a la fábrica y se encontró OK - posiblemente fue un conector de fibra óptica suelto o contaminado).
- Eventos que resultan del desgaste normal - tales como ventiladores, edad del condensador, fuentes de alimentación, y así sucesivamente, que están más allá del período de reemplazo recomendado.

### De regreso al principio

Como se demostró anteriormente, el uso de menos componentes, de mayor calidad aplicados muy por debajo de sus calificaciones publicadas producirá resultados superiores. Además, las pruebas, el ensamblaje de fábrica y la construcción básica del equipo VFD se presta a una operación confiable y un servicio práctico. Estos son algunos ejemplos de prácticas TMEIC.

- **Hardware y herramientas de acero inoxidable** son la regla para los variadores refrigerados por agua. Además, los tubos aislados que se conectan a los disipadores de calor de potencia son cuidadosamente seleccionados y probados para eliminar fugas, una fuente principal de falta de confiabilidad en los variadores refrigerados por agua.
- **Capacitores tipo película seca** Se utilizan en lugar de condensadores electrolíticos en accionamientos multinivel (TMdrive-MVG2, MVe2) para eliminar problemas de envejecimiento, mantenimiento elevado y

reducción de la vida del equipo.

- **Ventiladores de refrigeración de velocidad variable de larga duración (TM-MVe2)** proporcionan más del doble de la vida útil esperada frente a los tradicionales ventiladores de velocidad fija.
- **Ensamblaje de Fábrica** – Se siguen procedimientos cuidadosos en áreas importantes, incluyendo un cableado de energía y control meticuloso, y sujetadores apropiados para juntas mecánicas y eléctricas.
- **Pruebas de Fábrica** – Estos incluyen los extremos del entorno operacional, eléctrico y mecánico. Los componentes críticos, como las tarjetas del microprocesador son sometidos a ciclo-térmicos por varias horas para asegurar funcionamiento apropiado.

### Otros factores clave en la confiabilidad

Otros factores no tan obvios pueden afectar en gran medida a los VFD en la confiabilidad del servicio. Estos incluyen, pero no se limitan a, elementos críticos como los siguientes:

- Ingeniería de aplicaciones basada en experiencia con VFD.
- Selección y adaptación del VFD al entorno de usuario u OEM requerido, cargas de proceso y sistema eléctrico.
- Los servicios de orientación y puesta en marcha de la instalación de VFD garantizan la configuración y la interconexión adecuadas del equipo con el equipo y los procesos del usuario.
- El mantenimiento preventivo regular después de que el equipo está en servicio maximiza la vida del equipo.

### MTBF de la Flota de Variadores TMEIC

Los récords de flota de diciembre de 2016 para MTBF de las unidades TMEIC se resumen a continuación:

Familia TMEIC	Años Flota MTBF	Notas
TM-XL55, 75, 80, 85	44	Desde 1er embarque
TM-MV / MVG / MVG2	13	Desde 1er embarque
TM-MVe2	15	Desde 1er embarque
Dura-Bilt5i MV	15	1 año de duración promedio
TM30 / 50 / 70 / 70e2	22	Desde 1er embarque

### Resumen

Hemos discutido la comprensión básica de la confiabilidad del VFD, incluyendo lo que significa, cómo se calcula y cómo un buen diseño y fabricación maximizan la confiabilidad. También hemos mostrado cómo mantener registros precisos del tiempo de operación de la flota y cómo el reporte de problemas operacionales permite el uso de las estadísticas de MTBF de la flota real. Hemos demostrado cómo este es el método superior para continuar el uso de MTBF calculado después de que el equipo está en servicio. Todos los usuarios deberían utilizar el MTBF de la flota como criterio al comparar varias ofertas de VFD de media tensión.