

## **Fiabilidad. Conceptos y definiciones principales. Índices de fiabilidad.**

**En este curso:**

- **Una introducción a la Ingeniería de la Fiabilidad**
- **La fiabilidad en los momentos actuales.**
- **Conceptos, términos y definiciones.**
- **Clasificación de los índices de fiabilidad.**
- **Funciones probabilística utilizadas.**

## Ingeniería de la Fiabilidad - Reliability Engineering

Uno de los problemas fundamentales de la **ingeniería** es la fiabilidad de los equipos, la cual se ha ido desarrollando conjuntamente con las técnicas de fabricación y la tecnología de operación de los mismos.

En los últimos 30 años la fiabilidad de los sistemas técnicos y de sus componentes se ha ido agudizando debido a la complejidad de los mismos.

## **La fiabilidad en los momentos actuales.**

La fiabilidad es de manera relativa un nuevo campo cuya concepción fundamental es lo relacionado con el análisis de la confiabilidad de los sistemas complejos sofisticados y automatizados de la tecnología moderna.

## **La fiabilidad en los momentos actuales.**

La fiabilidad es de manera relativa un nuevo campo cuya concepción fundamental es lo relacionado con el análisis de la confiabilidad de los sistemas complejos sofisticados y automatizados de la tecnología moderna.

**Se puede plantear que los problemas del mantenimiento, la reparación y en especial las fallas de campo, se convirtieron en problemas severos del equipamiento militar durante la II guerra mundial.**

## La fiabilidad en los momentos actuales.

La fiabilidad es de manera relativa un nuevo campo cuya concepción fundamental es lo relacionado con el análisis de la confiabilidad de los sistemas complejos sofisticados y automatizados de la tecnología moderna.

**Se puede plantear que los problemas del mantenimiento, la reparación y en especial las fallas de campo, se convirtieron en problemas severos del equipamiento militar durante la II guerra mundial.**

**Pasos  
preliminares  
en EUA**

**creación del Comité de  
desarrollo de las válvulas  
al vacío (VTDC, Vacuum  
Tube Development  
Committe)**

## La fiabilidad en los momentos actuales.

La fiabilidad es de manera relativa un nuevo campo cuya concepción fundamental es lo relacionado con el análisis de la confiabilidad de los sistemas complejos sofisticados y automatizados de la tecnología moderna.

**Se puede plantear que los problemas del mantenimiento, la reparación y en especial las fallas de campo, se convirtieron en problemas severos del equipamiento militar durante la II guerra mundial.**

**Pasos  
preliminares  
en EUA**

**creación del Comité de  
desarrollo de las válvulas  
al vacío (VTDC, Vacuum  
Tube Development  
Committe)**

**Entre el 45 y el  
50, fueron  
revelados varios  
estudios sobre las  
investigaciones  
realizadas.**

## Ingeniería de la Fiabilidad - Reliability Engineering

**Una consecuencia de lo anterior fue el surgimiento de un nuevo tipo de especialista en las compañías modernas conocido como "ingeniero de fiabilidad" (reliability engineer).**

**Así la fiabilidad ocupa un lugar estratégico en la política de cualquier compañía debido a:**

- Aumento de la complejidad de los sistemas modernos. (los sistemas actuales incluyen en la actualidad elementos individuales en el orden de los millones)**

## Ingeniería de la Fiabilidad - Reliability Engineering

**Una consecuencia de lo anterior fue el surgimiento de un nuevo tipo de especialista en las compañías modernas conocido como "ingeniero de fiabilidad" (reliability engineer).**

**Así la fiabilidad ocupa un lugar estratégico en la política de cualquier compañía debido a:**

- Alta intensidad de los regímenes de trabajo (condiciones severas de temperaturas, humedad, presión, velocidad, ambientes, etc.)**

## Ingeniería de la Fiabilidad - Reliability Engineering

**Una consecuencia de lo anterior fue el surgimiento de un nuevo tipo de especialista en las compañías modernas conocido como "ingeniero de fiabilidad" (reliability engineer).**

**Así la fiabilidad ocupa un lugar estratégico en la política de cualquier compañía debido a:**

- **Alto costo y responsabilidad por los fallos (el fallo de un elemento con costo de \$5 provocó el fracaso en el lanzamiento del cohete del proyecto *Minuteman* por un costo de \$8 millones).**

## Ingeniería de la Fiabilidad - Reliability Engineering

**Una consecuencia de lo anterior fue el surgimiento de un nuevo tipo de especialista en las compañías modernas conocido como "ingeniero de fiabilidad" (reliability engineer).**

**Así la fiabilidad ocupa un lugar estratégico en la política de cualquier compañía debido a:**



- La exclusión parcial o total de la participación directa del hombre (el microprocesador como elemento de mando).**

### Conceptos y términos fundamentales de la teoría de la fiabilidad.

**Artículo o elemento de cálculo de la fiabilidad:** dispositivo considerado en el cálculo de la fiabilidad como una parte autónoma separada que posee su índice cualitativo general de fiabilidad.

**Fallo:** hecho después del cual el artículo deja de cumplir total o parcialmente sus funciones. El fallo es una alteración de la capacidad de trabajo del artículo.

Los fallos pueden ser clasificados por una serie de criterios los cuales se presentan en la siguiente tabla:

## Conceptos y términos fundamentales de la teoría de la fiabilidad.

CRITERIO DE CLASIFICACION	TIPO DE FALLO
Según el carácter físico de la aparición del fallo	<ul style="list-style-type: none"><li>• Fallo catastrófico</li><li>• Fallo paramétrico</li></ul>
Según el grado de influencia en la capacidad de trabajo	<ul style="list-style-type: none"><li>• Fallo total</li><li>• Fallo parcial</li></ul>
Según dependencia de otros fallos	<ul style="list-style-type: none"><li>• Fallo independiente</li><li>• Fallo dependiente</li></ul>
Según el carácter del proceso de aparición	<ul style="list-style-type: none"><li>• Fallo repentino</li><li>• Fallo gradual</li></ul>
Según el tiempo de existencia del fallo	<ul style="list-style-type: none"><li>• Fallo estable</li><li>• Fallo temporal</li><li>• Fallo alternante</li></ul>

## Conceptos y términos fundamentales de la teoría de la fiabilidad.

**Fallo catastrófico:** conduce a la alteración de la capacidad de trabajo. A este tipo se refiere la ruptura de las piezas en los sistemas mecánicos y al cortocircuito o circuito abierto en los sistemas electrónicos.

**Fallo paramétrico:** son los fallos parciales en los componentes de los artículos complejos que se manifiesta en el empobrecimiento del funcionamiento de los mismos.

Los fallos como hechos casuales pueden ser independientes o dependientes. Si el fallo de un elemento cualquiera del sistema no motiva variaciones en la probabilidad de fallo en otros elementos se le nombra **fallo independiente**. En el caso de que el fallo de un componente altere o modifique la probabilidad de ocurrencia de otros fallos se le denomina **fallo dependiente**.

## Conceptos y términos fundamentales de la teoría de la fiabilidad.

**Fallo catastrófico:** conduce a la alteración de la capacidad de trabajo. A este tipo se refiere la ruptura de las piezas en los sistemas mecánicos y al cortocircuito o circuito abierto en los sistemas electrónicos.

**Fallo paramétrico:** son los fallos parciales en los componentes de los artículos complejos que se manifiesta en el empobrecimiento del funcionamiento de los mismos.

Los fallos como hechos casuales pueden ser independientes o dependientes. Si el fallo de un elemento cualquiera del sistema no motiva variaciones en la probabilidad de fallo en otros elementos se le nombra **fallo independiente**. Si el fallo de un elemento cualquiera del sistema motiva variaciones en la probabilidad de fallo en otros elementos se le nombra **fallo dependiente**.

**Se puede plantear que el fallo es una de las manifestaciones del defecto o mal estado del artículo.**

**Conceptos y términos fundamentales de la teoría de la fiabilidad.**

Por **defecto** se entiende la disparidad o incompatibilidad del artículo (pieza, componente, etc.) a uno o varios requisitos que deben satisfacer tanto los parámetros y las características fundamentales de trabajo, como el aspecto exterior, comodidad, dimensiones, etc.

Es de notar que no todos los defectos engendran fallos, porque también las condiciones de uso y explotación, entre otras originan los fallos.

### Conceptos y términos fundamentales de la teoría de la fiabilidad.

**Fiabilidad:** propiedad del artículo de cumplir las funciones asignadas, conservando en el tiempo los valores de los requisitos de explotación establecidos dentro de los límites fijados, en correspondencia con las condiciones dadas. Se puede plantear que la fiabilidad es una propiedad compleja.

**Buen estado:** estado del artículo en el cual el mismo satisface los requisitos establecidos.

**Estado límite:** estado del artículo en el cual su explotación se interrumpe.

**Estado de capacidad de trabajo:** estado durante el cual el artículo está capacitado para cumplir las funciones asignadas, manteniendo sus especificaciones dentro de los límites establecidos.

## Clasificación de los índices de fiabilidad

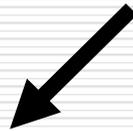
**Los índices de fiabilidad** son características cuantitativas que dependen de una o de varias de las propiedades y expresan la fiabilidad de los artículos.

Según las propiedades que representen los índices se agrupan los mismos. Es así que se tienen los índices de **operatividad**, de **durabilidad**, de **conservabilidad** y de **mantenibilidad**.

Los anteriores son las propiedades principales que abarca el concepto de fiabilidad.

## Clasificación de los índices de fiabilidad

Los índices de fiabilidad se clasifican en simples y complejos.



Los **índices simples** son aquellos que representan una de las propiedades que forman parte de la fiabilidad.



Los **índices complejos** son aquellos que representan relaciones entre varias de las propiedades que conforman la fiabilidad de los artículos.

## Empleo de los índices de fiabilidad

**Es de señalar que de acuerdo con el tipo de artículo, es decir si es reparable o no, de acuerdo a los regímenes de trabajo que se le imponen, las posibilidades de restauración entre otras características así serán los índices que caracterizaran a un determinado dispositivo.**

# Ingeniería de la Fiabilidad - Reliability Engineering

## Resumen de los índices de fiabilidad

Propiedad	Símbolo	Denominación
OPERATIVIDAD	$P(t)=R(t)=\underline{P_s(t)}$	Probabilidad de trabajo sin fallos
	$Q(t)=Pf(t)$	Probabilidad de fallo
	$\lambda(t)$ $W(t)$	Intensidad de fallos Flujo de fallos
	$\bar{t}_0$ (MTBF)	Tiempo medio entre fallos
	$\bar{t}$ (MTTF)	Tiempo medio hasta el fallo
DURABILIDAD	$t_{r\delta}$	Recurso gamma
	$\bar{t}_r$	Recurso medio
	$\bar{t}_k$	Vida útil media
	$t_{k\delta}$	Vida útil gamma
	$\bar{t}_{kg}$	Tiempo medio de vida útil hasta la reparación general
CONSERVABILIDAD	$\bar{t}_c$	Tiempo medio de conservación
	$t_{c\delta}$	Tiempo de conservación gamma

# Ingeniería de la Fiabilidad - Reliability Engineering

## Resumen de los índices de fiabilidad

Propiedad	Símbolo	Denominación
OPERATIVIDAD	$P(t)=R(t)=P_s(t)$ $Q(t)=P_f(t)$ $\lambda(t)$ $W(t)$	Probabilidad de trabajo sin fallos Probabilidad de fallo Intensidad de fallos Flujo de fallos
	$t_0$	Tiempo medio entre fallos
<p><b>Es la propiedad de conservar ininterrumpidamente el estado de capacidad de trabajo durante un tiempo de trabajo útil bajo condiciones establecidas.</b></p>		
DURABILIDAD	$t_r$	Recurso medio
	$t_k$	Vida útil media
	$t_{k\delta}$	Vida útil gamma
	$t_{kg}$	Tiempo medio de vida útil hasta la reparación general
CONSERVABILIDAD	$t_c$	Tiempo medio de conservación
	$t_{c\delta}$	Tiempo de conservación gamma

# Ingeniería de la Fiabilidad - Reliability Engineering

## Resumen de los índices de fiabilidad

Propiedad	Símbolo	Denominación
OPERATIVIDAD	$P(t)=R(t)=P_s(t)$ $Q(t)=Pf(t)$ $\lambda(t)$ $W(t)$	Probabilidad de trabajo sin fallos Probabilidad de fallo Intensidad de fallos Flujo de fallos
	$\bar{t}_0$ (MTBF) $\bar{t}$ (MTTF)	Tiempo medio entre fallos Tiempo medio hasta el fallo
DURABILIDAD	$t_{r\delta}$ $\bar{t}$	Recurso gamma Recurso medio
	$t_{k\delta}$ $\bar{t}_{kg}$	vida útil gamma Tiempo medio de vida útil hasta la reparación general
CONSERVABILIDAD	$\bar{t}_c$ $t_{c\delta}$	Tiempo medio de conservación Tiempo de conservación gamma

**Propiedad de conservar el buen estado y la capacidad de trabajo hasta la ocurrencia del fallo.**

# Ingeniería de la Fiabilidad - Reliability Engineering

## Resumen de los índices de fiabilidad

Propiedad	Símbolo	Denominación
OPERATIVIDAD	$P(t)=R(t)=\underline{P_s(t)}$	Probabilidad de trabajo sin fallos
	$Q(t)=Pf(t)$	Probabilidad de fallo
	$\lambda(t)$	Intensidad de fallos
	$W(t)$	Flujo de fallos
	$\bar{t}_0$ (MTBF)	Tiempo medio entre fallos
	$\bar{t}$ (MTTF)	Tiempo medio hasta el fallo
DURABILIDAD	$t_{r\delta}$	Recurso gamma
	$\bar{t}_r$	Recurso medio
	$\bar{t}_k$	Vida útil media
	$t_{k\delta}$	Vida útil gamma
CONSERVABILIDAD	$t_c$	Tiempo de conservación
	$t_{c\delta}$	Tiempo de conservación gamma

propiedad de conservar el buen estado durante la carga y descarga del articulo, transporte y almacenamiento.

# Ingeniería de la Fiabilidad - Reliability Engineering

## Resumen de los índices de fiabilidad

Propiedad	Símbolo	Denominación
OPERATIVIDAD	$P(t)=R(t)=P_s(t)$ $Q(t)=P_f(t)$ $\lambda(t)$ $\mu(t)$	Probabilidad de trabajo sin fallos Probabilidad de fallo Intensidad de fallo
DURABILIDAD	$t_r$ — $t_{ks}$ — $t_{kg}$	Vida útil media Vida útil gamma Tiempo medio de vida útil hasta la reparación general
CONSERVABILIDAD	— $t_c$ $t_{cs}$	Tiempo medio de conservación Tiempo de conservación gamma

**Mantenibilidad: Propiedad exclusiva de productos reparables .Indica el grado de facilidad para prevenir y detectar fallos y solucionarlos mediante mantenimiento ,reparación o restauración.**

## Teoría de las probabilidades en la ciencia de la fiabilidad

Muchas de las disciplinas de la ingeniería moderna están basadas en el empleo de las matemáticas aplicadas y la teoría de la fiabilidad no escapa a este hecho lidiando de modo especial con las teorías probabilística, matemática y estadística.

Cualquier aplicación real de la fiabilidad necesita de un buen conocimiento de las **probabilidades** para la interpretación de las soluciones. El análisis de los sistemas complejos, el mejoramiento de la fiabilidad en los nuevos diseños y demás exigen la aplicación de métodos que transformen las variables iniciales en otras más simples, de este modo, los análisis de los datos de vida de los artículos se hace más sencillo y práctico.

# Ingeniería de la Fiabilidad - Reliability Engineering

## Teoría de las probabilidades en la ciencia de la fiabilidad

**La aproximación de los datos a modelos teóricos conocidos facilita la manipulación, interpretación y utilización práctica de los resultados obtenidos.**

En general se selecciona siempre un modelo determinado de funciones probabilísticas para el tratamiento de los datos de fiabilidad atendiendo a diferentes criterios

### Selección de la distribución

**En general se selecciona un modelo teórico probabilístico sobre la base de uno de los siguientes criterios:**

- 1. La naturaleza física del problema ajusta con las suposiciones y requisitos de una distribución particular.**
- 2. Los datos son de fácil acceso y el ploteo de los mismos en términos de  $f(x)$  o de  $F(x)$  vuelca el problema hacia el ajuste de una curva o distribución particular.**
- 3. Un modelo simple y conveniente es seleccionado tratando de satisfacer los criterios anteriores, siendo el tipo de problema quien justifique la selección del modelo.**

Binomial	$\binom{n}{r} p^r (1-p)^{n-r}$	$np$	$np(1-p)$
Poisson	$\frac{e^{-\mu} \mu^x}{x!}$	$\mu$	$\mu$
Exponential	$\lambda e^{-\lambda x}$	$\frac{1}{\lambda}$	$\frac{1}{\lambda^2}$
Normal	$\frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-1/2((x-\mu)/\sigma)^2}$	$\mu$	$\sigma^2$
Log normal	$\frac{1}{\sigma_{\log} \sqrt{2\pi}} e^{-1/2((\log x - \mu_{\log})/\sigma_{\log})^2}$	$\mu_{\log}$	$\sigma_{\log}^2$
Weibull	$kx^m e^{-\frac{kx^{m+1}}{m+1}}$	$\Gamma\left(\frac{m+2}{m+1}\right) \left(\frac{k}{m+1}\right)^{-\frac{1}{m+1}}$	$\Gamma\left(\frac{m+3}{m+1}\right) - \Gamma^2\left(\frac{m+2}{m+1}\right)$
Gamma	$\frac{1}{\beta^{\alpha+1} \Gamma(\alpha+1)} x^{\alpha} e^{-x/\beta}$	$\beta(\alpha+1)$	$\beta^2(\alpha+1)$
Rayleigh	$kx e^{-kx^2/2}$	$\sqrt{\frac{\pi}{2k}}$	$\frac{2}{k} (1 - \pi^2/4)$

<b>Binomial</b>	$\binom{n}{r} p^r (1-p)^{n-r}$	$np$	$np(1-p)$
<b>Poisson</b>	$\frac{e^{-\mu} \mu^x}{x!}$	$\mu$	$\mu$
<b>Exponencial</b>	$\lambda e^{-\lambda x}$	$\frac{1}{\lambda}$	$\frac{1}{\lambda^2}$
<b>Normal</b>	$\frac{1}{\sigma \sqrt{2\Pi}} e^{-1/2((x-\mu)/\sigma)^2}$	$\mu$	$\sigma^2$
<b>Log normal</b>	$\frac{1}{\sigma_{\log} \sqrt{2\Pi}} e^{-1/2((\log x - \mu_{\log})/\sigma_{\log})^2}$	$\mu_{\log}$	$\sigma_{\log}^2$
<b>Weibull</b>	$kx^m e^{-\frac{kx^{m+1}}{m+1}}$	$\Gamma\left(\frac{m+2}{m+1}\right) \left(\frac{k}{m+1}\right)^{-\frac{1}{m+1}}$	$\Gamma\left(\frac{m+3}{m+1}\right) - \Gamma^2\left(\frac{m+2}{m+1}\right)$
<b>Gamma</b>	$\frac{1}{\beta^{\alpha+1} \Gamma(\alpha+1)} x^{\alpha} e^{-x/\beta}$	$\beta(\alpha+1)$	$\beta^2(\alpha+1)$
<b>Rayleigh</b>	$kx e^{-kx^2/2}$	$\sqrt{\frac{\pi}{2k}}$	$\frac{2}{k} (1 - \pi^2/4)$

Binomial	$\binom{n}{r} p^r (1-p)^{n-r}$	$np$	$np(1-p)$
Poisson	$\frac{e^{-\mu} \mu^x}{x!}$	$\mu$	$\mu$
Exponencial	$\lambda e^{-\lambda x}$	$\frac{1}{\lambda}$	$\frac{1}{\lambda^2}$
Normal	$\frac{1}{\sigma \sqrt{2\Pi}} e^{-1/2((x-\mu)/\sigma)^2}$	$\mu$	$\sigma^2$
Log normal	$\frac{1}{\sigma_{\log} \sqrt{2\Pi}} e^{-1/2((\log x - \mu_{\log})/\sigma_{\log})^2}$	$\mu_{\log}$	$\sigma_{\log}^2$
Weibull	$kx^m e^{-\frac{kx^{m+1}}{m+1}}$	$\Gamma\left(\frac{m+2}{m+1}\right) \left(\frac{k}{m+1}\right)^{-\frac{1}{m+1}}$	$\Gamma\left(\frac{m+3}{m+1}\right) - \Gamma^2\left(\frac{m+2}{m+1}\right)$
Gamma	$\frac{1}{\beta^{\alpha+1} \Gamma(\alpha+1)} x^{\alpha} e^{-x/\beta}$	$\beta(\alpha+1)$	$\beta^2(\alpha+1)$
Rayleigh	$kx e^{-kx^2/2}$	$\sqrt{\frac{\pi}{2k}}$	$\frac{2}{k} (1 - \pi^2/4)$

Binomial	$\binom{n}{r} p^r (1-p)^{n-r}$	$np$	$np(1-p)$
Poisson	$\frac{e^{-\mu} \mu^x}{x!}$	$\mu$	$\mu$
Exponencial	$\lambda e^{-\lambda x}$	$\frac{1}{\lambda}$	$\frac{1}{\lambda^2}$
Normal	$\frac{1}{\sigma \sqrt{2\Pi}} e^{-1/2((x-\mu)/\sigma)^2}$	$\mu$	$\sigma^2$
Log normal	$\frac{1}{\sigma_{\log} \sqrt{2\Pi}} e^{-1/2((\log x - \mu_{\log})/\sigma_{\log})^2}$	$\mu_{\log}$	$\sigma_{\log}^2$
Weibull	$kx^m e^{-\frac{kx^{m+1}}{m+1}}$	$\Gamma\left(\frac{m+2}{m+1}\right) \left(\frac{k}{m+1}\right)^{-\frac{1}{m+1}}$	$\Gamma\left(\frac{m+3}{m+1}\right) - \Gamma^2\left(\frac{m+2}{m+1}\right)$
Gamma	$\frac{1}{\beta^{\alpha+1} \Gamma(\alpha+1)} x^{\alpha} e^{-x/\beta}$	$\beta(\alpha+1)$	$\beta^2(\alpha+1)$
Rayleigh	$kx e^{-kx^2/2}$	$\sqrt{\frac{\pi}{2k}}$	$\frac{2}{k} (1 - \pi^2/4)$

Binomial	$\binom{n}{r} p^r (1-p)^{n-r}$	$np$	$np(1-p)$
Poisson	$\frac{e^{-\mu} \mu^x}{x!}$	$\mu$	$\mu$
Exponential	$\lambda e^{-\lambda x}$	$\frac{1}{\lambda}$	$\frac{1}{\lambda^2}$
Normal	$\frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-1/2((x-\mu)/\sigma)^2}$	$\mu$	$\sigma^2$
Log normal	$\frac{1}{\sigma_{\log} \sqrt{2\pi}} e^{-1/2((\log x - \mu_{\log})/\sigma_{\log})^2}$	$\mu_{\log}$	$\sigma_{\log}^2$
Weibull	$kx^m e^{-\frac{kx^{m+1}}{m+1}}$	$\Gamma\left(\frac{m+2}{m+1}\right) \left(\frac{k}{m+1}\right)^{-\frac{1}{m+1}}$	$\Gamma\left(\frac{m+3}{m+1}\right) - \Gamma^2\left(\frac{m+2}{m+1}\right)$
Gamma	$\frac{1}{\beta^{\alpha+1} \Gamma(\alpha+1)} x^{\alpha} e^{-x/\beta}$	$\beta(\alpha+1)$	$\beta^2(\alpha+1)$
Rayleigh	$kx e^{-kx^2/2}$	$\sqrt{\frac{\pi}{2k}}$	$\frac{2}{k} (1 - \pi^2/4)$

## *Las fuentes de los datos de fiabilidad*

Parte de los datos de fallas son obtenidos de manera general de dos fuentes, **los tiempos de fallos de varias unidades sometidas a una prueba de fiabilidad, o los reportes de reparación o reposición de artículos puestos en manos de consumidores.**

Es así que los datos de fiabilidad sirven para varios propósitos entre los cuales tenemos:

- **Detectar problemas corrientes de fiabilidad y asistir a su solución, es decir, los fallos se detectan, se reportan, se analizan sus causas y luego se solventan.**
- **Proporcionar directivos con información cuantitativa sobre la operación de sus equipos y el estado de los problemas que presentan.**
- **Asistir a los programas de mejoramiento de la fiabilidad.**
- **Proporcionar una historia de fallos para uso en los cambios de productos y en los nuevos diseños. Esto es lo que se denomina banco de datos**

## *Las fuentes de los datos de fiabilidad*

Parte de los datos de fallas son obtenidos de manera general de dos fuentes, **los tiempos de fallos de varias unidades sometidas a una prueba de fiabilidad, o los reportes de reparación o reposición de artículos puestos en manos de consumidores.**

Es así que los datos de fiabilidad sirven para varios propósitos entre los cuales tenemos:

- Detectar problemas corrientes de fiabilidad y asistir a su solución, es decir, los fallos se detectan, se reportan, se analizan sus causas y luego se solventan.
- Proporcionar directivos con información cuantitativa sobre la operación de sus equipos y el estado de los problemas que presentan.
- Asistir a los programas de mejoramiento de la fiabilidad.
- Proporcionar una historia de fallos para uso en los cambios de productos y en los nuevos diseños. Esto es lo que se denomina banco de datos

## *Las fuentes de los datos de fiabilidad*

Parte de los datos de fallas son obtenidos de manera general de dos fuentes, **los tiempos de fallos de varias unidades sometidas a una prueba de fiabilidad, o los reportes de reparación o reposición de artículos puestos en manos de consumidores.**

Es así que los datos de fiabilidad sirven para varios propósitos entre los cuales tenemos:

- Detectar problemas corrientes de fiabilidad y asistir a su solución, es decir, los fallos se detectan, se reportan, se analizan sus causas y luego se solventan.
- Proporcionar directivos con información cuantitativa sobre la operación de sus equipos y el estado de los problemas que presentan.
- **Asistir a los programas de mejoramiento de la fiabilidad.**
- Proporcionar una historia de fallos para uso en los cambios de productos y en los nuevos diseños. Esto es lo que se denomina banco de datos

## *Las fuentes de los datos de fiabilidad*

Parte de los datos de fallas son obtenidos de manera general de dos fuentes, **los tiempos de fallos de varias unidades sometidas a una prueba de fiabilidad**, o los **reportes de reparación o reposición de artículos puestos en manos de consumidores**.

Es así que los datos de fiabilidad sirven para varios propósitos entre los cuales tenemos:

- Detectar problemas corrientes de fiabilidad y asistir a su solución, es decir, los fallos se detectan, se reportan, se analizan sus causas y luego se solventan.
- Proporcionar directivos con información cuantitativa sobre la operación de sus equipos y el estado de los problemas que presentan.
- Asistir a los programas de mejoramiento de la fiabilidad.
- Proporcionar una historia de fallos para uso en los cambios de productos y en los nuevos diseños. Esto es lo que se denomina banco de datos

## *Las fuentes de los datos de fiabilidad*

El término banco de datos implica un enfoque organizado a la colección de los datos, su clasificación, análisis, sumarización y retroalimentación. No obstante las ventajas de tal organización, su operatividad y costeo es muy difícil.

En la práctica las compañías hacen un empleo limitado de los datos asequibles. Estos datos son originados desde:

- Análisis ingenieriles, la preproducción, producción y ensayos especiales.
- Los suministradores y vendedores.
- Datos de explotación, incluyendo quejas y reclamaciones.
- Bancos de datos independientes.

## *Ensayos de fiabilidad*

La adquisición de los datos de fallas es sólo el primer paso en la creación de un banco de datos de trabajo. Ahora bien, los **ensayos de fiabilidad** son una de los elementos más confiables de adquisición de datos, no obstante ser la quejas y reclamaciones uno de los aspectos más importantes para la relación fiabilidad-mercado expresado a través de la garantía, y ejecutada o realizada en el costo, nivel de ventas y precio.

El objetivo final de los ensayos de fiabilidad es proveer una estimación de la probabilidad de que el dispositivo en cuestión realizará su función por un período determinado de tiempo, bajo condiciones establecidas

## *Ensayos de fiabilidad*

**En el caso de las mediciones de fiabilidad, hay recogidos y recopilados datos estadísticos sobre realizaciones libres de fallos de dispositivos en función del tiempo, esto es, observar un número de artículos en funcionamiento, medir su tiempo de trabajo sin fallos y contar el número de fallos ocurridos. Si la cantidad de observaciones son suficientes se puede estimar con gran precisión los indicadores de la fiabilidad.**

## *Ensayos de fiabilidad*

**En el caso de las mediciones de fiabilidad, hay recogidos y recopilados datos estadísticos sobre realizaciones libres de fallos de dispositivos en función del tiempo, esto es, observar un número de artículos en funcionamiento, medir su tiempo de trabajo sin fallos y contar el número de fallos ocurridos. Si la cantidad de observaciones son suficientes se puede estimar con gran precisión los indicadores de la fiabilidad.**

**Los ensayos de fiabilidad deben seguir el siguiente proceso:**

- 1. Determinar la forma de distribución de un parámetro estadístico.**
- 2. Determinar que seguridad hay de que el valor real del parámetro de la población esté dentro de algún valor específico.**
- 3. Determinar si un dispositivo o componente tiene por lo menos una cierta vida media y establecer que seguridad se tiene de que sea así.**
- 4. Determinar el tamaño de la muestra y el tiempo de ensayo necesario para hacer las acciones anteriores.**

## *Ensayos de fiabilidad*

En el caso de las mediciones de fiabilidad, hay recogidos y recopilados datos estadísticos sobre realizaciones libres de fallos de dispositivos en función del tiempo, esto es, observar un número de artículos en funcionamiento, medir su tiempo de trabajo sin fallos y contar el número de fallos ocurridos. Si la cantidad de observaciones son suficientes se puede estimar con gran precisión los indicadores de la fiabilidad.

Los ensayos de fiabilidad deben seguir el siguiente proceso:

1. Determinar la forma de distribución de un parámetro estadístico.
2. Determinar que seguridad hay de que el valor real del parámetro de la población esté dentro de algún valor específico.
3. Determinar si un dispositivo o componente tiene por lo menos una cierta vida media y establecer que seguridad se tiene de que sea así.
4. Determinar el tamaño de la muestra y el tiempo de ensayo necesario para hacer las acciones anteriores.

## *Ensayos de fiabilidad*

**En el caso de las mediciones de fiabilidad, hay recogidos y recopilados datos estadísticos sobre realizaciones libres de fallos de dispositivos en función del tiempo, esto es, observar un número de artículos en funcionamiento, medir su tiempo de trabajo sin fallos y contar el número de fallos ocurridos. Si la cantidad de observaciones son suficientes se puede estimar con gran precisión los indicadores de la fiabilidad.**

**Los ensayos de fiabilidad deben seguir el siguiente proceso:**

- 1. Determinar la forma de distribución de un parámetro estadístico.**
- 2. Determinar que seguridad hay de que el valor real del parámetro de la población esté dentro de algún valor específico.**
- 3. Determinar si un dispositivo o componente tiene por lo menos una cierta vida media y establecer que seguridad se tiene de que sea así.**
- 4. Determinar el tamaño de la muestra y el tiempo de ensayo necesario para hacer las acciones anteriores.**

## *Ensayos de fiabilidad*

**En el caso de las mediciones de fiabilidad, hay recogidos y recopilados datos estadísticos sobre realizaciones libres de fallos de dispositivos en función del tiempo, esto es, observar un número de artículos en funcionamiento, medir su tiempo de trabajo sin fallos y contar el número de fallos ocurridos. Si la cantidad de observaciones son suficientes se puede estimar con gran precisión los indicadores de la fiabilidad.**

**Los ensayos de fiabilidad deben seguir el siguiente proceso:**

- 1. Determinar la forma de distribución de un parámetro estadístico.**
- 2. Determinar que seguridad hay de que el valor real del parámetro de la población esté dentro de algún valor específico.**
- 3. Determinar si un dispositivo o componente tiene por lo menos una cierta vida media y establecer que seguridad se tiene de que sea así.**
- 4. Determinar el tamaño de la muestra y el tiempo de ensayo necesario para hacer las acciones anteriores.**

## Ensayos de fiabilidad

Test para determinar el ajuste a la distribución exponencial

### Test de Bartlett

#### Estadígrafo

$$S_{bm} = 12m^2 \left[ \ln M - \frac{N}{m} \right] / (6m + m + 1)$$

$$N \equiv \sum_{j=1}^m \ln t_j$$

$$M \equiv \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m t_j$$

$m$  = total number of times to failure in the sample  
 $t_j$  =  $j$ th time to failure

# Ingeniería de la Fiabilidad - Reliability Engineering

## Ensayos de fiabilidad

### Test para determinar el ajuste a la distribución exponencial

#### Test de Bartlett

#### Estadígrafo

$$S_{bm} = 12m^2 \left[ \ln M - \frac{N}{m} \right] / (6m + m + 1)$$

$$\chi^2 \left[ \left( 1 - \frac{\alpha}{2} \right), (m-1) \right]$$

$$\chi^2 \left[ \frac{\alpha}{2}, (m-1) \right]$$

Se puede asumir buen  
ajuste a la distribución  
exponencial

Tamaño muestral mínimo de 20

# Ingeniería de la Fiabilidad - Reliability Engineering

## *Ensayos de fiabilidad*

*Test para determinar el ajuste a la distribución exponencial*

### *Test de Bartlett*

An Engineering System's Failure Times (in Days)

5	20	55	85	180
10	40	62	95	200
15	30	70	100	220
20	45	80	140	250
25	50	75	150	275

# Ingeniería de la Fiabilidad - Reliability Engineering

## Ensayos de fiabilidad

### Test para determinar el ajuste a la distribución exponencial

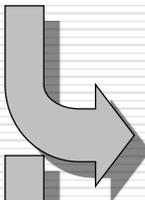
#### Test de Bartlett

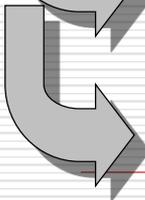
An Engineering System's Failure Times (in Days)

5	20	55	85	180
10	40	62	95	200
15	30	70	100	220
20	45	80	140	250
25	50	75	150	275

$$N \equiv \sum_{j=1}^m \ln t_j$$

$$M \equiv \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m t_j$$


$$N = \ln 5 + \ln 10 + \ln 15 + \ln 20 + \ln 25 + \dots + \ln 275$$
$$= 102.29$$


$$M = \frac{1}{25} [5 + 10 + 15 + 20 + 25 + 20 + 40 + \dots + 275]$$
$$= 91.88$$

# Ingeniería de la Fiabilidad - Reliability Engineering

## Ensayos de fiabilidad

### Test para determinar el ajuste a la distribución exponencial

#### Test de Bartlett

An Engineering System's Failure Times (in Days)

5	20	55	85	180
10	40	62	95	200
15	30	70	100	220
20	45	80	140	250
25	50	75	150	275

$$S_{bm} = 12m^2 \left[ \ln M - \frac{N}{m} \right] / (6m + m + 1)$$

$$S_{b25} = 12(25)^2 \left[ \ln 91.88 - \frac{102.29}{25} \right] / \{6(25) + 25 + 1\}$$
$$= 18.28$$

$$N = \ln 5 + \ln 10 + \ln 15 + \ln 20 + \ln 25 + \dots + \ln 275$$
$$= 102.29$$

$$M = \frac{1}{25} [5 + 10 + 15 + 20 + 25 + 20 + 40 + \dots + 275]$$
$$= 91.88$$

# Ingeniería de la Fiabilidad - Reliability Engineering

## Ensayos de fiabilidad

### Test para determinar el ajuste a la distribución exponencial

#### Test de Bartlett

An Engineering System's Failure Times (in Days)

5	20	55	85	180
10	40	62	95	200
15	30	70	100	220
20	45	80	140	250
25	50	75	150	275

$$S_{bm} = 12m^2 \left[ \ln M - \frac{N}{m} \right] / (6m + m + 1)$$

$$S_{b25} = 12(25)^2 \left[ \ln 91.88 - \frac{102.29}{25} \right] / \{6(25) + 25 + 1\}$$
$$= 18.28$$

$$\chi^2 \left[ \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right), (m-1) \right] = \chi^2 \left[ \left(1 - \frac{0.05}{2}\right), (25-1) \right]$$
$$= \chi^2 [0.975, 24]$$
$$= 12.4$$

OK

$$\chi^2 \left[ \frac{\alpha}{2}, (m-1) \right] = \chi^2 \left[ \frac{0.05}{2}, (25-1) \right]$$
$$= \chi^2 [0.025, 24]$$
$$= 39.36$$

## Ensayos de fiabilidad

Test para determinar el ajuste a la distribución exponencial

### Test de $\chi^2$

#### Estadígrafo

$$A = -2 \sum_{i=1}^m \ln \left[ \frac{T(\tau_i)}{T(\tau)} \right]$$

$$\chi^2 \left[ \frac{\alpha}{2}, 2m \right] < A < \chi^2 \left[ \left( 1 - \frac{\alpha}{2} \right), 2m \right]$$

$m$  = total number of failure times in a given sample

$T(\tau_i)$  = total operating time at the occurrence of failure  $i$

$T(\tau)$  = total operating time at the termination of the test

$\alpha = 1 - \text{confidence level}$

# Ingeniería de la Fiabilidad - Reliability Engineering

## *Ensayos de fiabilidad*

### *Test para determinar el ajuste a la distribución exponencial*

#### *Test de $X^2$*

A total of 30 identical engineering items were tested for 300 h, out of which six items failed. None of the failed items were replaced. The failure times of the failed items are given. Determine by using the above test at 95% confidence level that Table data belong to an exponential distribution.

#### Engineering Items' Times to Failure

No.	Item Failure Time (h)
1	10
2	20
3	25
4	40
5	50
6	65

# Ingeniería de la Fiabilidad - Reliability Engineering

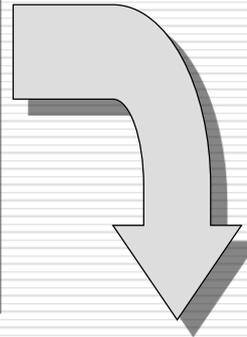
## Ensayos de fiabilidad

### Test para determinar el ajuste a la distribución exponencial

#### Test de $\chi^2$

##### Engineering Items' Times to Failure

No.	Item Failure Time (h)
1	10
2	20
3	25
4	40
5	50
6	65



$$T(\tau) = (30 - 6) 300 + (10 + 20 + 25 + 40 + 50 + 65) \\ = 7,410 \text{ h}$$

# Ingeniería de la Fiabilidad - Reliability Engineering

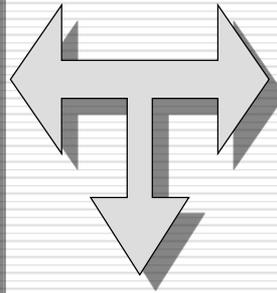
## Ensayos de fiabilidad

### Test para determinar el ajuste a la distribución exponencial

#### Test de $\chi^2$

Engineering Items' Times to Failure

No.	Item Failure Time (h)
1	10
2	20
3	25
4	40
5	50
6	65



$$T(\tau) = (30 - 6) 300 + (10 + 20 + 25 + 40 + 50 + 65) \\ = 7,410 \text{ h}$$

$$A = -2 \left[ \ln \left\{ \frac{(10)(30)}{7410} \right\} + \ln \left\{ \frac{10 + (20)(29)}{7410} \right\} + \ln \left\{ \frac{30 + (25)(28)}{7410} \right\} \right. \\ \left. + \ln \left\{ \frac{55 + (40)(27)}{7410} \right\} + \ln \left\{ \frac{95 + (50)(26)}{7410} \right\} + \ln \left\{ \frac{145 + (65)(25)}{7410} \right\} \right] \\ = 26.065$$

## Ensayos de fiabilidad

### Test para determinar el ajuste a la distribución exponencial

#### Test de $\chi^2$

$$A = -2 \left[ \ln \left\{ \frac{(10)(30)}{7410} \right\} + \ln \left\{ \frac{10 + (20)(29)}{7410} \right\} + \ln \left\{ \frac{30 + (25)(28)}{7410} \right\} \right. \\ \left. + \ln \left\{ \frac{55 + (40)(27)}{7410} \right\} + \ln \left\{ \frac{95 + (50)(26)}{7410} \right\} + \ln \left\{ \frac{145 + (65)(25)}{7410} \right\} \right] \\ = 26.065$$

$$\alpha = 1 - 0.95 = 0.05$$

$$\chi^2[0.025, 2(6)], \chi^2[0.975, 2(6)]$$

$$\chi^2[0.975, 12] = 4.4$$

~~OK~~

$$\chi^2[0.025, 12] = 23.34$$

## Principios generales del Ajuste de datos a modelos

**Las características cuantitativas que definen la Fiabilidad se pueden expresar en los siguientes grupos de indicadores:**

- 1. Operatividad**
- 2. Durabilidad**
- 3. Coservabilidad**
- 4. Mantenibilidad**

## Índices de Operatividad

Denominación	Símbolo	Datos ajustados	Datos no ajustados
Tiempo medio hasta el fallo	$\bar{t}_0$	$E(t) = \int_0^{\infty} t f(t) dt$	$\frac{\sum_{i=1}^n \frac{t_i}{n}}{k} = \frac{\sum t(k)^*}{\sum_{k=1}^k nk}$
Tiempo medio entre fallo	$\bar{t}$	$E(t) = \int_0^{\infty} t f(t) dt$	Ídem
Intensidad de fallo	$\lambda(t)$	$-\frac{dP(t)}{dt} * \frac{1}{P(t)}$	$\frac{N}{n \times \Delta t}$ $n_x = \frac{n_i + n_f}{2}$
Flujo de fallos	$W(t)$	$\frac{-d \ln P(t)}{dt}$	Ídem caso anterior
Probabilidad de trabajo sin fallo	$P(t)$	$\int_0^{\infty} f(t) dt = 1 - Q(t)$	$\frac{n - N^1}{n}$
Probabilidad de fallo	$Q(t)$	$\int_0^t f(t) dt = 1 - P(t)$	$\frac{N^1}{n}$

## Ingeniería de la Fiabilidad - Reliability Engineering

Denominación	Símbolo	Datos ajustados	Datos no ajustados
Tiempo medio hasta el fallo	$\bar{t}_0$	$E(t) = \int_0^{\infty} t f(t) dt$	$\sum_{i=1}^n \frac{t_i}{n} = \sum \bar{t}(k) *$ $\frac{k}{\sum_1^k nk}$
Tiempo medio entre fallo	$\bar{t}$	$E(t) = \int_0^{\infty} t f(t) dt$	Ídem
Intensidad de fallo	$\lambda(t)$	$-\frac{dP(t)}{dt} * \frac{1}{P(t)}$	$\frac{N}{nx\Delta t}$ $n_x = \frac{ni + nf}{2}$
Flujo de fallos	$W(t)$	$\frac{-d \ln P(t)}{dt}$	Ídem caso anterior
Probabilidad de trabajo sin fallo	$P(t)$	$\int_0^{\infty} f(t) dt = 1 - Q(t)$	$\frac{n - N^1}{n}$
Probabilidad de fallo	$Q(t)$	$\int_0^t f(t) dt = 1 - P(t)$	$\frac{N^1}{n}$

**F (t):** función de densidad probabilística

**N** : cantidad de fallos en el intervalo analizado

**nx** : cantidad de unidades promedio que sobreviven en el intervalo

**ni** : cantidad de unidades que empiezan en buen estado

**nf** : cantidad de unidades que terminan en buen estado

**N** : cantidad de fallos acumulados hasta el instante analizado.

**n** : total de productos ensayados

## Índices de Durabilidad

Denominación	Símbolo	Datos ajustados	Datos no ajustados
Vida útil media	$\bar{t}_K$	$\int_0^{\infty} t f(t) dt$	promedio
Vida útil gamma	$t_{K\delta}$	$\int_0^{\infty} f(t_K) dt$	interpolación
Vida útil media hasta reparación general	$\bar{t}_{kr}$	$\int_0^{\infty} \bar{t}_{kr} f(t_{kr}) dt$	Promedio
Recurso medio	$\bar{t}_r$	$\int_0^{\infty} \bar{t}_r f(t_r) dt_r$	promedio
Recurso gamma	$t_{R\delta}$	$\int_{tr}^{\infty} f(t_r) dt_r$	interpolación

## Índices de Mantenibilidad

Denominación	Símbolo	Ajustado	No ajustado
Tiempo medio de reparación	$t_{\theta}$	$E(tc) = \int_0^{\infty} tcf(tc) dtc$	Promedio
Tiempo medio de restauración	$\bar{t}_0$	$E(tc) = \int_0^{\infty} tcf(tc) dtc$	Promedio
Tiempo medio improductivo debido al fallo	$\bar{t}_{\theta m}$	$E(tc) = \int_0^{\infty} tcf(tc) dtc$	Promedio
Tiempo medio de espera para reparar	$\bar{t}_{0e}$	$E(tc) = \int_0^{\infty} tcf(tc) dtc$	Promedio
Tiempo medio de búsqueda	$\bar{t}_{0b}$	$E(tc) = \int_0^{\infty} tcf(tc) dtc$	Promedio
Probabilidad de restauración en un tiempo dado	$P(\underline{tb})$	$\int_0^{tb} f(tb) dtb$	<u>Math_Numerics</u>

## Indices de Conservabilidad

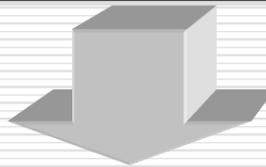
Denominación	Símbolo	Ajustado	No ajustado
Tiempo medio de conservación	$\bar{t}_c$	$E(tc) = \int_0^{\infty} tc f(tc) dtc$	Promedio
Tiempo de conservación Gamma	$t_{c\delta}$	$\int_{-\infty}^{t_c} f(tc) dtc = \delta$	Interpolación

## Calculo de los índices de fiabilidad

Ley Probabilidad	$\bar{t}$	$tk \delta$	$P(t)$	$\lambda(t)$
Exponencial	$\frac{1}{\hat{\lambda}}$	$\frac{1}{\hat{\lambda}} \cdot \ln \delta$	$e^{-\lambda t}$	$\lambda = \frac{1}{t \hat{0}}$
Weibull	$\frac{\Gamma(1 + \frac{1}{\delta})}{\hat{\lambda}^{\frac{1}{\delta}}}$	$\frac{1}{\hat{\lambda}} (-\ln \delta)$	$e^{-\lambda t^{\delta}}$	$\delta \hat{\lambda} t^{(\delta-1)}$
Normal	$\hat{\mu}$	$\hat{\mu} + z \delta \hat{\sigma}$	$P(t > tx)$	$\frac{1}{\delta} \frac{f(\frac{t - \hat{\mu}}{\delta})}{P(t)}$
Lognormal	$e^{\hat{\mu} \ln + \frac{\hat{\sigma}^2 \ln}{2}}$	$e^{\hat{\mu} \ln + z \delta \hat{\sigma} \ln}$	$P(\ln > \ln tx)$	$\frac{1}{t \hat{\sigma} \ln} f(\frac{\ln t - \hat{\mu} \ln}{\hat{\sigma} \ln})$

## Configuraciones estructurales de Fiabilidad

**Anteriormente se realizaron estudios sobre la característica de calidad que más representación tiene en la rama industrial y en la tecnología moderna, es decir, la fiabilidad. De ella se analizaron sus principales índices y la forma de calcularlos y seleccionarlos según los tipos de productos y demás, también se analizó como procesarlos para hacer utilizable cualquier información.**

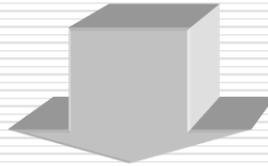


**Ahora bien, muchas estructuras y configuraciones tienen una alta complejidad lo que implica la necesidad de realizar un análisis sistémico de los mismos y separarlos para su estudio desde etapas tan tempranas como el diseño hasta los problemas del mantenimiento en subsistemas.**

## Configuraciones estructurales de Fiabilidad

**En los análisis de fiabilidad de los Sistemas complejos, es casi imposible tratar a todo el sistema como un todo o en su integridad para los análisis de las fallas y de las causas que los originan.**

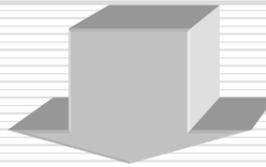
**El razonamiento lógico es el de descomponer el sistema en entidades funcionales, unidades, subsistemas o componentes asumiendo a cada división o unidad bajo al menos dos posibles estados (Fallo o Buen estado).**



**Estas divisiones de los sistemas generan una descripción en diagramas de bloques o grafos de fiabilidad que serán descritos entonces mediante los modelos adecuados que se ajustan a los sistemas representados y a la lógica funcional de los mismos.**

## Configuraciones estructurales de Fiabilidad

**La formulación de los modelos de fiabilidad para los sistemas complejos y sofisticados de la tecnología moderna puede dificultarse y se requiere para ello de muchos juicios y aproximaciones sucesivas. En estos casos las mejores soluciones estarán planteadas por aquellos grupos de trabajo a través de expertos.**



**Ahora bien, muchas estructuras y configuraciones tienen una alta complejidad lo que implica la necesidad de realizar un análisis sistémico de los mismos y separarlos para su estudio desde etapas tan tempranas como el diseño hasta los problemas del mantenimiento en subsistemas.**

### *Las estructuras elementales en las redes técnicas modernas. La Configuración Serie.*

**Configuraciones muy frecuentes en la técnica moderna son las denominadas Series y Paralelo siendo las mas elementales y de fácil descripción.**

**En otros casos la estructura y la lógica funcional de los sistemas es un poco mas compleja lo que necesita de técnicas mas complejas y enfoques mas generales.**

***Las estructuras elementales en las redes técnicas modernas. La Configuración Serie.***

***Diagramas de Bloques y Grafos de Fiabilidad***

***La forma mas común de representar las estructuras de fiabilidad de un sistema es a través de los Diagramas de Bloques o de los Grafos de Fiabilidad.***

***Ambos constituyen la representación lógico funcional de los sistemas analizados.***

## *Las estructuras elementales en las redes técnicas modernas. La Configuración Serie.*

### *Diagramas de Bloques y Grafos de Fiabilidad*

**Diagramas de Bloques:** están constituidos por bloques que representan a las unidades o subsistemas en los que se ha descompuesto para su análisis el sistema bajo estudio. Las conexiones entre las unidades representan las relaciones que mantienen las mismas.

**Grafos de Fiabilidad:** son estructuras de nodos y ramas donde cada rama constituye una unidad o subsistema en los que se ha dividido el sistema bajo estudio y los nodos son los que establecen entonces las relaciones entre las diferentes unidades. El concepto de grafo es mas amplio que el de diagrama de bloques ya que en el mismo pueden quedar planteados todos los caminos o posibilidades entre los diferentes puntos de un sistema, permitiendo además la representación de sistemas con fallos dependientes.

## Las estructuras elementales en las redes técnicas modernas. La Configuración Serie.

### Nomenclatura utilizada

*De ahora en adelante la notación utilizada será la siguiente:*

$X_n$  : Evento que representa el estado de buena operatividad de la *enésima* unidad (puede ser una letra cualquiera).

$\overline{X_n}$  : Evento que representa el fallo de la *enésima* unidad.

$P(X_n)$  : Probabilidad de que la unidad *n* funcione. También se representa como  $P_S(X_n)$

$P(\overline{X_n})$  : probabilidad de fallo de la unidad *n*. También se representa como  $P_f(X_n)$

$P_S i$  : Probabilidad de que el sistema o subsistema *i*-ésimo opere bien.

$P_f i$  : Probabilidad de fallo del sistema o subsistema *i*-ésimo.

## Las estructuras elementales en las redes técnicas modernas. La Configuración Serie.

### Nomenclatura utilizada

De ahora en adelante la notación utilizada será la siguiente:

$X_n$  : Evento que representa el estado de buena operatividad de la  $n$ -ésima unidad (puede ser una letra cualquiera).

$\bar{X}_n$  : Evento que representa el estado de mala operatividad de la  $n$ -ésima unidad.

$P(X_n)$  : Probabilidad de que el sistema o subsistema  $n$ -ésimo opere bien. representa

$P(\bar{X}_n)$  : Probabilidad de que el sistema o subsistema  $n$ -ésimo falle. representa

$P_{s i}$  : Probabilidad de que el sistema o subsistema  $i$ -ésimo opere bien.

$P_{f i}$  : Probabilidad de fallo del sistema o subsistema  $i$ -ésimo.

Además todas las formas anteriores se pueden representar en función del tiempo como por ejemplo:  $P_s(t)$ , etc.

## *Las estructuras elementales en las redes técnicas modernas. La Configuración Serie.*

### *La Configuración Serie.*

**La mas simple y quizás la estructura mas común en los análisis de fiabilidad es la Configuración Serie. En estos casos la función operativa del sistema depende de la propia operatividad de todos los componentes del sistema.**

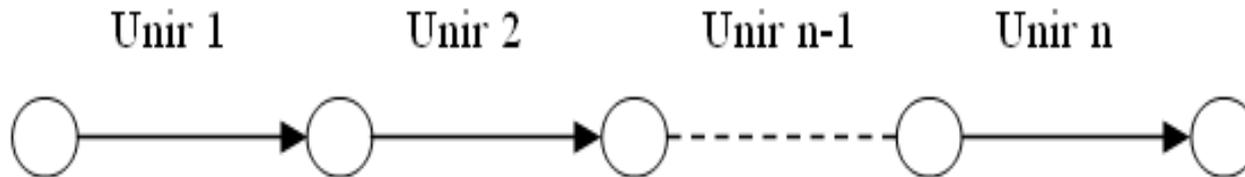
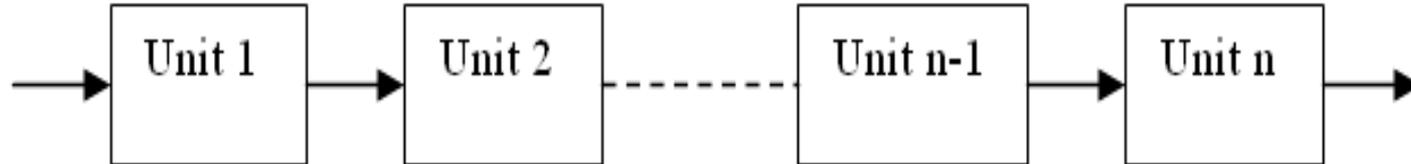
**Hay que aclarar que la estructura funcional puede diferir bastante de la configuración mecánica o eléctrica del sistema o circuito, siendo solo la relación lógico funcional la que queda plasmada en los análisis.**

**La Configuración Serie se puede representar a través de un Diagrama de Bloques o Grafo de fiabilidad donde en cualquiera de los casos un camino sencillo va desde las causas hasta el efecto, es decir, desde el **input** del sistema hasta el **output**.**

## *Las estructuras elementales en las redes técnicas modernas. La Configuración Serie.*

### *La Configuración Serie.*

Veamos a continuación el Diagrama de Bloques y el Grafo asociado.



## *Las estructuras elementales en las redes técnicas modernas. La Configuración Serie.*

### *La Configuración Serie.*

**El sistema representado es dividido en n unidades conectadas en serie, este sistema puede representar por ejemplo n unidades o partes de un amplificador electrónico, o las n operaciones para poner en orbita a un satélite artificial, etc.**

**Como la configuración Serie requiere para su éxito de que todas las unidades estén en buen estado, entonces el evento que representa la operatividad o fiabilidad del sistema  $X_s$ , es la interacción de los eventos  $X_1, X_2, \dots, X_n$ .**

$$P_s = P(x_1 \bullet x_2 \bullet \dots \bullet x_n)$$

## Las estructuras elementales en las redes técnicas modernas. La Configuración Serie.

### La Configuración Serie.

La expansión de la expresión anterior daría como resultado:

$$P_S = P(X_S) = P(X_1) * P(X_2 / X_1) * ... * P(X_n / X_1 X_2 ... X_{n-1})$$

La expresión anterior contiene probabilidades condicionales las cuales han de evaluarse con cuidado. Por el momento se hará la suposición de que los fallos son independientes, de este modo nos quedaría:

$$P_S = P(X_S) = P(X_1) * P(X_2) * ... * P(X_n)$$

O sea,

$$P_S = P(X_S) = \prod_{i=1}^n P(X_i)$$

Otra alternativa es el computo de las probabilidades de fallo del sistema pero por esta vía nos encontraremos un camino algebraico mas complicado.

## *Las estructuras elementales en las redes técnicas modernas. La Configuración Paralelo.*

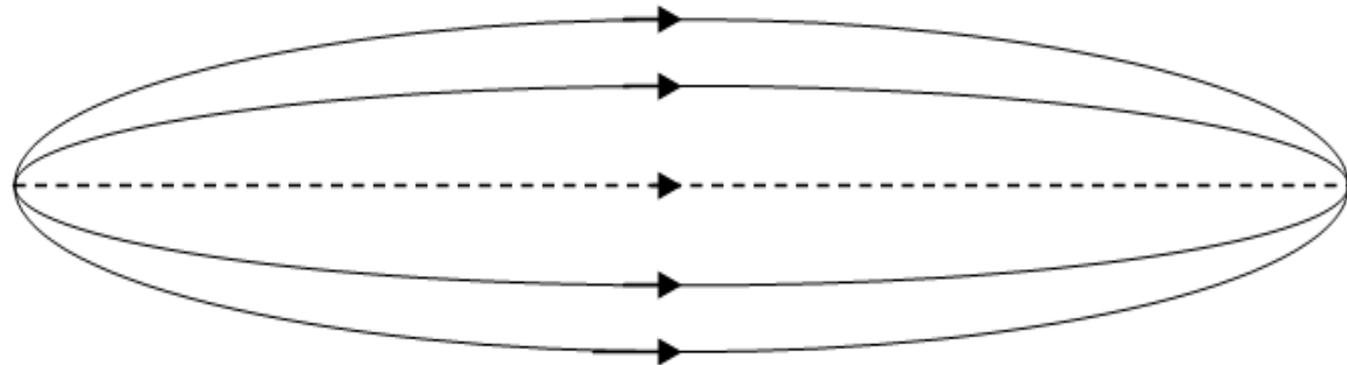
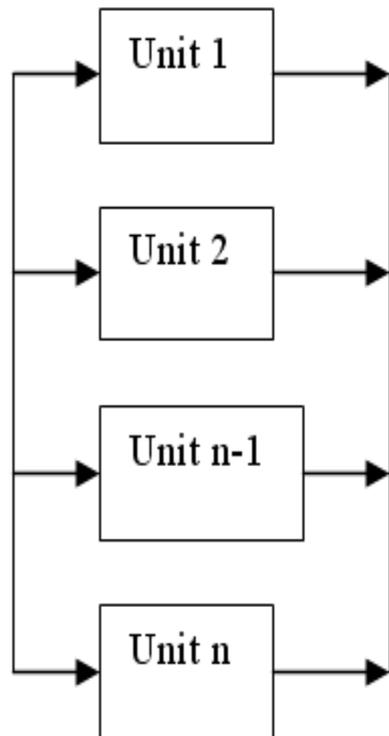
### *La Configuración Paralelo*

En muchos sistemas varios caminos ejecutan las mismas operaciones. Si la configuración es tal que el fallo de una de las unidades o varias de ellas aun permite la funcionabilidad del sistema, entonces nos encontramos en el caso de la ***Configuración Paralelo.***

Estas configuraciones son denominadas en ocasiones configuraciones redundantes, aunque este concepto es mucho mas amplio y no será objeto de estudio en este curso. Como se pueden apreciar en los diagramas correspondientes que hay  $n$  caminos entre la entrada y la salida y para que falle el sistema deben fallar todas las unidades exactamente.

## *Las estructuras elementales en las redes técnicas modernas. La Configuración Paralelo.*

Veamos a continuación el Diagrama de Bloques y el Grafo asociado.



## Las estructuras elementales en las redes técnicas modernas. La Configuración Paralelo.

### La Configuración Paralelo.

Es por lo anterior que en esta configuración se recomienda realizar primeramente la determinación de la probabilidad de fallo y luego por complemento probabilístico la determinación de la fiabilidad.

La no fiabilidad o fallo vendrá dada por:

$$P_f = P(\overline{X_s}) \text{ donde :}$$

$$\overline{X_s} = \overline{X_1} * \overline{X_2} * \dots * \overline{X_n}$$

de este modo quedaría:

$$P_f = P(\overline{X_s}) = P(\overline{X_1} * \overline{X_2} * \dots * \overline{X_n})$$

## *Las estructuras elementales en las redes técnicas modernas. La Configuración Paralelo.*

### *La Configuración Paralelo.*

La expansión algebraica de esta expresión por la regla de la multiplicación y por la suposición de que los fallos son independientes, implica que la probabilidad  $P_f$  sea:

$$P_f = P(\overline{X_s}) = \prod_{i=1}^n P(\overline{X_i})$$

Es así que la fiabilidad del sistema paralelo será:

$$P_s = P(X_s) = 1 - P_f$$

El calculo directo de la fiabilidad de un sistema con configuración en paralelo resultaría algebraicamente muy complicado por lo que se recomienda el análisis comenzando por la probabilidad de fallo.

## *Las estructuras elementales en las redes técnicas modernas. La Configuración r - out - of - n.*

### *La Configuración r - out - of - n*

En muchos problemas los sistemas operan si al menos r de los n elementos o unidades funcionan. Este sería el ejemplo de un puente soportado por n cables, donde al menos r de los cuales son necesarios para soportar el esfuerzo máximo.

Si cada unidad es idéntica, la probabilidad de que exactamente r unidades con P(t) de fiabilidad funcionen estaría dada por:

$$B(r, n, p) = \binom{n}{r} p^r (1-p)^{n-r} \quad \forall r = 0, \dots, n$$

## *Las estructuras elementales en las redes técnicas modernas. La Configuración r - out - of - n.*

### *La Configuración r - out - of - n*

En muchos problemas los sistemas operan si al menos r de los n elementos o unidades funcionan. Este sería el ejemplo de un puente soportado por n cables, donde al menos r de los cuales son necesarios para soportar el esfuerzo máximo.

El sistema funcionará si al menos r unidades funcionan, es decir, r, r+1, r+2, ..., n

$$P_S = \sum_{k=r}^n \binom{n}{k} p^k (1-p)^{n-k}$$

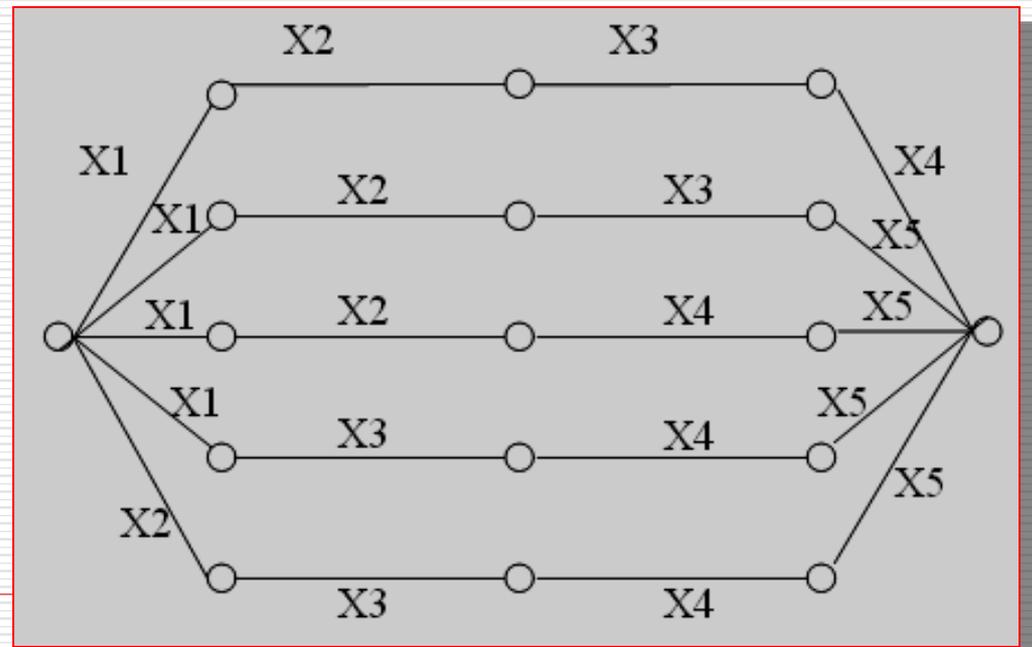
# Ingeniería de la Fiabilidad - Reliability Engineering

*Las estructuras elementales en las redes técnicas modernas. La Configuración r - out - of - n.*

*La Configuración r - out - of - n*

**Ejemplo de un sistema de 5 unidades, donde al menos 4 de las cuales son imprescindibles para el funcionamiento**

$$P_S = \sum_{k=r}^n \binom{n}{k} p^k (1-p)^{n-k}$$



## Ingeniería de la Fiabilidad - Reliability Engineering

*Las estructuras elementales en las redes técnicas modernas. La Configuración r - out - of -n.*

*La Configuración r - out - of -n*

Si las unidades difieren la ecuación anterior se convertirá en una forma explícita de la distribución multinomial y se tendrá que plantear la enumeración exhaustiva de cada una de la probabilidades involucradas.

El análisis para estos sistemas se puede facilitar por los grafos asociados con

el trazado de todos los caminos posibles, de este modo el grafo tendría  $\binom{n}{r}$  caminos.

## Configuraciones de Fiabilidad

### Métodos de solución en análisis estructural

- *Método de Inspección. (Inspection Method).*
- *Método de Espacios y Eventos. (Space Event Method).*
- *Método de Trazado de Caminos. (Path Tracing).*
- *Método de Grupos de Corte y Ataduras. (Cut set & Tie set Method).*
- *Método de Composición. (Composition Method).*

## *Configuraciones de Fiabilidad*

### *Método de Inspección*

**Si el sistema bajo estudio involucra un pequeño número de unidades, es fácil desarrollar una expresión de fiabilidad por simple inspección. Por ejemplo, dos unidades pueden estar en serie o en paralelo, tres unidades en serie, en paralelo o una en serie con otras dos en paralelo. Para otros casos no es aplicable el método tan fácilmente y en algunos casos es inaplicable.**

## *Configuraciones de Fiabilidad*

## *Método de Inspección*

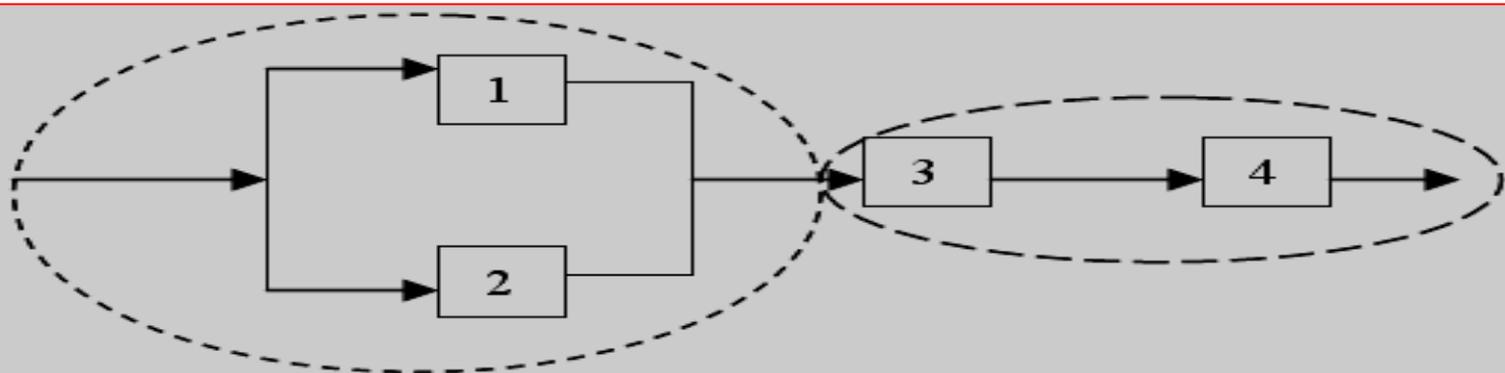
### ***Aplicación del método***

**Este método es aplicable siempre que los sistemas contengan una cantidad de unidades las cuales se puedan agrupar en subsistemas los cuales posean dentro de ellos estructuras elementales, pero tienen que poseer entre ellos también estructuras o configuraciones elementales.**

## *Configuraciones de Fiabilidad*

## *Método de Inspección*

**Veamos a continuación el desarrollo del método para analizar la fiabilidad de un sistema complejo.  
Sea un sistema con todas sus unidades idénticas e independientes (IIU)**



Subsistema 1

Subsistema 2

$$P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = p \quad (\text{por ser las unidades IIU})$$

$$P_{s1-2} = 1 - \prod_{i=1}^2 (1 - p) \quad (\text{por se dos unidades en paralelo})$$

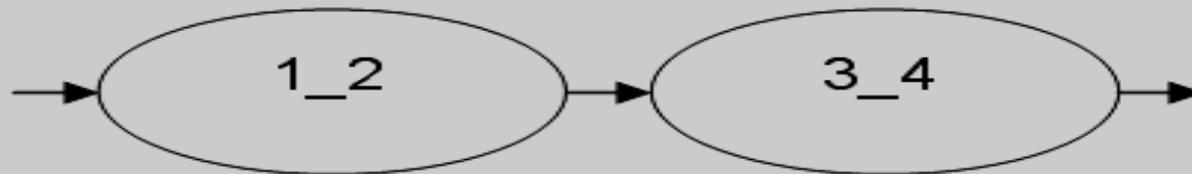
Expresión de fiabilidad del subsistema 1\_2

$$P_{s1-2} = 1 - (1 - p^2) = 1 - (1 - 2p + p^2) = 2p - p^2$$

Expresión de fiabilidad del subsistema 3\_4

$$P_{s3-4} = \prod_{i=3}^4 (p) = p^2 \quad (\text{por estar ambas unidades en serie})$$

La fiabilidad del sistema completo sería entonces:

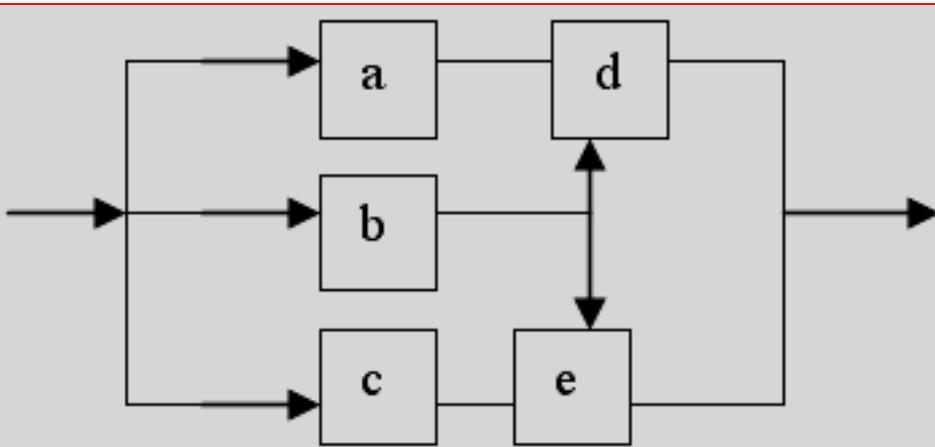


$$P_s = \prod_{1,2}^{3,4} P_{i,j} = P_{s1,2} * P_{s3,4} = (2p - p^2) p^2 = \boxed{(2p^3 - p^4)}$$

## Configuraciones de Fiabilidad

### Métodos Generales

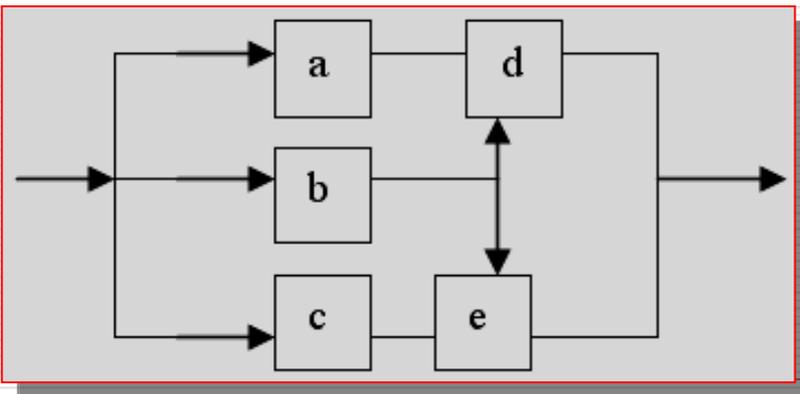
Como se ha visto hasta aquí ya se tienen todas las posibilidades para estos sistemas serie-paralelo o paralelo-serie, sin embargo para un sistema como el siguiente la aplicación de tales métodos no es factible:



## Configuraciones de Fiabilidad

### *Método de Espacios y Eventos (Space\_Event Method).*

**Este método es una solución factible y exacta de los sistemas complejos de la fiabilidad, su basamento es la aplicación de la probabilidad de conjuntos donde el espacio muestral del mismo se divide en todos los eventos exhaustivos y excluyentes que lo componen de una forma organizada.**



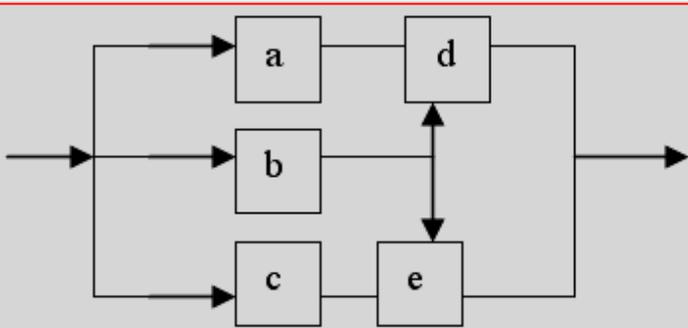
## Configuraciones de Fiabilidad

### *Método de Espacios y Eventos (Space\_Event Method).*

#### **Aplicación del método.**

**Este método es aplicable a cualquier situación de estructuras complejas de la fiabilidad, pero tiene la limitante de la excesiva enumeración de todos los posibles eventos exhaustivos y excluyentes del espacio muestral que conforma la estructura.**

**Es aplicable cuando los componentes del sistema no exceden las 6 unidades debido a la limitante anterior.**



## Configuraciones de Fiabilidad

### Método de Espacios y Eventos (*Space\_Event Method*).

#### *Pasos del método*

1. Cantidad de eventos  $(2)^n$ .
2. Construcción de grupos según cantidad de unidades fallidas  $(n+1)$  grupos.
3. Inclusión de los eventos en cada grupo.

Los grupos se denotan como:

Grupo  $i$   $[0... n]$  donde  $i$  es cantidad de unidades fallidas y en cada

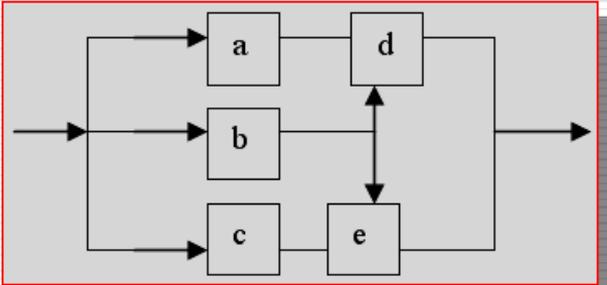
grupo existen  $\binom{n}{i}$  eventos.

4. Marcar los eventos exitosos.
5. La suma de esas probabilidades es la fiabilidad del sistema.

## Configuraciones de Fiabilidad

### Método de Espacios y Eventos (*Space\_Event Method*).

Para facilitar el trabajo con la secuencia de pasos anteriores se requiere de una tabla ordenada como la siguiente en la que ya quedan organizados todos los grupos y probabilidades de los eventos.



Grupo 0	Grupo 1	Grupo i...	Grupo n

# Ingeniería de la Fiabilidad - Reliability Engineering

## Configuraciones de Fiabilidad

### Método de Espacios y Eventos (Space\_Event Method).

Grupo 0	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5
$[abcde]$	$[\bar{a}bcde]$	$[\bar{a}\bar{b}cde]$	$\bar{a}\bar{b}cde$	$\bar{a}bc\bar{d}e$	$\bar{a}bcde$
	$[a\bar{b}cde]$	$[\bar{a}\bar{b}\bar{c}de]$	$[\bar{a}\bar{b}\bar{c}\bar{d}e]$	$\bar{a}bc\bar{d}\bar{e}$	
	$[ab\bar{c}de]$	$[\bar{a}\bar{b}c\bar{d}e]$	$\bar{a}bc\bar{d}\bar{e}$	$\bar{a}bcde$	
	$[abc\bar{d}e]$	$[\bar{a}\bar{b}c\bar{d}\bar{e}]$	$[\bar{a}\bar{b}\bar{c}\bar{d}\bar{e}]$	$\bar{a}bcde$	
	$[abcd\bar{e}]$	$[\bar{a}\bar{b}\bar{c}de]$	$[\bar{a}\bar{b}\bar{c}d\bar{e}]$		
		$[\bar{a}\bar{b}\bar{c}\bar{d}e]$	$\bar{a}bc\bar{d}\bar{e}$		
		$[\bar{a}\bar{b}c\bar{d}\bar{e}]$	$\bar{a}bcde$		
		$[\bar{a}bc\bar{d}\bar{e}]$	$[\bar{a}\bar{b}\bar{c}\bar{d}\bar{e}]$		
		$[\bar{a}bcde]$	$\bar{a}bc\bar{d}\bar{e}$		
		$abc\bar{d}\bar{e}$	$abc\bar{d}\bar{e}$		

## Configuraciones de Fiabilidad

### Método de Espacios y Eventos (Space\_Event Method).

Grupo 0	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5
$[abcde]$	$[\bar{a}bcde]$	$[\bar{a}\bar{b}cde]$	$\bar{a}\bar{b}cde$	$\bar{a}bc\bar{d}e$	$\bar{a}bcde$
	$[a\bar{b}cde]$	$[\bar{a}\bar{b}\bar{c}de]$	$[\bar{a}\bar{b}\bar{c}\bar{d}e]$	$\bar{a}bc\bar{d}\bar{e}$	
	$[ab\bar{c}de]$	$[\bar{a}\bar{b}c\bar{d}e]$	$\bar{a}bc\bar{d}\bar{e}$	$\bar{a}bcde$	
	$[abc\bar{d}e]$	$[\bar{a}\bar{b}c\bar{d}\bar{e}]$	$[\bar{a}\bar{b}\bar{c}\bar{d}\bar{e}]$	$\bar{a}bcde$	
	$[abcd\bar{e}]$	$[\bar{a}\bar{b}\bar{c}de]$	$[\bar{a}\bar{b}\bar{c}d\bar{e}]$		
		$[\bar{a}\bar{b}\bar{c}\bar{d}e]$	$\bar{a}\bar{b}\bar{c}\bar{d}e$		
		$[\bar{a}\bar{b}c\bar{d}\bar{e}]$	$\bar{a}\bar{b}c\bar{d}\bar{e}$		
		$[\bar{a}bc\bar{d}\bar{e}]$	$[\bar{a}\bar{b}\bar{c}\bar{d}\bar{e}]$		
		$[\bar{a}bcde]$	$\bar{a}bcde$		
		$abc\bar{d}\bar{e}$	$abc\bar{d}\bar{e}$		

## Configuraciones de Fiabilidad

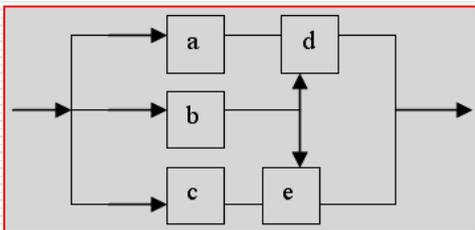
### Método de Trazado de caminos (Path Tracing Method).

## Aplicación del método.

Este método es aplicable a configuraciones complejas donde se elimina el conteo exhaustivo de eventos del método de Espacio y Eventos.

El procedimiento es sencillo:

1. Todos los bloques se consideran fallidos.
2. Se considera cada bloque individualmente como en BUEN ESTADO y si es un evento de ÉXITO se le adiciona en la función de Probabilidad.
3. Se consideran los pares de bloques, tripletas, cuartetas y así sucesivamente como en BUEN ESTADO y si son eventos de ÉXITO se le adiciona en la función de Probabilidad. Para reducir álgebra posterior se eliminan de aquí los eventos que incluyen en su interior a las combinaciones de orden inferior.



## Configuraciones de Fiabilidad

### Método de Trazado de caminos (Path Tracing Method).

## Aplicación del método.

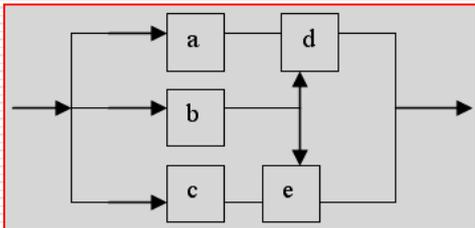
Este método es aplicable a configuraciones complejas donde se elimina el conteo exhaustivo de eventos del método de Espacio y Eventos.

El procedimiento es sencillo:

1. Todos los bloques se consideran fallidos.

$$P_S = ( \quad )$$

Es lógico no colocar ningún evento al principio



## Configuraciones de Fiabilidad

### Método de Trazado de caminos (Path Tracing Method).

## Aplicación del método.

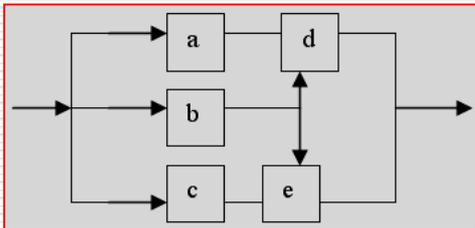
Este método es aplicable a configuraciones complejas donde se elimina el conteo exhaustivo de eventos del método de Espacio y Eventos.

El procedimiento es sencillo:

2. Se considera cada bloque individualmente como en BUEN ESTADO y si es un evento de ÉXITO se le adiciona en la función de Probabilidad.


$$P_S = ( )$$

No hay bloques simples que impliquen evento de éxito. Queda vacía aún la función



## Configuraciones de Fiabilidad

### Método de Trazado de caminos (Path Tracing Method).

## Aplicación del método.

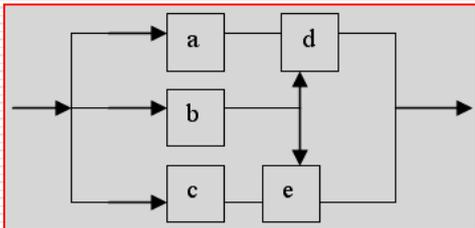
Este método es aplicable a configuraciones complejas donde se elimina el conteo exhaustivo de eventos del método de Espacio y Eventos.

El procedimiento es sencillo:

3. Se consideran los **pares de bloques**, tripletas, cuartetos y así sucesivamente como en BUEN ESTADO y si son eventos de ÉXITO se le adiciona en la función de Probabilidad. Para reducir álgebra posterior se eliminan de aquí los eventos que incluyen en su interior a las combinaciones de orden inferior.



$$P_s = (ad + bd + be + ce)$$



## Configuraciones de Fiabilidad

### Método de Trazado de caminos (Path Tracing Method).

#### Aplicación del método.

Este método es aplicable a configuraciones complejas donde se elimina el conteo exhaustivo de eventos del método de Espacio y Eventos.

El procedimiento es sencillo:

3. Se consideran los pares de bloques, **tripletas**, cuartetos y así sucesivamente como en BUEN ESTADO y si son eventos de ÉXITO se le adiciona en la función de Probabilidad. Para reducir álgebra posterior se eliminan de aquí los eventos que incluyen en su interior a las combinaciones de orden inferior.

*abc*

*abd*

*abe*

*acd*

*ace*

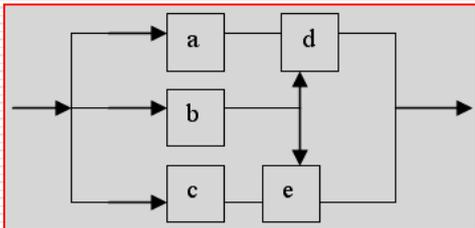
*ade*

*bcd*

*bce*

*bde*

*cde*

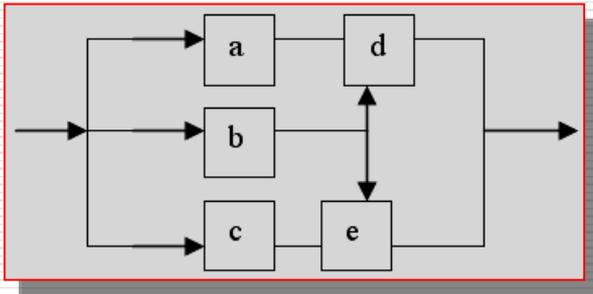


$$P_s = (ad + bd + be + ce)$$

## Configuraciones de Fiabilidad

### Método de Trazado de caminos (Path Tracing Method).

↩  $P_s = (ad + bd + be + ce)$



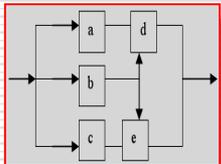
**Note que la primera tripleta no es evento de éxito. El resto contienen ya a los pares exitosos por lo que no se consideran.**

- abc*
- abd*
- abe*
- acd*
- ace*
- ade*
- bcd*
- bce*
- bde*
- cde*

## Configuraciones de Fiabilidad

### Método de Trazado de caminos (Path Tracing Method).

↩  $P_s = (ad + bd + be + ce)$



Eventos exitosos iniciales	2 Events combined	3 Events combined	4 Events combined
E1: <b>ad</b>	E1+E2: <b>abd</b>	E1+E2+E3: <b>abde</b>	E1+E2+E3+E4: <b>abcde</b>
E2: <b>bd</b>	E1+E3: <b>abde</b>	E1+E2+E4: <b>abcde</b>	
E3: <b>be</b>	E1+E4: <b>acde</b>	E1+E3+E4: <b>abcde</b>	
E4: <b>ce</b>	E2+E3: <b>bde</b>	E2+E3+E4: <b>bcde</b>	
	E2+E4: <b>bcde</b>		
	E3+E4: <b>bce</b>		

La solución queda como:

$$P_s = P(ad) + P(bd) + P(be) + P(ce) - P(abd) - P(abde) - P(acde) - P(bde) - P(bcde) - P(bce) + P(abde) + P(abcde) + P(abcde) + P(bcde) - P(abcde)$$

## Configuraciones de Fiabilidad

### Método de Trazado de caminos (Path Tracing Method).

Eventos exitosos iniciales	2 Events combined	3 Events combined	4 Events combined
E1: ad	E1+E2: abd		bcde
E2: bd	E1+E3: abde		
E3: be	E1+E4: acde		
E4: ce	E2+E3: bde		
	E2+E4: bcde		
	E3+E4: bce		

**Es fácil notar lo siguiente:  
Estos dos eventos son iguales y de signo contrario, por lo que se anulan**

La solución queda como:

$$P_s = P(ad) + P(bd) + P(\cancel{be}) + P(ce) - P(abd) - P(\cancel{abde}) - P(acde) - P(bde) - P(bcde) - P(bce) + P(abde) + P(abcde) + P(\cancel{abcde}) + P(bcde) - P(abcde)$$

## Configuraciones de Fiabilidad

### Método de Trazado de Caminos. (Path Tracing).

Eventos exitosos iniciales	2 Events combined	3 Events combined	4 Events combined
E1: ad	E1+E2: abd	E1+E2+E3	
E2: bd	E1+E3: abde	E1+E2+E4	
E3: be	E1+E4: acde	E1+E3+E4	
E4: ce	E2+E3: bde	E2+E3+E4	
	E2+E4: bcde		
	E3+E4: bce		

También ocurre lo mismo con estos eventos; son iguales y de signo contrario, por lo que se anulan

La solución queda como:

$$P_s = P(ad) + P(bd) + P(be) + P(ce) - P(abd) - P(acde) - P(bde) - P(bcde) - P(bce) + P(abcde) + P(abcde) + P(bcde) - P(abcde)$$

# Ingeniería de la Fiabilidad - Reliability Engineering

## Configuraciones de Fiabilidad

### Método de Trazado de Caminos. (Path Tracing).

Eventos exitosos iniciales	2 Events combined	3 Events combined	4 Events combined
E1: ad	E1+E2: abd	E1+E2+E3:	
E2: bd	E1+E3: abde	E1+E2+E4:	
E3: be	E1+E4: acde	E1+E3+E4:	
E4: ce	E2+E3: bde	E2+E3+E4:	
	E2+E4: bcde		
	E3+E4: bce		

También ocurre lo mismo con estos eventos; son iguales y de signo contrario, por lo que se anulan

La solución queda como:

$$P_s = P(ad) + P(bd) + P(be) + P(ce) - P(abd) - P(bce) + P(abcde) + P(abcde) - P(acde) - P(bde) - P(abcde)$$

## Configuraciones de Fiabilidad

### Método de Trazado de Caminos. (Path Tracing).

Eventos exitosos iniciales	2 Events combined	3 Events combined	4 Events combined
E1: <b>ad</b>	E1+E2: <b>abd</b>	E1+E2+E3: <b>abde</b>	E1+E2+E3+E4: <b>abcde</b>
E2: <b>bd</b>	E1+E3: <b>abde</b>	E1+E2+E4: <b>abcde</b>	
E3: <b>be</b>	E1+E4: <b>acde</b>	E1+E3+E4: <b>abcde</b>	
E4: <b>ce</b>	E2+E3: <b>bde</b>	E2+E3+E4: <b>bcde</b>	
	E2+E4: <b>bcde</b>		
	E3+E4: <b>bce</b>		

La solución queda como:

$$P_s = P(ad) + P(bd) + P(be) + P(ce) - P(abd) - P(acde) - P(bde) - P(bce) + P(abcde)$$

## Configuraciones de Fiabilidad

### Método de Trazado de Caminos. (Path Tracing).

Eventos exitosos iniciales	2 Events combined	3 Events combined	4 Events combined
E1: <b>ad</b>	E1+E2: <b>abd</b>	E1+E2+E3: <b>abde</b>	E1+E2+E3+E4: <b>abcde</b>
E2: <b>bd</b>	E1+E3: <b>abde</b>	E1+E2+E4: <b>abcde</b>	
E3: <b>be</b>	E1+E4: <b>acde</b>	E1+E3+E4: <b>abcde</b>	
E4: <b>ce</b>	E2+E3: <b>bde</b>	E2+E3+E4: <b>bcde</b>	
	E2+E4: <b>bcde</b>		
	E3+E4: <b>bce</b>		

La solución queda como:

$$P_s = P(ad) + P(bd) + P(be) + P(ce) - P(abd) - P(acde) - P(bde) - P(bce) + P(abcde)$$

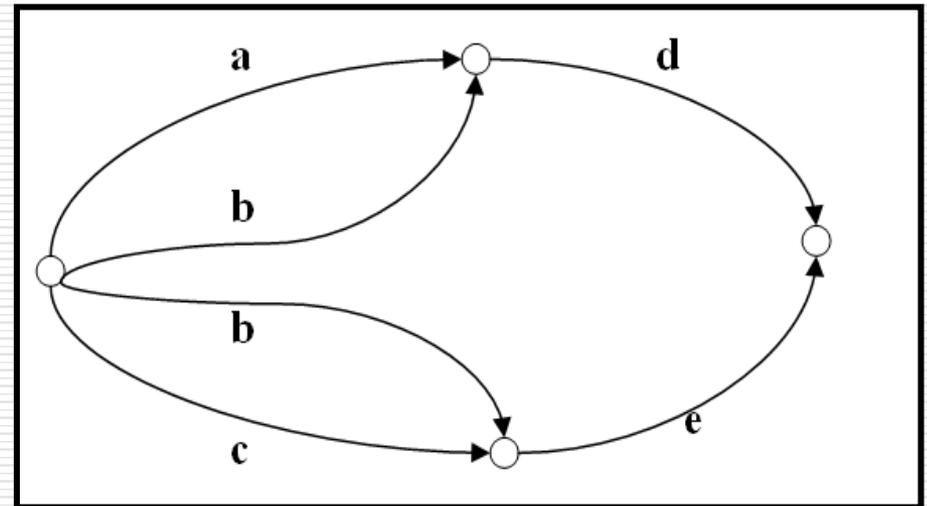
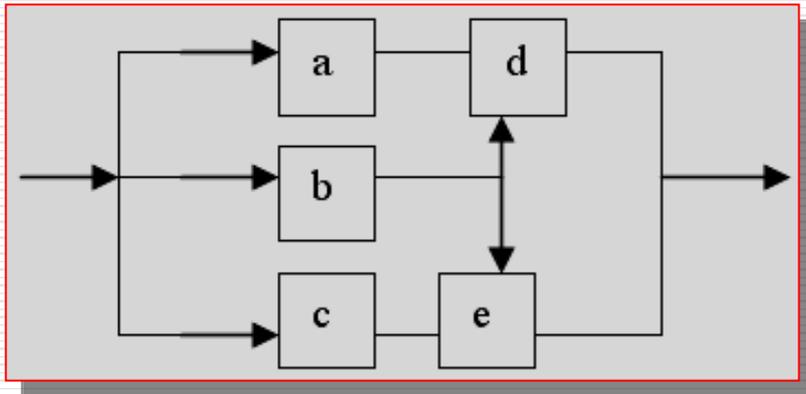
Si todas las Unidades son Idénticas e Independientes se obtiene:

$$P_s = 4p^2 - 3p^3 - p^4 + p^5$$

## Configuraciones de Fiabilidad

### Método de Cortes y Ataduras (Cut-set Tie-set Method).

Es un método muy eficiente para el cálculo de la fiabilidad de sistemas complejos donde no existan fallos dependientes, y se basa en las propiedades de los Grafos de fiabilidad.

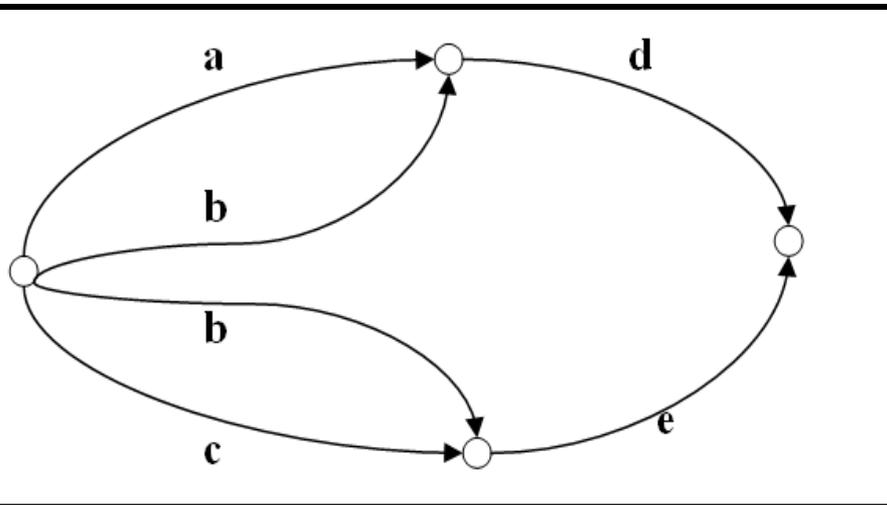


## Configuraciones de Fiabilidad

### Método de Grupos de Corte y Atadura (Cut-Set & Tie-Set).

Los grupos de atadura (Tie-Set) son un grupo de ramas del grafo que conforman un enlace entre el input y el output del sistema bajo análisis.

Se trata aquí de forma principal de trabajar con los grupos minimales de atadura. (minimal Tie-Set)



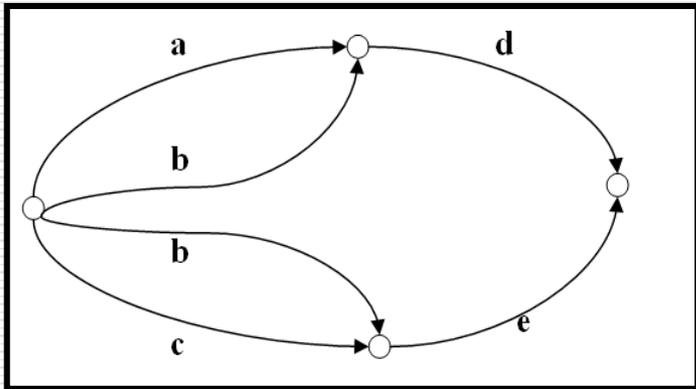
**Minimal Tie-Set:** Si ningún nodo es recorrido más de una vez por el Grupo de atadura, entonces el mismo es minimal.

La fiabilidad del sistema es la suma de las probabilidades de ocurrencia de todos los grupos minimales

## Configuraciones de Fiabilidad

### Método de Grupos de Corte y Atadura (Cut-Set & Tie-Set).

La solución por este método no es más que una forma más precisa del método de Trazado de Caminos, pero empleando las propiedades de los Grafos



#### Grupos de atadura minimal en el grafo

T1	ad
T2	
T3	
T4	

Como es de notar, la solución es idéntica al método de Path-Tracing

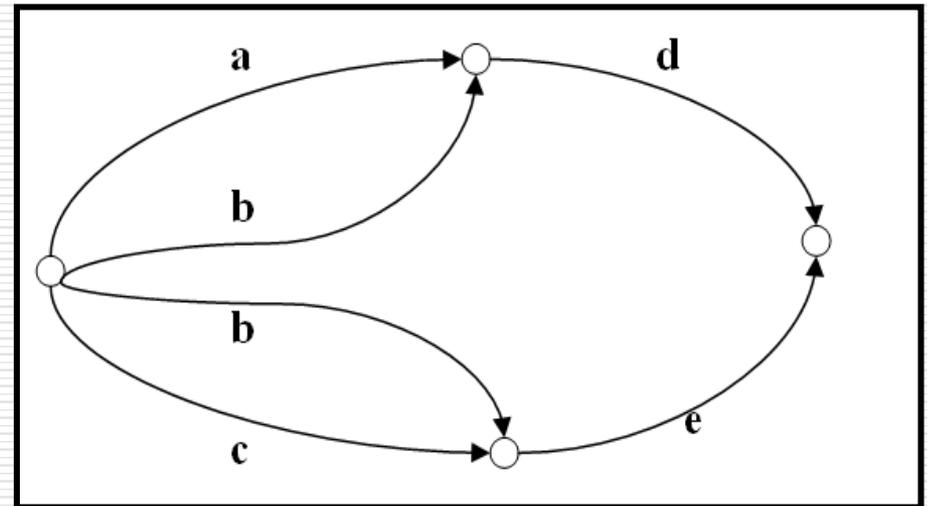
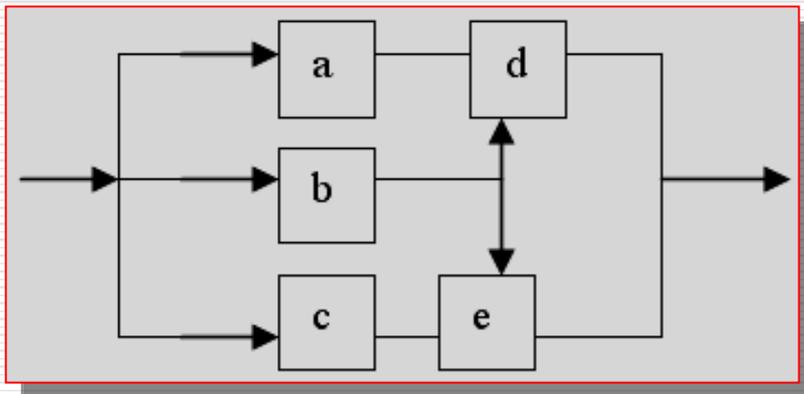
$$P_s = P(T1 + T2 + T3 + T4)$$

$$P_s = P(ad + bd + be + ce)$$

## Configuraciones de Fiabilidad

### Método de Descomposición (Decomposition Method).

Este método se basa en descomponer estructuras complejas en cada vez más sencillas tras la aplicación sucesiva de las probabilidades condicionales y el principio de Bayes.



# Ingeniería de la Fiabilidad - Reliability Engineering

## Configuraciones de Fiabilidad

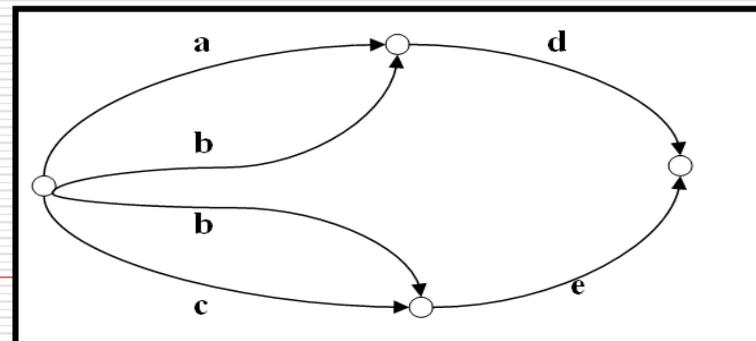
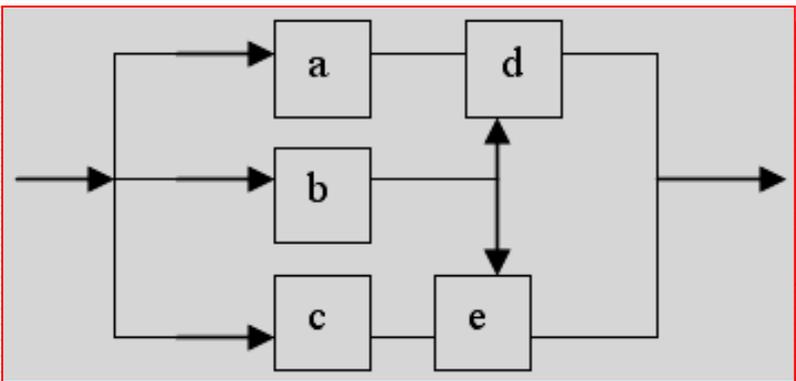
### Método de Descomposición (Decomposition Method).

La técnica comienza con la selección de un elemento clave, que es el que debe unir o enlazar al resto de los elementos del sistema.

#### Criterios para seleccionar el elemento clave:

1. El que esté más al centro de la estructura
2. El que mayor número de relaciones tenga
3. El que más sencillo haga el sistema al eliminarse

**Nota:** cualquier elemento puede ser el clave, pero de no hacerse una buena selección se necesitarán mas iteraciones de descomposición

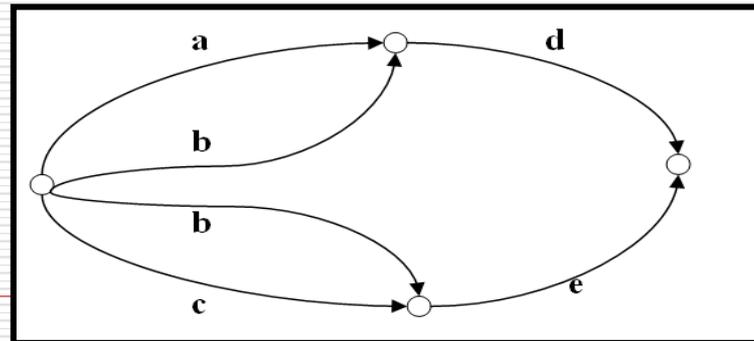
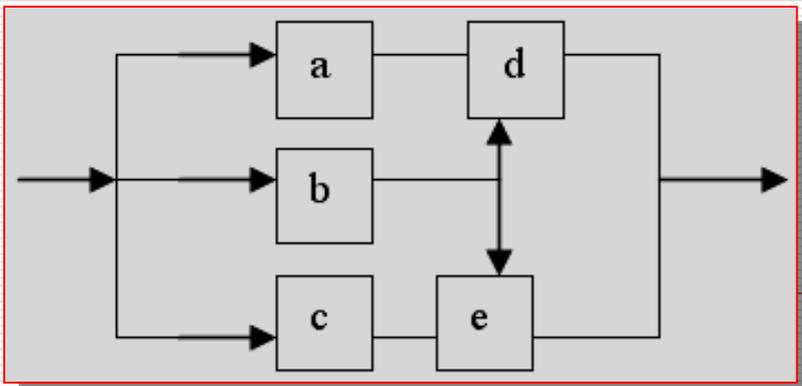


## Configuraciones de Fiabilidad

### Método de Descomposición (Decomposition Method).

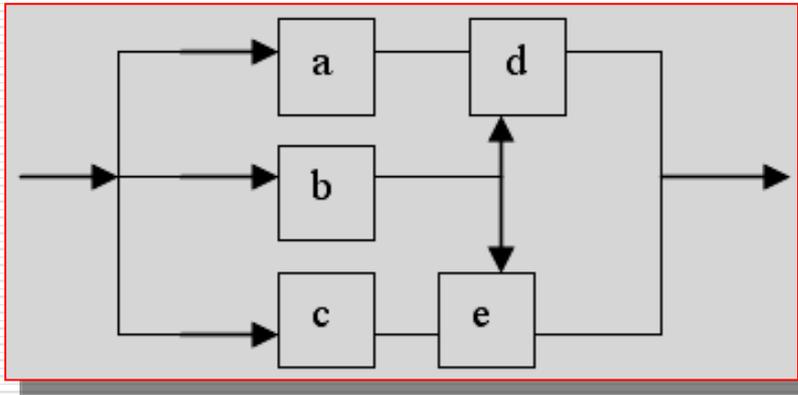
Desde el punto de vista del elemento clave ( $X_C$ ) la solución se puede expresar como:

$$P_s = P(x_C)P(\text{system good} / x_C) + P(\bar{x}_C)P(\text{system good} / \bar{x}_C)$$



## Configuraciones de Fiabilidad

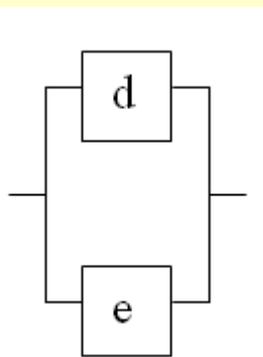
### Método de Descomposición (Decomposition Method).



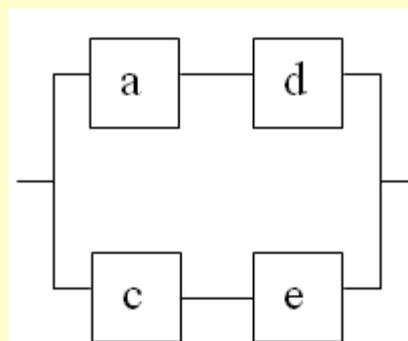
Sea **b** el elemento clave

$$P_s = P(x_c)P(\text{system good} / x_c) + P(\bar{x}_c)P(\text{system good} / \bar{x}_c)$$

$$P_s = P(b)$$



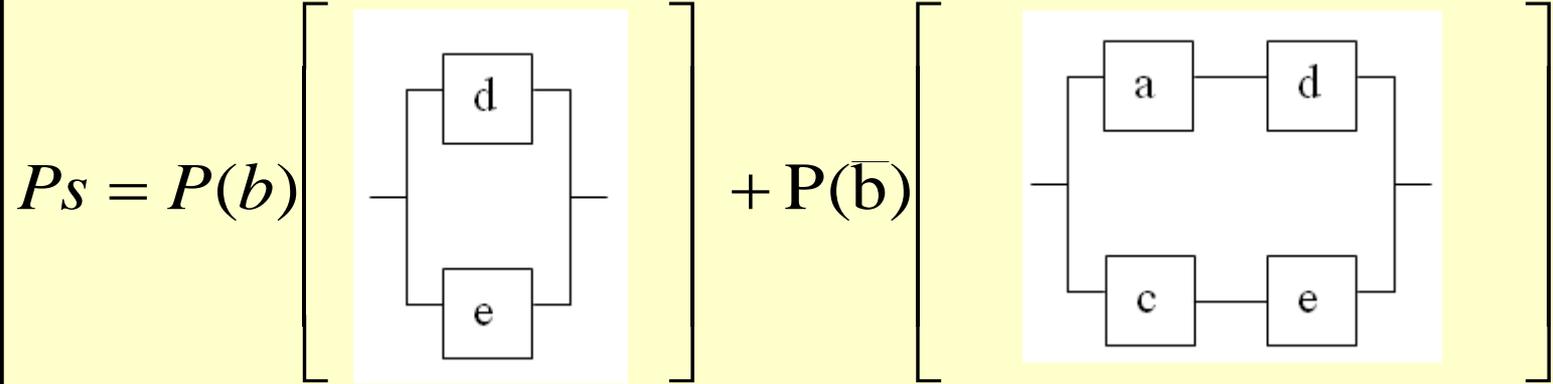
$$+ P(\bar{b})$$



## Configuraciones de Fiabilidad

### Método de Descomposición (Decomposition Method).

$$P_s = P(\bar{x}_C)P(\text{system good} / \bar{x}_C) + P(x_C)P(\text{system good} / x_C)$$



$$P_s = p(2p - p^2) + (1 - p)(2p^2 - p^4)$$

$$P_s = 2p^2 - p^3 + 2p^2 - p^4 - 2p^3 + p^5$$

$$P_s = p^5 - p^4 - 3p^3 + 4p^2$$

## ***Modelo de Fallos Críticos***

### **Empleo:**

Para sistemas con un alto nivel de interacción entre sus componentes. Esto hace en extremo difícil modelar los sistemas mediante Diagramas de bloques o Grafos.

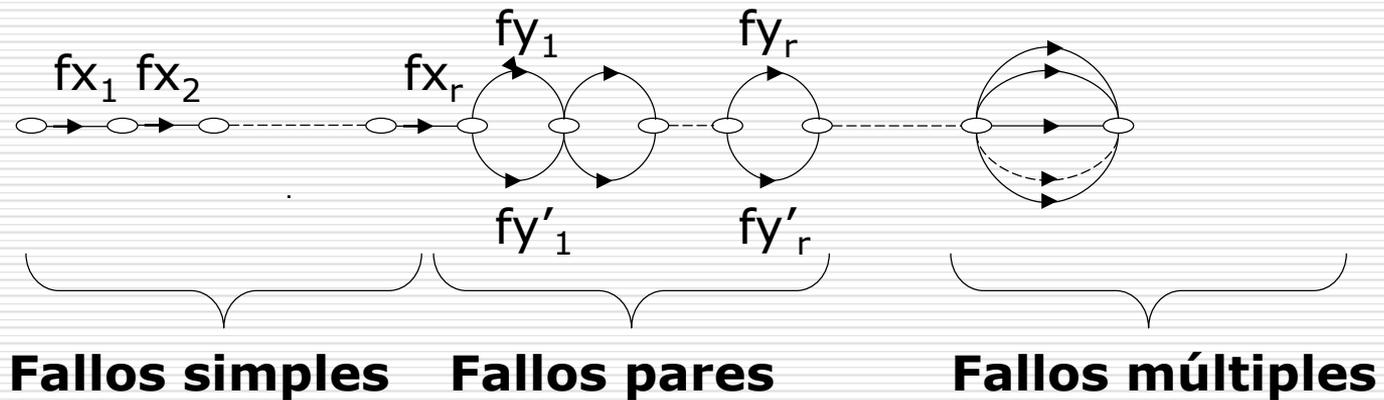
### **Principio:**

**Componentes críticos:** aquellos para los cuales un simple fallo implica el fallo del Sistema.

**Componentes no críticos :** para los cuales un fallo simple no implica el fallo del Sistema, pero cuando ocurren fallos en pares, tripletas, y así sucesivamente, entonces en su conjunto son fallos críticos.

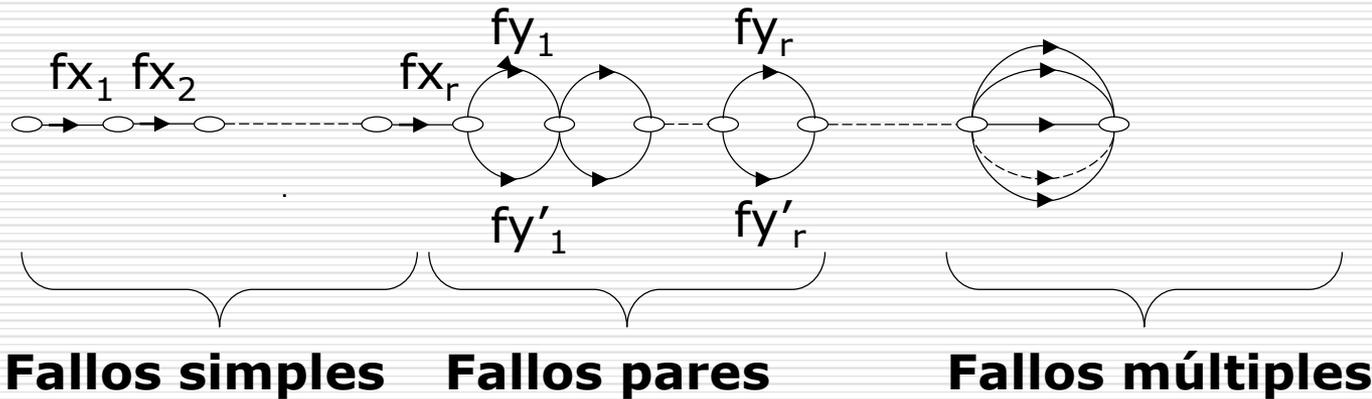
## Modelo de Fallos Críticos

### Configuración estructural para el modelo de fallos críticos



## Modelo de Fallos Críticos

### Configuración estructural para el modelo de fallos críticos



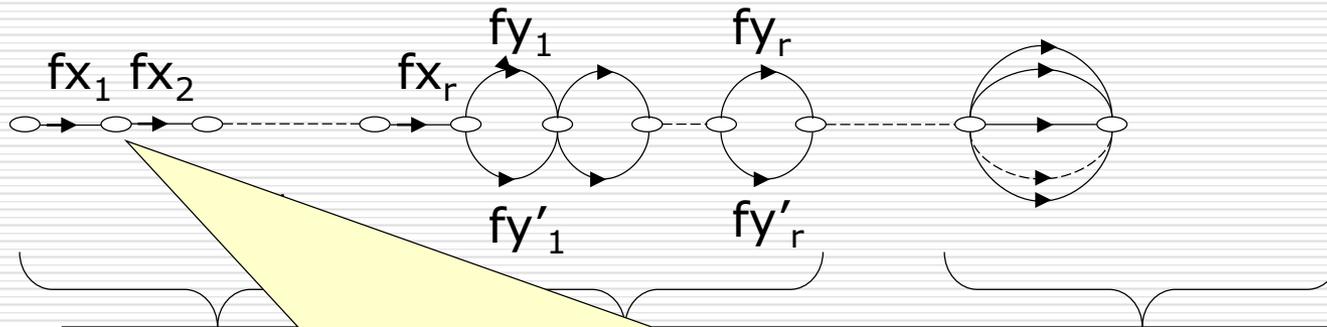
## Fiabilidad del Sistema

Aquí debe primar en los análisis la lógica de funcionalidad del sistema

1. Los **COMPONENTES CRÍTICOS** tienen que estar en **BUEN ESTADO** para que el sistema opere.

## Modelo de Fallos Críticos

### Configuración estructural para el modelo de fallos críticos



**Fa** Como bien queda representado en el Grafo, el fallo  
**Fi** de cualquier componente lleva al fallo del Sistema.  
**Ac** Por tanto esta sección estará en BUEN ESTADO si  
**sis** exactamente no ocurren esos fallos.

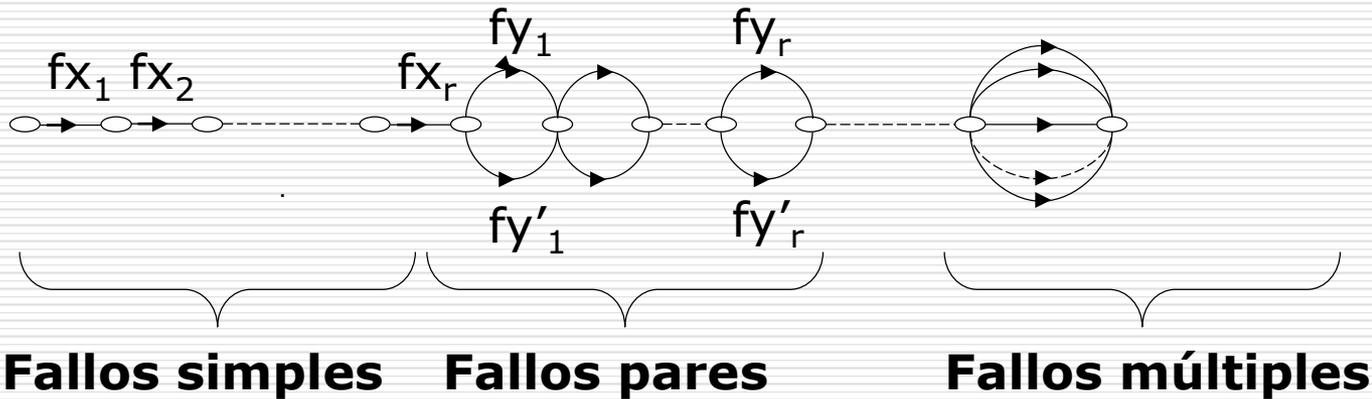
$$P(S_X) = \prod_{i=1}^{r_X} P x_i = p(x_1) p(x_2) \dots p(x_{r_X})$$

dad del

UEN

## Modelo de Fallos Críticos

### Configuración estructural para el modelo de fallos críticos



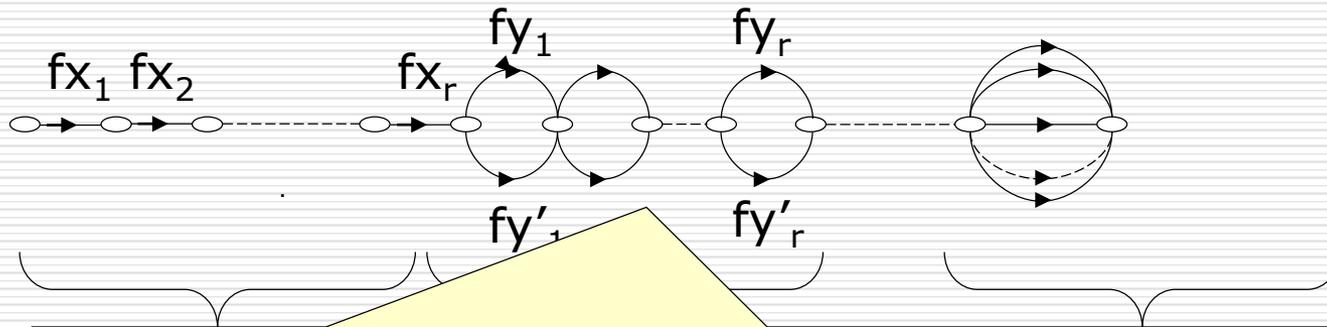
## Fiabilidad del Sistema

Aquí debe primar en los análisis la lógica de funcionalidad del sistema

2. En los COMPONENTES NO CRÍTICOS (pares) no pueden ocurrir esos pares de fallos, es decir, al menos tiene que **no existir** uno de los fallos para que tenga lugar el BUEN ESTADO del Sistema.

## Modelo de Fallos Críticos

### Configuración estructural para el modelo de fallos críticos



**Considere cada par de fallos como una unidad.**

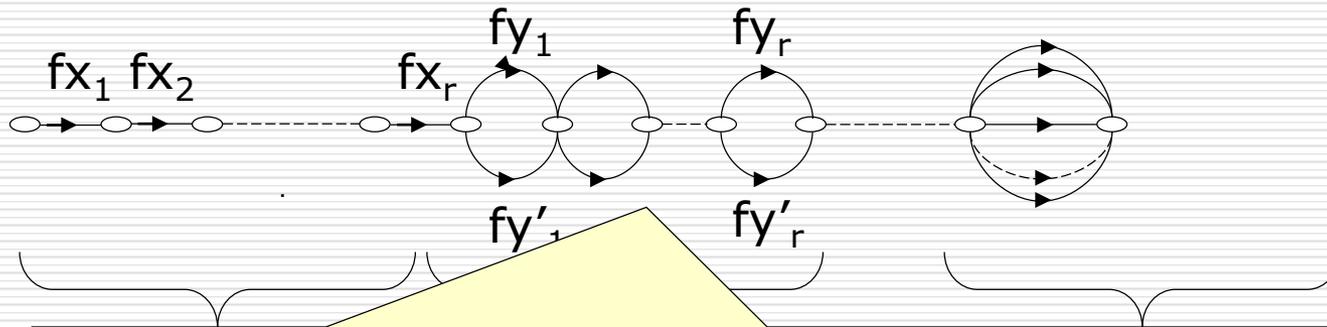
**Para que esa unidad funcione debe al menos no ocurrir uno de los fallos, eso es, ocurra uno o ninguno.**

**Matemáticamente:**

$$P(S_X) = \prod_{i=1}^{r_X} P_{X_i} \left[ \sum_{i=r_Y-1}^{r_Y} \binom{r_Y}{i} P_{Y^i} (1 - P_{Y^i})^{r_Y-i} \right]$$

## Modelo de Fallos Críticos

### Configuración estructural para el modelo de fallos críticos

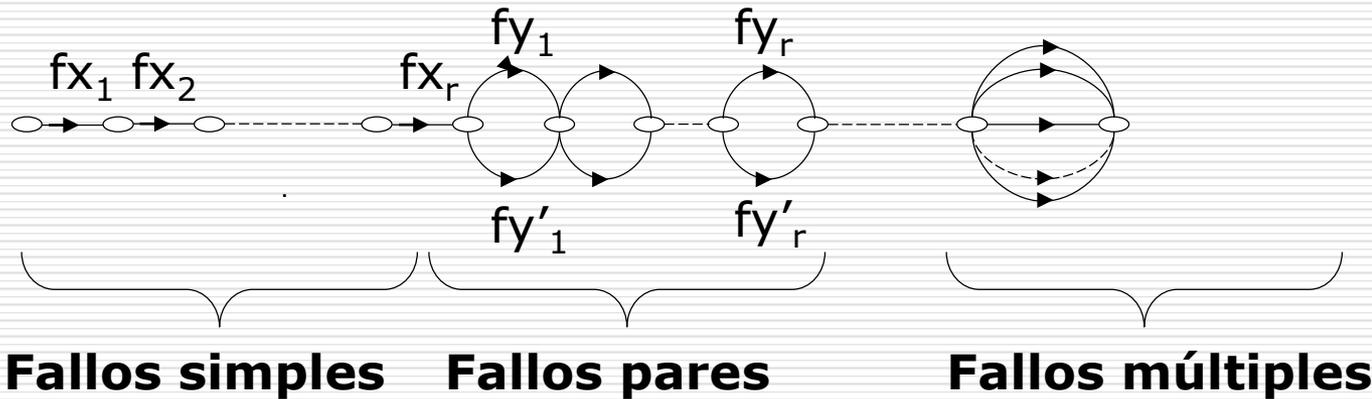


Aquí  $P_y$  es la probabilidad de no ocurrir el fallo  $f_y$

$$P(S_X) = \prod_{i=1}^{r_X} P_{X_i} \left[ \sum_{i=r_Y-1}^{r_Y} \binom{r_Y}{i} P_y^i (1 - P_y)^{r_Y-i} \right]$$

## Modelo de Fallos Críticos

### Configuración estructural para el modelo de fallos críticos



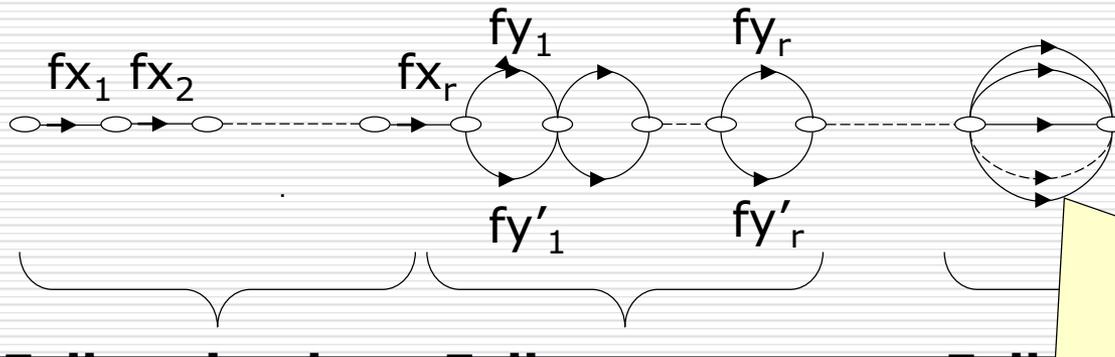
## Fiabilidad del Sistema

Aquí debe primar en los análisis la lógica de funcionalidad del sistema

3. En los COMPONENTES NO CRÍTICOS (tripletas) no pueden ocurrir esos triples fallos, es decir, al menos tienen que **no existir** dos de los fallos para que tenga lugar el BUEN ESTADO del Sistema.

## Modelo de Fallos Críticos

### Configuración estructural para el modelo de fallos críticos



**Considere cada tripleta de fallos como una unidad.**

**Para que esa unidad funcione debe al menos no ocurrir dos de los fallos, eso es, ocurran dos, uno o ninguno.**

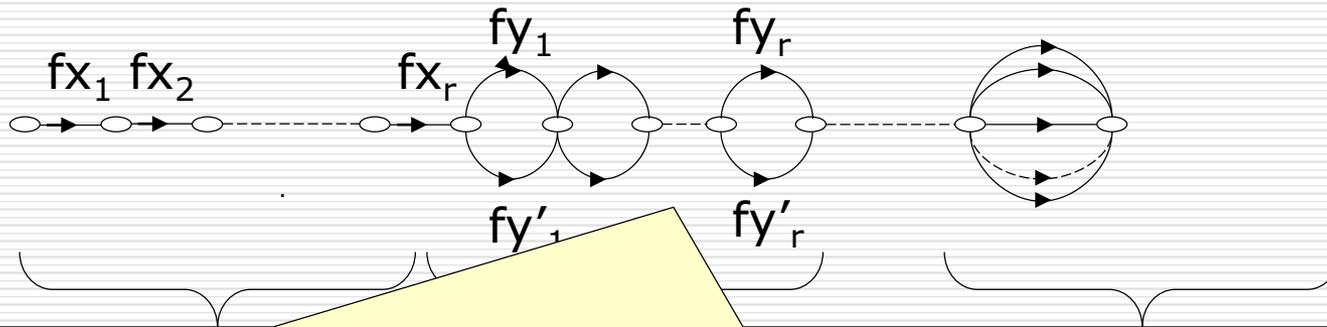
**Matemáticamente:**

$$P(S_X) = \prod_{i=1}^{r_X} P_{X_i} \left[ \sum_{i=r_Y-1}^{r_Y} \binom{r_Y}{i} P_Y^i (1 - P_Y)^{r_Y-i} \right] \left[ \sum_{i=r_Z-2}^{r_Z} \binom{r_Z}{i} P_Z^i (1 - P_Z)^{r_Z-i} \right]$$

**Este proceso se sigue sucesivamente hasta las combinaciones de mayor orden.**

## Modelo de Fallos Críticos

### Configuración estructural para el modelo de fallos críticos

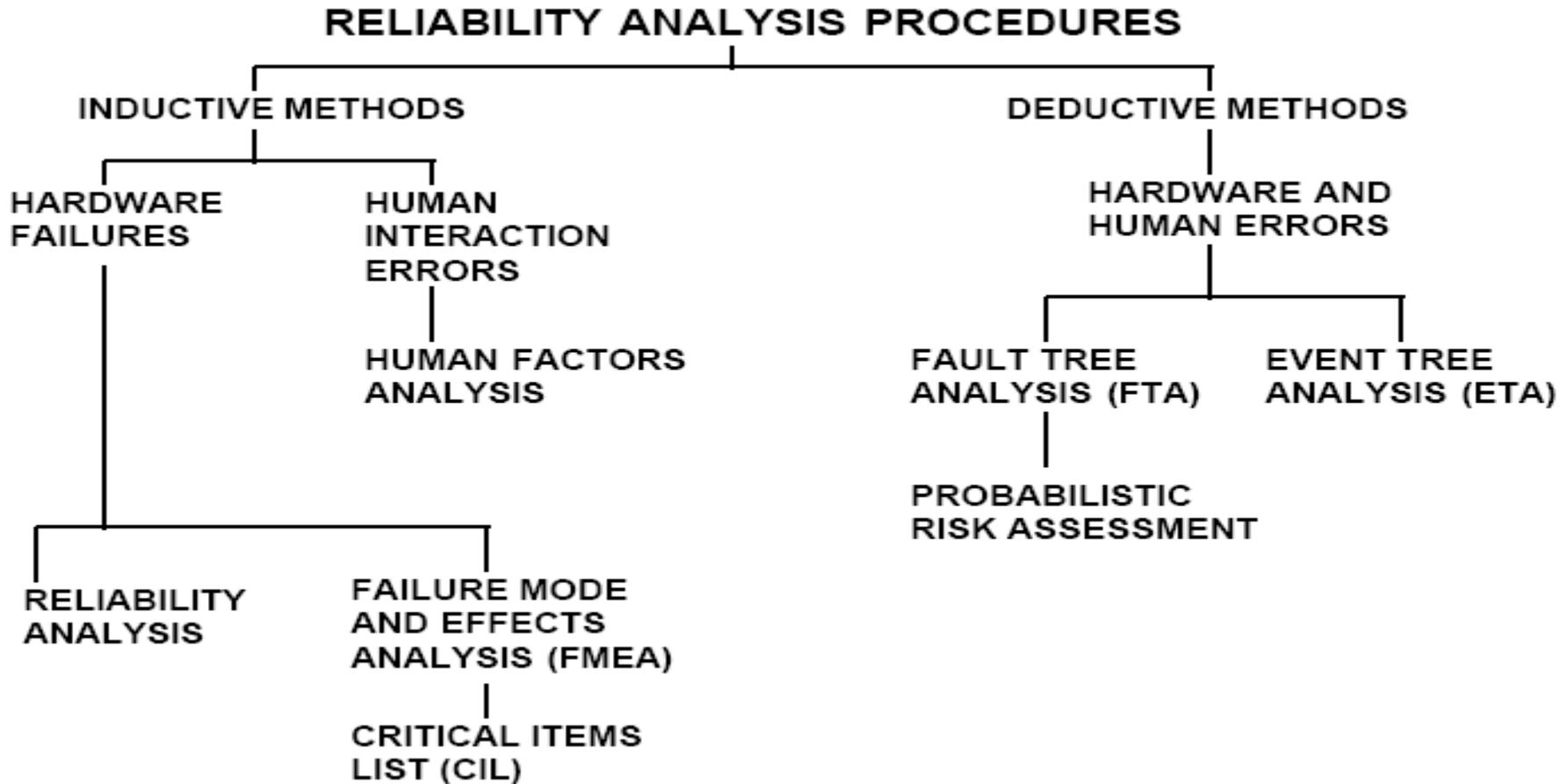


Aquí  **$Pz$**  es la probabilidad de no ocurrir el fallo  **$fz$**

$$P(S_X) = \prod_{i=1}^{r_X} P_{X_i} \left[ \sum_{i=r_Y-1}^{r_Y} \binom{r_Y}{i} P_Y^i (1 - P_Y)^{r_Y-i} \right] \left[ \sum_{i=r_Z-2}^{r_Z} \binom{r_Z}{i} P_Z^i (1 - P_Z)^{r_Z-i} \right]$$

## *Modelo de Fallos Críticos*

### Aplicación del modelo de fallos críticos en el método FMEA



## ***Modelo de Fallos Críticos***

### **Aplicación del modelo de fallos críticos en el método FMEA**

#### **FMEA**

**Metodología para analizar y descubrir**

- (1) Todo modo potencial de fallo del sistema,**
- (2) El efecto que dichos fallos tienen sobre el sistema y**
- (3) Como corregir y/o mitigar los fallos o efectos sobre el sistema.**

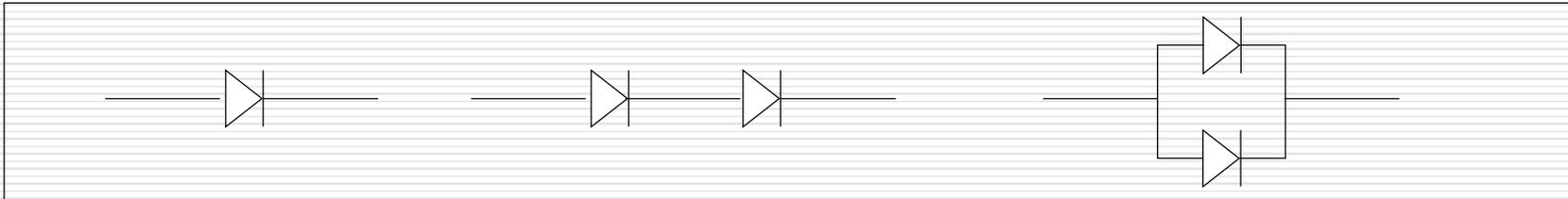
**La corrección o mitigación son usualmente basadas en el ranking de la severidad y probabilidad de los fallos.**

## *Modelo Multiestado*

### **Empleo:**

Para sistemas formados por componentes que poseen varios estados de fallo. Estos estados de fallo en muchas ocasiones no implican el deterioro total de la funcionalidad del sistema y por tanto mantienen en ellos el BUEN ESTADO.

### **Caso de sistemas electrónicos**



**Sea para cualquiera de los diodos los estados:**

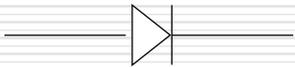
- $X$  : Buen estado
- $\bar{X}_s$  : Corto circuito
- $\bar{X}_o$  : Circuito abierto

## *Modelo Multiestado*

### **Empleo:**

Para sistemas formados por componentes que poseen varios estados de fallo. Estos estados de fallo en muchas ocasiones no implican el deterioro total de la funcionalidad del sistema y por tanto mantienen en ellos el BUEN ESTADO.

### **Caso de sistemas electrónicos**



$$P(x + \bar{x}_s + \bar{x}_o) = P(x) + P(\bar{x}_s) + P(\bar{x}_o) = 1$$

## *Modelo Multiestado*

### **Empleo:**

Para sistemas formados por componentes que poseen varios estados de fallo. Estos estados de fallo en muchas ocasiones no implican el deterioro total de la funcionalidad del sistema y por tanto mantienen en ellos el BUEN ESTADO.

### **Caso de sistemas electrónicos**



Para el funcionamiento de este sistema, el TIE-SET será:

$$x_1 x_2, x_1 \bar{x}_{2S}, x_2 \bar{x}_{1S}$$

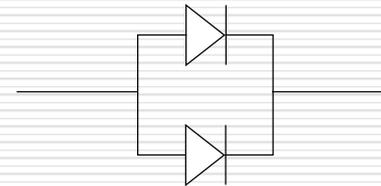
$$P_S = P(x_1 x_2 + x_1 \bar{x}_{2S} + x_2 \bar{x}_{1S}) = p^2 + 2pq_S$$

## *Modelo Multiestado*

### **Empleo:**

Para sistemas formados por componentes que poseen varios estados de fallo. Estos estados de fallo en muchas ocasiones no implican el deterioro total de la funcionalidad del sistema y por tanto mantienen en ellos el BUEN ESTADO.

### **Caso de sistemas electrónicos**



Para el funcionamiento de este sistema, el TIE-SET será:

$$x_1 x_2, x_1 \bar{x}_{20}, x_2 \bar{x}_{10}$$

$$P_S = P(x_1 x_2 + x_1 \bar{x}_{20} + x_2 \bar{x}_{10}) = p^2 + 2pq_0$$

# Fiabilidad y Fatiga

## Vida de Propagación de Grietas por Fatiga

### Un poco de la Teoría de la Mecánica de la Destrucción

Las pérdidas continuas de la destrucción son enormes. Uno de los Laboratorios del Instituto Batel en Ohio realizó una investigación para determinar los gastos sumarios en la economía de los EEUU relacionados por destrucciones no concebidas, así como de las medidas tomadas para prevenir destrucciones, llegándose a las siguientes conclusiones sobre las partes del costo Total

1. Pérdidas ligadas a la introducción insuficiente de métodos modernos de cálculo y control, así como el empleo de normas y estándares arcaicos.

---

# Fiabilidad y Fatiga

## Vida de Propagación de Grietas por Fatiga

### Un poco de la Teoría de la Mecánica de la Destrucción

Las pérdidas continuas de la destrucción son enormes. Uno de los Laboratorios del Instituto Batel en Ohio realizó una investigación para determinar los gastos sumarios en la economía de los EEUU relacionados por destrucciones no concebidas, así como de las medidas tomadas para prevenir destrucciones, llegándose a las siguientes conclusiones sobre las partes del costo Total

2. Pérdidas que hubiesen podido ser prevenidas, elaborando e introduciendo métodos científicos modernos

---

# Fiabilidad y Fatiga

## Vida de Propagación de Grietas por Fatiga

### Un poco de la Teoría de la Mecánica de la Destrucción

Las pérdidas continuas de la destrucción son enormes. Uno de los Laboratorios del Instituto Batel en Ohio realizó una investigación para determinar los gastos sumarios en la economía de los EEUU relacionados por destrucciones no concebidas, así como de las medidas tomadas para prevenir destrucciones, llegándose a las siguientes conclusiones sobre las partes del costo Total

3. Pérdidas cuya eliminación se hará solo posible después de desarrollar la ingeniería de los materiales, para elementos nuevos sin defectos internos graves y alta resistencia mecánica.

---

# Fiabilidad y Fatiga

## Vida de Propagación de Grietas por Fatiga

### Un poco de la Teoría de la Mecánica de la Destrucción

En el 1978 estos gastos alcanzaron en los Estados Unidos la cifra de 88 mil millones de dólares, es decir, un 4% del PNB.

En el 1982 estos gastos alcanzaron en los Estados Unidos la cifra de 119 mil millones de dólares, de nuevo un 4% del PNB.

# Fiabilidad y Fatiga

## Vida de Propagación de Grietas por Fatiga

### Un poco de la Teoría de la Mecánica de la Destrucción

La vida residual por fatiga de cualquier elemento de máquina o estructural (Vigas, Tubos, Paredes de Tanques, etc.) es determinada por el número de ciclos de esfuerzo que se deben aplicar para que una grieta de tamaño inicial detectado  $a_0$ , crezca a un tamaño máximo admisible especificado  $a_f$ .

---

## Modelo de Fallos Críticos

### Aplicación del modelo de fallos críticos en el método FMEA

#### TERMS: FMEA WORKSHEET

Title: \_\_\_\_\_  
System: \_\_\_\_\_  
Analyst: \_\_\_\_\_

Page \_\_\_\_ of \_\_\_\_  
Date: \_\_\_\_\_

Description	Function	Failure Mode	Cause of Failure	Effect of Failure	Corrective Action Detection	Crit./ Rank

En esta columna se pueden colocar los valores estimados de criticidad.  
Luego se puede obtener un estimado de la fiabilidad del sistema empleando el modelo de fallos críticos.

***Modelo de Fallos Críticos***

**Aplicación del modelo de fallos críticos en el método FMEA: Caso  
renta de autos**

**Análisis y evaluación de la gestión de riesgos y fallas**

Se procede a aplicar la técnica Análisis modal de fallos y efectos (AMFE) mediante la cual se realiza un análisis detallado de los modos de fallos que se pueden presentar en el proceso, las causas que los provocan y los efectos que ocasionan, con el objetivo de evaluar el nivel de prioridad de riesgo para el establecimiento de acciones de mejoras.

## *Modelo de Fallos Críticos*

### Aplicación del modelo de fallos críticos en el método FMEA: Caso renta de autos

#### **Análisis y evaluación de la gestión de riesgos y fallas**

##### **1. Determinación de los fallos potenciales en el proceso**

Mediante la consulta del equipo de trabajo se determinan los posibles fallos en cada una de las actividades del proceso, realizando un profundo análisis del mismo que permita contemplar en el estudio la totalidad de los fallos asociados al mismo. Las actividades de este proceso se pueden observar en el un diagrama de flujo o en otros documentos.

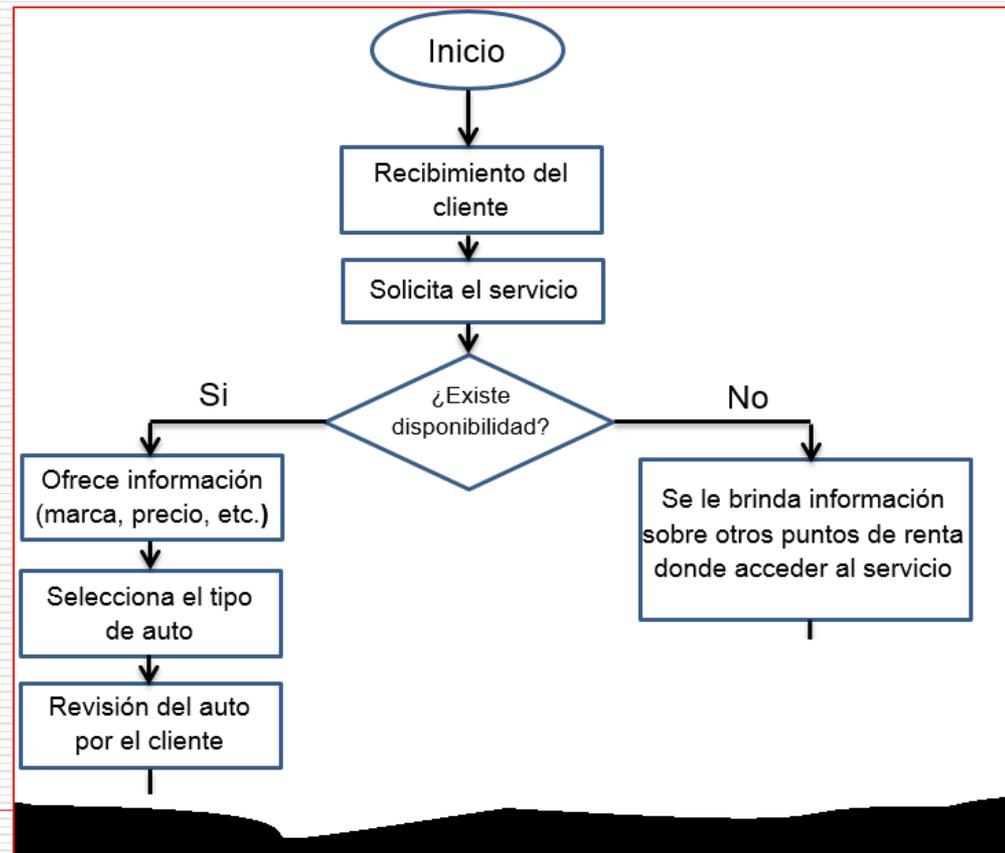
## Modelo de Fallos Críticos

### Aplicación del modelo de fallos críticos en el método FMEA: Caso renta de autos

#### Análisis y evaluación de la gestión de riesgos y fallas

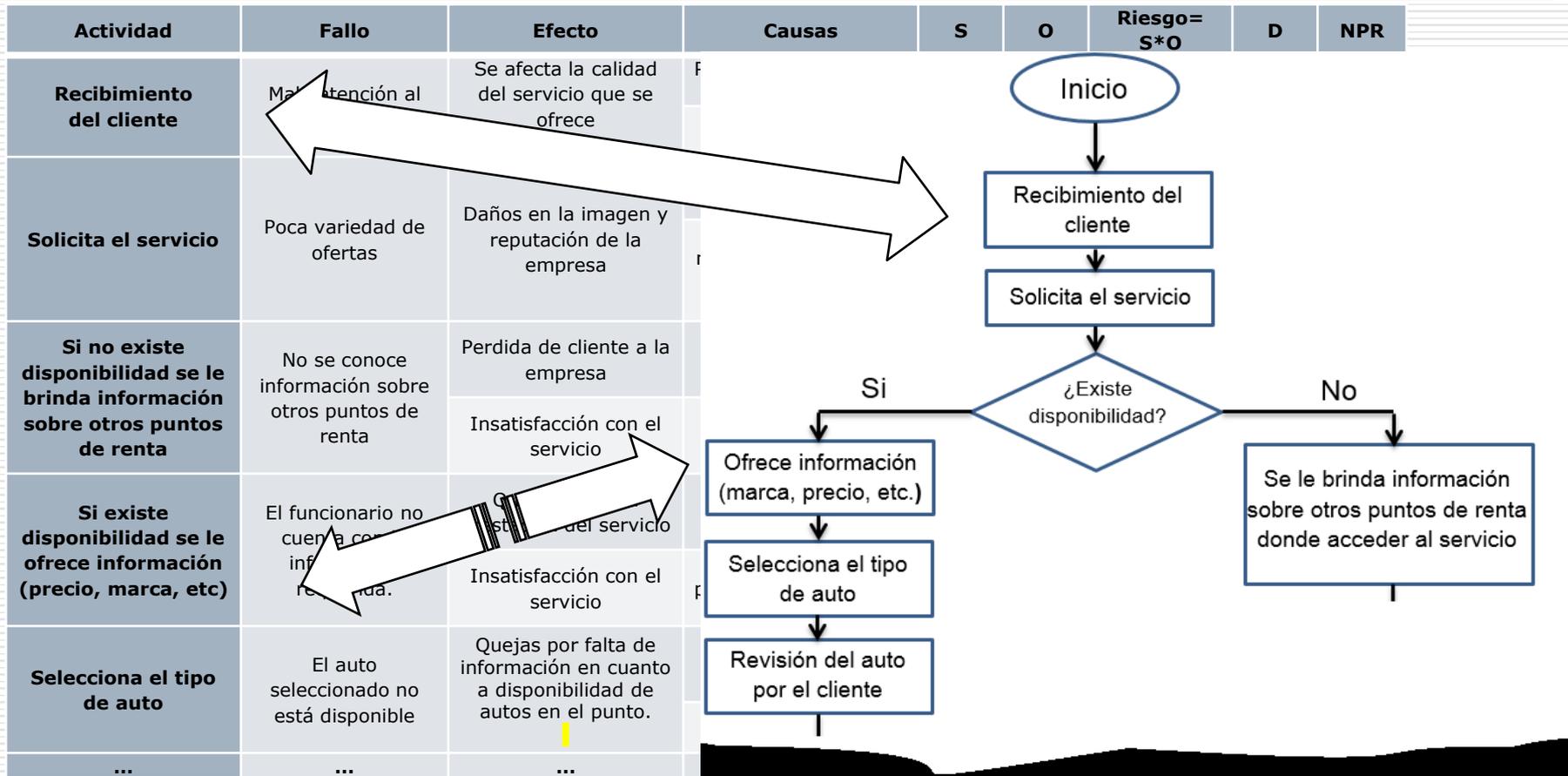
##### 1. Determinación de los fallos potenciales en el proceso

Mediante la consulta del equipo de trabajo se determinan los posibles fallos en cada una de las actividades del proceso, realizando un profundo análisis del mismo que permita contemplar en el estudio la totalidad de los fallos asociados al mismo. Las actividades de este proceso se pueden observar en el un diagrama de flujo o en otros documentos.



## Modelo de Fallos Críticos

### Aplicación del modelo de fallos críticos en el método FMEA: Caso renta de autos



## Modelo de Fallos Críticos

### Aplicación del modelo de fallos críticos en el método FMEA: Caso renta de autos

Actividad	Fallo	Efecto	Causas	S	O	Riesgo= S*O	D	NPR
Recibimiento del cliente	Mala atención al cliente	dafecta la calidad del servicio que se	Plantilla incompleta en el punto	4	1	4 (moderado)	1	4
			Indisciplina laboral					
Solicita el servicio	Poca variedad de ofertas	Daños en la imagen y reputación de la empresa	Poco abastecimiento de vehículos					
			Daños a las unidades de renta	3	2	6 (moderado)	2	12
Si no existe disponibilidad se le brinda información sobre otros puntos de renta	No se conoce información sobre otros puntos de renta	Perd						
Si existe disponibilidad se le ofrece información (precio, marca, etc)	El funcionario no cuenta con la información requerida.	Q						
		prest						
Selecciona el tipo de auto	El auto seleccionado no está disponible	Qu						
		infor a d au						
...	...	...	capacitación	...	...	...	...	...

**Identificación y clasificación de riesgos (FALLAS en servicio ...)**  
 Aplica lista de chequeo, entrevistas directas, observación de operaciones, tratamiento de datos históricos y registros de fallas y reclamaciones, revisión de literatura y documentos técnicos nacionales e internacionales...

## *Modelo de Fallos Críticos*

### Aplicación del modelo de fallos críticos en el método FMEA: Caso renta de autos

#### **Análisis y evaluación de la gestión de riesgos y fallas**

##### **1. Determinación de los fallos potenciales en el proceso**

Mediante la consulta del equipo de trabajo se determinan los posibles fallos en cada una de las actividades del proceso, realizando un profundo análisis del mismo que permita contemplar en el estudio la totalidad de los fallos asociados al mismo. Las actividades de este proceso se pueden observar en el un diagrama de flujo o en otros documentos.

##### **2. Identificación de los efectos de los fallos detectados**

Se identifican para cada modo de fallo los efectos que este trae consigo, considerando su influencia sobre la calidad de las actividades del proceso, la seguridad de los trabajadores y la de los clientes, así como en el medio ambiente.

## Modelo de Fallos Críticos

### Aplicación del modelo de fallos críticos en el método FMEA: Caso renta de autos

#### Análisis y evaluación de la gestión de riesgos y fallas

##### 1. Determinación de los fallos potenciales en el proceso

Mediante la consulta del equipo de trabajo se determinan los posibles fallos en cada una de las actividades del proceso, realizando un profundo análisis del mismo que permita contemplar en el estudio la totalidad de los fallos asociados al mismo. Las actividades de este proceso se pueden observar en el un diagrama de flujo o en otros documentos.

##### 2. Identificación de los efectos de los fallos detectados

Se identifican para cada modo de fallo los efectos que este trae consigo, considerando su influencia sobre la calidad de las actividades del proceso; la seguridad de los trabajadores y la de los clientes; así como en el medio ambiente.

Actividad	Fallo	Efecto	Causas	S	O	Riesgo= S*O	D	NPR
Recibimiento del cliente	Mala atención al cliente	Se afecta la calidad del servicio que se ofrece	Plantilla incompleta en el punto de Indis. laboral	4	1	4 (moderado)	1	4
Solicita el servicio	Poca variedad de ofertas	Daños en la imagen y reputación de la empresa	Falta de información sobre las necesidades del punto por parte del jefe de este			6 (moderado)	2	12
Si no existe disponibilidad se le brinda información sobre otros puntos de renta	No se conoce información sobre otros puntos de renta	Perdida de cliente a la empresa	Insuficiente capacitación del personal	3	2	6 (moderado)	2	12
		Insatisfacción con el servicio	Falta de motivación para realizar un correcto servicio					
Si existe disponibilidad se le ofrece información (precio, marca, etc)	El funcionario no cuenta con la información requerida.	Quejas sobre la prestación del servicio	Insuficiente capacitación del personal	3	2	6 (moderado)	2	12
		Insatisfacción con el servicio	Desmotivación del personal por el tipo de cliente					
Selecciona el tipo de auto	El auto seleccionado no está disponible	Quejas por falta de información en cuanto a disponibilidad de autos en el punto.	Desmotivación del personal por realizar un correcto servicio Insuficiente capacitación	4	2	8 (alto)	2	16
...	...	...	...	...	...	...	...	...

Identificación de los efectos de los fallos detectados

## *Modelo de Fallos Críticos*

### Aplicación del modelo de fallos críticos en el método FMEA: Caso renta de autos

#### **Análisis y evaluación de la gestión de riesgos y fallas**

##### **1. Determinación de los fallos potenciales en el proceso**

Mediante la consulta del equipo de trabajo se determinan los posibles fallos en cada una de las actividades del proceso, realizando un profundo análisis del mismo que permita contemplar en el estudio la totalidad de los fallos asociados al mismo. Las actividades de este proceso se pueden observar en el un diagrama de flujo o en otros documentos.

##### **2. Identificación de los efectos de los fallos detectados**

Se identifican para cada modo de fallo los efectos que este trae consigo, considerando su influencia sobre la calidad de las actividades del proceso; la seguridad de los trabajadores y la de los clientes; así como en el medio ambiente.

##### **3. Evaluación de la severidad (S) de los efectos**

El equipo de trabajo, para evaluar la gravedad del fallo, utiliza escalas propuestas por el tipo de industria o estudios basados en experiencias anteriores, en las tablas se muestran dos tipos de evaluaciones, una de ellas tomando como base las implicaciones que trae el efecto para los trabajadores y clientes, así como las afectaciones a la calidad del proceso, la otra para la industria automotriz.

## Modelo de Fallos Críticos

### Aplicación del modelo de fallos críticos en el método FMEA: Caso renta de autos

#### Análisis y evaluación de la gestión de riesgos y fallas

##### 1. Determinación de los fallos potenciales en el proceso

Mediante la consulta del equipo de trabajo se determinan los posibles fallos en cada una de las actividades del proceso, realizando un profundo análisis del mismo que permita contemplar en el estudio la totalidad de los fallos asociados al mismo. Las actividades de este proceso se pueden observar en el un diagrama de flujo o en otros documentos.

##### 2. Identificación de los efectos de los fallos detectados

Se identifican para cada modo de fallo los efectos que este trae consigo, considerando su influencia sobre la calidad de las actividades del proceso; la seguridad de los trabajadores y la de los clientes; así como en el medio ambiente.

##### 3. Evaluación de la severidad (S) de los efectos

El equipo de trabajo, para evaluar la gravedad del fallo, utiliza escalas propuestas por el tipo de industria o estudios basados en experiencias anteriores, en las tablas se muestran dos tipos de evaluaciones, una de ellas tomando como base las implicaciones que trae el efecto para los trabajadores y clientes; así como las afectaciones a la calidad del proceso, la otra para la industria automotriz.

Severidad	Categoría	Descripción
5	Muy Alta	Cuando el fallo origina la pérdida del cliente, provocado por el incumplimiento de normas que suponen un alto riesgo para el cliente y el trabajador.
4	Alta	Cuando el fallo origina un alto grado de insatisfacción en el cliente, provocado por el incumplimiento de normas que suponen riesgos para el cliente y el trabajador y/o el medioambiente.
3	Moderada (relativa importancia)	Cuando el fallo causa cierto descontento en el cliente, provocado por un deterioro en el sistema suponiendo riesgos leves para el cliente, el trabajador y el medioambiente.
2	Baja (apenas perceptibles)	Cuando el fallo origina un ligero inconveniente en el cliente, provocado por un pequeño deterioro en el sistema que no supone riesgos.
1	Muy Baja (imperceptibles)	Cuando el fallo es de pequeña importancia y el cliente no lo percibe, no influye en las características del servicio.

## Modelo de Fallos Críticos

### Aplicación del modelo de fallos críticos en el método FMEA: Caso renta de autos

#### Análisis y evaluación de la gestión de riesgos y fallas

##### 1. Determinación de los fallos potenciales en el proceso

Mediante la consulta del equipo de trabajo se determinan los posibles fallos en cada una de las actividades del proceso, realizando un profundo análisis del mismo que permita contemplar en el estudio la totalidad de los fallos asociados al mismo. Las actividades de este proceso se pueden observar en el un diagrama de flujo o en otros documentos.

##### 2. Identificación de los efectos de los fallos detectados

Se identifican para cada modo de fallo los efectos que este trae consigo, considerando su influencia sobre la calidad de las actividades del proceso; la seguridad de los trabajadores y la de los clientes; así como en el medio ambiente.

##### 3. Evaluación de la severidad (S) de los efectos

El equipo de trabajo, para evaluar la gravedad del fallo, utiliza escalas propuestas por el tipo de industria o estudios basados en experiencias anteriores, en las tablas se muestran dos tipos de evaluaciones, una de ellas tomando como base las implicaciones que trae el efecto para los trabajadores y clientes; así como las afectaciones a la calidad del proceso, la otra para la industria automotriz.

Automotive Industry Action Group (AIAG) severity ratings		
Effect	Severity of Effect Defined	Rating
None	No effect.	1
Very Minor	Minor disruption to production line. A portion (less than 100%) of the product may have to be reworked on-line but in-station. Fit/finish/squeak/rattle item does not conform. Defect noticed by discriminating customers.	2
Minor	Minor disruption to production line. A portion (less than 100%) of the product may have to be reworked on-line but out-of-station. Fit/finish/squeak/rattle item does not conform. Defect noticed by average customers.	3
Very Low	Minor disruption to production line. The product may have to be sorted and a portion (less than 100%) reworked. Fit/finish/squeak/rattle item does not conform. Defect noticed by most customers.	4
Low	Minor disruption to production line. 100% of product may have to be reworked. Vehicle/item operable, but some comfort/convenience item(s) operable at reduced level of performance. Customer experiences some dissatisfaction.	5
Moderate	Minor disruption to production line. A portion (less than 100%) may have to be scrapped (no sorting). Vehicle/item operable, but some comfort/convenience item(s) inoperable. Customers experience discomfort.	6
High	Minor disruption to production line. Product may have to be sorted and a portion (less than 100%) scrapped. Vehicle operable, but at a reduced level of performance. Customer dissatisfied.	7
Very High	Major disruption to production line. 100% of product may have to be scrapped. Vehicle/item inoperable, loss of primary function. Customer very dissatisfied.	8
Hazardous: With Warning	May endanger operator. Failure mode affects safe vehicle operation and/or involves noncompliance with government regulation. Failure will occur with warning.	9
Hazardous: Without Warning	May endanger operator. Failure mode affects safe vehicle operation and/or involves noncompliance with government regulation. Failure will occur without warning.	10

## Modelo de Fallos Críticos

### Aplicación del modelo de fallos críticos en el método FMEA: Caso renta de autos

Actividad	Fallo	Efecto	Causas	S	O	Riesgo= S*O	D	NPR
Recibimiento del cliente	Mala atención al cliente	Se afecta la calidad del servicio que se ofrece	Plantilla incompleta en el punto de venta	4	1	4 (moderado)	1	4
			Falta de capacitación laboral					
Solicitud de renta		Daño a los vehículos	Falta de control de abastecimiento de vehículos	3	2	6 (moderado)	2	12
			Falta de atención a las necesidades del punto de venta y del jefe de punto de venta					
Si no existe disponibilidad se le brinda información sobre otros puntos de renta	No se conoce información sobre otros puntos de renta	Pérdida de cliente a la empresa	Insuficiente capacitación del personal	3	2	6 (moderado)	2	12
		Insatisfacción con el servicio	Falta de motivación para realizar un correcto servicio					
Si existe disponibilidad se le ofrece información (precio, marca, etc)	El funcionario no cuenta con la información requerida.	Quejas sobre la prestación del servicio	Insuficiente capacitación del personal	3	2	6 (moderado)	2	12
		Insatisfacción con el servicio	Desmotivación del personal por el tipo de cliente					
Selecciona el tipo de auto	El auto seleccionado no está disponible	Quejas por falta de información en cuanto a disponibilidad de autos en el punto.	Desmotivación del personal por realizar un correcto servicio	4	2	8 (alto)	2	16
			Insuficiente capacitación					
...	...	...	...	...	...	...	...	...

**Evaluación de la severidad (S) de los efectos**

## *Modelo de Fallos Críticos*

### Aplicación del modelo de fallos críticos en el método FMEA: Caso renta de autos

#### **Análisis y evaluación de la gestión de riesgos y fallas**

##### **1. Determinación de los fallos potenciales en el proceso**

Mediante la consulta del equipo de trabajo se determinan los posibles fallos en cada una de las actividades del proceso, realizando un profundo análisis del mismo que permita contemplar en el estudio la totalidad de los fallos asociados al mismo. Las actividades de este proceso se pueden observar en el un diagrama de flujo o en otros documentos.

##### **2. Identificación de los efectos de los fallos detectados**

Se identifican para cada modo de fallo los efectos que este trae consigo, considerando su influencia sobre la calidad de las actividades del proceso; la seguridad de los trabajadores y la de los clientes; así como en el medio ambiente.

##### **3. Evaluación de la severidad (S) de los efectos**

El equipo de trabajo, para evaluar la gravedad del fallo, utiliza escalas propuestas por el tipo de industria o estudios basados en experiencias anteriores, en las tablas se muestran dos tipos de evaluaciones, una de ellas tomando como base las implicaciones que trae el efecto para los trabajadores y clientes; así como las afectaciones a la calidad del proceso, la otra para la industria automotriz.

##### **4. Identificación de las causas de los fallos**

A través de una tormenta de ideas el equipo de trabajo identifica las causas de cada modo de fallo, de manera que las acciones correctivas y/o preventivas sean orientadas hacia las mismas. Para cumplir este propósito se analizan detalladamente los modos de fallos para tener en cuenta todas las causas que provocan la ocurrencia de estos.

## Modelo de Fallos Críticos

### Aplicación del modelo de fallos críticos en el método FMEA: Caso renta de autos

Actividad	Fallo	Efecto	Causas	S	O	Riesgo= S*O	D	NPR
Recibimiento del cliente	Mala atención al cliente	Se afecta la calidad del servicio que ofrece	Plantilla incompleta en el punto	4	1	4 (moderado)	1	4
			Indisciplina laboral					
Solicitud de la imagen y			Poco abastecimiento de vehículos	3	2	6 (moderado)	2	12
			Poca atención a las necesidades del punto por parte del jefe de este					
Si no existe disponibilidad se le brinda información sobre otros puntos de renta	No se conoce información sobre otros puntos de renta	Perdida de cliente a la empresa	Insuficiente capacitación del personal	3	2	6 (moderado)	2	12
		Insatisfacción con el servicio	Falta de motivación para realizar un correcto servicio					
Si existe disponibilidad se le ofrece información (precio, marca, etc)	El funcionario no cuenta con la información requerida.	Quejas sobre la prestación del servicio	Insuficiente capacitación del personal	3	2	6 (moderado)	2	12
		Insatisfacción con el servicio	Desmotivación del personal por el tipo de cliente					
Selecciona el tipo de auto	El auto seleccionado no está disponible	Quejas por falta de información en cuanto a disponibilidad de autos en el punto.	Desmotivación del personal por realizar un correcto servicio	4	2	8 (alto)	2	16
			Insuficiente capacitación					
...	...	...	...	...	...	...	...	...

**Identificación de las causas de los fallos**

## *Modelo de Fallos Críticos*

### Aplicación del modelo de fallos críticos en el método FMEA: Caso renta de autos

#### **Análisis y evaluación de la gestión de riesgos y fallas**

##### **1. Determinación de los fallos potenciales en el proceso**

Mediante la consulta del equipo de trabajo se determinan los posibles fallos en cada una de las actividades del proceso, realizando un profundo análisis del mismo que permita contemplar en el estudio la totalidad de los fallos asociados al mismo. Las actividades de este proceso se pueden observar en el un diagrama de flujo o en otros documentos.

##### **2. Identificación de los efectos de los fallos detectados**

Se identifican para cada modo de fallo los efectos que este trae consigo, considerando su influencia sobre la calidad de las actividades del proceso; la seguridad de los trabajadores y la de los clientes; así como en el medio ambiente.

##### **3. Evaluación de la severidad (S) de los efectos**

El equipo de trabajo, para evaluar la gravedad del fallo, utiliza escalas propuestas por el tipo de industria o estudios basados en experiencias anteriores, en las tablas se muestran dos tipos de evaluaciones, una de ellas tomando como base las implicaciones que trae el efecto para los trabajadores y clientes; así como las afectaciones a la calidad del proceso, la otra para la industria automotriz.

##### **4. Identificación de las causas de los fallos**

A través de una tormenta de ideas el equipo de trabajo identifica las causas de cada modo de fallo, de manera que las acciones correctivas y/o preventivas sean orientadas hacia las mismas. Para cumplir este propósito se analizan detalladamente los modos de fallos para tener en cuenta todas las causas que provocan la ocurrencia de estos.

##### **5. Cálculo de la ocurrencia de las causas (O)**

En este paso se determina la posibilidad de que una causa específica se produzca dando lugar al modo de fallo, se valora la posibilidad de ocurrencia de los fallos mediante la escala propuesta para el proceso en cuestión. Se analiza la frecuencia de ocurrencia de las causas, de acuerdo a la experiencia de los expertos en el proceso.

## Modelo de Fallos Críticos

### Aplicación del modelo de fallos críticos en el método FMEA: Caso renta de autos

#### Análisis y evaluación de la gestión de riesgos y fallas

##### 1. Determinación de los fallos potenciales en el proceso

Mediante la consulta del equipo de trabajo se determinan los posibles fallos en cada una de las actividades del proceso, realizando un profundo análisis del mismo que permita contemplar en el estudio la totalidad de los fallos asociados al mismo. Las actividades de este proceso se pueden observar en el un diagrama de flujo o en otros documentos.

##### 2. Identificación de los efectos de los fallos detectados

Se identifican para cada modo de fallo los efectos que este trae consigo, considerando su influencia sobre la calidad de las actividades del proceso; la seguridad de los trabajadores y la de los clientes; así como en el medio ambiente.

##### 3. Evaluación de la severidad (S) de los efectos

El equipo de trabajo, para evaluar la gravedad del fallo, utiliza escalas propuestas por el tipo de industria o estudios basados en experiencias anteriores, en las tablas se muestran dos tipos de evaluaciones, una de ellas tomando como base las implicaciones que trae el efecto para los trabajadores y clientes; así como las afectaciones a la calidad del proceso, la otra para la industria automotriz.

##### 4. Identificación de las causas de los fallos

A través de una tormenta de ideas el equipo de trabajo identifica las causas de cada modo de fallo, de manera que las acciones correctivas y/o preventivas sean orientadas hacia las mismas. Para cumplir este propósito se analizan detalladamente los modos de fallos para tener en cuenta todas las causas que provocan la ocurrencia de estos.

##### 5. Cálculo de la ocurrencia de las causas (O)

En este paso se determina la posibilidad de que una causa específica se produzca dando lugar al modo de fallo, se valora la posibilidad de ocurrencia de los fallos mediante la escala propuesta para el proceso en cuestión. Se analiza la frecuencia de ocurrencia de las causas, de acuerdo a la experiencia de los expertos en el proceso.

Ocurrencia	Categoría	Descripción
5	Muy Alta	Fallo casi inevitable, es seguro que se producirá frecuentemente.
4	Alta	El fallo se ha presentado frecuentemente en momentos anteriores, en procesos similares o en el pasado.
3	Moderada	Fallo aparecido en ocasiones en procesos similares o previos al que ocurre, puede aparecer algunas veces en la vida del servicio.
2	Baja	Fallo aislado en procesos similares o casi idénticos, pero es poco probable que suceda.
1	Muy Baja (improbable)	Ningún fallo se asocia a procesos similares, ni se ha dado nunca en el pasado.

## Modelo de Fallos Críticos

### Aplicación del modelo de fallos críticos en el método FMEA: Caso renta de autos

#### Análisis y evaluación de la gestión de riesgos y fallas

##### 1. Determinación de los fallos potenciales en el proceso

Mediante la consulta del equipo de trabajo se determinan los posibles fallos en cada una de las actividades del proceso, realizando un profundo análisis del mismo que permita contemplar en el estudio la totalidad de los fallos asociados al mismo. Las actividades de este proceso se pueden observar en el un diagrama de flujo o en otros documentos.

##### 2. Identificación de los efectos de los fallos detectados

Se identifican para cada modo de fallo los efectos que este trae consigo, considerando su influencia sobre la calidad de las actividades del proceso; la seguridad de los trabajadores y la de los clientes; así como en el medio ambiente.

##### 3. Evaluación de la severidad (S) de los efectos

El equipo de trabajo, para evaluar la gravedad del fallo, utiliza escalas propuestas por el tipo de industria o estudios basados en experiencias anteriores, en las tablas se muestran dos tipos de evaluaciones, una de ellas tomando como base las implicaciones que trae el efecto para los trabajadores y clientes; así como las afectaciones a la calidad del proceso, la otra para la industria automotriz.

##### 4. Identificación de las causas de los fallos

A través de una tormenta de ideas el equipo de trabajo identifica las causas de cada modo de fallo, de manera que las acciones correctivas y/o preventivas sean orientadas hacia las mismas. Para cumplir este propósito se analizan detalladamente los modos de fallos para tener en cuenta todas las causas que provocan la ocurrencia de estos.

##### 5. Cálculo de la ocurrencia de las causas (O)

En este paso se determina la posibilidad de que una causa específica se produzca dando lugar al modo de fallo, se valora la posibilidad de ocurrencia de los fallos mediante la escala propuesta para el proceso en cuestión. Se analiza la frecuencia de ocurrencia de las causas, de acuerdo a la experiencia de los expertos en el proceso.

FMEA Occurrence linkage to capability

Numerical Ranking	Occurrence Likelihood
1	1 in 10 <sup>6</sup> (C <sub>pk</sub> > 1.67)
2	1 in 20,000 (C <sub>pk</sub> = 1.33)
3	1 in 5,000 (C <sub>pk</sub> ~ 1.00)
4	1 in 2,000 (C <sub>pk</sub> < 1.00)
5	1 in 500
6	1 in 100
7	1 in 50
8	1 in 20
9	1 in 10
10	1 in 2

## *Modelo de Fallos Críticos*

### Aplicación del modelo de fallos críticos en el método FMEA: Caso renta de autos

## **Análisis y evaluación de la gestión de riesgos y fallas**

### **1. Determinación de los fallos potenciales en el proceso**

Mediante la consulta del equipo de trabajo se determinan los posibles fallos en cada una de las actividades del proceso, realizando un profundo análisis del mismo que permita contemplar en el estudio la totalidad de los fallos asociados al mismo. Las actividades de este proceso se pueden observar en el un diagrama de flujo o en otros documentos.

### **2. Identificación de los efectos de los fallos detectados**

Se identifican para cada modo de fallo los efectos que este trae consigo, considerando su influencia sobre la calidad de las actividades del proceso; la seguridad de los trabajadores y la de los clientes; así como en el medio ambiente.

### **3. Evaluación de la severidad (S) de los efectos**

El equipo de trabajo, para evaluar la gravedad del fallo, utiliza escalas propuestas por el tipo de industria o estudios basados en experiencias anteriores, en las tablas se muestran dos tipos de evaluaciones, una de ellas tomando como base las implicaciones que trae el efecto para los trabajadores y clientes; así como las afectaciones a la calidad del proceso, la otra para la industria automotriz.

### **4. Identificación de las causas de los fallos**

A través de una tormenta de ideas el equipo de trabajo identifica las causas de cada modo de fallo, de manera que las acciones correctivas y/o preventivas sean orientadas hacia las mismas. Para cumplir este propósito se analizan detalladamente los modos de fallos para tener en cuenta todas las causas que provocan la ocurrencia de estos.

### **5. Cálculo de la ocurrencia de las causas (O)**

En este paso se determina la posibilidad de que una causa específica se produzca dando lugar al modo de fallo, se valora la posibilidad de ocurrencia de los fallos mediante la escala propuesta para el proceso en cuestión. Se analiza la frecuencia de ocurrencia de las causas, de acuerdo a la experiencia de los expertos en el proceso.

## **6. Identificación y evaluación de los riesgos**

El equipo de trabajo define los riesgos teniendo en cuenta los fallos potenciales detectados, la severidad y la probabilidad de ocurrencia de los mismos. Además valora su impacto en la organización según la matriz siguiente.

## Modelo de Fallos Críticos

### Aplicación del modelo de fallos críticos en el método FMEA: Caso renta de autos

#### Análisis y evaluación de la gestión de riesgos y fallas

##### 1. Determinación de los fallos potenciales en el proceso

Mediante la consulta del equipo de trabajo se determinan los posibles fallos en cada una de las actividades del proceso, realizando un profundo análisis del mismo que permita contemplar en el estudio la totalidad de los fallos asociados al mismo. Las actividades de este proceso se pueden observar en el un diagrama de flujo o en otros documentos.

##### 2. Identificación de los efectos de los fallos detectados

Se identifican para cada modo de falla los efectos que este trae consigo, considerando su influencia sobre la

Ocurrencia (O)	Severidad (S)				
	5	4	3	2	1
5	25(extremo)	20(extremo)	15(elevado)	10(alto)	5(moderado)
4	20(extremo)	16(elevado)	12(alto)	8(moderado)	4(bajo)
3	15(elevado)	12(elevado)	9(moderado)	6(bajo)	3(bajo)
2	10(elevado)	8(alto)	6(moderado)	4(bajo)	2(bajo)
1	5(alto)	4(moderado)	3(bajo)	2(bajo)	1(bajo)

En este paso se determina la probabilidad de que una causa específica se produzca cuando se haga un modo de fallo, se valora la posibilidad de ocurrencia de los fallos mediante la escala propuesta para el proceso en cuestión. Se analiza la frecuencia de ocurrencia de las causas, de acuerdo a la experiencia de los expertos en el proceso.

##### 6. Identificación y evaluación de los riesgos

El equipo de trabajo define los riesgos teniendo en cuenta los fallos potenciales detectados, la severidad y la probabilidad de ocurrencia de los mismos. Además valora su impacto en la organización según la matriz siguiente.

## *Modelo de Fallos Críticos*

### Aplicación del modelo de fallos críticos en el método FMEA: Caso renta de autos

#### **Análisis y evaluación de la gestión de riesgos y fallas**

1. Determinación de los fallos potenciales en el proceso
2. Identificación de los efectos de los fallos detectados
3. Evaluación de la severidad (S) de los efectos
4. Identificación de las causas de los fallos
5. Cálculo de la ocurrencia de las causas (O)
6. Identificación y evaluación de los riesgos

#### **7. Identificación y evaluación de los riesgos**

En dependencia de las afectaciones que provocan a la calidad del proceso, la protección al medio ambiente, a la seguridad de los trabajadores y clientes, se evalúa la **detectabilidad** del fallo basado en la eficacia de los controles utilizados en el proceso empleando la escala mostrada en la tabla siguiente u otras según el tipo de proceso.

## Modelo de Fallos Críticos

### Aplicación del modelo de fallos críticos en el método FMEA: Caso renta de autos

#### Análisis y evaluación de riesgos y fallas

1. Determinación de los fallos
2. Identificación de los efectos
3. Evaluación de la severidad
4. Identificación de las causas de los fallos
5. Cálculo de la ocurrencia de las causas (O)
6. Identificación y evaluación de los riesgos
7. Identificación y evaluación de los riesgos

En dependencia de las afectaciones que provocan a la calidad del proceso, la protección al medio ambiente, a la seguridad de los trabajadores y clientes, se evalúa la **detectabilidad** del fallo basado en la eficacia de los controles utilizados en el proceso empleando la escala mostrada en la tabla siguiente u otras según el tipo de proceso.

Detectabilidad (D)	Categoría	Descripción
5	Improbable	El daño no puede detectarse, casi seguro que lo percibirá el cliente.
4	Pequeña	El daño es de tal naturaleza que es difícil detectarlo con los procedimientos establecidos.
3	Mediana	El daño es detectable y posiblemente no llegue al cliente.
2	Alta	El daño es obvio y fácilmente detectable, podría escapar a un primer control, pero será detectado.
1	Muy Alta	El daño es muy obvio y sería improbable que no sea detectado.

## Modelo de Fallos Críticos

### Aplicación del modelo de fallos críticos en el método FMEA: Caso renta de autos

Automotive Industry Action Group (AIAG) detection rating		
Detection	Likelihood of Detection	Rating
Almost certain	Design control will almost certainly detect a potential cause/mechanism and subsequent failure mode.	1
Very high	Very high chance the design control will detect a potential cause/mechanism and subsequent failure mode.	2
High	High chance the design control will detect a potential cause/mechanism and subsequent failure mode.	3
Moderately high	Moderately high chance the design control will detect a potential cause/mechanism and subsequent failure mode.	4
Moderate	Moderate chance the design control will detect a potential cause/mechanism and subsequent failure mode.	5
Low	Low chance the design control will detect a potential cause/mechanism and subsequent failure mode.	6
Very low	Very low chance the design control will detect a potential cause/mechanism and subsequent failure mode.	7
Remote	Remote chance the design control will detect a potential cause/mechanism and subsequent failure mode.	8
Very remote	Very remote chance the design control will detect a potential cause/mechanism and subsequent failure mode.	9
Absolute uncertainty	Design control will not and/or can not detect a potential cause/mechanism and subsequent failure mode; or there is no design control.	10

## Análisis y evaluación de riesgos y fallas

1. Determinación de los fallos potenciales
2. Identificación de los efectos de los fallos
3. Evaluación de la severidad (S) de los fallos
4. Identificación de las causas de los fallos
5. Cálculo de la ocurrencia de las causas de los fallos
6. Identificación y evaluación de los riesgos
7. Identificación y evaluación de los riesgos

En dependencia de las afectaciones que provocan a la calidad del proceso, la protección al medio ambiente, a la seguridad de los trabajadores y clientes, se evalúa la **detectabilidad** del fallo basado en la eficacia de los controles utilizados en el proceso empleando la escala mostrada en la tabla siguiente u otras según el tipo de proceso.

## Modelo de Fallos Críticos

### Aplicación del modelo de fallos críticos en el método FMEA: Caso renta de autos

#### Análisis y evaluación de la gestión de riesgos y fallas

1. **Determinación de los fallos potenciales en el proceso**
2. **Identificación de los efectos de los fallos detectados**
3. **Evaluación de la severidad (S) de los efectos**
4. **Identificación de las causas de los fallos**
5. **Cálculo de la ocurrencia de las causas (O)**
6. **Identificación y evaluación de los riesgos**
7. **Identificación y evaluación de los riesgos**

En dependencia de las afectaciones que provocan a la calidad del proceso, la protección al medio ambiente, a la seguridad de los trabajadores y clientes, se evalúa la **detectabilidad** del fallo basado en la eficacia de los controles utilizados en el proceso empleando la escala mostrada en la tabla siguiente u otras según el tipo de proceso.

Service FMEA ratings					
Severity		Occurrence		Detection	
Rating	Description	Rating	Description	Rating	Description
1	Minor—Unreasonable to expect this will be noticed in the process, or impact any process or productivity. No or negligible effect on product function. The customer will probably not notice it.	1-2	Remote—Probability of failure less than 0.02% of total (< 200 PPM).	1-2	Remote—Likelihood of defect being shipped is remote (< 199 PPM).
2-3	Low—Very limited effect on local process, no downstream process impact. Not noticeable to the system but slightly noticeable in product (subsystem and system).	3-5	Low—Probability of failure from 0.021 to 0.5% of total (201 PPM to 5000 PPM).	3-4	Low—Likelihood of defect being shipped is low (20 PPM to 1000 PPM).
4-6	Moderate—Effects will be throughout the process. May require unscheduled rework. May create minor damage to equipment. Customer will notice immediately. Effect on subsystem or product performance deterioration.	6-7	Moderate—Probability of failure from 0.5 to 2% of total (5001 PPM to 20000 PPM).	5-7	Moderate—Likelihood of defect being shipped is moderate (1001 PPM to 20000 PPM).
7-8	High—May cause serious disruptions to downstream processes. Major rework. Equipment, tool or fixture	8-9	High—Probability of failure from 2% to 10% of total (20001 PPM to 100000 PPM).	8-9	High—Likelihood of defect being shipped is high (20001 PPM to 100000 PPM).

## Modelo de Fallos Críticos

### Aplicación del modelo de fallos críticos en el método FMEA: Caso renta de autos

Service FMEA ratings					
Severity		Occurrence		Detection	
Rating	Description	Rating	Description	Rating	Description
1	Minor—Unreasonable to expect this will be noticed in the process, or impact any process or productivity. No or negligible effect on product function. The customer will probably not notice it.	1–2	Remote—Probability of failure less than 0.02% of total (< 200 PPM).	1–2	Remote—Likelihood of defect being shipped is remote (< 199 PPM).
2–3	Low—Very limited effect on local process, no downstream process impact. Not noticeable to the system but slightly noticeable in product (subsystem and system).	3–5	Low—Probability of failure from 0.021 to 0.5% of total (201 PPM to 5000 PPM).	3–4	Low—Likelihood of defect being shipped is low (20 PPM to 1000 PPM).
4–6	Moderate—Effects will be throughout the process. May require unscheduled rework. May create minor damage to equipment. Customer will notice immediately. Effect on subsystem or product performance deterioration.	6–7	Moderate—Probability of failure from 0.5 to 2% of total (5001 PPM to 20000 PPM).	5–7	Moderate—Likelihood of defect being shipped is moderate (1001 PPM to 20000 PPM).
7–8	High—May cause serious disruptions to downstream processes. Major rework. Equipment, tool or fixture damage. Effect on major product system but not on safety or government regulated item.	8–9	High—Probability of failure from 2% to 10% of total (20001 PPM to 100000 PPM).	8–9	High—Likelihood of defect being shipped is high (20001 PPM to 100000 PPM).
9–10	Extremely high—Production shut down. Injury or harm to process or assembly personnel. Effect on product safety or involves non-compliance with government regulated item.	10	Very high—Probability of failure greater than 10% of total (>100001 PPM).	10	Very high—Likelihood of defect being shipped is very high (> 100000 PPM).

## *Modelo de Fallos Críticos*

### Aplicación del modelo de fallos críticos en el método FMEA: Caso renta de autos

compiled ratings			
Rating	Severity of Effect	Likelihood of Occurrence	Ability to Detect
10	Hazardous without warning	Very high: Failure is almost inevitable	Cannot detect
9	Hazardous with warning		Very remote chance of detection
8	Loss of primary function	High: Repeated failures	Remote chance of detection
7	Reduced primary function performance		Very low chance of detection
6	Loss of secondary function	Moderate: Occasional failures	Low chance of detection
5	Reduced secondary function performance		Moderate chance of detection
4	Minor defect noticed by most customers		Moderately high chance of detection
3	Minor defect noticed by some customers	Low: Relatively few failures	High chance of detection
2	Minor defect noticed by discriminating customers		Very high chance of detection
1	No effect	Remote: Failure is unlikely	Almost certain detection

## *Modelo de Fallos Críticos*

### Aplicación del modelo de fallos críticos en el método FMEA: Caso renta de autos

#### **Análisis y evaluación de la gestión de riesgos y fallas**

1. **Determinación de los fallos potenciales en el proceso**
2. **Identificación de los efectos de los fallos detectados**
3. **Evaluación de la severidad (S) de los efectos**
4. **Identificación de las causas de los fallos**
5. **Cálculo de la ocurrencia de las causas (O)**
6. **Identificación y evaluación de los riesgos**
7. **Identificación y evaluación de los riesgos**

En dependencia de las afectaciones que provocan a la calidad del proceso, la protección al medio ambiente, a la seguridad de los trabajadores y clientes, se evalúa la **detectabilidad** del fallo basado en la eficacia de los controles utilizados en el proceso empleando la escala mostrada en la tabla siguiente u otras según el tipo de proceso.

#### **8. Propuesta de medidas correctivas, preventivas y/o de mejora**

En este paso se elabora un informe con los resultados que se obtiene al aplicar la herramienta AMFE mediante una tabla que contiene los aspectos siguientes: pasos del proceso, modos de fallo, efectos del fallo, severidad de cada efecto, causas del fallo, probabilidad de ocurrencia de las causas, evaluación del riesgo, controles actuales, probabilidad de detección del fallo con los controles actuales, y el valor del **NPR** (Nivel de prioridad).

## Modelo de Fallos Críticos

### Aplicación del modelo de fallos críticos en el método FMEA: Caso renta de autos

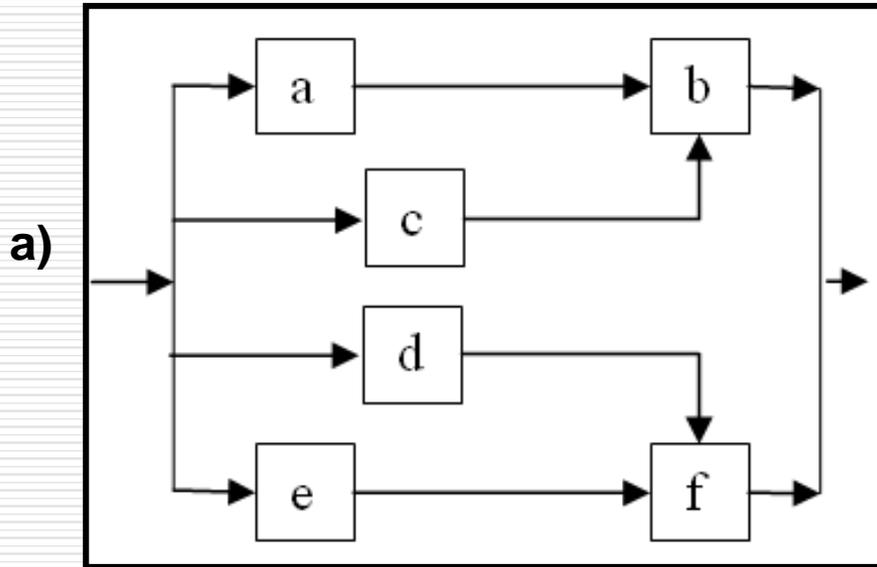
Actividad	Fallo	Efecto	Causas	S	O	Riesgo= S*O	D	NPR
Recibimiento del cliente	Mala atención al cliente	Se afecta la calidad del servicio que se ofrece	Plantilla incompleta en el punto de atención laboral	4	1	4 (moderado)	1	4
Solicita el servicio	Poca variedad de ofertas	Daños en la imagen y reputación de la empresa	Poca atención a las necesidades del punto por parte del jefe de este punto	3	2	6 (moderado)	2	12
Si no existe disponibilidad se le brinda información sobre	No se conoce información sobre	Perdida de cliente a la empresa	Insuficiente capacitación personal	3	2	6 (moderado)	2	12
Si existe disponibilidad se le ofrece información (precio, marca, etc)	El funcionario no cuenta con la información requerida.	Quejas sobre la prestación del servicio	Insuficiente capacitación del personal	3	2	6 (moderado)	2	12
		Insatisfacción con el servicio	Desmotivación del personal por el tipo de cliente					
Selecciona el tipo de auto	El auto seleccionado no está disponible	Quejas por falta de información en cuanto a disponibilidad de autos en el punto.	Desmotivación del personal por realizar un correcto servicio	4	2	8 (alto)	2	16
			Insuficiente capacitación					
...	...	...	...	...	...	...	...	...

**Severidad \* Ocurrencia = Riesgo**

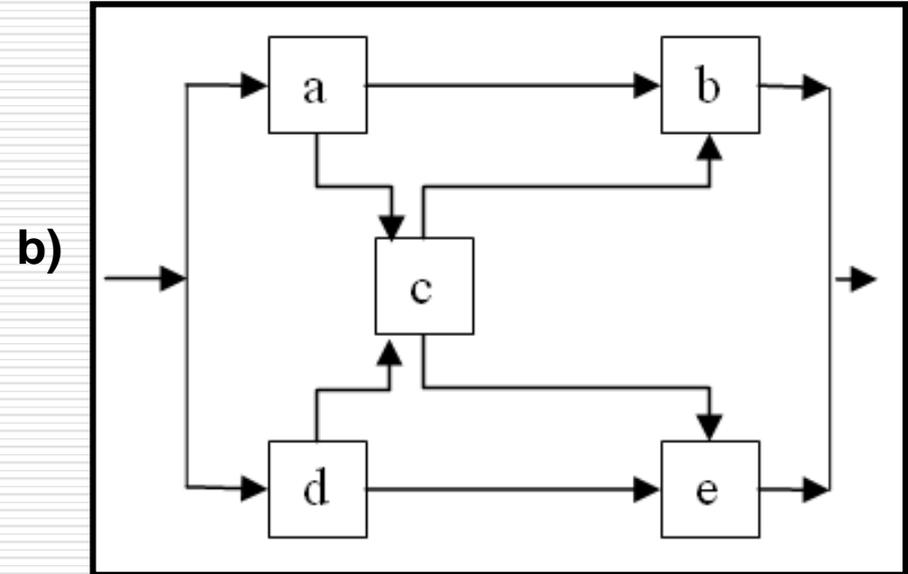
**Severidad \* Ocurrencia \* Detectabilidad = NPR**

# Entre esta y la próxima sesión

**Apliquemos el método adecuado**



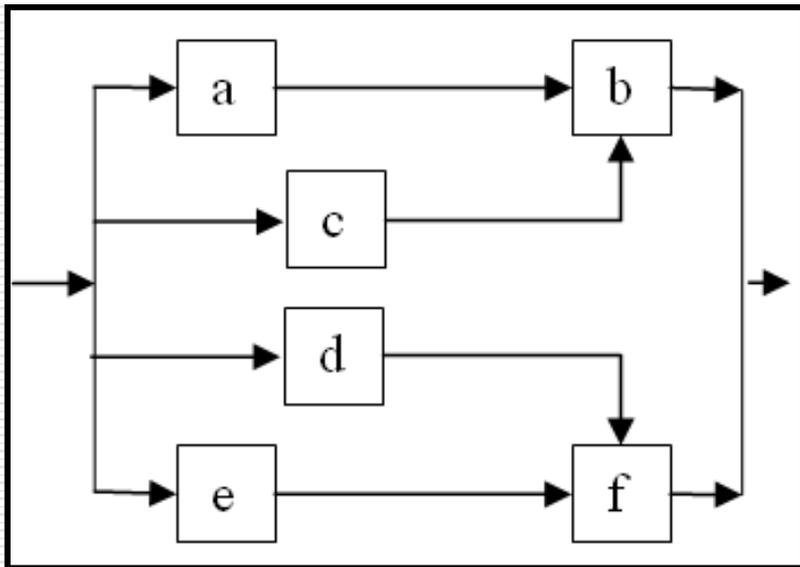
**Método de Inspección**



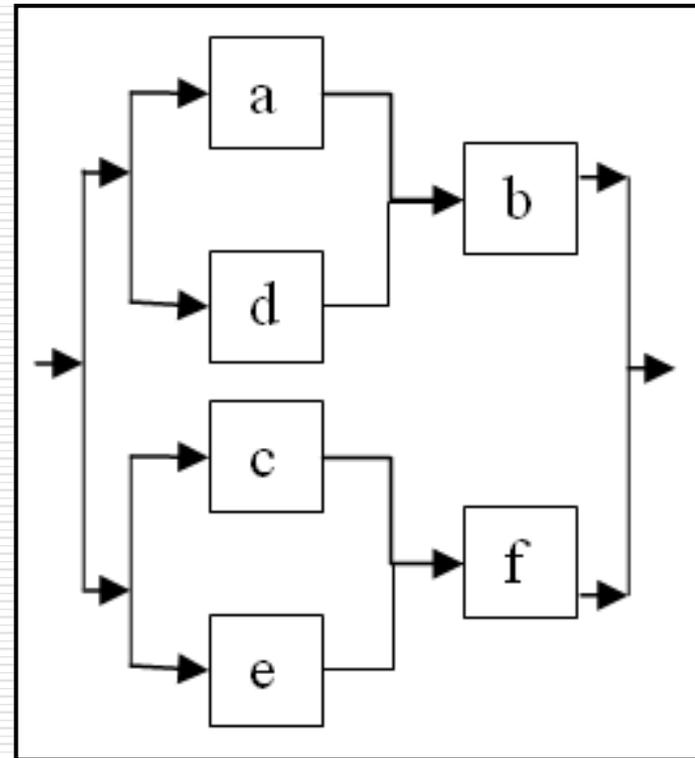
**Método de descomposición**

# Entre esta y la próxima sesión

Apliquemos el método adecuado



Estructuras equivalentes



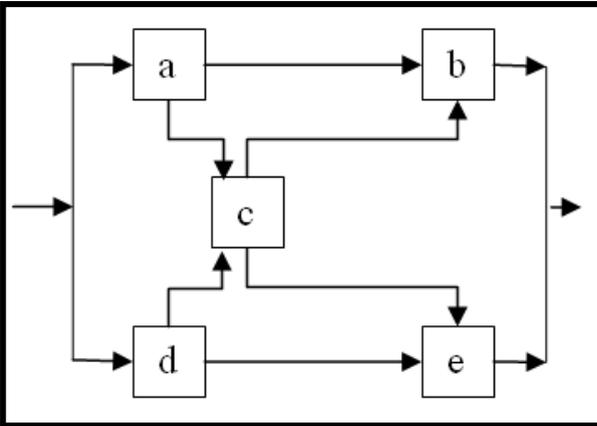
SOLUCIÓN POR MATHCAD

---

# Entre esta y la próxima sesión

Apliquemos el método adecuado

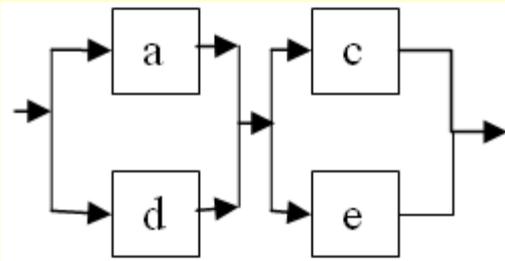
b)



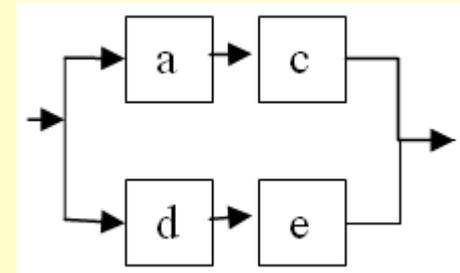
C: Elemento clave

SOLUCIÓN POR MATHCAD

$$P_s = P(c)$$



$$+ P(\bar{c})$$



$$P_s = p(2p - p^2)^2 + (1 - p)(2p^2 - p^4)$$