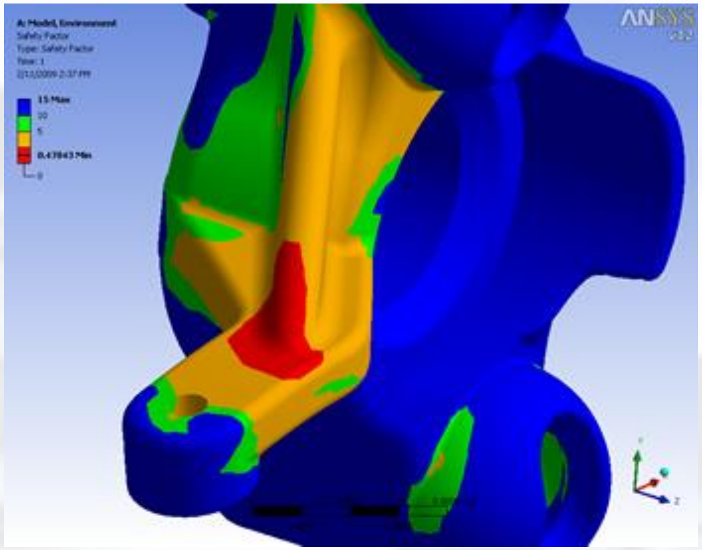
UDA 2. Factor de seguridad y confiabilidad



Wilde Analysis Ltd.
(2015)

Aloha Airlines Flight 243 / 28 April 1988:

UDA 2. Factor de seguridad y confiabilidad

Incertidumbre

En el diseño de maquinaria abundan las incertidumbres:

- La composición del material y el efecto de las variaciones en las propiedades.
- Las variaciones de las propiedades de lugar a lugar dentro de una barra de material.
- El efecto del procesamiento local, o cercano, en las propiedades.
- El efecto de ensambles cercanos, como soldaduras y ajustes por contracción, en las condiciones del esfuerzo.
- El efecto del tratamiento termomecánico en las propiedades.
- La intensidad y distribución de las cargas.
- La validez de los modelos matemáticos que se utilizan para representar la realidad.
- La intensidad de las concentraciones de esfuerzos.
- La influencia del tiempo sobre la resistencia y la geometría.
- El efecto de la corrosión.
- El efecto del desgaste.
- La incertidumbre respecto de la longitud de cualquier lista de incertidumbres

UDA 2. Factor de seguridad y confiabilidad

Factor de Diseño

Existen métodos matemáticos para enfrentar las incertidumbres. Las técnicas básicas son los métodos determinísticos y estocásticos. El método determinístico establece un ***factor de diseño*** basado en las incertidumbres absolutas de un parámetro de pérdida de función y un parámetro máximo permisible. En ciertos casos el parámetro puede ser la carga, el esfuerzo, la deflexión, etc. Por lo tanto, el factor de diseño n_d se define como:

$$n_d = \frac{\text{parámetro de pérdida de función}}{\text{parámetro máximo permisible}}$$

$$\text{Carga máxima permisible} = \frac{\text{carga de pérdida de función}}{n_d}$$

UDA 2. Factor de seguridad y confiabilidad

Factor de Diseño

Considere que la carga máxima sobre una estructura se conoce con una incertidumbre de ±20 por ciento, y la carga que produce falla se conoce dentro de ±15 por ciento. Si la carga que produce falla es *nominalmente* 2000 lbf, determine el factor de diseño y la carga permisible máxima que compensará las incertidumbres absolutas.

$$n_d = \frac{\text{parámetro de pérdida de función}}{\text{parámetro máximo permisible}}$$

$$\text{Carga máxima permisible} = \frac{\text{carga de pérdida de función}}{n_d}$$

UDA 2. Factor de seguridad y confiabilidad

Factor de Diseño

Después de terminar el diseño, el factor de diseño real puede cambiar como resultado de cambios como el redondeo a un tamaño estándar de una sección transversal o el uso de componentes recién lanzados con clasificaciones más altas en lugar de emplear lo que se había calculado usando el factor de diseño.

En este caso, el factor se conoce como **factor de seguridad, *n*,** que tiene la misma definición que el factor de diseño, pero por lo general difiere en su valor numérico.

$$n_d = \frac{\text{resistencia de pérdida de la función}}{\text{esfuerzo permisible}} = \frac{S}{\sigma (\text{o } \tau)}$$

UDA 2. Factor de seguridad y confiabilidad

Factor de seguridad

$$n_d = \frac{S}{\sigma \left(\text{or } \tau\right)}$$

Es un enfoque que sólo toma en cuenta materiales y cargas específicas; no se considera:

- Composición de material y el efecto de la variación en las propiedades.
- Las variaciones en las propiedades de un lugar a otro dentro de un stock.
- Efecto del procesamiento a nivel local, o en sus cercanías, en las propiedades.
- Efecto de ensambles cercanos como soldaduras y ajustes en condiciones de estrés.
- Efecto del tratamiento termomecánico en las propiedades.
- La intensidad y la distribución de la carga.
- Validez de los modelos matemáticos utilizados para representar la realidad.
- La intensidad de las concentraciones de esfuerzos.
- Influencia del tiempo en la fuerza y la geometría.
- Efecto de la corrosión.
- Efecto de desgaste.
- La incertidumbre en cuanto a la longitud de cualquier lista de incertidumbres.

UDA 2. Factor de seguridad y confiabilidad

Factor de seguridad

Una varilla con sección transversal de área A y cargada en tensión con una carga axial de P = 2 000 lbf soporta un esfuerzo de $\sigma = P/A$. Use una resistencia de material de 24 kpsi y un *factor de diseno* de 3.0 para determinar el diámetro mínimo de una varilla circular sólida.

Use la tabla A-17, seleccione un diámetro fraccionario preferido y determine el *factor de seguridad* de la varilla.

$$n_d = \frac{S}{\sigma\,(\text{or}\ \tau)}$$

Fracción de pulgadas

$\frac{1}{64}, \frac{1}{32}, \frac{1}{16}, \frac{3}{32}, \frac{1}{8}, \frac{5}{32}, \frac{3}{16}, \frac{1}{4}, \frac{5}{16}, \frac{3}{8}, \frac{7}{16}, \frac{1}{2}, \frac{9}{16}, \frac{5}{8}, \frac{11}{16}, \frac{3}{4}, \frac{7}{8}, 1, 1\frac{1}{4}, 1\frac{1}{2}, 1\frac{3}{4}, 2, 2\frac{1}{4}, 2\frac{1}{2}, 2\frac{3}{4}, 3, 3\frac{1}{4}, 3\frac{1}{2}, 3\frac{3}{4}, 4, 4\frac{1}{4}, 4\frac{1}{2}, 4\frac{3}{4}, 5, 5\frac{1}{4}, 5\frac{1}{2}, 5\frac{3}{4}, 6, 6\frac{1}{2}, 7, 7\frac{1}{2}, 8, 8\frac{1}{2}, 9, 9\frac{1}{2}, 10, 10\frac{1}{2}, 11, 11\frac{1}{2}, 12, 12\frac{1}{2}, 13, 13\frac{1}{2}, 14, 14\frac{1}{2}, 15, 15\frac{1}{2}, 16, 16\frac{1}{2}, 17, 17\frac{1}{2}, 18, 18\frac{1}{2}, 19, 19\frac{1}{2}, 20$

Décimas de pulgadas

0.010, 0.012, 0.016, 0.020, 0.025, 0.032, 0.040, 0.05, 0.06, 0.08, 0.10, 0.12, 0.16, 0.20, 0.24, 0.30, 0.40, 0.50, 0.60, 0.80, 1.00, 1.20, 1.40, 1.60, 1.80, 2.0, 2.4, 2.6, 2.8, 3.0, 3.2, 3.4, 3.6, 3.8, 4.0, 4.2, 4.4, 4.6, 4.8, 5.0, 5.2, 5.4, 5.6, 5.8, 6.0, 7.0, 7.5, 8.5, 9.0, 9.5, 10.0, 10.5, 11.0, 11.5, 12.0, 12.5, 13.0, 13.5, 14.0, 14.5, 15.0, 15.5, 16.0, 16.5, 17.0, 17.5, 18.0, 18.5, 19.0, 19.5, 20

UDA 2. Factor de seguridad y confiabilidad

Confiabilidad

- ¿Cuál es la vida promedio del producto?
- ¿Cuántas fallas espera el próximo año?
- ¿Cuánto nos costará desarrollar y dar servicio a este producto?
- ¿Cómo podemos hacerlo más efectivo en costo?

UDA 2. Factor de seguridad y confiabilidad

Tiempo de vida y falla

La confiabilidad es una medida del **Tiempo de Vida útil** de un producto. Durante este período el cliente obtiene las características ofrecidas intencionalmente.

Cuando cesa la capacidad del producto para entregar la característica ofrecida al cliente, se considera que ha habido una **Falla** del producto. Esto representa el término del tiempo de vida.

UDA 2. Factor de seguridad y confiabilidad

Modelos de tiempo de vida

Para modelar el tiempo de vida se asigna una medida: La frecuencia relativa o la probabilidad con que ocurrirá el evento.

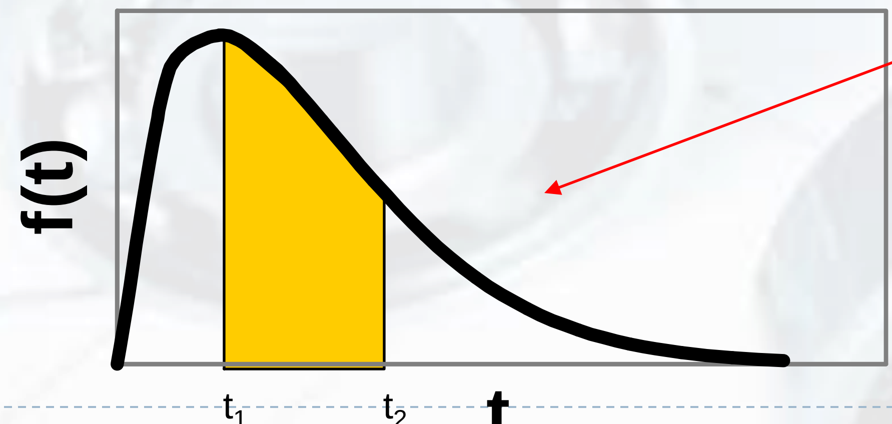
La regla que asigna valores de frecuencia relativa o probabilidades a los valores de una variable se llama **Distribución de Probabilidad**

UDA 2. Factor de seguridad y confiabilidad

Distribuciones de probabilidad

- Función de Densidad de Probabilidad (PDF), f(t)
  - Predice el comportamiento de cualquier situación probabilística
  - Probabilidad de t de caer en algún punto del rango t_1 a t_2

$$p(t_1 \leq t \leq t_2) = \int_{t_1}^{t_2} f(t)\,dt$$



El área **total** bajo la curva siempre es 1 o 100%

UDA 2. Factor de seguridad y confiabilidad

Distribución acumulada de probabilidad

Si acumulamos las probabilidades desde el inicio hasta un tiempo t_I, obtenemos la Distribución de Probabilidad Acumulada {CDF ó F(t)}.

$$\mathbf{F(t_I) = P(t \leq t_I)}$$

UDA 2. Factor de seguridad y confiabilidad

Distribución acumulada de probabilidad

- Función de Distribución Acumulada
  - La Probabilidad de una variable es menor o igual a un valor específico, e.g., t_1

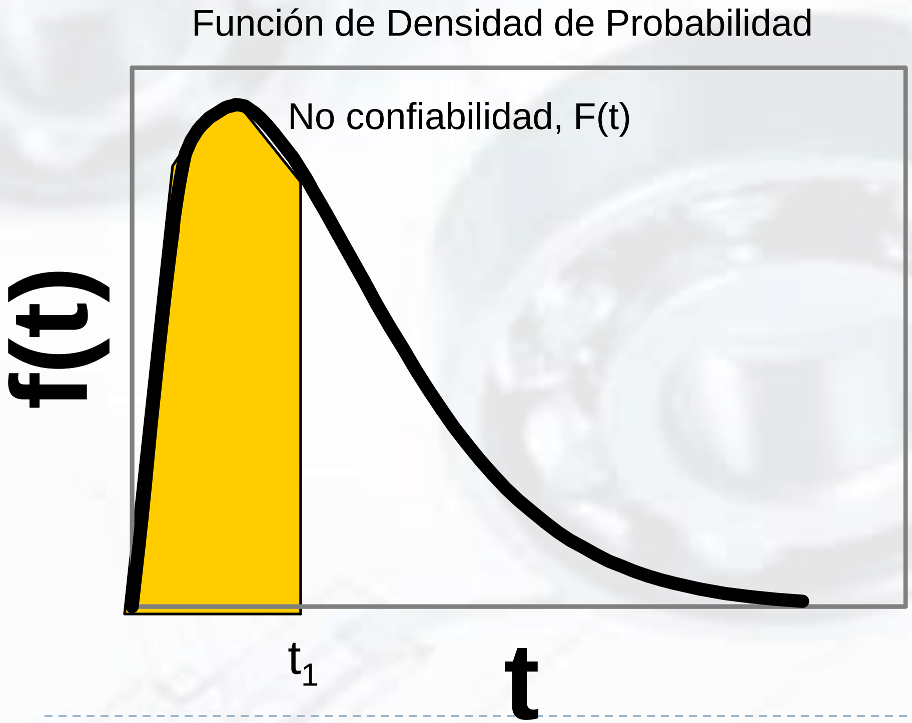
$$F(t) = P(0 \leq t \leq t_1) = \int_0^{t_1} f(t)dt$$

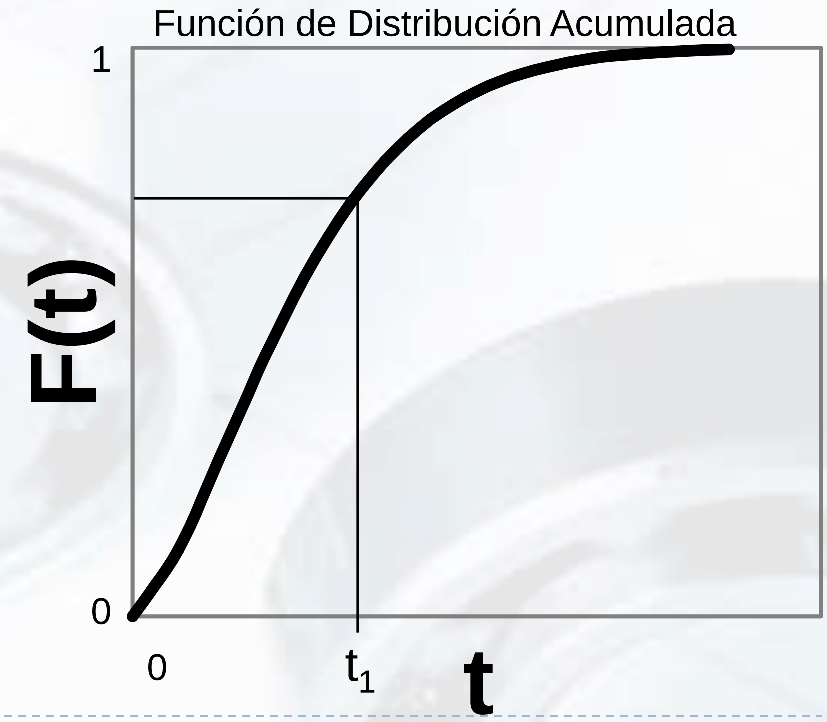
  - Cuando la variable es tiempo de falla, esto representa la **no confiabilidad** o la **probabilidad de que una unidad falle antes del tiempo t_1**

UDA 2. Factor de seguridad y confiabilidad

Distribución acumulada de probabilidad

$$F(t) = P(0 \leq t \leq t_1) = \int_0^{t_1} f(t)dt$$





UDA 2. Factor de seguridad y confiabilidad

Confiabilidad es la probabilidad de que un sistema ejecute su función de intención sin fallar para un intervalo específico, bajo condiciones establecidas.

Se define como la Probabilidad de Supervivencia en un determinado tiempo.

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

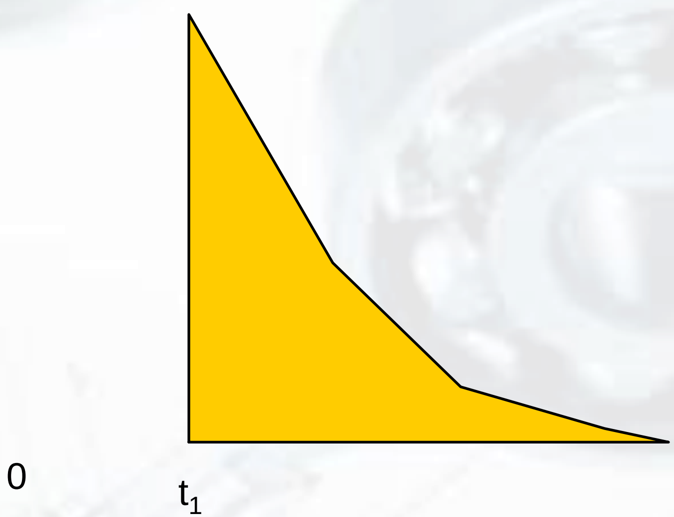
Algunos autores presentan como sinónimos Supervivencia y Confiabilidad

UDA 2. Factor de seguridad y confiabilidad

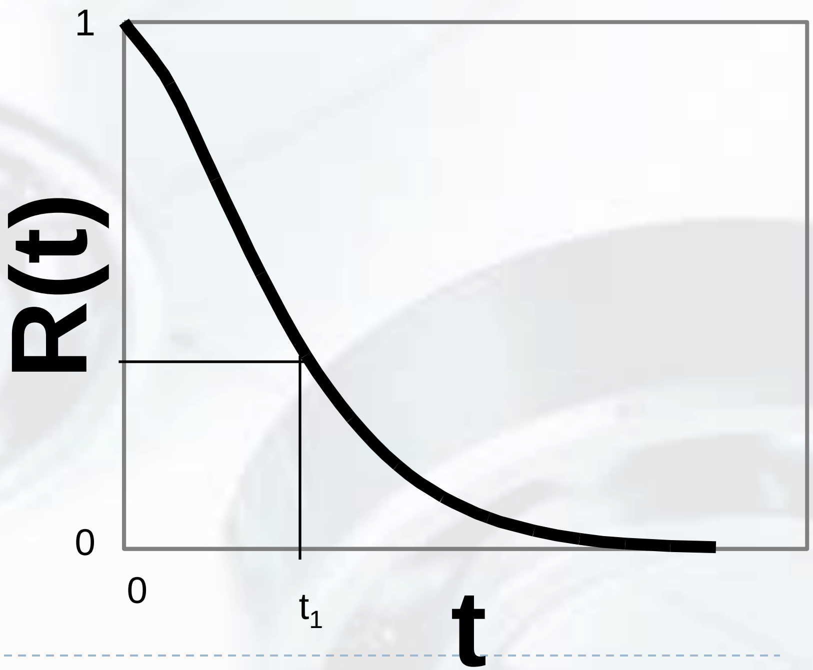
Confiabilidad

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - \int_0^t f(t)\,dt = \int_t^\infty f(t)\,dt$$

Función de Densidad de Probabilidad



Función de Confiabilidad



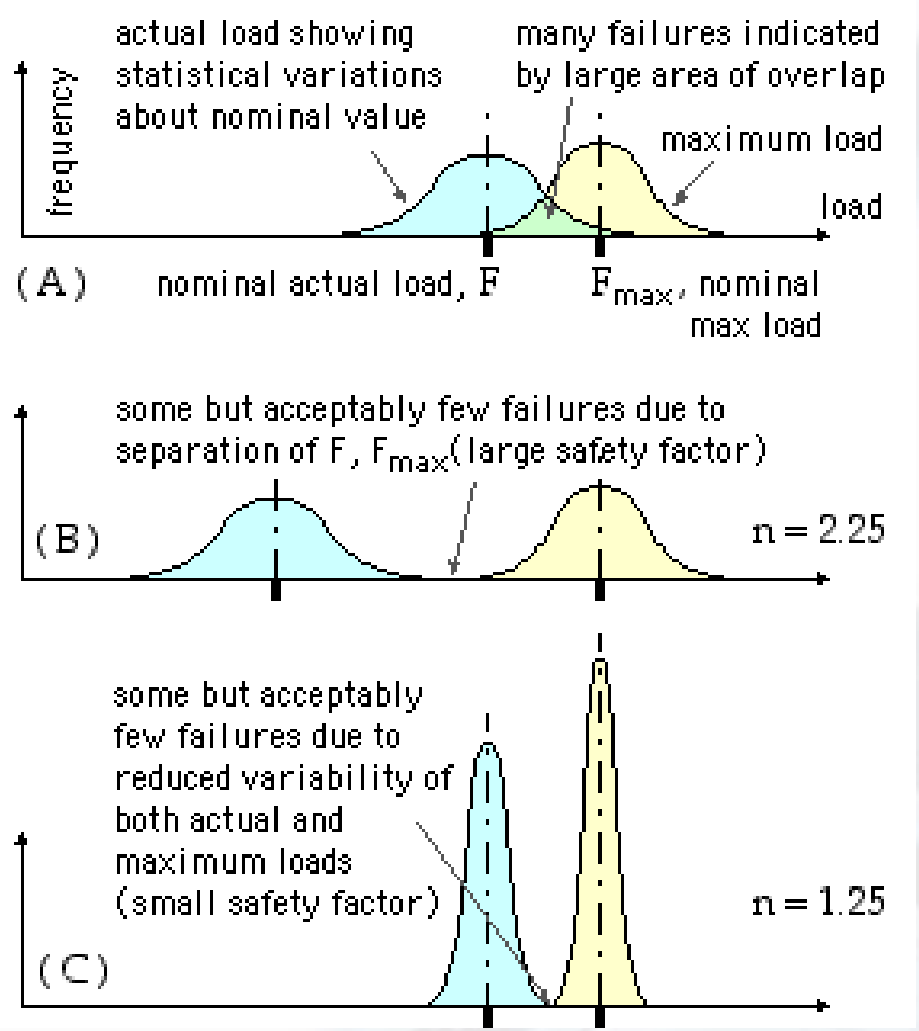
UDA 2. Factor de seguridad y confiabilidad

La confiabilidad R se expresa mediante un número que tiene el intervalo:

$$0 \leq R < 1$$

Una confiabilidad de R=0.90 significa que hay una probabilidad de 90% que la parte realice una función adecuada sin falla.

Pero se debe considerar una distribución de probabilidad como modelo de falla.



UDA 2. Factor de seguridad y confiabilidad

MTBF - MTTF

Si el tiempo de vida para una característica de calidad es una variable aleatoria y conocemos su distribución de probabilidad , podemos calcular una medida de localización, por ejemplo el valor de su media.

El valor medio del Tiempo de Vida se denomina Tiempo Promedio entre Fallas, **MTBF** es el acrónimo en Inglés, y se refiere a una medición básica de confiabilidad para artículos que se pueden reparar.

MTTF se refiere al Tiempo Promedio de Fallas, esto es para artículos que no pueden ser reparados.

UDA 2. Factor de seguridad y confiabilidad

Tiempo de misión

Tiempo de Misión se refiere al tiempo intentado durante el cual el producto entrega la característica de calidad satisfactoriamente.

El Tiempo de Misión es una decisión de negocios y sirve para establecer una meta de logro por parte del producto en cuanto a sus características.

¿Qué confiabilidad lograremos?, R(tiempo de misión)

UDA 2. Factor de seguridad y confiabilidad

Velocidad de falla

La Velocidad de Falla ó Tasa de Riesgo o también Tasa de Falla es la fracción de fallas probables entre la proporción de supervivientes al tiempo t. Cuando se conoce la Distribución de Probabilidad de t, se calcula a partir de

$$h(t) = PDF / R(t)$$

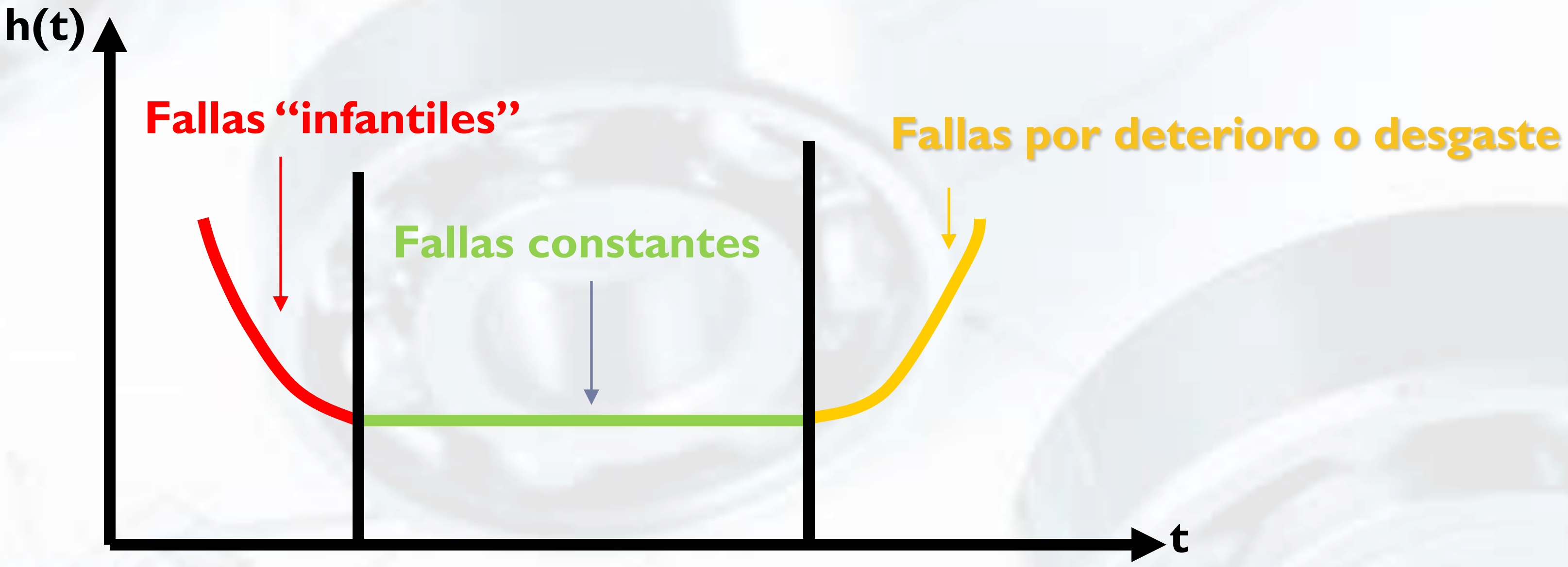
Es una medida de la "mortalidad" entre los artículos que quedan.

La tasa de falla representa la propensión a la falla de un producto como una función de su edad o tiempo en operación. La tasa de falla en cualquier tiempo dado es la proporción que caerá en la siguiente unidad de tiempo respecto a aquellas unidades que han sobrevivido a este tiempo.

UDA 2. Factor de seguridad y confiabilidad

"Curva de la bañera"

Si se dibuja la tasa de riesgo o falla para una población a través del tiempo se observa un comportamiento descrito como la "Curva de la Bañera"



UDA 2. Factor de seguridad y confiabilidad

Estadísticos

Un **estadístico** es cualquier función de las observaciones en una muestra aleatoria, que no dependa de parámetros desconocidos

La media muestral, la varianza muestral, la desviación estándar muestral y los coeficientes de variación, sesgo y curtosis son algunos de los estadísticos más comunes.

Obsérvese que como **un estadístico** es una función de los datos provenientes de una muestra aleatoria, es a su vez una variable aleatoria.

Es decir, si se obtuvieran dos muestras aleatorias diferentes provenientes de la misma población y se calcularan las medias muestrales, podría esperarse que los valores obtenidos fueran diferentes.

UDA 2. Factor de seguridad y confiabilidad

Modelos Paramétricos de Confiabilidad

Distribuciones Paramétricas

- Algunas Distribuciones de Probabilidad se pueden expresar como una función matemática de la variable aleatoria.
- La función tiene además de la variable aleatoria, constantes que le dan comportamientos específicos a las distribuciones

Los parámetros definen:

- **FORMA**
- **ESCALA**
- **LOCALIZACION**

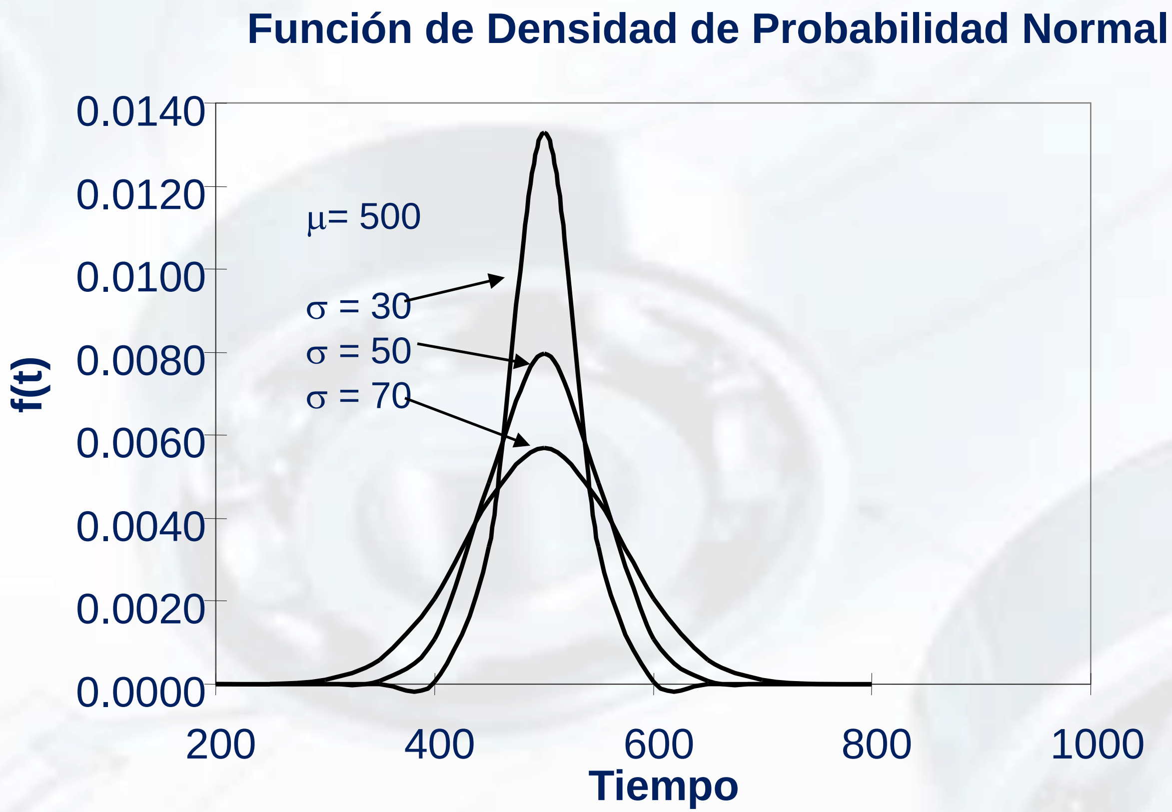
Modelo de Distribución Normal

- La Normal o Distribución Gaussiana es la distribución más conocida
- Tiene Media = Mediana = Moda
- La Media **m**, es también su **parámetro de localización**
- La PDF normal tiene forma de una campana con simetría sobre su media
- La normal **no** tiene **parámetro de forma**. Esto significa que la PDF normal sólo tiene una forma, "la campana" y esta forma no cambia
- La desviación estándar **s**, es el **parámetro de escala** de la PDF normal

UDA 2. Factor de seguridad y confiabilidad

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma} \right)^2 \right]$$

Distribución de la Función Normal



UDA 2. Factor de seguridad y confiabilidad

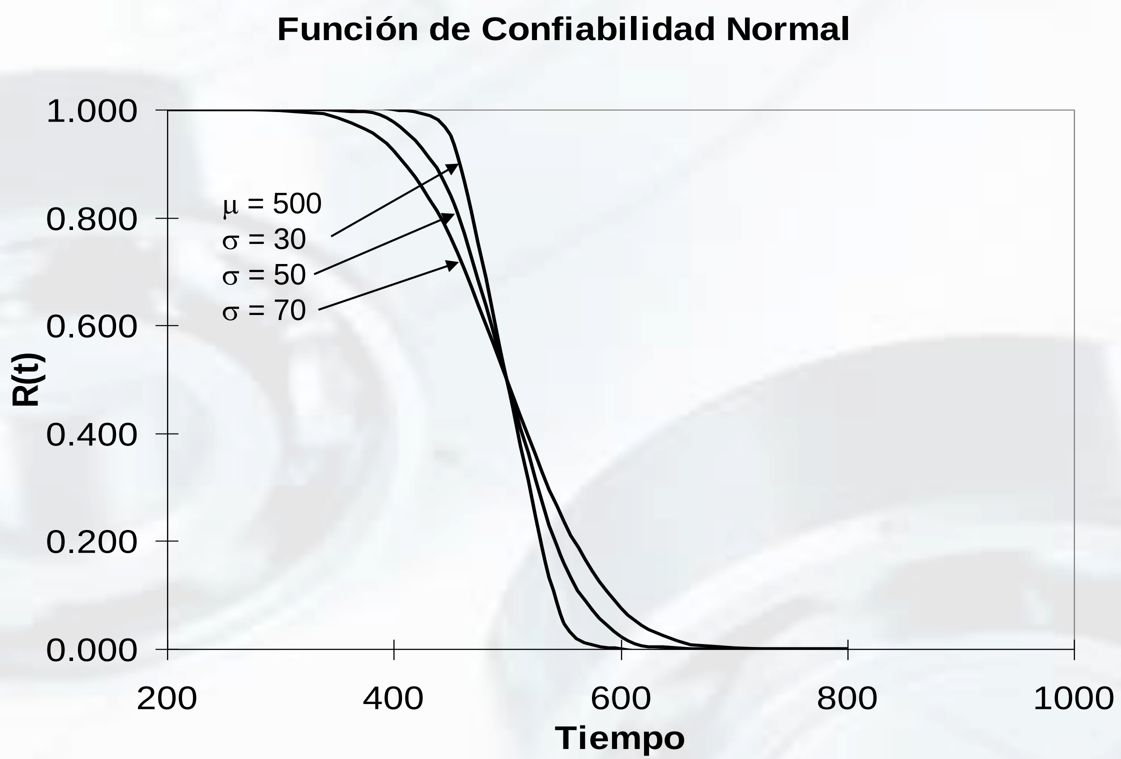
$$R(t) = \int_{t}^{\infty} f(t)\,dt = \int_{z(t)}^{\infty} \phi(z)\,dz$$

donde $z(t) = (t-\mu)/\sigma$ y $\phi(z)$ = normal estandarizada pdf

Función de Distribución Normal

Aplicaciones

- Ciclos de falla en componentes mecánicos sometidos a niveles altos de esfuerzo
- Las propiedades de varios materiales tienden a seguir una distribución Normal
- Las fallas a la tensión de muchos materiales estructurales siguen una distribución Normal



UDA 2. Factor de seguridad y confiabilidad

Modelo de Distribución Exponencial

- El modelo exponencial, con **un solo parámetro**, es el más simple de todo los modelos de distribución del tiempo de vida. Las ecuaciones clave para la exponencial se muestran:

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

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

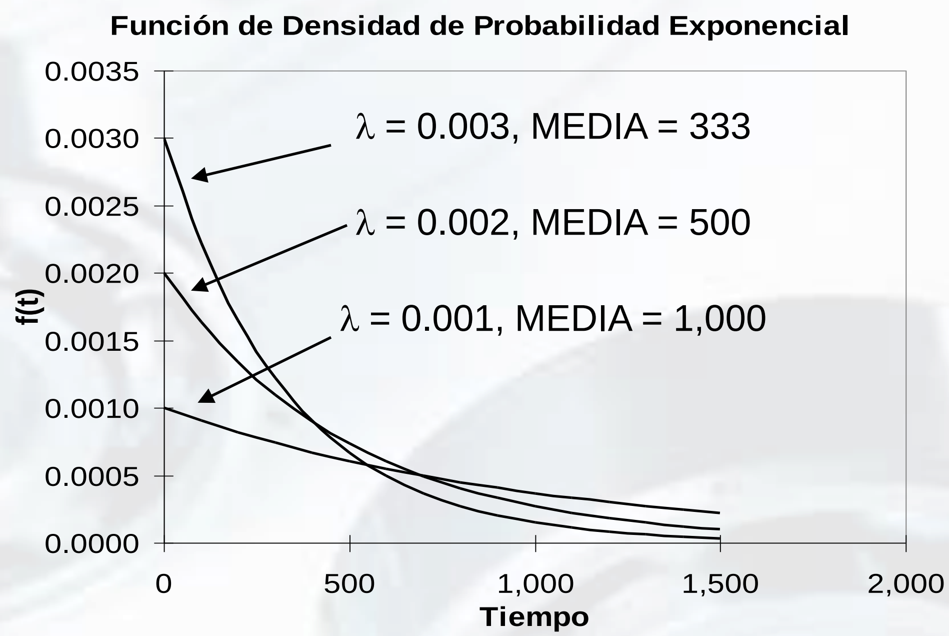
$$\text{PDF}: f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$$

$$\text{MEDIA}: m = \frac{1}{\lambda}$$

$$\text{MEDIANA}: \frac{\ln 2}{\lambda} \cong \frac{0.693}{\lambda}$$

$$\text{VARIANZA}: \frac{1}{\lambda^2}$$

$$\text{TASA DE FALLA}: h(t) = \lambda$$

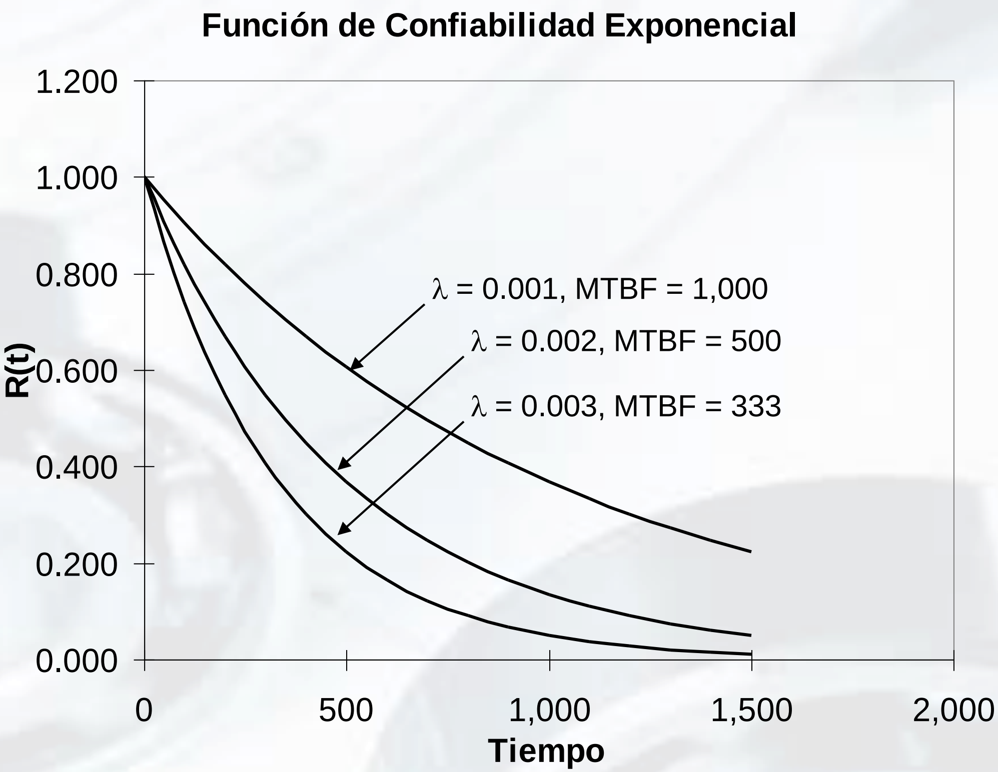


UDA 2. Factor de seguridad y confiabilidad

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

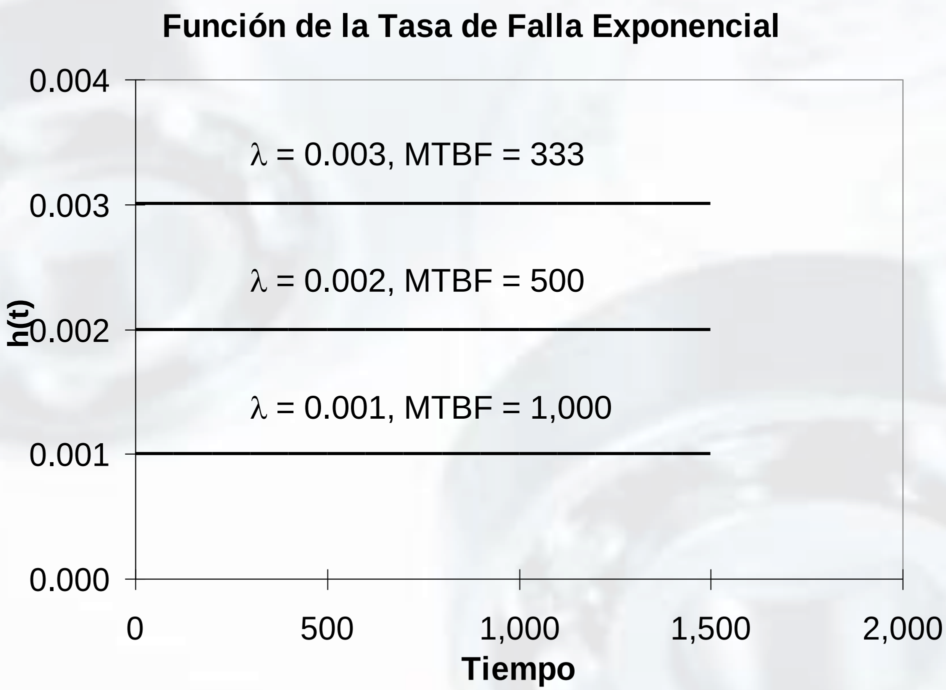
Aplicación:

- Es usada como el modelo, para la parte de vida útil, i.e., la tasa de falla es constante.
- Los sistemas complejos con muchos componentes y múltiples modos de falla tendrán tiempos de falla que tiendan a la distribución exponencial desde una perspectiva de confiabilidad, es la distribución más conservadora para predicción.



UDA 2. Factor de seguridad y confiabilidad

$h(t) = \lambda = 1 / \text{MEDIA}$ (Velocidad de Falla)



Note que la tasa de falla tiende a ser una constante λ para cualquier tiempo. La distribución exponencial es la **única** que tiene una velocidad de falla **constante**

- Distribución Exponencial
  - Es usada como el modelo, para la parte de vida útil de la curva de la bañera, i.e., la tasa de falla es constante
  - Los sistemas complejos con muchos componentes y múltiples modos de falla tendrán tiempos de falla que tiendan a la distribución exponencial
  - Desde una perspectiva de confiabilidad, es la distribución más conservadora para predicción.

UDA 2. Factor de seguridad y confiabilidad

- La distribución de Weibull es un modelo de distribución de vida útil muy flexible, para el caso de **2** parámetros:

  Donde η es un parámetro de escala (la **vida característica**) y β se conoce como el **parámetro de forma** (**pendiente**) y Γ es la función Gamma con $\Gamma(N)=(N-1)!$ para N entero

$$\text{CDF}: F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}}$$

$$\text{CONFIABILIDAD}: R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}}$$

$$\text{PDF}: f(t) = \frac{\beta}{\eta}\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}}$$

$$\text{MEDIA} := \eta\Gamma\left(1+\frac{1}{\beta}\right)$$

$$\text{MEDIANA}: \eta(\ln 2)^{\frac{1}{\beta}}$$

$$\text{VARIANZA}: \eta^2\Gamma\left(1+\frac{2}{\beta}\right) - \left[\eta\Gamma\left(1+\frac{1}{\beta}\right)\right]^2$$

$$\text{TASA DE FALLA}: \frac{\beta}{\eta}\left(\frac{t}{\beta}\right)^{\beta-1}$$

UDA 2. Factor de seguridad y confiabilidad

Modelo de Distribución Weibull

Una forma más general de **3** parámetros de la Weibull incluye un parámetro de **tiempo de espera** (**localización** ó **desplazamiento**). No puede ocurrir una falla antes de γ horas, el tiempo comienza en γ no en 0.

$$\text{CONFIABILIDAD: } R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}}$$

$$\text{PDF: } f(t) = \frac{\beta}{\eta}\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}}$$

$$\text{MEDIA:} = \gamma + \eta\Gamma\left(1+\frac{1}{\beta}\right)$$

$$\text{MEDIANA: } \gamma + \eta(\ln 2)^{\frac{1}{\beta}}$$

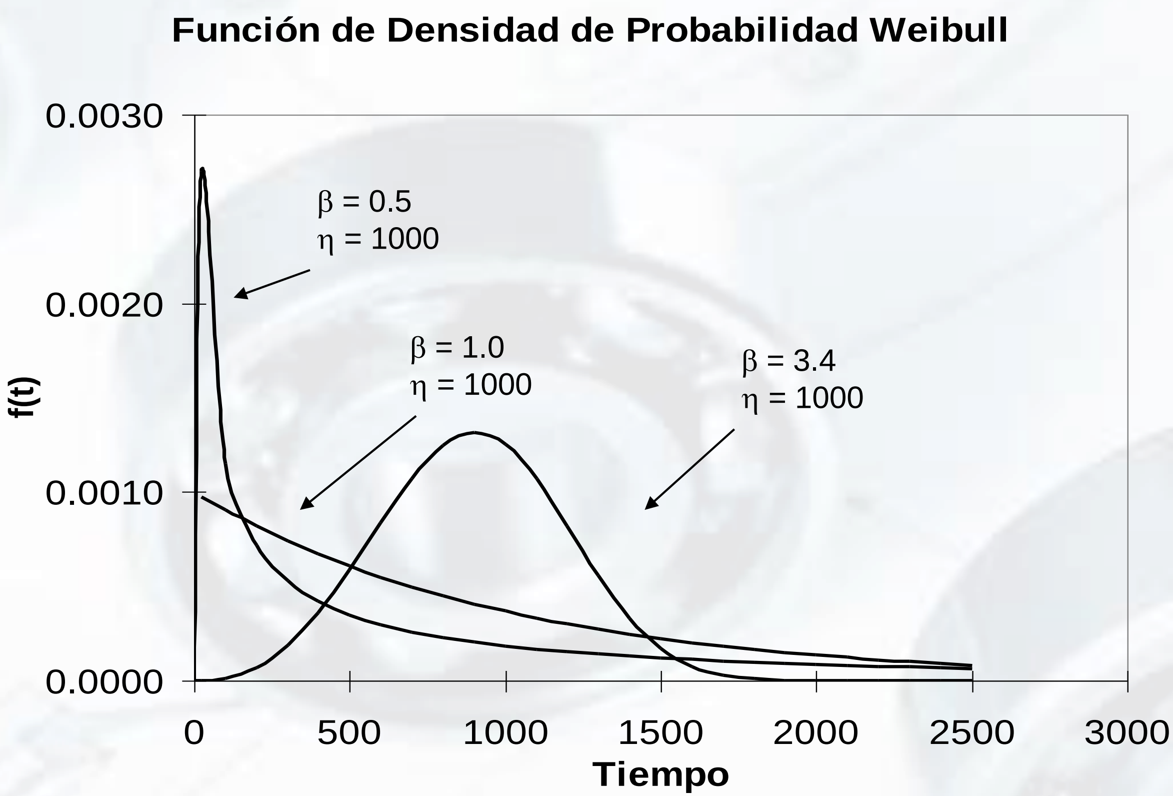
$$\text{VARIANZA: } \eta^{2}\Gamma\left(1+\frac{2}{\beta}\right) - \left[\eta\Gamma\left(1+\frac{1}{\beta}\right)\right]^{2}$$

$$\text{TASA DE FALLA: } \frac{\beta}{\eta}\left(\frac{t-\gamma}{\beta}\right)^{\beta-1}$$

UDA 2. Factor de seguridad y confiabilidad

Función de Distribución Weibull

$$f(t)=\frac{\beta}{\eta}\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1}\exp\left\{-\left[\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}\right]\right\}$$



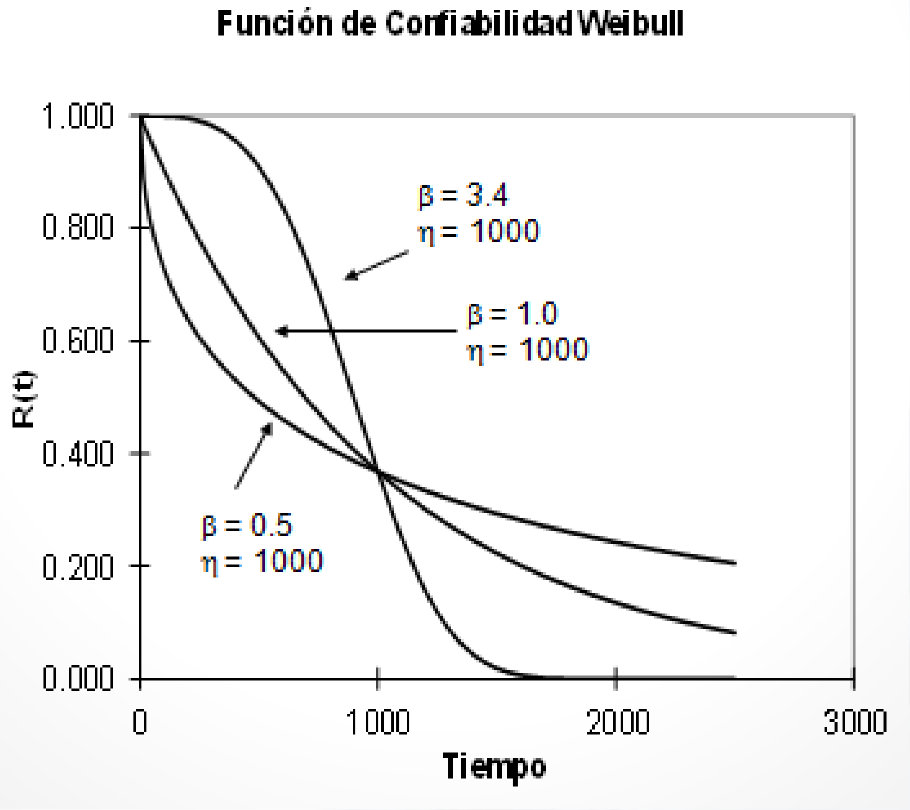
UDA 2. Factor de seguridad y confiabilidad

Funciones de Distribución Weibull

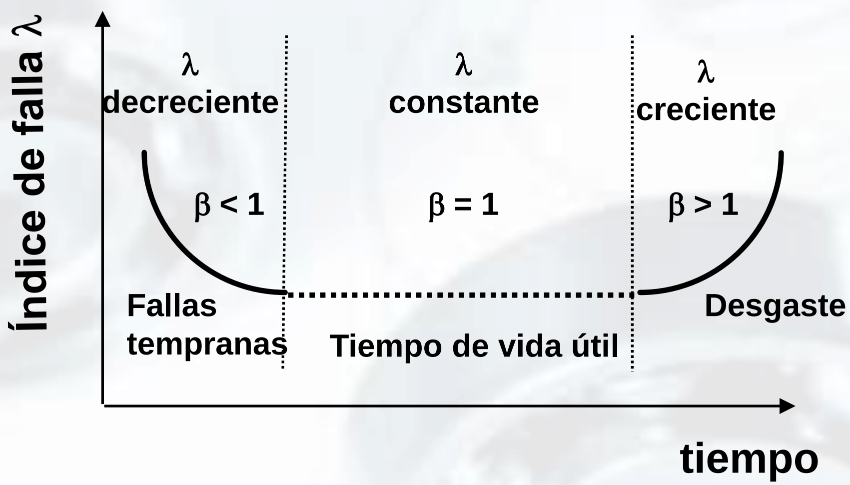
$$R(t)=\exp\left\{-\left[\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}\right]\right\}$$

Aplicación:

- Mientras la función pdf de la distribución exponencial modela la característica de vida de los sistemas, la Weibull modela la característica de vida de los componentes y partes
- Modela fatiga y ciclos de falla de los sólidos
- Es el traje correcto para datos de vida



Funciones de Distribución Weibull

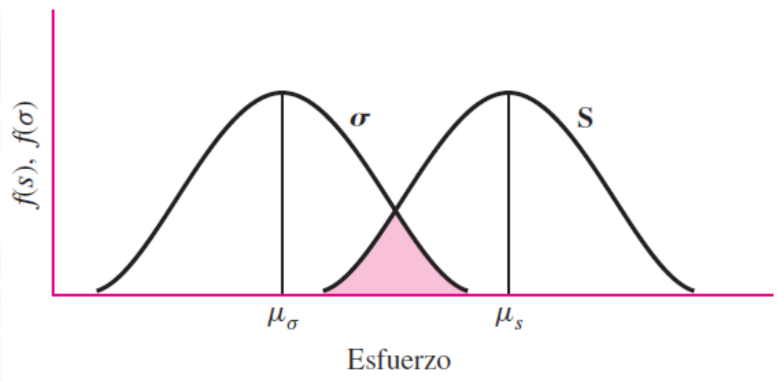


Las tres porciones de la curva de tina de la bañera tienen diferentes índices de falla. Las fallas tempranas se caracterizan por un índice de falla decreciente, la vida útil por un índice de falla constante y el desgaste se caracteriza por un índice de falla creciente. La distribución de Weibull puede modelar matemáticamente estas tres situaciones.

$\beta < 1$ disminuye la tasa de riesgo, implica mortalidad infantil
$\beta = 1$ tasa de riesgo constante, fallas aleatorias
$1 < \beta < 4$ aumenta la tasa de riesgo, fallas por corrosión, erosión
$\beta > 4$ aumenta rápidamente la tasa de riesgo, implica fallas por desgaste y envejecimiento

Análisis estocástico

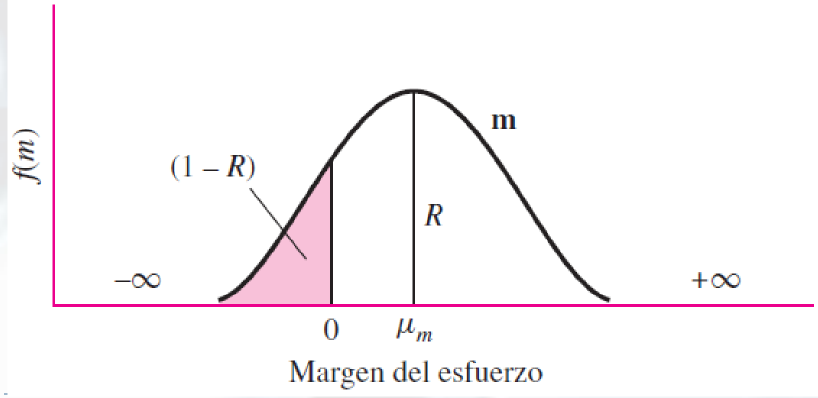
Considerando las funciones de densidad de probabilidad del esfuerzo y la resistencia, σ y S; los valores medios del esfuerzo y la resistencia son μ_σ y μ_S, respectivamente. Aquí, el factor "promedio" de seguridad es:



$$\bar{n} = \frac{\mu_S}{\mu_\sigma}$$

El margen de seguridad para cualquier valor del esfuerzo σ y de la resistencia S se define como:

$$m = S - \sigma$$



La parte promedio tendrá un margen de seguridad de $\bar{m} = \mu_S - \mu_\sigma$.

UDA 2. Factor de seguridad y confiabilidad

Caso normal-normal

Considere las distribuciones normales:

$$\mathbf{S} = \mathbf{N}(\mu_S, \hat{\sigma}_S)$$

$$\boldsymbol{\sigma} = \mathbf{N}(\mu_\sigma, \hat{\sigma}_\sigma)$$

El margen de esfuerzo es **m=S-σ.**

$$R = p(S > \sigma) = p(S - \sigma > 0) = p(m > 0)$$

El estadístico se calcula como:

$$z = \frac{m - \mu_m}{\hat{\sigma}_m} = \frac{0 - \mu_m}{\hat{\sigma}_m} = -\frac{\mu_m}{\hat{\sigma}_m} = -\frac{\mu_S - \mu_\sigma}{\left(\hat{\sigma}_S^2 + \hat{\sigma}_\sigma^2\right)^{1/2}}$$

UDA 2. Factor de seguridad y confiabilidad

La confiabilidad asociada con z está dada por:

$$R = \int_x^\infty \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du = 1 - F = 1 - \Phi(z)$$

Y el factor de seguridad se puede calcular con el estadístico y el coeficiente de variación:

$$\bar{n} = \frac{1 \pm \sqrt{1 - \left(1 - z^2 C_S^2\right)\left(1 - z^2 C_\sigma^2\right)}}{1 - z^2 C_S^2}$$

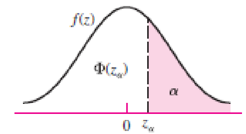
El signo más está asociado con *R* > *0.5, y el signo de menos con R* < *0.5.*

UDA 2. Factor de seguridad y confiabilidad

Función de distribución acumulada de la distribución normal (gaussiana)

$$\Phi(z_\alpha) = \int_{-\infty}^{z_\alpha} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du$$

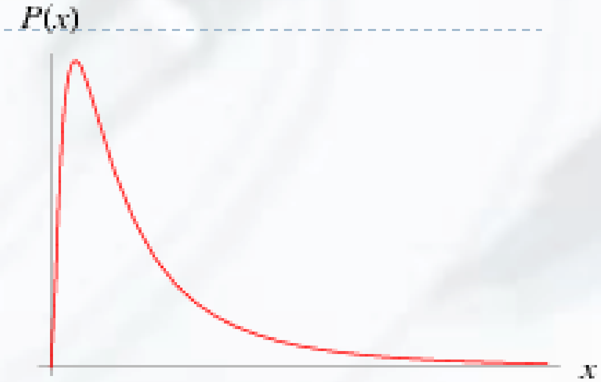
$$= \begin{cases} \alpha & z_\alpha \le 0 \\ 1-\alpha & z_\alpha > 0 \end{cases}$$



Z_α	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.4960	0.4920	0.4880	0.4840	0.4801	0.4761	0.4721	0.4681	0.4641
0.1	0.4602	0.4562	0.4522	0.4483	0.4443	0.4404	0.4364	0.4325	0.4286	0.4247
0.2	0.4207	0.4168	0.4129	0.4090	0.4052	0.4013	0.3974	0.3936	0.3897	0.3859
0.3	0.3821	0.3783	0.3745	0.3707	0.3669	0.3632	0.3594	0.3557	0.3520	0.3483
0.4	0.3446	0.3409	0.3372	0.3336	0.3300	0.3264	0.3238	0.3192	0.3156	0.3121
0.5	0.3085	0.3050	0.3015	0.2981	0.2946	0.2912	0.2877	0.2843	0.2810	0.2776
0.6	0.2743	0.2709	0.2676	0.2643	0.2611	0.2578	0.2546	0.2514	0.2483	0.2451
0.7	0.2420	0.2389	0.2358	0.2327	0.2296	0.2266	0.2236	0.2206	0.2177	0.2148
0.8	0.2119	0.2090	0.2061	0.2033	0.2005	0.1977	0.1949	0.1922	0.1894	0.1867
0.9	0.1841	0.1814	0.1788	0.1762	0.1736	0.1711	0.1685	0.1660	0.1635	0.1611
1.0	0.1587	0.1562	0.1539	0.1515	0.1492	0.1469	0.1446	0.1423	0.1401	0.1379
1.1	0.1357	0.1335	0.1314	0.1292	0.1271	0.1251	0.1230	0.1210	0.1190	0.1170
1.2	0.1151	0.1131	0.1112	0.1093	0.1075	0.1056	0.1038	0.1020	0.1003	0.0985
1.3	0.0968	0.0951	0.0934	0.0918	0.0901	0.0885	0.0869	0.0853	0.0838	0.0823
1.4	0.0808	0.0793	0.0778	0.0764	0.0749	0.0735	0.0721	0.0708	0.0694	0.0681
1.5	0.0668	0.0655	0.0643	0.0630	0.0618	0.0606	0.0594	0.0582	0.0571	0.0559
1.6	0.0548	0.0537	0.0526	0.0516	0.0505	0.0495	0.0485	0.0475	0.0465	0.0455
1.7	0.0446	0.0436	0.0427	0.0418	0.0409	0.0401	0.0392	0.0384	0.0375	0.0367
1.8	0.0359	0.0351	0.0344	0.0336	0.0329	0.0322	0.0314	0.0307	0.0301	0.0294
1.9	0.0287	0.0281	0.0274	0.0268	0.0262	0.0256	0.0250	0.0244	0.0239	0.0233
2.0	0.0228	0.0222	0.0217	0.0212	0.0207	0.0202	0.0197	0.0192	0.0188	0.0183
2.1	0.0179	0.0174	0.0170	0.0166	0.0162	0.0158	0.0154	0.0150	0.0146	0.0143
2.2	0.0139	0.0136	0.0132	0.0129	0.0125	0.0122	0.0119	0.0116	0.0113	0.0110
2.3	0.0107	0.0104	0.0102	0.00990	0.00964	0.00939	0.00914	0.00889	0.00866	0.00842
2.4	0.00820	0.00798	0.00776	0.00755	0.00734	0.00714	0.00695	0.00676	0.00657	0.00639
2.5	0.00621	0.00604	0.00587	0.00570	0.00554	0.00539	0.00523	0.00508	0.00494	0.00480
2.6	0.00466	0.00453	0.00440	0.00427	0.00415	0.00402	0.00391	0.00379	0.00368	0.00357
2.7	0.00347	0.00336	0.00326	0.00317	0.00307	0.00298	0.00289	0.00280	0.00272	0.00264
2.8	0.00256	0.00248	0.00240	0.00233	0.00226	0.00219	0.00212	0.00205	0.00199	0.00193
2.9	0.00187	0.00181	0.00175	0.00169	0.00164	0.00159	0.00154	0.00149	0.00144	0.00139
3	0.00135	$0.0^{3}968$	$0.0^{3}687$	$0.0^{3}483$	$0.0^{3}337$	$0.0^{3}233$	$0.0^{3}159$	$0.0^{3}108$	$0.0^{4}723$	$0.0^{4}481$
4	$0.0^{4}317$	$0.0^{4}207$	$0.0^{4}133$	$0.0^{5}854$	$0.0^{5}541$	$0.0^{5}340$	$0.0^{5}211$	$0.0^{5}130$	$0.0^{6}793$	$0.0^{6}479$
5	$0.0^{6}287$	$0.0^{6}170$	$0.0^{7}996$	$0.0^{7}579$	$0.0^{7}333$	$0.0^{7}190$	$0.0^{7}107$	$0.0^{8}599$	$0.0^{8}332$	$0.0^{8}182$
6	$0.0^{9}987$	$0.0^{9}530$	$0.0^{9}282$	$0.0^{9}149$	$0.0^{10}777$	$0.0^{10}402$	$0.0^{10}206$	$0.0^{10}104$	$0.0^{11}523$	$0.0^{11}260$

z_α	−1.282	−1.643	−1.960	−2.326	−2.576	−3.090	−3.291	−3.891	−4.417
$F(z_\alpha)$	0.10	0.05	0.025	0.010	0.005	0.001	0.0005	0.0001	0.000005
$R(z_\alpha)$	0.90	0.95	0.975	0.990	0.995	0.999	0.9995	0.9999	0.999995

UDA 2. Factor de seguridad y confiabilidad



Caso log-normal-log-normal

Considere las distribuciones log-normales:

$$\mathbf{S} = \mathbf{LN}(\mu_S, \hat{\sigma}_S) \qquad \boldsymbol{\sigma} = \mathbf{LN}(\mu_\sigma, \hat{\sigma}_\sigma)$$

$$\mu_{\ln S} = \ln \mu_S - \ln \sqrt{1 + C_S^2}$$

$$\hat{\sigma}_{\ln S} = \sqrt{\ln\left(1 + C_S^2\right)}$$

$$\mu_{\ln \sigma} = \ln \mu_\sigma - \ln \sqrt{1 + C_\sigma^2}$$

$$\hat{\sigma}_{\ln \sigma} = \sqrt{\ln\left(1 + C_\sigma^2\right)}$$

El estadístico se calcula con:

$$z = -\frac{\mu_{\ln S} - \mu_{\ln \sigma}}{\left(\hat{\sigma}_{\ln S}^2 + \hat{\sigma}_{\ln \sigma}^2\right)^{1/2}} = -\frac{\ln\left(\dfrac{\mu_S}{\mu_\sigma}\sqrt{\dfrac{1 + C_\sigma^2}{1 + C_S^2}}\right)}{\sqrt{\ln\left[\left(1 + C_S^2\right)\left(1 + C_\sigma^2\right)\right]}}$$

UDA 2. Factor de seguridad y confiabilidad

El factor de diseño **n** es la variable aleatoria que es el cociente de **S/σ.** El cociente de lognormales es una lognormal, por lo que, al buscar la variable z de la lognormal, se observa que:

$$\mu_n = \frac{\mu_S}{\mu_\sigma} \qquad C_n = \sqrt{\frac{C_S^2 + C_\sigma^2}{1 + C_\sigma^2}} \qquad \hat{\sigma}_n = C_n \mu_n$$

Entonces la media asociada al factor de seguridad:

$$\mu_n = \bar{n} = \exp\left[-z\sqrt{\ln\left(1 + C_n^2\right)} + \ln\sqrt{1 + C_n^2}\right] \doteq \exp\left[C_n\left(-z + \frac{C_n}{2}\right)\right]$$

• Relacionan el factor de diseño ***n*** con la meta de confiabilidad (mediante z) y los coeficientes de variación de resistencia y esfuerzo.
• *No son funciones de las medias del esfuerzo y la resistencia.*
• Estiman el factor de diseño necesario para alcanzar la meta de confiabilidad antes de tomarlas decisiones que involucran medias. El valor de *Cs* depende un poco del material particular. El valor de *Cσ* tiene el coeficiente de variación (CDV) de la carga, y por lo general está dado.