



# Método Weibull para la reducción de tiempo de prueba ambiental para divisor óptico

## *Weibull method for environmental test time reduction for optical splitter*

Barraza-Contreras Jesús Manuel , Piña-Monarez Manuel Román ,  
Rodríguez Borbón Manuel Iván 

Departamento Industrial y de Manufactura del Instituto de Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ave. Del Charro 450 Nte. Col. Partido Romero CP 32310. Cd. Juárez, Chihuahua, México.

**Autor de correspondencia:** Jesús Manuel Barraza-Contreras, Departamento Industrial y de Manufactura del Instituto de Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ave. Del Charro 450 Nte. Col. Partido Romero CP 32310. Cd. Juárez, Chihuahua, México. E-mail: [al187061@alumnos.uacj.mx](mailto:al187061@alumnos.uacj.mx), ORCID: 0000-0002-1689-1245.

**Recibido:** 17 de Agosto del 2019 **Aceptado:** 10 de Septiembre del 2019 **Publicado:** 30 de Septiembre del 2019

**Resumen.** - En este artículo se desarrolla un plan de prueba de vida para un divisor óptico estándar, que permite conocer su tiempo de vida útil y su confiabilidad  $R(t)$ . De acuerdo con el estándar GR-2866, las variables ambientales a analizar son temperatura ( $T$ ) y humedad ( $H$ ) y se deben de correr 12 muestras. Durante el análisis, 720 ciclos de  $T$  y  $H$  fueron realizados durante un periodo de prueba de 30 días ( $Temp. = 85^\circ$ ,  $-40^\circ$  y  $Hum. = 85\%$ ). Así, con la finalidad de reducir el tiempo de prueba, haciendo uso del método Taguchi, el rango de temperatura más significativo fue determinado. Con este nuevo rango de temperatura de prueba ( $T = 100^\circ$ ,  $-45^\circ$  y  $H = 85\%$ ) en el modelo de Coffin-Manson, el nuevo tiempo de prueba fue de 10.33 días. Las pruebas experimentales se realizaron mediante el uso de una cámara ambiental y equipo óptico que permitió medir la cantidad de atenuación en decibeles (dB) causada por el estrés de la temperatura y humedad. Para este nuevo rango de prueba los parámetros Weibull son  $\beta = 3.19$  y  $\eta = 92.47$ .

**Palabras clave:** Pruebas de vida; Prueba de ciclo de temperatura; Modelo Coffin-Manson; Confiabilidad; Distribución Weibull.

**Abstract.** - This article develops a life test plan for a standard optical splitter, which provides insight into its lifetime and reliability  $R(t)$ . According to the GR-2866 standard, the environmental variables to be analyzed are temperature ( $T$ ) and humidity ( $H$ ) and 12 samples must be run. During the analysis, 720 cycles of  $T$  and  $H$  were performed during a 30-day trial period ( $Temp. = 85^\circ$ ,  $-40^\circ$  and  $Hum. = 85\%$ ). Thus, in order to reduce the test time, using the Taguchi method, the most significant temperature range was determined. With this new test temperature range ( $T = 100^\circ$ ,  $-45^\circ$  and  $H = 85\%$ ) in the Coffin-Manson model, the new test time was 10.33 days. The experimental tests were carried out using an environmental camera and optical equipment that allowed measuring the amount of attenuation in decibels (dB) caused by stress from temperature and humidity. For this new test range the Weibull parameters are  $\beta = 3.19$  and  $\eta = 92.47$ .

**Keywords:** Life tests; Temperature cycle test; Coffin-Manson model; Reliability; Weibull distribution.



## 1. Introducción

No basta solo el conocer los modelos que relacionan la vida y los esfuerzos, para realizar una prueba de vida acelerada, sino que también se debe definir un plan de prueba para determinar los niveles de los parámetros que se afectan el producto y definir el número de muestras. En este artículo se analiza un divisor óptico (ver Figura 1).

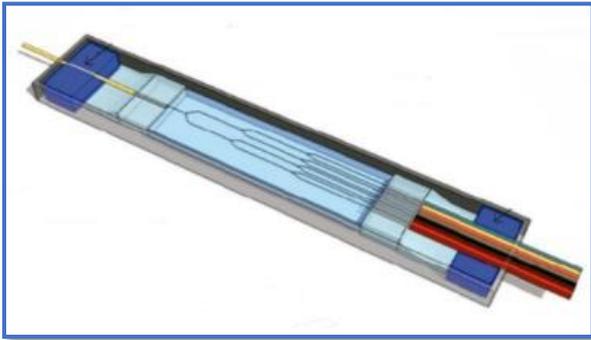


Figura 1. Divisor óptico [1].

Actualmente en la industria de las telecomunicaciones se utilizan comúnmente pruebas de vida acelerada para obtener los tiempos de falla del producto al ser sometido a elevadas condiciones de estrés como temperatura, humedad, entre otros, como resultado el producto presenta fallas en un periodo más corto de tiempo que el esperado bajo condiciones normales de estrés [2]. Los datos acerca de las fallas obtenidos de las pruebas de vida acelerada pueden ser extrapolados con referencia hacia el nivel de estrés en condiciones normales y así realizar una estimación de la distribución de vida del producto [3]. Hoy en día se busca y se pretende evitar resultados experimentales pobres y obtener información de inferencia más exacta sobre el modelo de aceleración y sobre la predicción de confiabilidad, por lo cual es necesario contar con un plan de pruebas de vida aceleradas efectivo, ya que esto nos ayuda a lograr optimización estadística [2].

Los datos de vida (tiempos de falla) se obtienen de pruebas aceleradas, comúnmente realizadas en laboratorio, nos referimos a datos sobre esfuerzos a los que el producto encontrara bajo condiciones normales, posteriormente se procede a elegir un modelo apropiado de aceleración física que se asimila

a elegir un modelo de distribución de vida, por lo que primero se debe identificar el modo de falla y los esfuerzos que son relevantes, es decir los esfuerzos que aceleran el mecanismo de falla [4]. En esta investigación se utiliza el modelo Coffin-Manson, la distribución Weibull y en la sección de metodología se identifica el modo de falla que es el ciclo de temperatura. Las variaciones de temperatura pueden ser el resultado del auto calentamiento de productos que se encienden y apagan repetidamente, o pueden ser el resultado de cambios ambientales cíclicos, como las variaciones de temperatura del día a la noche u otras causas [5]. El factor de aceleración resultante de la prueba del ciclo de temperatura es la relación entre la vida útil del producto en condiciones de funcionamiento normales y la vida en condiciones de prueba acelerada, y viene dada por la ecuación (1) de Coffin-Manson:

$$AF = \left( \frac{\Delta T_{uso}}{\Delta T_{prueba}} \right)^m \quad (1)$$

Donde:

AF = Factor de aceleración

$\Delta T_{prueba}$  = Diferencia de temperatura de prueba (°C)

$\Delta T_{uso}$  = Diferencia de temperatura de uso (°C)

m = Fatiga o exponente Coffin-Manson

## 2. Metodología

En base al historial de pruebas realizadas en los divisores ópticos y sus resultados se concluye que siguen una distribución Weibull, por lo que la metodología está enfocada en esta distribución, que utiliza la ecuación (2) para determinar la confiabilidad.

$$R(t) = \exp \left\{ - \left( \frac{t}{\eta} \right)^\beta \right\} \quad (2)$$

Y para determinar los parámetros de forma  $\beta$  y escala  $\eta$  se utilizan las ecuaciones (3), (4) y (5) respectivamente [6].

$$\beta = \frac{-4\mu y}{0.995 * \ln \left( \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{min}} \right)} \quad (3)$$



$$\eta = \exp\{\mu_x\} \tag{4}$$

$$\mu_x = \ln(\sigma_{max}\sigma_{min})^{\frac{1}{2}} \tag{5}$$

En donde  $\mu_x$  representa la media geométrica y está dada por la ecuación (5)

La metodología se distribuyó en las etapas que se muestra en la Figura 2 y se describen a continuación.

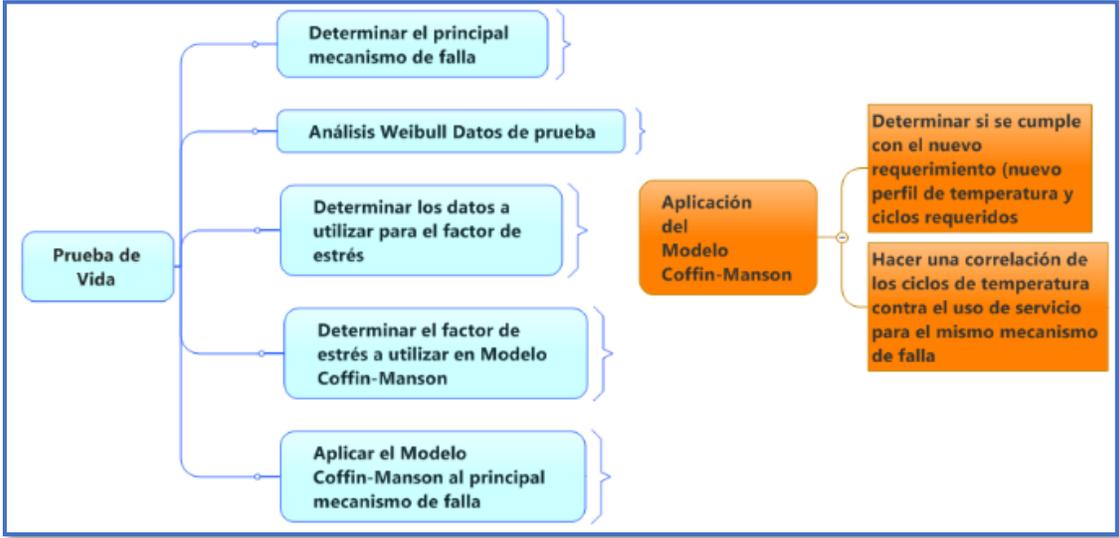


Figura 2. Etapas de la metodología.

**2.1 Determinar mecanismo falla (estrés que afecta)**

Se realizó un análisis de Taguchi el programa Minitab V17 en base a un historial de pruebas de vida acelerada ambientales de temperatura y humedad en el divisor óptico (ver Tabla 1), se obtuvo que la variable significativa, es la temperatura (ver Tabla 2).

Tabla 1. Tiempos de vida de doce divisores ópticos

Tiempo (Hrs)	Temperatura (°C)	Humedad (%)
2920	75	85
2756	75	85
2879	75	85
2676	75	85
2896	75	60
2876	75	60
2985	75	60
2945	75	60
2567	100	60
2390	100	60
2235	100	60
2456	100	60
2290	100	85
2315	100	85
2199	100	85
2310	100	85

Tabla 2. Análisis de Taguchi.

Response Table for Signal to Noise Ratios Smaller is better		
Level	Temp	Hum
1	-69.15	-68.49
2	-67.41	-68.06
Delta	1.74	0.43
Rank	1	2

Response Table for Means		
Level	Temp	Hum
1	2867	2669
2	2345	2543
Delta	521	126
Rank	1	2

Response Table for Standard Deviations		
Level	Temp	Hum
1	80.62	93.95
2	96.43	83.10
Delta	15.81	10.85
Rank	1	2

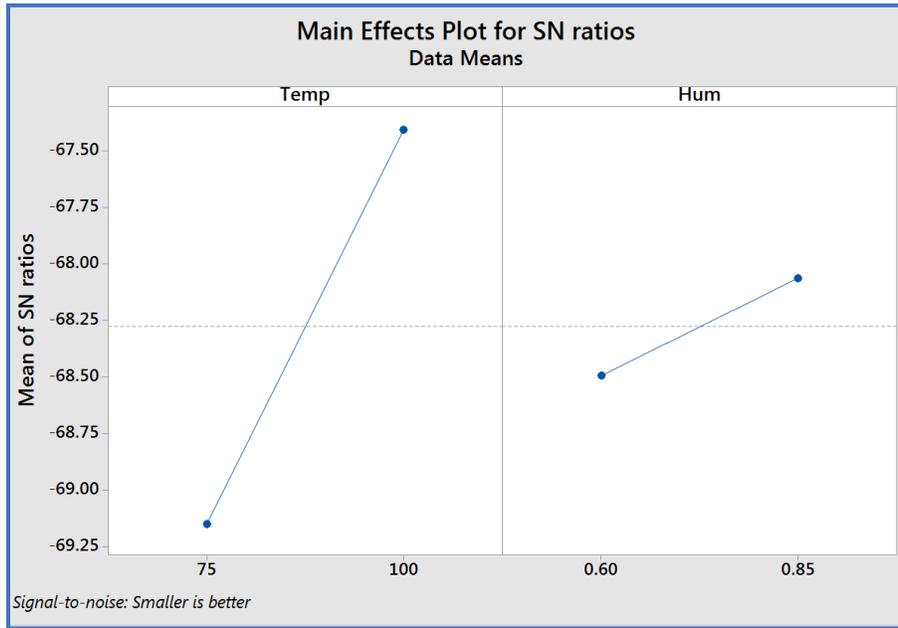


Figura 3: Gráfica de efectos significativos.

## 2.2 Prueba bajo condiciones (GR-2866) estándar de la industria

Se procedió a realizar pruebas bajo las condiciones y tiempos establecidos por el estándar de la industria de

telecomunicaciones [7], para nuestro proyecto, nos enfocamos en la prueba ambiental de ciclo 75°C con 85% de humedad y -40°C, por 720 horas (30 días = 90 ciclos) las muestras que se probaron fueron de control y los resultados se muestran en la Figura 4 y Tabla 4.

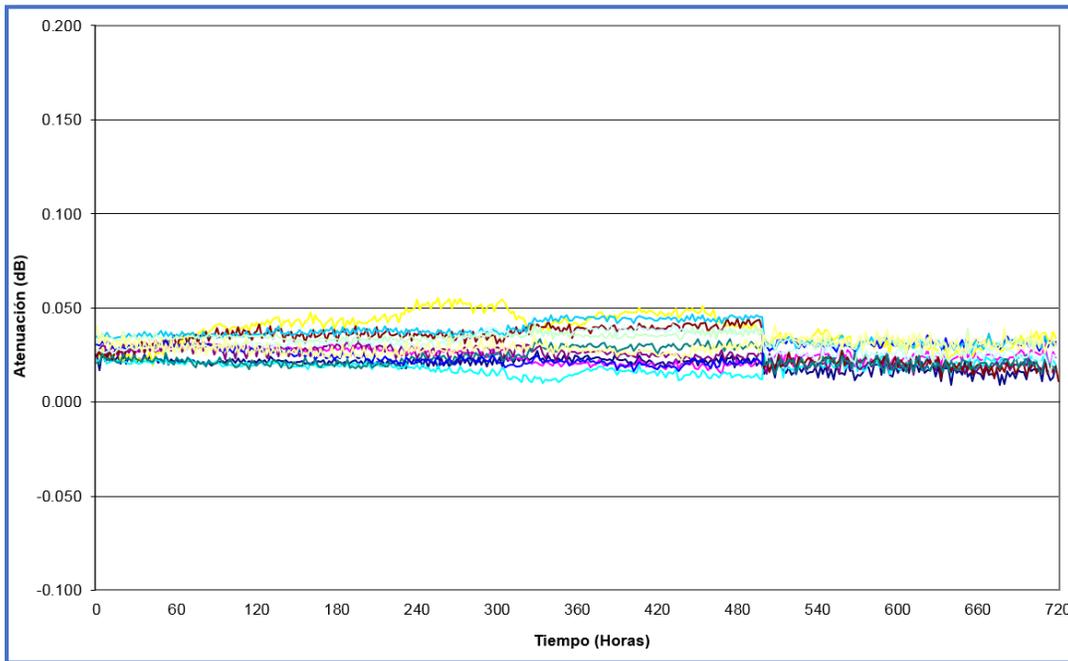


Figura 4: Gráfica de degradación (12 divisores ópticos)



Mediante la distribución Weibull [ecuaciones (2), (3) y (4)], se obtuvieron los valores de su confiabilidad  $R(t)$  y sus parámetros  $\beta$  y  $\eta$ , como se muestra en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Resultados distribución Weibull

Prueba bajo estándar (GR-2866)		
$\beta = 7.44$	$\eta = 81.24$	$R(t) = 0.99$

Una vez completada la prueba del estándar de la industria, se procede a él cálculo de factor de estrés, mediante el modelo Coffin-Manson.

### 2.3 Aplicación modelo Coffin-Manson

Una vez determinado que la temperatura del medio ambiente influye en la señal óptica de comunicación que viaja a través del divisor, causándole atenuación, es decir; pérdida de señal, se realiza el cálculo del tamaño de la muestra mediante la ecuación (6) para una confiabilidad del 90% y un nivel de confianza del 95%

$$n = \frac{\text{LN}(1-Cl)}{\text{LN} R(t)} \quad (6)$$

El factor del material ( $m = 1.5$ ), se obtuvo de las propiedades de la fibra de vidrio [8]. Luego, se obtuvieron el número de ciclos de prueba y el factor de sobre estrés mediante las ecuaciones (7) y (8) respectivamente [9].

$$\text{Ciclos Prueba} = \text{Ciclos Campo} * \text{AFCM} \quad (7)$$

$$\text{Factor Sobre estrés} = \left( \frac{\text{LN}(1-Cl)}{n \times \text{LN}(R(t))} \right)^{\frac{1}{\beta}} \quad (8)$$

**Tabla 5.** Datos y Resultados modelo Coffin-Manson

Prueba ciclo de Temperatura (Fibra de Vidrio)		
Parámetros de campo y de prueba	Campo	Prueba
Temp. Max [°C]	50	100
Temp. Min [°C]	-20	-45
$\Delta T$	70	145
$\Delta T$		170
Coffin Manson		
Material factor (m)		1.5
AFCM= $(\Delta T_{\text{Campo}} / \Delta T_{\text{Prueba}})^m$ Ecuación (1)		0.3354
Ciclos Prueba Ecuación (7)		30.19
Factor de sobre estrés		
Nivel de Confianza (Cl)		95%
Confiabilidad objetivo		90%
Weibull $\beta$ (Tabla 4)		7.44
No. de muestras probadas (n) Ecuación (6)		27
Factor de sobre estrés, Ecuación (8)		1.00698
Duración de la Prueba		
Ciclos, Ecuación (9)		31
Horas, Ecuación (10)		248



La duración de la prueba se obtuvo mediante las ecuaciones (9) y (10).

$$\text{Ciclos} = \text{Ciclos Prueba} \times \text{Factor sobre estres} \quad (9)$$

$$\text{Horas} = \text{Ciclos} \left( \frac{\Delta T + \left( \frac{T_{\text{max}} - T_{\text{min}}}{2} \right) \times 2}{60} \right) \quad (10)$$

### 3. Aplicación y Resultados

Se procedió a realizar la prueba de ciclo de temperatura y humedad de acuerdo con los parámetros de la Tabla 5 (100°C con 85% de humedad y -45°C, por 31 ciclos). Los resultados se muestran en la Figura 5 y Tabla 6

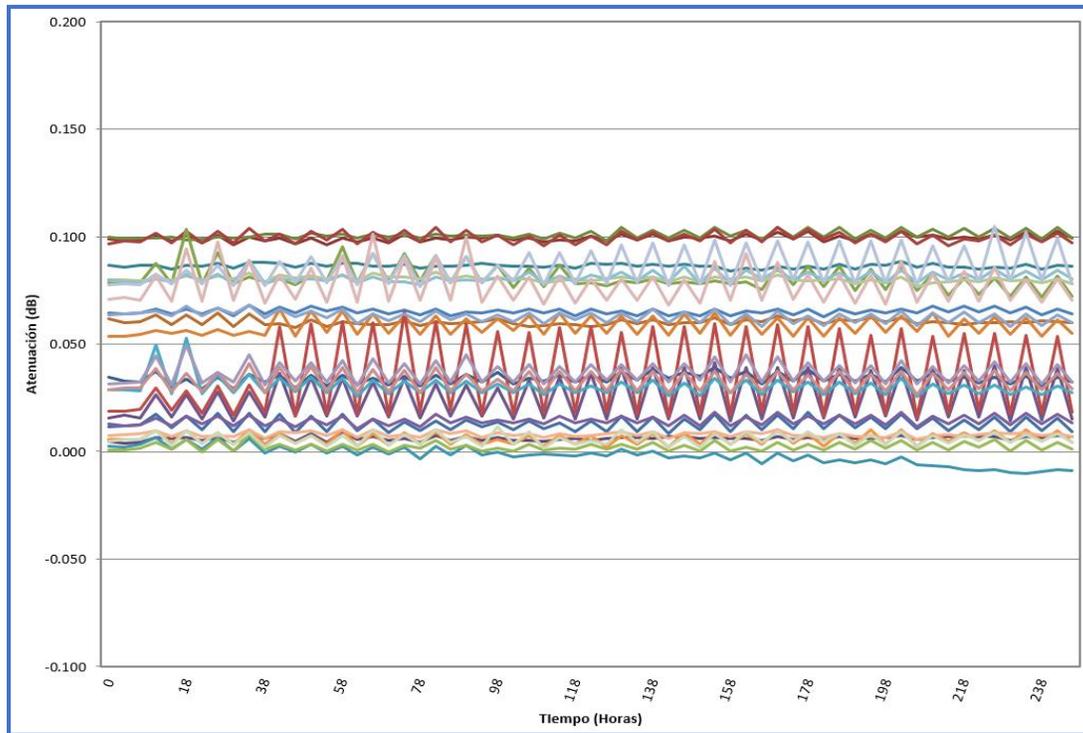


Figura 5: Gráfica de degradación (27 divisores ópticos)

Tabla 6. Resultados distribución Weibull

Prueba (Propuesta)		
$\beta = 3.19$	$\eta = 92.47$	$R(t) = 0.904$

### 4. Conclusiones

La prueba de ciclo temperatura humedad que actualmente es de 30 días se redujo a 10.33 días (aproximadamente un 64%) mediante la prueba de vida obtenida por el modelo Coffin-Manson y una población de 27 muestras, dando como resultado una confiabilidad  $R(t) = 0.904$  mediante la distribución Weibull. A continuación, se presenta una comparación de los resultados obtenidos entre las dos pruebas realizadas (Tabla 7), donde se aprecia una reducción

en la confiabilidad  $R(t)$ , esto es debido a los cambios de temperatura y tiempo de duración de la prueba, debido a ello, nos quedaría pendiente a futura investigación, si el resultado de la prueba propuesta es aceptable por la industria de las telecomunicaciones, así como realizar una correlación de los ciclos de temperatura en su uso de servicio.

Tabla 7. Comparación de resultados obtenidos

Resultados	Prueba de ciclo Temp. y Humedad	
	(GR-2866)	(Propuesta)
$\beta$	7.44	3.19
$R(t)$	0.99	0.904
Max. Atenuación Permitida = 0.20 (dB)	0.55 (dB)	0.105 (dB)



## Agradecimientos

Agradecemos el apoyo de Conacyt y la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ), por el apoyo brindado en esta investigación.

## Referencias

[1] Anon, 2017. SilexFiber. <http://silexfiber.com/splitters-opticos-filtros-wdms/> [Último acceso: 29 March 2019].

[2] S. Kangwon, & P. Rong, "ALTopt: An R Package for Optimal Experimental Design of Accelerated Life Testing". R Journal, 7/2(1), pp. 177-188, 2015. <https://doi.org/10.32614/RJ-2015-029>

[3] W. Nelson, "A bibliography of accelerated test plans". IEEE Transactions on Reliability, 54(2), pp. 194-197, 2005. <https://doi.org/10.1109/TR.2005.847247>

[4] SlideShare, 2017. <https://es.slideshare.net/saoryy/modelos-de-celeracin-de-vida-arrhenius-eyring>

[5] DES, 2018. DES. <https://www.desolutions.com/blog/2014/10/temperature-cycling-testing-coffin-manson-equation/>

[6] M. R. Piña-Monarez, "Weibull stress distribution for static mechanical stress and its stress/strength analysis". Quality and Reliability Engineering International, Vol. 34(2), pp. 229-244, 2018. <https://doi.org/10.1002/qre.2251>

[7] T. Technologies, Telcordia Technologies Generic Requirements GR-2866. Piscataway: Telcordia, 2007. <http://telecom-info.telcordia.com/site-cgi/ido/docs.cgi?ID=SEARCH&DOCUMENT=GR>

[8] S. L., Chan, "Basic structural design considerations and properties of glass and aluminum structures". Polytechnic University, pp. 144-172, 2002. <https://pdfs.semanticscholar.org/e2a8/1406fb6223143f4c60467cf85c3038182eca.pdf>

[9] ISO 16750-1 appendix B chapter B.3.2.4. <http://read.pudn.com/downloads226/ebook/1062022/ISO16750-1.pdf>



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

*Usted es libre para Compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:*

*Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciente o lo recibe por el uso que hace de la obra.*

[Resumen de licencia - Texto completo de la licencia](#)