

## El Papel de la Ingeniería de Confiabilidad en la Toma de Decisiones

Claudio Caiani Spanó - Director Técnico de Compass – Brasil

Ricardo Vieira do Amaral - Gerente de Ingeniería de Compass - Brasil

### Resumen:

Las empresas frecuentemente enfrentan el desafío de decidir entre actuar basándose en la experiencia, o fundamentar las decisiones en datos estadísticos. La falta de información estructurada puede conducir a elecciones impulsivas con costos elevados, ineficiencias y fallas evitables. Este artículo discute el papel de la Ingeniería de Confiabilidad en la Toma de Decisiones, demostrando cómo el análisis de datos y las herramientas de la ingeniería de confiabilidad pueden transformar la forma en que las organizaciones toman decisiones.

### Objetivo:

Discutir sobre el papel de la Ingeniería de Confiabilidad en la Toma de Decisiones, demostrando la ventaja de la toma de decisiones basada en datos en relación con el uso de la experiencia.

### Introducción:

La Ingeniería de Confiabilidad es una herramienta estratégica para tomar decisiones mediante análisis cuantitativos. Utiliza técnicas como:

- **Análisis de Datos de Vida (LDA):** Determinar las curvas de confiabilidad y mantenibilidad de los activos críticos.
- **Análisis de Crecimiento de Confiabilidad (RGA):** Determinar la tendencia de confiabilidad de sistemas reparables.
- **Simulación RAM (Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad):** Modelar equipos, sistemas y procesos, a través de metodologías como RBD o FTA, para simular la confiabilidad, mantenibilidad,

disponibilidad y capacidad productiva en el futuro y en diferentes escenarios.

- Otros análisis, también pueden ser utilizadas, como el cálculo de repuestos y la definición de intervalos óptimos de mantenimiento.

La ingeniería de confiabilidad cualitativa también proporciona un marco estructurado para:

- **Cuantificar el riesgo:** A través de técnicas como el Análisis de Modos de Falla y Efectos de Falla (FMEA), las empresas pueden identificar y cuantificar los riesgos asociados a la falla de equipos y sistemas, permitiendo priorizar las acciones de mantenimiento y mejora.
- **Optimizar la programación de mantenimiento utilizando Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM):** Al analizar los datos históricos de fallas y utilizando modelos predictivos, es posible programar las tareas de mantenimiento de manera más eficiente, evitando fallas inesperadas y reduciendo costos.

La Ingeniería de Confiabilidad también fomenta una cultura de aprendizaje continuo, donde decisiones proactivas evitan pérdidas millonarias, especialmente en industrias intensivas en capital.

Este trabajo explora el funcionamiento del cerebro basado en los experimentos del Dr. Daniel Kahneman, psicólogo y ganador del Premio Nobel de Ciencias Económicas en 2002. Además, presenta estudios de caso sobre las diferencias en la toma de decisiones al adquirir un componente específico, ya sea basado en datos objetivos o en la búsqueda del menor precio (impulso), sin considerar la

confiabilidad de los equipos. Este enfoque puede resultar en grandes pérdidas durante el ciclo de uso de los equipos.

Por lo tanto, las decisiones impulsivas pueden ofrecer soluciones rápidas, pero traen consecuencias negativas a mediano y largo plazo. En cambio, las decisiones basadas en datos y respaldadas por la Ingeniería de Confiabilidad equilibran costo, rendimiento y riesgo, garantizando operaciones más eficientes y sostenibles.

## 1. Toma de Decisiones en las Empresas:

La toma de decisiones en las empresas es un proceso complejo que involucra una serie de factores, desde la intuición y la experiencia hasta el análisis de datos y la evaluación de riesgos.

### Factores que influyen en la toma de decisiones:

- **Cultura organizacional:** La forma en que se toman las decisiones está influenciada por la cultura de la empresa.
- **Estructura organizacional:** La estructura jerárquica y los procesos de comunicación afectan la toma de decisiones.
- **Tecnología:** Las herramientas tecnológicas disponibles facilitan la recopilación, análisis y visualización de datos.
- **Entorno competitivo:** El entorno en el que opera la empresa influye en la velocidad y la complejidad de las decisiones.
- **Riesgo:** La tolerancia al riesgo de la empresa influye en el tipo de decisiones que se toman.

Algunos de los enfoques más comunes que las empresas utilizan para tomar decisiones:

- **Decisiones Basadas en la intuición y la experiencia:**

- **Ventajas:** Rapidez, flexibilidad y aprovechamiento del conocimiento tácito de los expertos.
- **Desventajas:** Sujeto a sesgos cognitivos, puede llevar a decisiones inconsistentes y difíciles de justificar.
- **Decisiones Basadas en datos:**
- **Ventajas:** Mayor objetividad, menor riesgo de errores y capacidad de predecir resultados futuros.
- **Desventajas:** Requiere de sistemas de información robustos y capacidad analítica para procesar grandes volúmenes de datos.
- **Decisiones Basadas en modelos:**
- **Ventajas:** Permite simular diferentes escenarios y evaluar las consecuencias de distintas decisiones.
- **Desventajas:** Requiere de modelos precisos y de la capacidad para calibrarlos.
- **Decisiones Basadas en consenso:**
- **Ventajas:** Promueve la participación y el compromiso de todos los involucrados.
- **Desventajas:** Puede ser un proceso lento y complejo, y puede llevar a decisiones de compromiso en lugar de óptimas.
- **Decisiones Basadas en jerarquía:**
- **Ventajas:** Permite una toma de decisiones rápida y clara.
- **Desventajas:** Puede limitar la creatividad y la participación de los empleados.

## 2. Los experimentos de Daniel Kahneman y su impacto en la toma de decisiones empresariales desde la perspectiva de la psicología cognitiva:

Daniel Kahneman, psicólogo cognitivo y Premio Nobel de Economía 2002, ha revolucionado la forma en que entendemos la toma de decisiones humanas. Su investigación, en colaboración con Amos Tversky, reveló que la intuición y los sesgos cognitivos ejercen una influencia significativa en las decisiones que tomamos, incluso en contextos profesionales.

Sistema 1 y Sistema 2: Kahneman propuso que nuestra mente opera en dos sistemas:

- **Sistema 1:** Rápido, intuitivo y emocional. Es responsable de las decisiones automáticas y basadas en heurísticas.
- **Sistema 2:** Lento, deliberativo y lógico. Es responsable de decisiones complejas que requieren esfuerzo cognitivo.

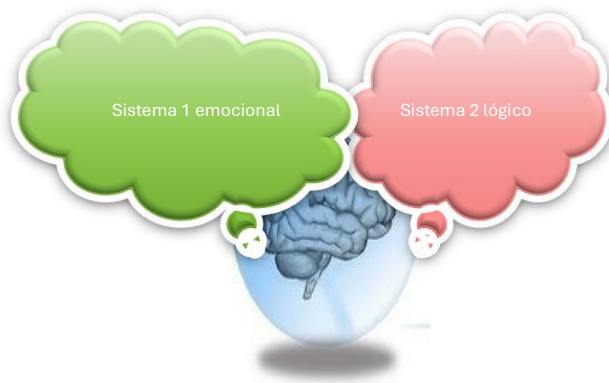


Figura 1 – Operación de nuestra mente.

Implicaciones para las empresas: Las decisiones tomadas en el calor del momento, basadas en el sistema 1, pueden llevar a errores y sesgos. Es fundamental fomentar el uso del sistema 2, especialmente en las decisiones estratégicas.

Kahneman identificó varios sesgos cognitivos que distorsionan nuestro juicio, tales como:

- **Sesgo de confirmación:** Tendencia a buscar información que confirme nuestras creencias preexistentes.
- **Anclaje:** Tendencia a aferrarse a la primera información disponible como punto de referencia.
- **Aversión a la pérdida:** Tendencia a evitar las pérdidas en lugar de buscar ganancias.
- **Efecto de encuadre:** La forma en que se presenta la información influye en la decisión.
- **Optimismo excesivo:** Tendencia a sobreestimar la probabilidad de eventos

positivos y subestimar la probabilidad de eventos negativos.

- **Ilusión de control:** La creencia de que tenemos más control sobre los acontecimientos del que realmente tenemos.
- **Disponibilidad:** Tendencia a juzgar la frecuencia o probabilidad de un evento en función de la facilidad con la que se vienen a la mente los ejemplos.

Aplicaciones de los estudios de Kahneman en las empresas:

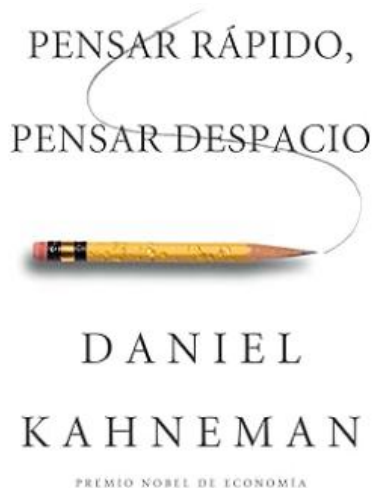
- **Toma de decisiones estratégicas:** Al comprender los sesgos cognitivos, las empresas pueden tomar decisiones más racionales y evitar errores comunes.
- **Negociaciones:** Al conocer los mecanismos psicológicos que influyen en las negociaciones, las empresas pueden lograr mejores resultados.
- **Marketing:** Al comprender cómo las personas perciben e interpretan la información, las empresas pueden crear campañas de marketing más efectivas.
- **Gestión de riesgos:** Al identificar los sesgos que pueden llevar a una subestimación de los riesgos, las empresas pueden tomar medidas para mitigarlos.

Los estudios de Daniel Kahneman proporcionan información valiosa sobre la naturaleza humana y cómo tomamos decisiones. Al comprender los mecanismos psicológicos que influyen en nuestras elecciones, las empresas pueden desarrollar estrategias más efectivas para tomar mejores decisiones y alcanzar sus objetivos.

Al aplicar los conocimientos de Kahneman, las empresas pueden construir una cultura de toma de decisiones más racional y menos influenciada por sesgos cognitivos, aumentando así sus posibilidades de éxito.

Para profundizar tus conocimientos, te recomendamos leer los siguientes libros de Kahneman:

Think, Fast and Slow (Pensar rápido, pensar despacio – Español): Una obra maestra que explora los dos sistemas de pensamiento y sus implicaciones para la vida cotidiana [1].



Noise (Ruido: Un fallo en el juicio humano – Español): Lo que interrumpe nuestro juicio en los negocios y la vida: Un libro más reciente que aborda el tema de la variabilidad en las decisiones y cómo se puede reducir [2].

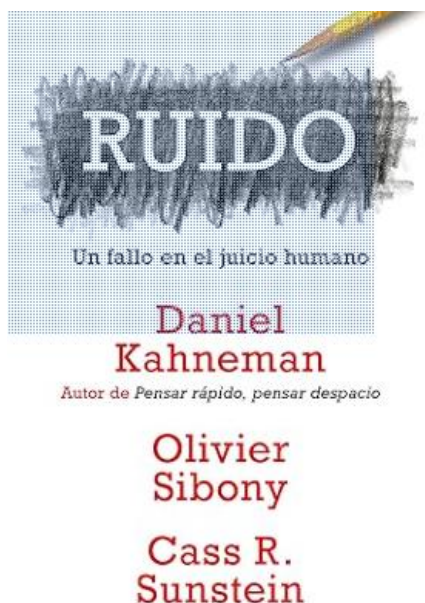


Figura 2 – Libros recomendados de Daniel Kahneman.

### 3. Herramientas Cuantitativas de la Ingeniería de Confiabilidad:

#### 3.1. Análisis de Datos de Vida (LDA):

El análisis de datos de vida (*Life Data Analysis - LDA*) es una metodología de ingeniería de confiabilidad que se basa en los datos de vida del activo / sistema / componente para determinar un mejor modelo probabilístico, que predice su vida útil a lo largo del tiempo. En otras palabras, la LDA busca comprender cómo y por qué fallan los activos, lo que le permite tomar decisiones basadas en datos. Ayuda en la definición de los intervalos de mantenimiento, reduciendo costos y aumentando la disponibilidad de los equipos. Identifica los puntos débiles del activo y permite tomar medidas correctivas.

Aplicación de la LDA:

- **Recopilación de datos:** Se recopilan datos sobre el tiempo hasta el fallo, la duración del reparo, la causa del fallo y las condiciones de mantenimiento.
- **Elección de la distribución de probabilidad:** Se selecciona una probabilidad (como Weibull, Lognormal, Exponencial e otros) que mejor se ajusta a los datos recopilados.
- **Estimación de parámetros:** Los parámetros de la distribución elegida se estiman a partir de los datos. Se calculan parámetros estadísticos como la media, la mediana y la desviación estándar.
- **Análisis de los resultados:** Los resultados del análisis se utilizan para generar gráficos, función de tasa de fallos, y informes que permiten visualizar la confiabilidad a lo largo del tiempo.

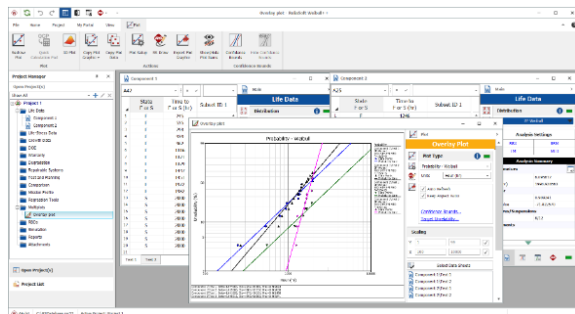


Figura 3 – Software Weibull ++ para obtención de curvas LDA y RGA.

### 3.2. Análisis de Crecimiento de Confiabilidad - RGA

El análisis de crecimiento de la confiabilidad ((Reliability Growth Analysis - RGA) es una técnica estadística utilizada para evaluar la evolución de la confiabilidad de un sistema a lo largo del tiempo. Este análisis le permite identificar las causas de las fallas, cuantificar mejoras en la confiabilidad y tomar decisiones sobre el desarrollo y mantenimiento de activos.

Beneficios de RGA:

- **Identificación de tendencias de confiabilidad:** al analizar los datos de fallas a lo largo del tiempo, puede identificar si la confiabilidad está aumentando, disminuyendo o permaneciendo estable.
- **Detección de causas de fallas:** RGA ayuda a identificar las causas fundamentales de las fallas, lo que permite la implementación de acciones correctivas para mejorar la confiabilidad.
- **Planificación del mantenimiento:** los resultados del análisis se pueden utilizar para definir intervalos de mantenimiento y optimizar la gestión de activos.
- **Evaluación de la efectividad de las acciones correctivas:** Permite evaluar si las acciones implementadas para mejorar la confiabilidad fueron efectivas.
- **Soporte de decisiones:** Proporciona datos cuantitativos para respaldar decisiones sobre inversiones en

investigación y desarrollo, mejoras de procesos y gestión de riesgos.

### 3.3. Simulación RAM (Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad)

El análisis de confiabilidad del sistema (Reliability, Availability, Maintainability - RAM), o Análisis de Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad, es una metodología utilizada para evaluar el desempeño de un sistema o equipo a lo largo de su ciclo de vida. El objetivo principal del análisis RAM es identificar y mitigar los riesgos de falla, asegurando que el sistema funcione de manera confiable y esté disponible cuando sea necesario.

¿Qué significa cada letra del acrónimo RAM?

- **Confiabilidad:** Probabilidad de que un equipo realice su función requerida durante un período específico bajo condiciones de uso específicas.
- **Disponibilidad:** Probabilidad de que un equipo pueda funcionar y realizar su función requerida en un momento determinado.
- **Mantenibilidad:** La facilidad y velocidad con que un equipo puede restaurarse a una condición en la que pueda realizar su función requerida.

¿Para qué sirve el análisis de RAM?

- **Identificar fallas potenciales:** permite identificar las debilidades del sistema y los modos de falla más probables.
- **Cuantificar la confiabilidad:** evaluar la probabilidad de que ocurran fallas y el tiempo medio entre fallas.
- **Optimizar el mantenimiento:** definir las tareas de mantenimiento necesarias para garantizar la disponibilidad del sistema.
- **Reducir costos:** Minimiza los costos de mantenimiento y reparación.

- **Mejorar la toma de decisiones:** Proporciona información para la toma de decisiones sobre inversiones, proyectos y mejoras del sistema.

optimizar su desempeño y reducir los costos operativos y de mantenimiento.

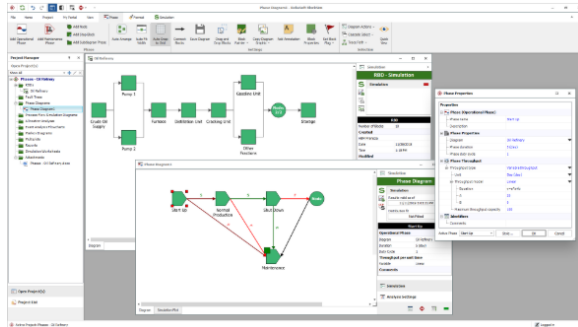


Figura 4 – Software BlockSim para análisis RAM.

### Análisis RAM

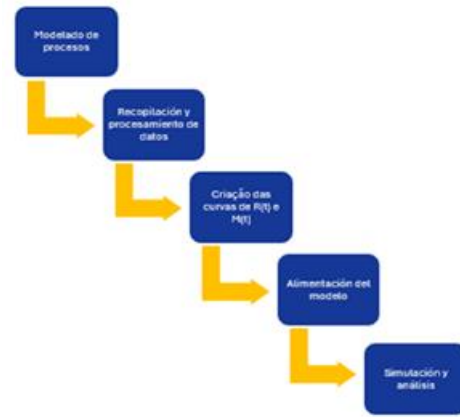


Figura 5 – Proceso de análisis RAM.

El análisis de RAM implica los siguientes pasos:

- **Modelado de Procesos:** Delimitar los componentes y subsistemas que serán analizados. Construir el diagrama de bloques
- **Recopilación y procesamiento de datos:** Se recolectan datos históricos de fallos, tiempos de reparación, tasa de fallos, tiempos de inactividad y otros factores relevantes para cada componente o sistema.
- **Creación de las curvas de confiabilidad R(t) y mantenibilidad M(t):** Se utiliza softwares dedicados como el Weibull++ para obtener las curvas LDA
- **Alimentación del Modelo:** Las curvas obtenidas son cargadas en cada uno de los bloques del modelo de confiabilidad
- **Simulación y análisis:** Los resultados del modelo son analizados para identificar posibles puntos de fallo, áreas de mejora y estrategias para aumentar la confiabilidad y la disponibilidad del sistema. Finalmente, se proponen mejoras en el diseño, la operación y el mantenimiento del sistema para

PERIODO DE ANÁLISIS:	Inicio	Fin			T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>
	01/01/2015 00:00	31/12/2015 00:00			292.27	15
ACMN-FEPI-110-AUG1	13/01/2015 04:22	13/01/2015 21:26	Mantenimiento Correctivo	100000	Correctiva	-
ACMN-FEPI-110-AUG1	28/01/2015 02:38	28/01/2015 06:00	Mantenimiento Correctivo	100001	Correctiva	292.83
ACMN-FEPI-110-AUG1	08/02/2015 21:57	08/02/2015 11:18	Mantenimiento Correctivo	100002	Correctiva	323.08
ACMN-FEPI-110-AUG1	22/01/2015 20:02	23/01/2015 02:58	Mantenimiento Correctivo	100003	Correctiva	326.72
ACMN-FEPI-110-AUG1	13/03/2015 04:21	13/03/2015 22:41	Mantenimiento Correctivo	100004	Correctiva	395.38
ACMN-FEPI-110-AUG1	28/01/2015 17:06	28/01/2015 18:58	Mantenimiento Correctivo	100005	Correctiva	426.42
ACMN-FEPI-110-AUG1	17/04/2015 07:31	17/04/2015 12:30	Mantenimiento Correctivo	100006	Correctiva	426.55
ACMN-FEPI-110-AUG1	06/05/2015 02:12	06/05/2015 04:29	Mantenimiento Correctivo	100007	Correctiva	446.70
ACMN-FEPI-110-AUG1	28/01/2015 14:57	28/01/2015 13:51	Mantenimiento Correctivo	100008	Correctiva	465.47
ACMN-FEPI-110-AUG1	17/06/2015 21:57	18/06/2015 08:05	Mantenimiento Correctivo	100009	Correctiva	558.10
ACMN-FEPI-110-AUG1	08/07/2015 01:42	08/07/2015 09:09	Mantenimiento Correctivo	100010	Correctiva	475.62
ACMN-FEPI-110-AUG1	31/07/2015 19:17	01/08/2015 01:02	Mantenimiento Correctivo	100011	Correctiva	562.13
ACMN-FEPI-110-AUG1	26/08/2015 18:13	27/08/2015 11:19	Mantenimiento Correctivo	100012	Correctiva	609.18
ACMN-FEPI-110-AUG1	21/09/2015 14:53	22/09/2015 01:34	Mantenimiento Correctivo	100013	Correctiva	603.60
ACMN-FEPI-110-AUG1	23/10/2015 04:38	23/10/2015 06:33	Mantenimiento Correctivo	100014	Correctiva	742.07
ACMN-FEPI-110-AUG1	24/12/2015 21:12	25/12/2015 08:39	Mantenimiento Correctivo	100015	Correctiva	761.63
ACMN-FEPI-110-AUG1	28/12/2015 05:26	29/12/2015 18:54	Mantenimiento Correctivo	100016	Correctiva	813.10
						97.10

Figura 6 – Ejemplo de procesamiento de datos

### 4. Estudio de caso sobre las diferencias en la toma de decisiones.

#### 4.1 Determinación del tiempo óptimo de cambio del aceite de motores Diesel:

Una empresa cuenta con una flota de camiones y máquinas de movimiento de tierra, y desea determinar el número óptimo de horas para realizar el cambio de aceite del motor. Según las recomendaciones del fabricante, el aceite debe ser cambiado cada 250 horas de operación. Sin embargo, la decisión de mantenimiento, basada en la experiencia, establece que el cambio de aceite se realice entre 300 y 400 horas.

Por otro lado, los análisis de degradación de la viscosidad del aceite indican que la vida útil del aceite se extiende entre 500 y 600 horas.

**Conclusión:** Gracias al análisis de la degradación del aceite, fue posible ampliar el intervalo de cambio, lo que permitió una reducción significativa en los costos operativos.

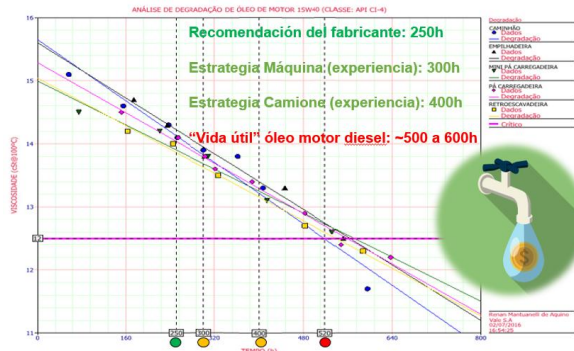


Figura 7 – Análisis de degradación del aceite de motor Diesel.

#### 4.2 Selección del mejor alternador utilizado en cosechadoras:

Un ingenio cuenta con varias cosechadoras y puede utilizar dos tipos de alternadores. El alternador A (curva de confiabilidad en negro) tiene un costo de adquisición que representa el 60% del precio del alternador B (curva de confiabilidad en azul). La decisión basada en el precio es comprar únicamente el alternador A y esperar que su vida útil sea de 16,000 horas.

La decisión basada en datos proporciona información valiosa para evaluar un alternador con vida útil de 16,000 horas. El alternador A tiene una confiabilidad menor que el alternador B al inicio de la operación, pero se puede trabajar con el fabricante para mejorar su desempeño. Por otro lado, el alternador B tiene una mayor confiabilidad al inicio de la operación, pero su vida útil es más corta.

**Conclusión:** Para operar hasta 16,000 horas, la solución más económica es adquirir el alternador A.

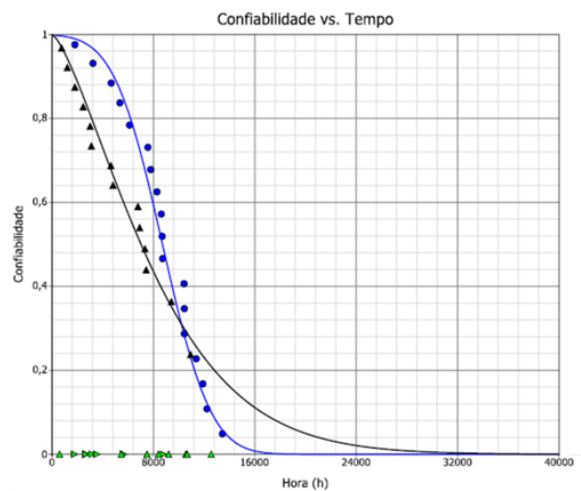


Figura 8 – Curvas de confiabilidad de los alternadores A (negro) y B (azul).

#### Conclusiones:

- Si la decisión es simple y de bajo impacto, puedes dejar que la intuición actúe – Sistema 1.
- Si la decisión no es simple y tiene un alto impacto, deberías disminuir la velocidad – Sistema 2.
- Ten cuidado con la sustitución inconsciente de preguntas difíciles por preguntas simples.
- Prestar atención a la velocidad con la que la rutina diaria te exige tomar decisiones, ya que esto afecta directamente la calidad de las mismas.

#### Bibliografía:

- [1] Think, Fast and Slow (Pensar rápido, pensar despacio – Español).
- [2] Noise (Ruido: Un fallo en el juicio humano – Español): Lo que interrumpe nuestro juicio en los negocios y la vida.
- [3] Reliability Consultant Certificate – Compass, material del entrenamiento.
- [4] – Simpósio Internacional de Confiabilidade – SIC – Compass, artículos técnicos publicados.

Hojas de vida:

Claudio Caiani Spanó: Durante los últimos 30 años, ha desarrollado trabajos en el área de Ingeniería de Confiabilidad en Brasil, comenzando en Mercedes-Benz y actualmente es director y fundador de Compass. Es especialista en la aplicación, brindando consultoría y capacitación a empresas de diversos sectores. Se dedica a difundir las aplicaciones prácticas de la Ingeniería de Confiabilidad en todo el mundo, con papers presentados en diversos congresos internacionales. Fue capacitado directamente por ReliaSoft en EE. y forma parte del comité asesor de la empresa para el desarrollo de nuevas tecnologías en esta área.

Ricardo Vieira do Amaral: Ingeniero Mecánico – FEI 1981. Capacitación en gestión de personas, liderazgo, ventas, confiabilidad, rodamientos, mantenimiento predictivo, entre otros. Trabajó durante 21 años en SKF Brasil, donde implementó sistemas de mantenimiento predictivo y confiabilidad integrados en las principales empresas de Brasil y América Latina. Su trayectoria abarca los sectores Naval, Energía y Petróleo & Gas como gerente de segmento para LAM. Desde principios de 2020, comenzó sus actividades en Compass como Gerente de Ingeniería.

Datos personales:

Nombre: Claudio Caiani Spanó

Teléfono:

- Oficina: +55 11 2177-5456
- Celular: +55 11 99139-6453

Dirección del autor(es)

- Oficina: R. Domingos de Morais, 2187 – Vila Mariana – São Paulo/SP
- Email: Claudio.spano@ctscompass.com
- Ciudad: São Paulo
- País: Brasil

Nombre: Ricardo Vieira do Amaral

Teléfono:

- Oficina: +55 11 2177-5456
- Celular: +55 11 99374- 6588

Dirección del autor(es)

- Oficina: R. Domingos de Morais, 2187 – Vila Mariana – São Paulo/SP
- Email: Ricardo.amaral@ctscompass.com
- Ciudad: São Paulo
- País: Brasil