# *Diseño, Simulación, Optimización y Seguridad de Procesos (DSOySP)*

2024

Profesor: Dr. Nicolás J. Scenna
Profesor: Dr. Néstor Rodríguez
JTP: Dr. Juan I. Manassaldi
Aux Constanza Morbidoni

**Se incorporan nuevos temas en la asignatura DSOySP (análisis de riesgos y operabilidad de procesos). El nuevo material se aloja en el sitio web de la asignatura.**

**Diseño, Simulación, Optimización y Seguridad de Procesos.**

**Parte I:**

**Tecnología, Ingeniería Química e introducción a la Ingeniería de Procesos.**

**Parte II:**

**Ingeniería de Procesos, el Problema de Diseño de Procesos. Características generales**

**Parte III:**

**Análisis de Riesgos. Identificación y Evaluación de Consecuencias.**

**Parte IV:**

**Ciclo Falla – Reparación – Falla. Relaciones Probabilísticas. Confiabilidad y Disponibilidad de Procesos.**

# ¿Qué es la Ing. de la Confiabilidad, cuál es su utilidad ?

***¿Cuál es la Relación con la Ingeniería de Procesos?:***

***LA OPERABILIDAD DE LOS PROCESOS***

***El estándar ISO 55000/PAS 55 -gestión de activos-, establece que toda organización debe implementar un programa para reducir o eliminar el número de eventos no deseados, tanto crónicos como recurrentes.***

***Estudios RAM. Reliability, Availability and Maintainability***

***Proceso Falla – Reparación – Falla***

# Análisis RAM

*Se aplica a todo tipo de industrias.*

***Aquí nos enfocaremos a las de procesos químicos.***

*El análisis puede realizarse a nivel de componentes elementales de un sistema (circuitos, pulsadores), a nivel de las partes de un equipo (aleta, volante), o bien a todo un proceso (equipos).*

***La metodología se enfoca en primer lugar hacia una "segmentación / partición" conveniente del sistema analizado.***

# El análisis RAM, se puede realizar en cualquier etapa del proceso de diseño

| Diseño Conceptual | Diseño Básico | Diseño Detallado | Puesta en Marcha/Arranque | Operaciones |
|---|---|---|---|---|
| • Configuración del proceso.<br>• Tasas de falla y reparación inherentes<br>• Políticas de mantenimiento (asumidas). | • Distribución de la planta.<br>• Tasa de capacidad de los equipos. | • Componentes de repuesto instalados.<br>• Detalle de los planes de mantenimiento.<br>• Selección de proveedores. | • Errores en la instalación.<br>• Programas de capacitación del operador.<br>• Adquisición de equipos. | • Plan de mantenimiento.<br>• Tamaño de las cuadrillas de mantenimiento.<br>• Repuestos en almacén.<br>• Retrasos logísticos y administrativos.<br>• Errores humanos. |

# *IMPORTANTE: No confundir "HAZOP" con RAM*

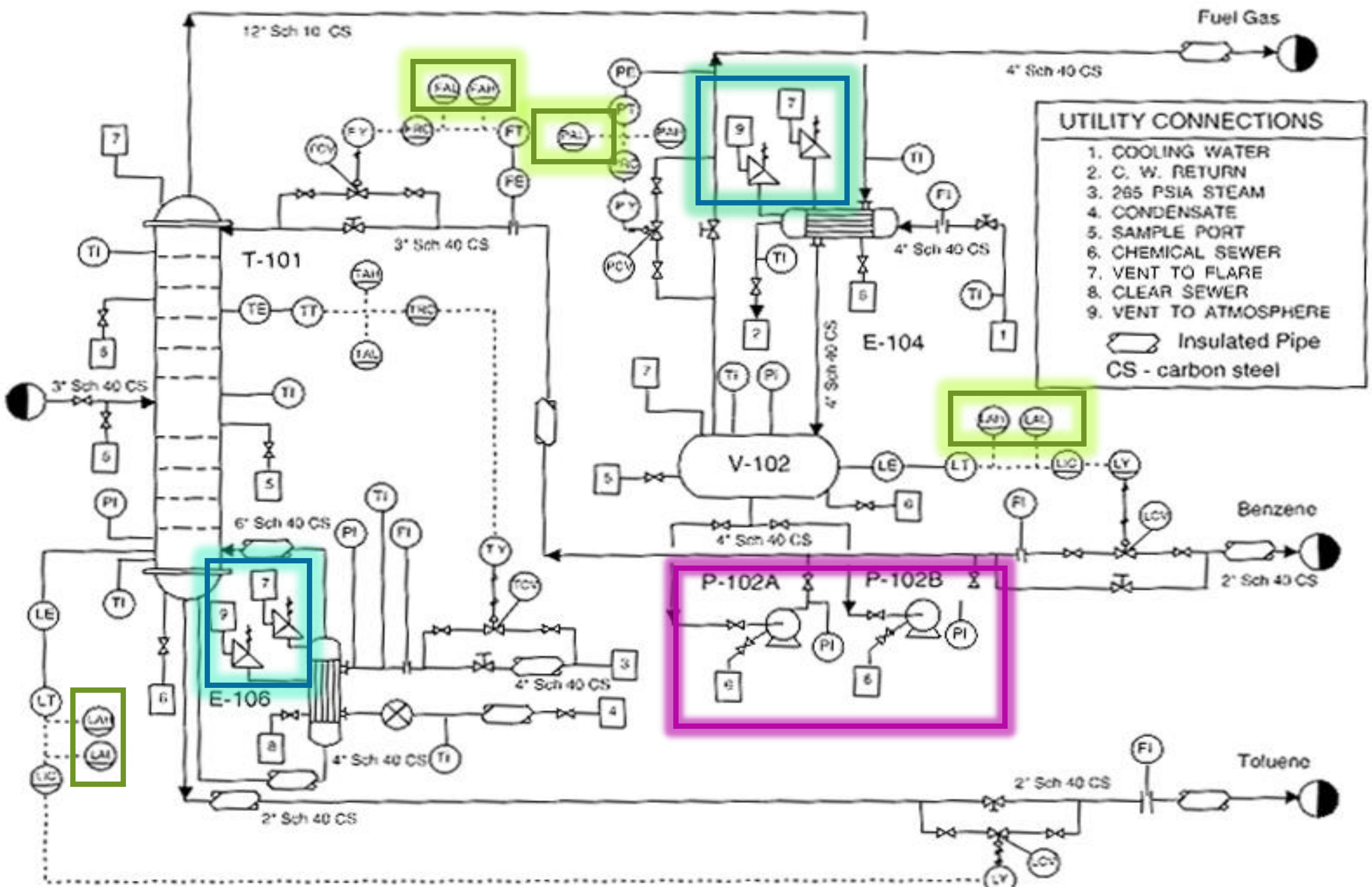



**Figure 1.7** Preliminary piping and instrumentation diagram for benzene distillation. (Adapted from Kauffman, D., *Flow Sheets and Diagrams*, AIChE Modular Instruction, Series G: Design of Equipment, series editor J. Beckman, AIChE, New York, 1986, vol 1, Chapter G.1.5, AIChE copyright, © 1986 AIChE, all rights reserved)

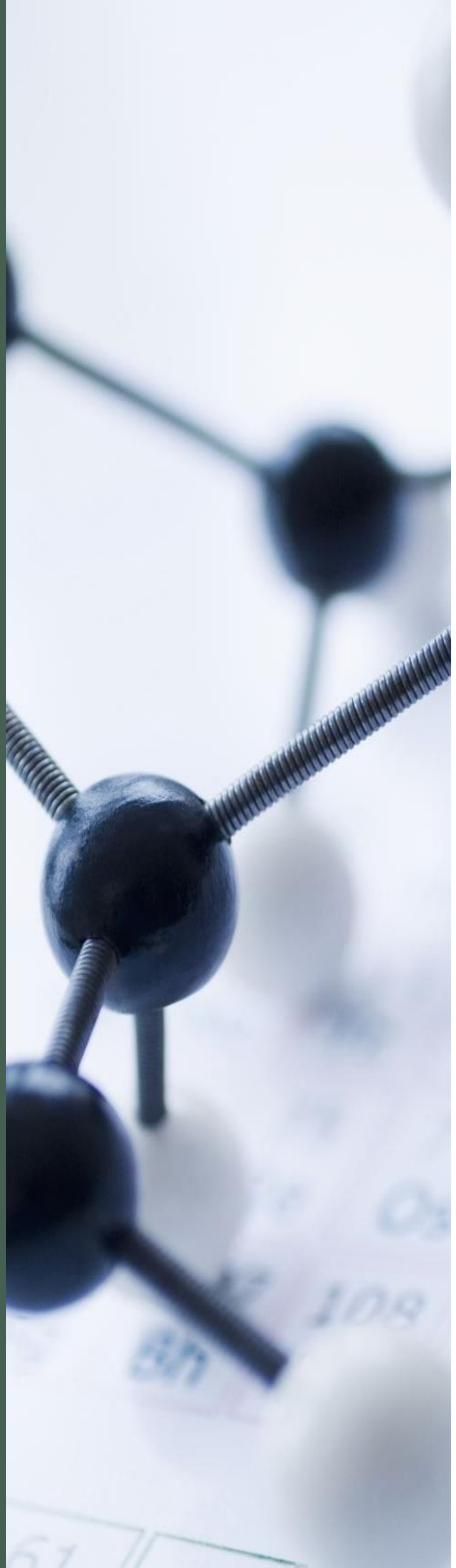
# RAM –Confiabilidad, Mantenibilidad, Disponibilidad

***Mantenibilidad:***

**Probabilidad que el equipo, *después de fallar*, sea puesto en *estado de funcionamiento* *en un* *tiempo dado*. *Una forma de cuantificar la mantenibilidad es mediante el MTTR* *(Mean Time to Repair) o Tiempo Medio de Reparación*.**

***Disponibilidad***

**Probabilidad que un *sistema* se encuentre *funcionando*, o de asegurar un servicio requerido, al *tiempo t*. Otra interpretación es "el *porcentaje* de equipos/componentes/*sistemas funcionando* a un *tiempo* determinado, respecto *al total existente*".**



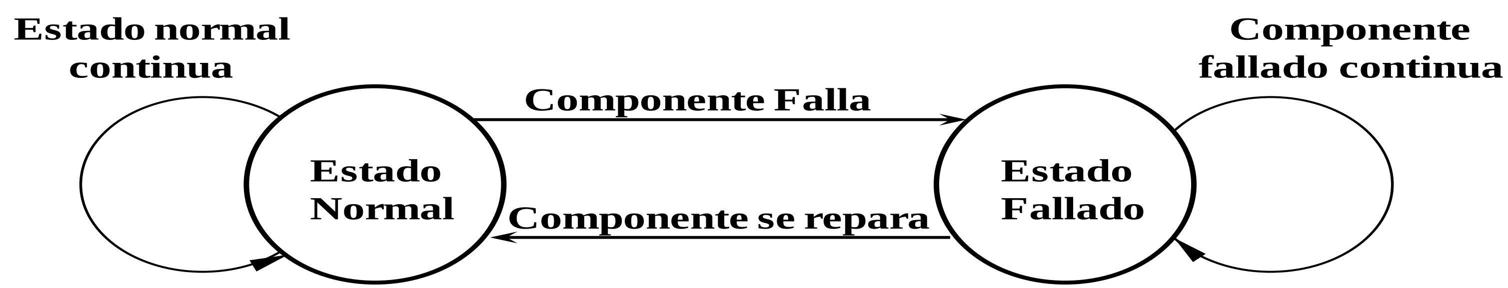
# *Estudios RAM. Reliability, Availability and Maintainability*

***Fiabilidad/Confiabilidad o Reliabiity (R)*** ***Se define como la probabilidad, durante un periodo de tiempo especificado, que un sistema/ equipo sea capaz de cumplir su función según diseño.***

**Según ISO: la probabilidad que un componente o sistema desarrolle *durante un periodo de tiempo* dado, la *tarea* que tiene encomendada *sin fallos*, y en las *condiciones establecidas*.**

***Un parámetro importante de la confiabilidad es el MTTF (Mean Time To Failure) o Tiempo Medio a Falla.***

# Principios Básicos del Proceso Falla – Reparación - Falla




**Parámetros probabilísticos de componentes con *estados binarios (fallado-funciona)*.**

- **Suposición: Un *componente sólo tiene dos estados: funciona* normalmente o está fallado (*no funciona*).**
- ***Los cambios de estado del componente acontecen con el tiempo. Los posibles cambios de estados de un componente se muestran en la figura.***

**Los *cambios de estado* -o transición- *ocurren (se asume) instantáneamente*, a un tiempo t, por lo que NO es posible tener dos estados diferentes al mismo tiempo.**

**Cuando se *repara* un componente se supone que su *condición es tan buena* como si fuera *nuevo.***

**El ciclo entero en la práctica consiste en repeticiones de estados dado las *transiciones reparado a fallado y fallado a reparado.***

***Analizamos la primera transición***

**Proceso:**

***Nuevo (o reparado como nuevo)*** → ***Fallado***

# Transición

## Nuevo (o reparado como Nuevo) ⟶ Fallado

**Para facilitar el análisis, nos conviene transitoriamente asimilar los términos *"reparación -a un estado como si fuera nuevo-"* con *"nacimiento"; y a la "falla" con la "muerte".***

**Esto nos permite asemejar *dichas transiciones* a lo que sucede con la evolución de una dada *población humana*, aun cuando sabemos que *en caso de muerte, no es posible la "reparación a nuevo", ya que constituye un "sistema no reparable"*.**

**No se puede predecir exactamente el ciclo de vida de una persona, dado que *"su muerte o falla"* es una *variable aleatoria* cuyas características se pueden establecer considerando una muestra de población muy grande. *Cada "muerte" sólo puede ser caracterizada por medio del comportamiento estocástico de esa población muestral como un todo.***

**Definimos *Confiabilidad R(t)* (de reliability en inglés), como la probabilidad de *supervivencia a la edad t (inclusive). Es por definición el número de sobrevivientes en t (hasta t) dividido por el total de la población.***

**Del mismo modo, la *No-Confiabilidad F(t)* es la probabilidad de *muerte (hasta justo antes de) la edad t* (t no está incluida). Se obtiene dividiendo el número total de *muertes antes de la edad t* <u>*por el total de la población.*</u>**

**Sea una tabla que presenta la evolución de una población en función del tiempo, representando el <u>*número de personas vivas al tiempo t como L(t).*</u>**

| *t* | *L(t)* | *R(t)* | *F(t) = 1 - R(t)* |
|---|---|---|---|
| 0 | 1023102 | 1.000 | .0000 |
| 1 | 1000000 | .9774 | .0226 |
| 2 | 994230 | .9718 | .0282 |
| 3 | 990114 | .9678 | .0322 |
| 4 | 986767 | .9645 | .0355 |
| 5 | 983817 | .9616 | .0384 |
| 10 | 971804 | .9499 | .0501 |
| 15 | 962270 | .9405 | .0595 |
| 20 | 951483 | .9300 | .0700 |
| 25 | 939197 | .9180 | .0820 |
| 30 | 924609 | .9037 | .0963 |
| 35 | 906554 | .8861 | .1139 |
| 40 | 883342 | .8634 | .1366 |
| 45 | 852554 | .8333 | .1667 |
| 50 | 810900 | .7926 | .2074 |
| 55 | 754191 | .7372 | .2628 |
| 60 | 677771 | .6625 | .3375 |
| 65 | 577822 | .5648 | .4352 |
| 70 | 454548 | .4443 | .5557 |
| 75 | 315982 | .3088 | .6912 |
| 80 | 181765 | .1777 | .8223 |
| 85 | 78221 | .0765 | .9235 |
| 90 | 21577 | .0211 | .9789 |
| 95 | 3011 | .0029 | .9971 |
| 99 | 125 | .0001 | .9999 |
| 100 | 0 | .0000 | 1. |

# *Obtención de los valores según definiciones y una tabla muestral*

**Resulta fácil realizar operaciones aritméticas y obtener ciertos valores relevantes.**

**La curva *R(t)* versus *t* es la *distribución de supervivencia*, mientras que la curva *F(t)* versus *t* es la *distribución de "falla" / mortalidad o muerte*.**

**La distribución de supervivencia *R(t)* representa tanto la *probabilidad de supervivencia* de un individuo a la edad t como la *proporción de la población que se espera sobreviva a esa edad determinada por t.***

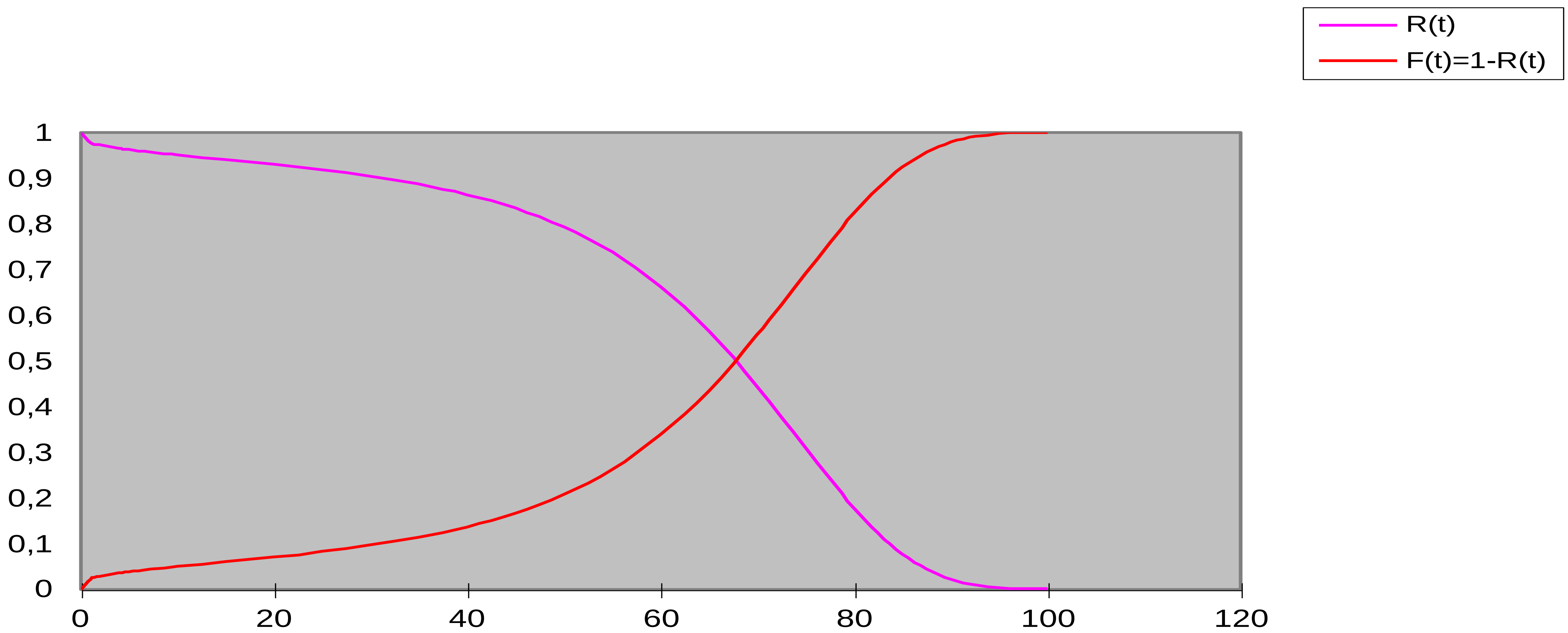
| t | L(t) | R(t) | F(t) = 1 - R(t) |
|---|---|---|---|
| 0 | 1023102 | 1.000 | .0000 |
| 1 | 1000000 | .9774 | .0226 |

**La distribución de falla *F(t)* es la probabilidad de muerte de un individuo *antes de la edad t*. También representa *la proporción de la población que se espera que muera antes de la edad t*.**

***R(t)* *s*e obtiene simplemente *dividiendo L(t)* *por la población total al instante cero, $t_0$.***

**F(t) *se obtiene como* la *división de la cantidad de muertes por la población inicial* -al instante cero-; o alternativamente como *1 – R(t).***

# En todo momento R(t) + F(t) = 1; R(t) tiende a 0 a tiempo infinito y F(t) tiende a 1.



# *No confiabilidad F(t)*

**La probabilidad que el componente tenga la primera falla *F(t)* durante [0,t), *dado que fue reparado a tiempo cero y se encuentraba como nuevo*.**

**Propiedades:**

$$\lim_{t \to 0} F(t) = 0 \qquad \lim_{t \to \infty} F(t) = 1$$

**Un componente está funcionando o está fallado al tiempo t:**

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

***Densidad de falla al tiempo t. = derivada de primer orden de F(t),***

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt}$$

# *Velocidad de falla r(t)*

**Hasta aquí tomamos como referencia a la totalidad de la población (o referida a la inicial). Esto es, la correspondiente al instante t=0.**

**Si en cambio tomamos como referencia *a la población viva en cada instante t,* tenemos otro enfoque.**

**Sea la diferencia $F(t_2) - F(t_1)$, con $t_2 > t_1$ la población que se espera que fallezca entre las edades $t_1$ y $t_2$. *Tomando ahora el cociente respecto a la población de individuos que sobrevivieron a la edad t, obtenemos la velocidad de falla r(t)* -o la probabilidad de muerte por unidad de tiempo a la edad t-.**

# Velocidad de falla al tiempo t, r(t)

***Esto es, para Δt suficientemente pequeños, la cantidad r(t)Δt estima el número de muertes n durante (t, t+Δt), dividido por el <u>número de individuos sobrevivientes a la edad</u> t, que es L(t):***

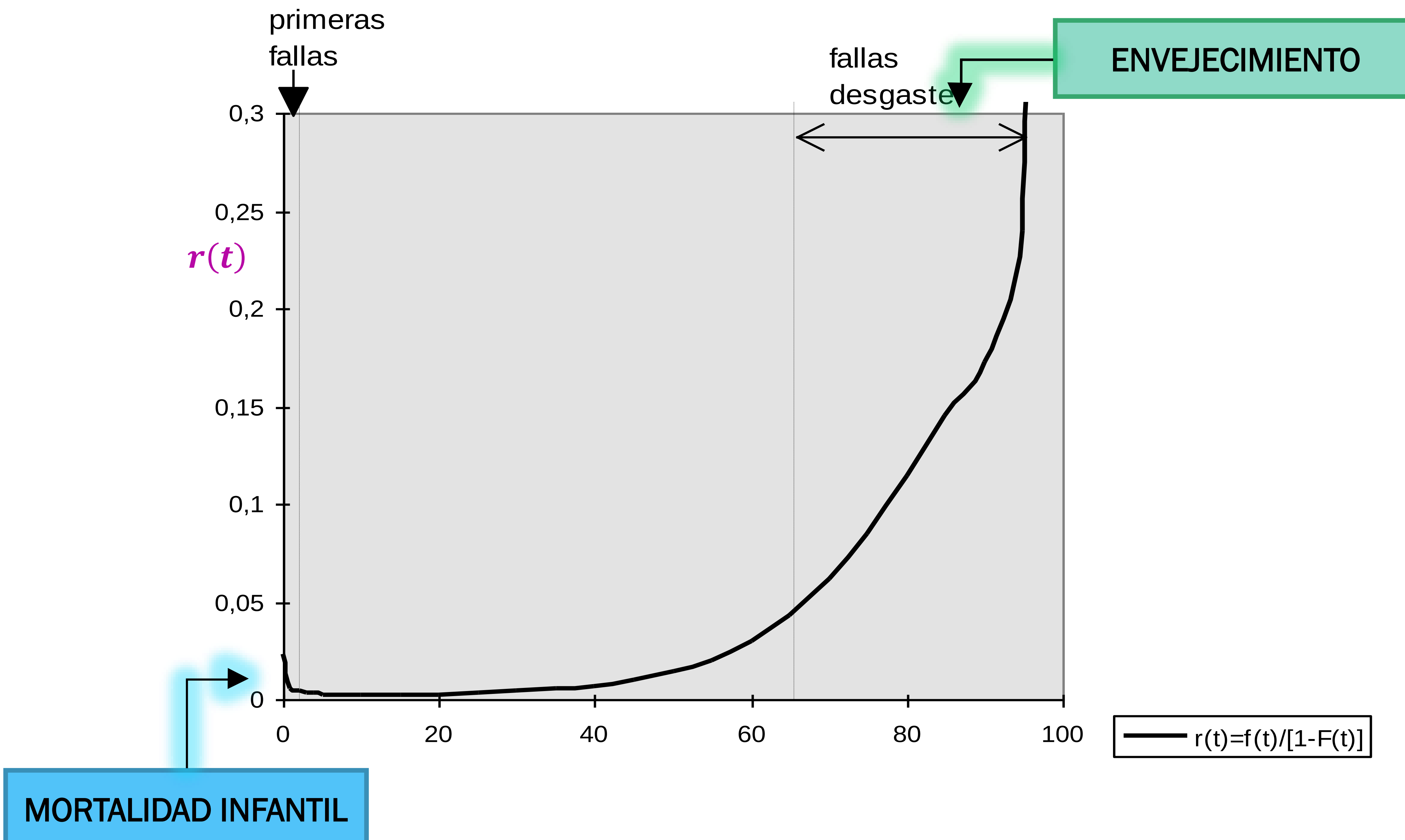
$$r(t)\Delta t \approx \frac{Número\ de\ muertes\ durante\ (t, t+\Delta t)}{Número\ de\ sobrevivientes\ a\ la\ edad\ t} = \frac{[n(t+\Delta t) - n(t)]}{L(t)}$$

***Dividiendo ambos miembros por Δt y en el miembro derecho, numerador y denominador por el total de la muestra L(t=0):***

$$r(t) = \frac{f(t)}{[1 - F(t)]}$$

# Curva de la bañera

$$r(t) = \frac{f(t)}{[1-F(t)]}$$



# Curva de la bañera

**El primer período -a la izquierda- es denominado "mortalidad infantil" y corresponde (en sistemas tecnológicos) a diseños defectuosos, materiales impropios, componentes fuera de tolerancia, daños en el envío, entre otras causas posibles.**

**El modo de corregirlo en algunos diseños de ingeniería es ponerlo a prueba por un período corto de tiempo, asegurando la entrega de un producto fuera de tal período de probabilidad de fallas.**

# Curva de la bañera

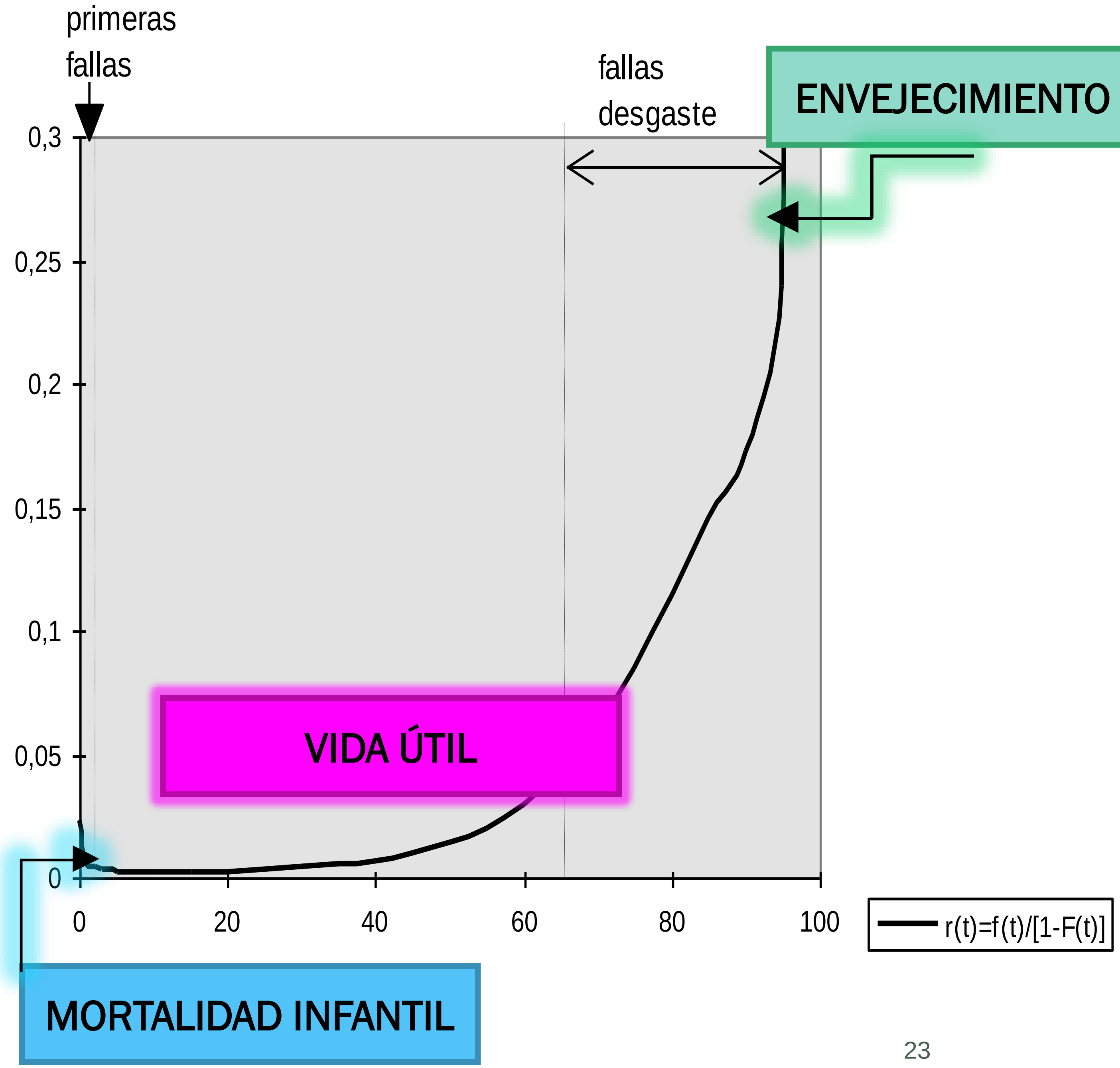
***La parte de la derecha de la curva es una región con velocidades o frecuencias de falla crecientes. En este período se asume que ocurren las fallas por envejecimiento. Se acumulan efectos como corrosión, fatiga, desgaste, difusión y disgregación de los materiales, etc.***

***El período del medio tiene <u>una velocidad de falla prácticamente constante</u>, y es referido como <u>la vida útil de tal aparato, equipo, componente</u>. Las fallas que ocurren en este período de tiempo se denominan "fallas aleatorias", <u>correspondiéndose con r(t) = constante</u>.***

# Curva de la bañera

***Durante este período (vida útil) las fallas ocurren, en general, por accidentes aleatorios, malas condiciones ambientales o de yerros en el diseño.***

***Este comportamiento es muy importante para el análisis de la confiabilidad y la disponibilidad de los sistemas, por ser habitual y sencillo desde el punto de vista de su tratamiento matemático***



## Parámetros probabilísticos del proceso: funciona desde t=0 (nuevo) hasta el estado fallado

**En <u>los sistemas reparables</u>, debemos modificar la condición inicial (con respecto a las poblaciones humanas).**

**Tomamos para el tiempo t=0, o bien 1) que el componente/sistema comienza su ciclo de vida <u>"es nuevo", o bien 2) está reparado al tiempo t=0 (como si fuese nuevo)</u>.**

**La tarea consume un tiempo de reparación, y suponemos que lo <u>restaura "como si fuera nuevo"</u>. <u>Es indistinguible si ha sido o no reparado ya que, está "como nuevo" a t=0.</u>**

# Resumen de las funciones básicas:
# No confiabilidad en función del tiempo

**F(t) = no confiabilidad al tiempo t**

***Probabilidad que el componente tenga la primera falla durante [0,t) dado que fue reparado -a nuevo-, a tiempo cero. Como un componente está funcionando o está fallado al tiempo t, tenemos: R(t) + F(t) = 1***

***f(t) = densidad de falla de F(t) = derivada de primer orden de F(t)***

***El producto f(t)dt representa la probabilidad que la falla del componente/equipo ocurra durante el intervalo [t,t+dt), dado que el componente era nuevo o fue reparado a tiempo cero.***

***El TTF=TIEMPO ESPERADO DE FALLA (TIME TO FAILURE), <u>es el tiempo transcurrido desde la reparación hasta la primera falla.</u> Este tiempo es aleatorio dado que no se puede predecir el tiempo exacto de la primera falla.***

***Las siguientes definiciones son equivalentes a las establecidas para una población humana:***

***R(t) Confiabilidad al tiempo t***

***Es la probabilidad que el componente no tenga fallas durante el intervalo (0,t] dado que el componente se encuentra como nuevo, al tiempo 0.***

***La curva R(t) versus t es la distribución de supervivencia. La distribución es monótona decreciente, dado que la confiabilidad disminuye con el tiempo. La confiabilidad tiene las siguientes propiedades:***

$$\lim_{t \to 0} R(t) = 1$$

$$\lim_{t \to \infty} R(t) = 0$$

# Mean time to failure.
# Tiempo medio a primer falla

*En cambio, el MTTF (tiempo medio entre fallas -Mean Time To Failure-, es el valor del tiempo medio en que se espera que un componente falle.*

$$MTTF = \int_0^{\infty} t \; f(t)\, dt$$

***Vimos f(t) dt es la probabilidad que el TTF se encuentre alrededor de t, y MTTF es el valor <u>promedio de todos los posibles TTFs.</u>***

# $r(t)$ = velocidad de falla

***Es la probabilidad que un componente tenga una falla por unidad de tiempo al tiempo t, dado que el componente fue reparado a tiempo cero y sobrevivió hasta al tiempo t.***

***La cantidad r(t) dt es la tasa de falla de un componente al tiempo t (tiene la "edad" t), estaba normal/reparado a nuevo al tiempo cero, y funcionó normalmente hasta el tiempo t.***

$$r(t) = \frac{f(t)}{[1 - F(t)]}$$

## Parámetros probabilísticos del ciclo o proceso: Está fallado a tiempo cero, y es luego reparado a nuevo al tiempo t.

Este proceso es el opuesto al anterior.

Mejor dicho, es equivalente al anterior, pero invirtiendo los roles, ya que estamos analizando una población de componentes/equipos/sistemas, al instante inicial "todos fallados", y a medida que transcurre el tiempo una porción de dicha población va siendo reparada.

Por lo tanto, comienza nuevamente el ciclo, ya que han quedado como "nuevos", y su "sobrevida" será entonces dependiente de las relaciones establecidas según el hemiciclo desctrito en el punto anterior.

***Las relaciones probabilísticas, para el proceso "en falla y a repararse a nuevo" son semejantes y complementarias con el proceso "en funcionamiento y por fallar"… bajo hipótesis similares.***

***Los parámetros probabilísticos están condicionados al hecho que el componente esté fallado al tiempo cero.***

***Es decir, tenemos una población de componentes en estado fallado, y mediante la tarea cumplida/organizada por el sistema/grupo de mantenimiento, se repara a nuevo (lleva un tiempo aleatorio la reparación) para luego comenzar su fncionamiento como si fuera nuevo.***

***Ambos hemiciclos, por lo tanto, son semejantes y complementarios, ya que ambos forman parte del ciclo de vida de cada componente analizado. Obviamente, integralmente es un proceso aleatorio.***

***Las relaciones probabilísticas, entre un conjunto de sistemas "fallados y en proceso a repararse" son semejantes a un conjunto de sistemas "funcionando y en proceso de fallar"... ya que se plantean bajo iguales hipótesis.***

***Sea la definición de la función de distribución de la probabilidad de reparación: G(t) = probabilidad de reparación al tiempo t. Es la probabilidad que la reparación se haya hecho justo antes del tiempo t, dado que el componente está fallado al tiempo cero.***

***La curva G(t) versus t es la distribución de la distribución del estado "reparado", y es semejante al rol de la distribución de falla F(t).***

***G(t) es "semejante", cumple el mismo rol que F(t)***

## Relaciones probabilísticas entre proceso "fallado y en proceso a repararse" y el proceso "funcionando y por fallar"...

**Para los *componentes no reparables G(t) = 0***

***La distribución de reparación G(t) es una función monótona creciente para el componente reparable, y por lo tanto tiene las siguientes propiedades asintóticas:***

$$\lim_{t \to 0} G(t) = 0 \qquad \lim_{t \to \infty} G(t) = 1$$

***Siendo g(t) = densidad de reparación de G(t). Es la derivada de primer orden de G(t) que se puede escribir como:***

$$g(t) = \frac{dG(t)}{dt} \text{ ó } g(t)dt = G(t + dt) - G(t)$$

***g(t) es "semejante", cumple el mismo rol que f(t)***

# Velocidad de reparación

**m(t) = velocidad o tasa de reparación, mismo rol que r(t)**

**Probabilidad que el componente esté reparado por unidad de tiempo al tiempo t dado que el componente falló al tiempo cero y continúa fallado al tiempo t.**

**Un componente no reparable tiene una velocidad de reparación cero.**

**Un componente con una velocidad de reparación constante tiene la misma posibilidad de ser reparado independientemente de cuando falle.**

**Nótese que el rol de m(t) es semejante al de r(t) en el ciclo complementario (aunque debemos reemplazar f y F por sus equivalentes:**

$$r(t) = \frac{f(t)}{[1 - F(t)]} \qquad m(t) = \frac{g(t)}{[1 - G(t)]}$$

# MTTR = tiempo medio de reparación

**TTR = tiempo de reparación (Time To Repair)**

**Tiempo transcurrido desde la falla hasta su reparación.**

**Esta es una medida aleatoria porque asumimos que el tiempo empleado en el proceso de reparación se distribuye aleatoriamente.**

***MTTR = tiempo de reparación media, es la media de los valores TTR en el intervalo de tiempo de análisis.***

$$MTTR = \int_0^t t\, g(t)dt$$

# Distribución Exponencial.
# Ley exponencial de fallas: Tasa de fallas constante

En los apartados anteriores se ha considerado en detalle los principios que describen el ciclo falla-reparación-falla. Las relaciones establecidas son generales.

Una importante cantidad de sistemas reales responden o se pueden representar asumiendo que la velocidad de fallas es constante.

En general, existen diversos fenómenos aleatorios que respondan a modelos típicos; como por ejemplo la Distribución Exponencial. Esta distribución, que se utiliza para representar diversos fenómenos aleatorios, es la que representa adecuadamente, también a los procesos con velocidad de falla (y de reparación) constante.

# *Distribución Exponencial. Ley exponencial de fallas: Tasa de fallas constante*

**La Distribución Exponencial es muy utilizada, y es sencilla de tratar matemáticamente. *En los Estudios RAM es apropiada cuando se modela la confiabilidad (descartada la "mortalidad infantil" y sin efectos significativos "de envejecimiento" -recodar la curva de la bañera*.**

***Se puede demostrar que, si se responde a una distribución exponencial, entonces la tasa de fallas es constante (λ). Para ello asumimos que la función densidad de fallas es la característica de la Dist Exp, para demostrar que entonces se cumple que r(t) = λ.* Utilizaremos la fórmula general que relaciona dichas magnitudes:**

$$r(t) = \frac{f(t)}{[1 - F(t)]}$$

**Sea entonces:** $$r(t) = \frac{f(t)}{[1 - F(t)]}$$

***La función de densidad de fallas correspondiente a una distribución exponencial, responde a la siguiente expresión:***

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

***F(t) = a la integral de f(t):***

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$$

***Y la confiabilidad resulta:***

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

***Luego, r(t), según la expresión de arriba resulta:***

$$r(t) = \lambda$$

***Si la velocidad o tasa de fallas se considera constante, entonces la función de distribución de fallas es exponencial.***

***Luego, la probabilidad que una unidad/componente/equipo/sistema que está en funciones falle en el próximo instante, no depende (es independiente) del tiempo transcurrido (o sea, del tiempo en que ha estado en funcionamiento).***

***Entonces, la unidad no presenta signos de envejecimiento*. O lo que es lo mismo, da igual en términos probabilísticos que falle en el instante siguiente (desde su estado "nuevo") que lo haga en cualquier otro instante.**

***Pero otra magnitud distinta, es el riesgo total/acumulado para que ocurra el evento (falla). Por ejemplo, en el campo de la investigación del cáncer, éste sería la probabilidad que tiene una persona que no presenta cierto tipo de cáncer (a tiempo inicial) de sufrir de éste; cuando cumpla una edad específica (a tiempo t).***

# Función de riesgo acumulativa

**La función de riesgo acumulado $H(t)$ es por definición, la integral (entre 0 y t) de la tasa de fallas.**

**Para sistemas que responden a la distribución exponencial (velocidad de fallas constante λ), resulta:**

$$H(t) = \int r(t)dt = \int \lambda\, dt = \lambda t$$

# Tiempo Medio entre fallas (MTBF)

**Como vimos, se define como la integral entre cero e infinito de los tiempos a falla en cada instante:**

$$MTBF = \int t\, f(t)\, dt$$

**Alternativamente se puede emplear la relación, para determinar el MTBF, en función de la confiabilidad, siendo la integral entre cero e infinito:**

$$MTBF = \int R(t)\, dt$$

***Resolviendo cualquiera de las dos expresiones anteriores, se tiene:***

$$MTBF = \frac{1}{\lambda}$$

# Tiempo Medio entre Reparaciones (MTBR)

***Si se asume la distribución exponencial como representativa del proceso,***

***m(t) = μ (velocidad de reparación constante)***

***siguiendo el mismo razonamiento realizado para el caso anterior, obtenemos las siguientes expresiones:***

$$MTBR = \int t\, g(t)\, dt$$

***Resolviendo se tiene (por semejanza con el hemiciclo complementario):***

$$MTBR = \frac{1}{\mu}$$

# *Mantenimiento Correctivo, Preventivo, Predictivo.*

**El MANTENIMIENTO CORRECTIVO se activa "reaccionando" a la falla *(o sea posteriormente al suceso o evento de Falla para reparar). El sistema de Gerenciamiento del mantenimiento se concentra en reducir el tiempo de reparación y aumentar el de funcionamiento.***

***En el MANTENIMIENTO PREVENTIVO entran en juego Estrategias de Gerenciamiento de Mantenimiento adicionales. Se pretende (para evitar las fallas antes que ocurran), definir acciones (inspección periódica, acciones preventivas -limpieza, etc). En estos casos, el "precio" a pagar (además de mayor costo de mantenimiento) es que puede adicionarse un tiempo de mantenimiento preventivo (en ese tiempo el equipo NO está disponible) al tiempo de mant. correctivo***

# ***Mantenimiento Correctivo, Preventivo, Predictivo.***

***El MANTENIMIENTO PREDICTIVO responde a la misma intención que el anterior, pero optimizando la selección de los equipos críticos, modelando los tiempos esperados de fallas, y las acciones preventivas (inspecciones, revisiones, etc),***

***de tal manera de minimizar los "tiempos insumidos para realizar las tareas preventivas/predictivas de mantenimiento".***

# Disponibilidad

*Una definición habitual es la probabilidad que un sistema se encuentre funcionando, o de asegurar un servicio requerido, al tiempo t.*

***Otra definición alternativa:***

*ES EL PORCENTAJE DE TALES SISTEMAS FUNCIONANDO A UN TIEMPO DETERMINADO, RESPECTO AL TOTAL EXISTENTE.*

***Nótese que en la práctica, es necesario definir el horizonte de tiempo de referencia. O sea el tiempo de producción tomado como referencia.***

# Disponibilidad

***El horizonte de tiempo de funcionamiento de un complejo fabril es distinto según sea una planta continua, una que funciona intermitentemente, o bien una planta batch, o semicontinua.***

***Para el caso Batch, no es lo mismo una monoproducto, que una multiproducto y/o multipropósito.***

***Interesa, además, aún si tomamos el caso de plantas en operación continua, en base anual, <u>si se considera el tiempo de reparación anual, y/o los tiempos de mantenimiento predictivo, o preventivo, además del correctivo….</u>***

# Disponibilidad Inherente (DI)

***Porcentaje del tiempo que un equipo está en condiciones de operar durante el periodo de análisis, teniendo en cuenta solo los paros no programados. O sea, al horizonte de tiempo de producción (año) se le resta el tiempo de parada anual programado de planta) –se cuantifica la Disponibilidad inherente de los equipos-***

***Se la puede interpretar también, como el porcentaje de equipos o sistemas funcionando en un determinado momento, frente al parque total de equipos o sistemas.***

***Se sigue que si queremos aumentar la DI, debemos disminuir el tiempo de parada por falla -paros no programados del proceso / equipo / sistema bajo análisis-***

***Dado que el ciclo de tiempo es la suma del tiempo medio a falla y el de reparación, la Disponibilidad inherente resulta (tasa de fallas constantes):***

$$DI = \frac{MTBF}{MTBF + MTBR}$$

***Recordar que aquí el MTBR NO engloba todas las paradas del proceso, equipo o instalación.***

***Se toma solo el <u>mantenimiento correctivo</u> (realizado después de ocurridas las fallas) <u>y no el preventivo o el predictivo.</u>***

# También se suele definir a la Disponibilidad Inherente como A(t)

**A(t)= Up time (tiempo funcionando) / Total Time (tiempo u horizonte disponible para producir)**

**Igual que en el caso anterior, se suele representar, para los procesos a velocidad de reparación y fallaa constantes (Distribuciones siguiendo la ley Exponencial), de la siguiente forma:**

$$A(t) = \frac{MTBF}{MTBF + MTBR}$$

$$A(t) = \frac{1/\lambda}{1/\lambda + 1/\mu}$$

# Disponibilidad Operacional (DO)

***La DO representa el porcentaje de tiempo que el equipo/sistema está funcionando (o a disponibilidad del área de operaciones) para desempeñar su función en el periodo de análisis.***

***Aquí, se contempla para el cálculo, también el tiempo que el equipo/sistema está fuera de operación por paros programados (además de los no programados).***

***El objetivo de este indicador es medir el desempeño de los equipos y la eficiencia en la gestión de mantenimiento, de manera conjunta.***

# Acciones u objetivos a plantearse

***Reducir cuantitativamente el número de fallos, implica aumentar el MTBF.***

***Disminuir los MTTR, o sea reducir los tiempos de reparación de las averías.***

***En el caso de la disponibilidad operativa, reducir paradas por mantenimiento preventivo, mediante programaciones "inteligentes" que tiendan a un mantenimiento a la medida de cada equipo/sistema (predictivo), reduciendo o eliminando procedimientos que no aporten beneficios.***

***Esto es, proceder optimizando las operaciones de mantenimiento ....***

# CONFIABILIDAD Y DISPONIBILIDAD DE SISTEMAS EN FUNCIÓN DE SUS COMPONENTES

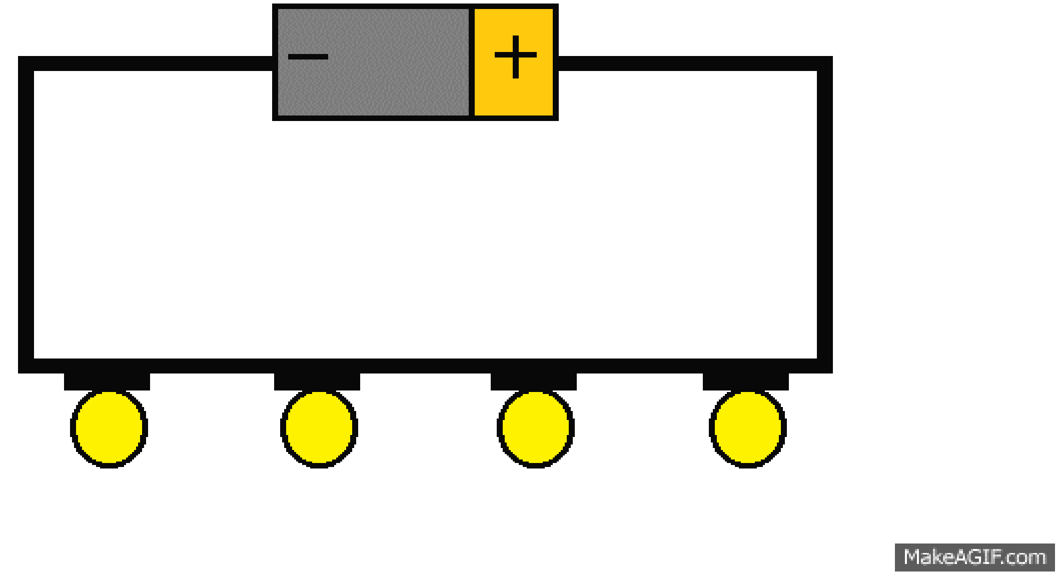
**TODO PROCESO ES UN COMPLEJO INTEGRADO CUYA DISPONIBILIDAD/CONFIABILIDAD DEPENDE DE LAS DE SUS COMPONENTES**

# ANÁLISIS ESTRUCTURAL DESCOMPOSICIÓN SERIE - PARALELO

***Se Procede a modelar a los sistemas complejos en función de los parámetros básicos de los respectivos componentes.***

- ***Para los arreglos estructurales complejos, en general se realiza una evaluación o cálculo por sectores, siguiendo reglas simples.***
- ***En la mayoría de los casos es posible reducir el análisis en base a dos estructuras simples***
- ***Sistemas en Serie***
- ***Sistemas en paralelo***

# Configuración en serie




***En esta configuración todos los componentes son considerados críticos, ya que todos ellos deben funcionar para que el sistema funcione.***

***-Solo basta que falle uno, para que falle el sistema.***

***-Luego, resulta que la confiabilidad del sistema, NO es mayor que la confiabilidad del componente de menor confiabilidad.***

***Si la confiabilidad del sistema depende de que todos funcionen simultáneamente; la probabilidad es la productoria de las confiabilidades de c/componente (probabilidad simultánea). Y la no confiabilidad, es la unidad menos tal probabilidad (productoria)***

$$R_s = R_1 \,.\, R_2 \,.\, R_3 \,.\, R_4 \quad y\ luego \qquad F_s = 1 - R_s$$

# Confiabilidad, Disponibilidad

***Es importante mencionar lo siguiente:***

***La relación anterior (sistema serie) y las siguientes correspondientes a otros arreglos, son válidas tanto para el cálculo de la confiabilidad como para la disponibilidad-.***

***Si bien para facilitar la comprensión se han considerado solo tres componentes, <u>la extensión a N componentes (cualquiera sea la cantidad) es directa. Es decir, la productoria se extiende a N componentes.</u>***

# Configuración en paralelo

***En esta configuración los componentes realizan la misma función y basta con que al menos uno funcione para que el sistema funcione.***

***Luego, la confiabilidad del sistema Rs, es la unidad menos la no confiabilidad simultánea de todos los componentes (productoria). Mientras que la no confiabilidad del sistema Fs es la productoria de las no confiabilidades de los componentes.***

$$R_s = 1 - (1 - R_1).(1 - R_2).(1 - R_3)$$

$$F_s = F_1 . F_2 . F_3$$

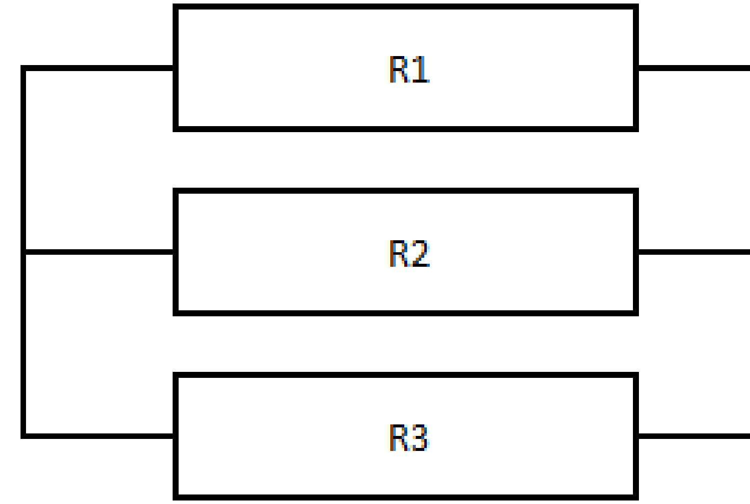
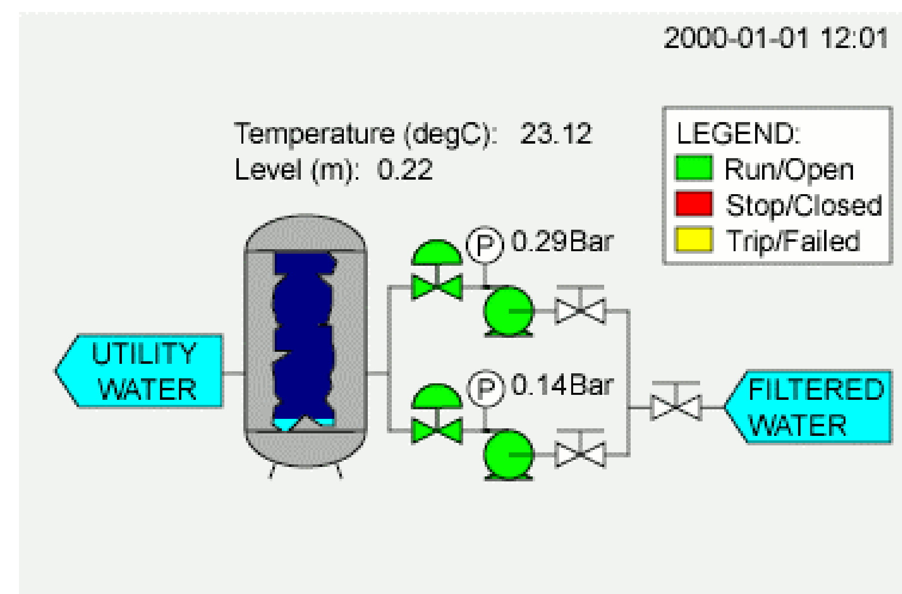



Diagrama de Bloques - Paralelo



***El diagrama de bloques de confiabilidad facilita la relación entre los componentes, su arreglo estructural y el sistema. Es usado para hallar la confiabilidad de un sistema, en función de la confiabilidad de sus componentes. Los más simples son:***

## Configuración en serie:

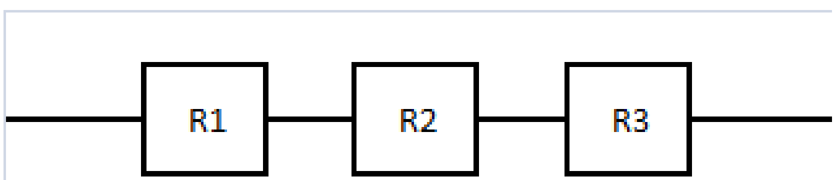



Diagrama de Bloques - Serie

## Configuración en paralelo:

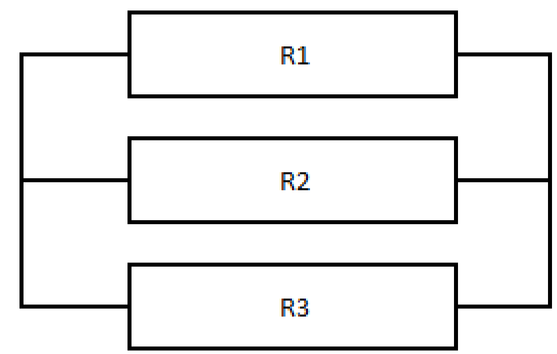



Diagrama de Bloques - Paralelo

# Sistemas mixtos simples

***Diferentes combinaciones de componentes vinculados en serie/paralelo.***

***Se resuelven "reduciendo el sistema" a uno serie por ejemplo, mediante los cálculos indicados previamente***

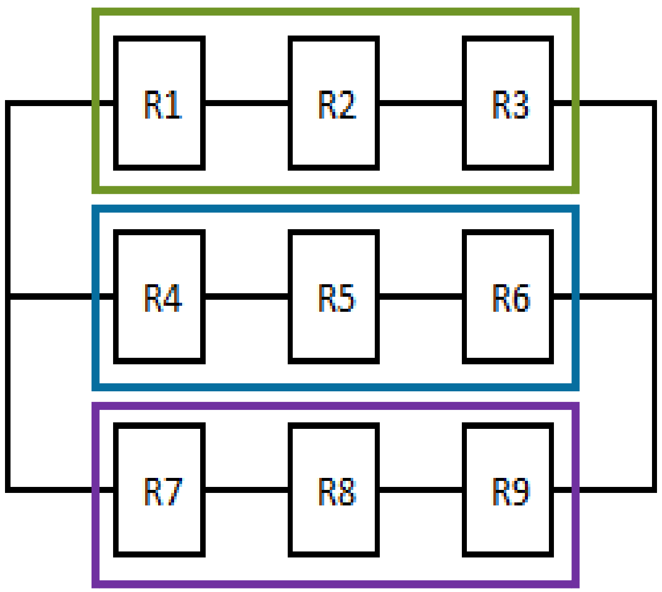



Diagrama de Bloques - Paralelo- Serie

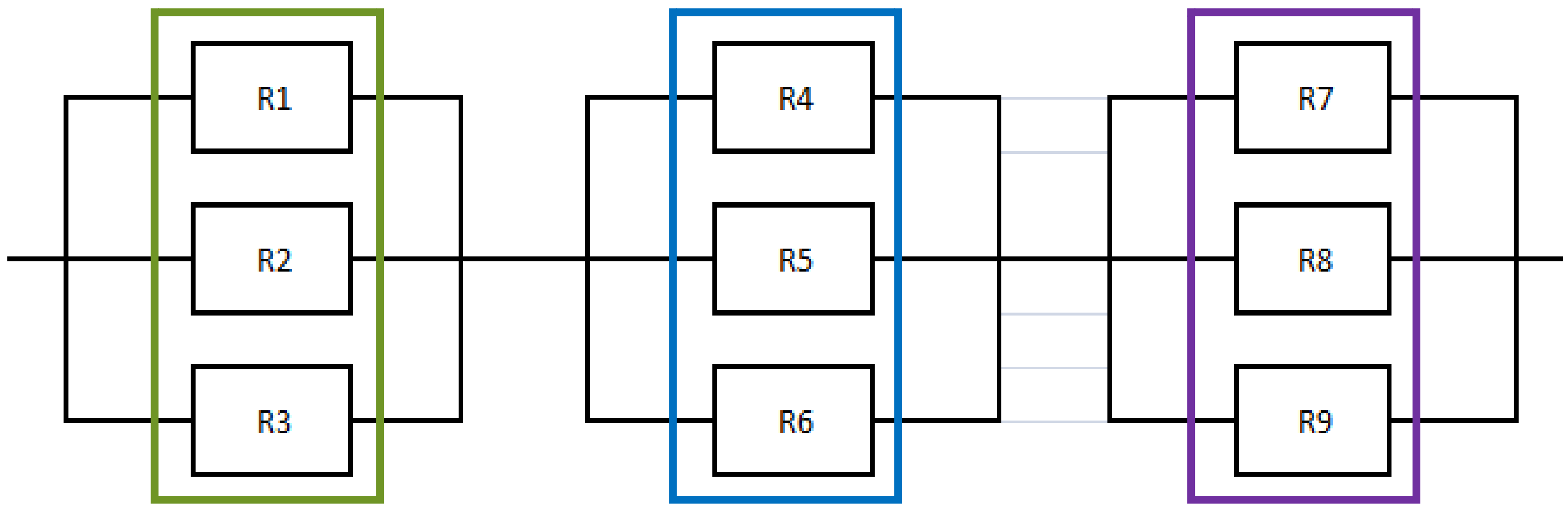



Diagrama de Bloques - Serie - Paralelo

# *Ejemplo de Aplicación*

**En el sector del ferrocarril: si se han sufrido 50 fallos eléctricos, 30 electrónicos y auxiliares de información, 20 neumáticos, 28 en puertas y 15 mecánicos en un grupo de 65 unidades eléctricas en total, funcionando en total durante/ hasta 100.000 km de recorrido.**

**Suponiendo que las unidades se encuentran en su periodo de vida útil o con λ = cte;**

## λ = 2,2 x 10 averías/km

## MTBF = 45,454

**Calcular la A(t) y R(t) para el sistema. Tiempo de parada anual (21 días). Si el objetivo es A(t) = 0,987, identifique los puntos críticos, proponga soluciones. Nota: R es semejante a E. O sea R1 = E1**

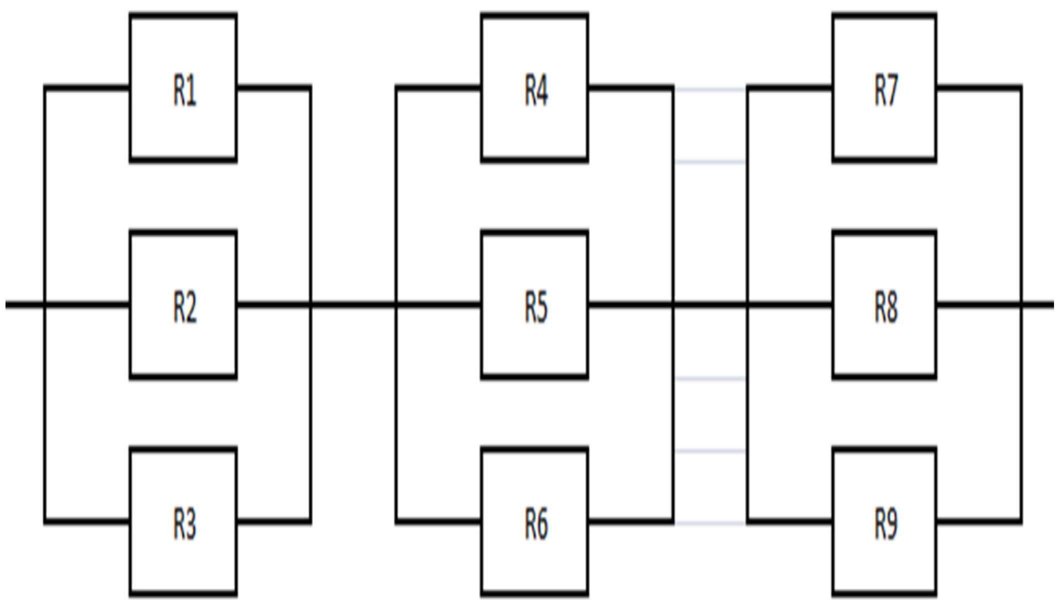



Diagrama de Bloques - Serie - Paralelo

| MTTR (días) | MTTF (días) | Equipo |
|---|---|---|
| 3 | 278 | E1 |
| 2 | 325 | E2 |
| 13 | 330 | E3 |
| 12 | 198 | E4 |
| 4 | 220 | E5 |
| 1 | 300 | E6 |
| 0,5 | 325 | E7 |
| 1 | 333 | E8 |
| 0,5 | 143 | E9 |