

Medición y predicción de vida útil de bombillas de frenado automotriz con distribuciones Weibull, Erlang y otras en la Curva de Bañera de Davies.

Mito o realidad: las bombillas fallan por vejez

Nicolás Pérez Gaviria - Grupo GEMI - Universidad EAFIT - Carrera 49 # 7 sur 50 –  
Teléfono 57 4 2619349 - Celular 305 3032576 - Email [nperez1@eafit.edu.co](mailto:nperez1@eafit.edu.co)  
Mantenimiento EAFIT - Medellín - Colombia

Alberto Mora Gutiérrez - Grupo GEMI Mantenimiento EAFIT - Carrera 49 # 7 sur 50 –  
Teléfono 57 4 2619349 o 5048000 - Celular 312 2874586 –  
Email [lmora@eafit.edu.co](mailto:lmora@eafit.edu.co) – [cimpro@mail.com](mailto:cimpro@mail.com) –  
Universidad EAFIT - Medellín - Colombia

## **Resumen**

El trabajo es el resultado de una investigación aún vigente de más de seis años continuos de medición de vida útil de bombillas, que se realizan en un laboratorio electrónico con un banco de pruebas especializado, diseñado eléctrica y electrónicamente a tal fin.

El proyecto analiza el comportamiento matemático, estadístico y aleatorio de la vida útil y muerte de las bombillas de frenado automotriz LED y de incandescencia, al utilizar métodos de cálculos de distribuciones como Weibull y demostrar su funcionamiento por fatiga de la zona 3 de la fase III de la Curva de Davies.

El banco de pruebas de bombillos funciona hace más de 6 años, 24 horas todos los días, realizando la simulación matemática real de frenado de automóviles de pasajeros y carga, consta de 100 bombillos LED y 100 bombillos incandescentes que funcionan siempre hasta la falla; dichos bombillos están diseñados para ser parte del sistema de frenado, a la fecha se han probado más de 6000 bombillas, su metodología científica, su análisis estadístico, y su desarrollo es avalada y desarrollada por el Grupo de Estudios de Investigación Industrial de Mantenimiento GEMI de EAFIT adscrito en COLCIENCIAS desde el año 2000.

Los sistemas de frenado son muy relevantes en la vida humana, es por ello por lo que el proyecto aporta ciencia y tecnología a la movilidad y seguridad vial automotriz mundial, de forma significativa.



## 1. Fundamentos de configuración científica y práctica del Banco de Pruebas de Bombillas de frenado, concepción electrónica, matemática y aplicada a la realidad vial internacional.

La literatura mundial y los autores internacionales de avanzada en mantenimiento y en gestión de activos, enuncian que las luminarias, bombillos y sistemas de iluminación fallan por fatiga y envejecimiento, el proyecto pretende validar científicamente ese tabú, mito o paradigma.

El gran objetivo es aportar ciencia y tecnología avanzada a los sistemas de seguridad vial internacional, mediante la validación de la vida útil de bombillas de frenado de automóviles, con el fin de determinar su vida útil y poder establecer los períodos de cambio necesarios, de tal forma que aseguren su funcionalidad perfecta, con el fin de validar la vida útil y comercial de las bombillas de frenado con la función de Weibull, en la curva de la Bañera de Davies o denominada también Curva de la Bañera o en inglés Bathroom.

El proyecto consiste en analizar el comportamiento matemático, estadístico y aleatorio de la vida útil y muerte de las bombillas de frenado automotriz LED y de incandescencia, al utilizar métodos de cálculos de distribuciones como Weibull, con la parametrización de los valores de sus criterios para demostrar su funcionamiento por fatiga de la zona 3 de la fase III de la Curva de Davies.

Un banco de pruebas de bombillos puesto a disposición en un banco especial de pruebas electrónicas consta de 100 bombillos LED y 100 bombillos incandescentes; dichos bombillos están diseñados para ser parte del sistema de alerta y comunicación de los vehículos automotores, especialmente para el sistema de frenado.

Por consiguiente, los sistemas de frenado en los automóviles y sistemas de transporte juegan un papel fundamental en la vida social de los humanos, es por ello que el proyecto apunta a dar la máxima seguridad y vida útil a las bombillas de frenado de la parte trasera de los vehículos de transporte privado y público, dada la gran importancia que ello tiene en la movilidad y la seguridad vial.

La señal roja de frenado denota pare, lo cual es relativamente importante en el lenguaje simbólico de los sistemas de transporte y movilidad, es por eso que el proyecto pretende validar el comportamiento de vida útil por fatiga de las bombillas, con el fin de que estas maximicen su vida de funcionalidad y sean reemplazadas a tiempo, de tal forma que se garantice siempre luz roja al frenar, en cantidad lumínica suficiente.

### 1.1 Componentes del Banco Electrónico de Pruebas de frenado

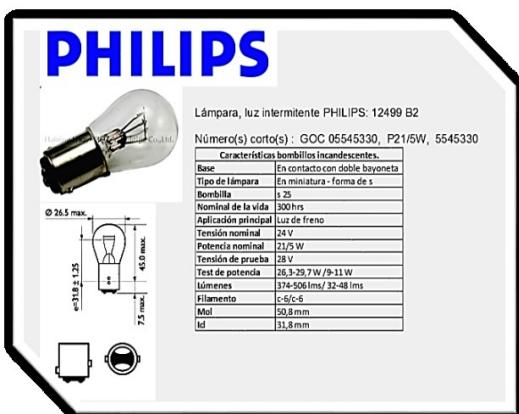
Los componentes de la experimentación son bombillas automotrices y antes de comenzar cualquier montaje se estudia el mercado disponible al público y los diferentes tipos, marcas y características de los productos, para decidir con base en esta información cuales serían las muestras ideales para la investigación, en las secciones siguientes se describe el estudio y selección de las bombillas a utilizar.

Los vehículos utilizan el clásico bombillo de filamento incandescente, con la variación en algunos en términos de potencia y conexión por razones de tamaño, función, exclusividad de marcas, entre otros.

Como única alternativa para este de bombillo se encuentra el tipo LED; con algunas variaciones entre los de su clase en términos de número de contactos, tipo de LED, cantidad de LED y tipo de conexión, como en el caso del de filamento incandescente. Este tipo de bombillos se limitan a lugares y

almacenes de accesorios y luces para los vehículos.

Para la parte de Bombillas Incandescentes se usan las marcas:



**Ilustración 1 - Bombillas Incandescentes**

El estudio de oferta de mercado encuentra que no existen muchos tipos, ni muchas variantes entre la luminaria destinada a la iluminación

frenado de vehículos, ya que la gran mayoría de marcas automotrices, comparten el mismo tipo conexión, voltaje y tipo de bombillo.

La información de la sección anterior da el suficiente detalle para tomar decisiones según el fin de la investigación, por lo que se definen dos referencias de bombillo para el estudio, las cuales se exponen a continuación.

**Bombillo incandescente Narva:** se selecciona la marca Narva Alemana para el estudio, ya que su antigua historia y experiencia en iluminación, hace que su bombillo sea el ideal para unas pruebas de ciclo de vida útil, los procesos de fabricación y los acabados del producto hacen que este sea un adecuado elemento de estudio para el tipo de bombillo de filamento incandescente.

Las características de este bombillo son, 1.8 Amperios de corriente continua de consumo, 12V de voltaje de trabajo y 21W de potencia.

**Bombillo LED Maxim Lighting:** dadas las diferencias que se encuentran en el Mercado, se busca otro bombillo que presente amplias desigualdades con el bombillo de filamento Narva, por este motivo se selecciona el bombillo LED Maxim lighting, el cual posee las mejores capacidades, numero de LED, calidad visual y de acabados, que sus pares competidores.

Las características de este bombillo son, 0.15 Amperios de corriente continua de consumo, 10.5 - 15 V de voltaje de trabajo y 1.8W de potencia.





Ilustración 2 - Disposición de bombillas LEDs e Incandescentes

• OE H Quality
• Wide product range
• Reliable quality

• Original spare parts
------------------------

Electrical data	
Power Input	25 / 6 W
Nominal wattage	21 W
Nominal voltage	12 V
Test voltage	13.5 / 13.5 V
Light technical data	
Luminous flux	440 / 35 lm
Dimensions & weight	
Length	52.5 mm
Diameter	26.5 mm
Product weight	10.50 g

Ilustración 3 - Ficha técnica

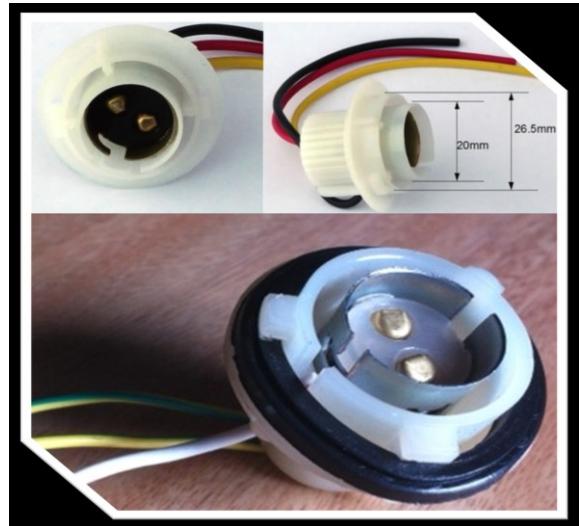


Ilustración 4 - Bombillas Incandescentes

Portalámparas: se selecciona de tipo metálico con base para atornillar, por su facilidad de sujeción mediante tornillos y la sencilla accesibilidad para la remoción del bombillo o del mismo portalámparas en caso de haber algún tipo de fallo. Estas características facilitan la fabricación y el montaje del banco de pruebas que simulara el funcionamiento de los bombillos en vehículos.



Componentes eléctricos del Banco Electrónico de pruebas: se conoce que los bombillos de este tipo operan con corriente directa (continua), por lo tanto, las opciones que se tienen para alimentarlos son, utilizar baterías que por su naturaleza proporcionan corriente directa, o transformar la corriente alterna de la red de suministro.

Por practicidad no es viable la opción de usar baterías, pues el consumo energético de este tipo bombillos y la cantidad necesaria de bombillos a probar en simultáneo, induce a que las baterías se descarguen rápidamente, por lo que sería necesario algún tipo de sistema de recarga continua, lo que complica de gran manera el sistema de suministro de energía para los bombillos.

Las anteriores afirmaciones conducen a la conclusión de que es más viable elaborar un circuito que transforme la corriente alterna de suministro a corriente directa, la cual se debe transformar y rectificar de corriente alterna a 110 V y 60Hz, a corriente directa 12 V.

Transformador: es el elemento que se encarga de variar (transformar) el voltaje de la corriente, es decir, este elemento reduce el voltaje de entrada en el necesario de salida, pero no le cambia su variabilidad, es decir, que continua como corriente alterna.

La gran cantidad de bombillos para alimentar, y la necesidad de emular el escenario de trabajo de estos lo más precisamente posible, genera varios requerimientos básicos, ya que, para simular estas condiciones para tal cantidad de bombillos, se necesita definir un gran número de variables que definen los límites del sistema y fuente de poder.

Las variables que definen el funcionamiento de estos bombillos son, la cantidad de corriente de consumo, el tipo de corriente, el voltaje de trabajo y el consumo de potencia, en especial el algoritmo que simula el comportamiento de las bombillas con la vida real automotriz, lo cual se realiza con hardware y software especializado para ello.

El sistema trabaja 24 horas todos los días, de forma alternada, entre incandescentes y LEDs, de tal manera que se garantice su permanente funcionamiento y de que si fallan algunos no afecten a los demás, se registrar la vida útil completa todos los días de cada bombillo al

ser colocado nuevo y al fallar totalmente, dado que los incandescentes fallan y no alumbran nada, en ellos se determina su vida útil cuando terminan de iluminar, dado que los LEDs solo fallan parcialmente, se utiliza un principio universal de vida útil de LEDs que dice que en Mercadeo Publicitario cuando llegan al 50% de su capacidad inicial de iluminación fallecen , en cambio en ingeniería solo cuando pierden el 30% de su capacidad lumínica se da por terminada su vida útil.

Consumo de corriente del sistema: la fuente de energía que posee el vehículo es su batería, esta mantiene su carga estable por la interacción que constantemente mantiene con el alternador del vehículo, el cual continuamente la recarga, por lo que se abastece de manera ilimitada la batería. Este proceso hace que sea posible sin ningún impedimento el uso de bombillos de filamento incandescente.

Para realizar la simulación experimental de la vida útil de los bombillos para una población considerable, se debe contar con una fuente de poder con las características suficientes para abastecer la demanda de carga.

Las mediciones y el registro de fallos de los bombillos deben realizarse sin afectar el funcionamiento de los que puedan seguir en funcionamiento, es decir, los fallos que se presenten en las diferentes poblaciones no deben afectar de ninguna manera el funcionamiento constante de los que siguen en buen estado.

Para lograr este objetivo, el circuito de bombillos se debe conectar en paralelo, para garantizar que el fallo de uno no afecte el paso de energía a los otros y puedan funcionar de manera independiente. Este tipo de conexión hace que las corrientes de consumo se sumen de acuerdo con el número de elementos en conexión, esta información es vital para calcular la carga que de poder soportar la fuente.

A partir de la fórmula de cálculo de consumo de corriente para un circuito en paralelo, se calcula el consumo del banco de pruebas, para poder definir las características que debe tener la fuente de poder.

Según la tabla la fuente de poder debe abastecer con 195 amperios el circuito para poder energizar 200 bombillos en total.

Tipo de bombillo	Consumo corriente [A]	Consumo 100 unidades [A]	Consumo total [A]
Incandescente	1.8	180	
LED	0.15	15	<b>195</b>

Ilustración 5 - Consumo del Banco Electrónico

Características de la fuente de poder del sistema: finalmente de acuerdo con los cálculos anteriores, se definen las especificaciones del transformador, de manera que pueda alimentar el sistema en condiciones normales de trabajo, dichas características para su fabricación son las siguientes: Potencia: 2.2 [KVA], Voltaje de entrada: 110 [V], Voltaje de salida: 12 [V], Corriente de entrada: 20 [A] y Corriente de salida: 245 [A].

Breaker: para evitar el daño de los bombillos ante un eventual cortocircuito, un pico de voltaje o simplemente para interrumpir el paso de la corriente a las líneas de bombillos, es necesario tener una protección y un interruptor antes de cada puente rectificador. Esta función la cumplen breakers termomagnéticos los cuales tienen como función tanto la de interrumpir la corriente como la de proteger el circuito.



Ilustración 6 - Breaker

La transformación de corriente de alterna a continua, se realiza por medio de puentes rectificadores de corriente, los cuales convierten la oscilación sinusoidal de la corriente alterna en una corriente rectificada pulsante.

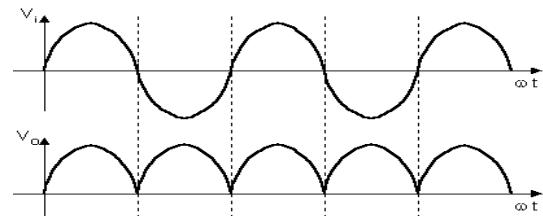


Ilustración 7 - Rectificación

La manera más eficaz y apropiada que se encuentra para la energización del sistema es la de dividir la corriente por líneas de bombillos.

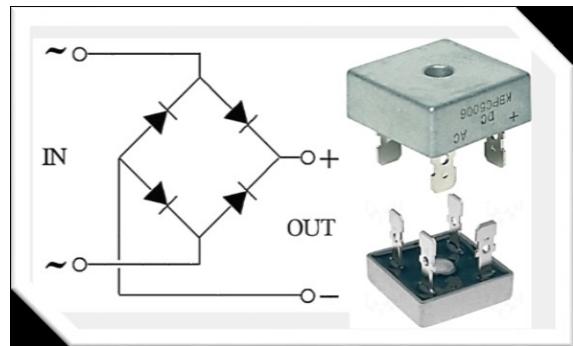


Ilustración 8 - Puente rectificador de corriente



Ilustración 9 – Condensadores

El microcontrolador es el elemento principal del subsistema de control, es el más importante ya que mediante de él se simula la acción real de frenado de vehículos en la vida cotidiana transitando en calles y autopistas; es el que permite controlar los tiempos de encendido y apagado de los bombillos. El micro controlador es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria pues posee pines de entrada y de salida, y con la lectura que obtiene de las entradas puede decidir sobre las salidas.



Ilustración 10 - Circuito Controlador Arduino Simulator

Para la investigación se usa el micro controlador Arduino® Mega2560; el cual es una plataforma de electrónica abierta para la creación de prototipos basada en software y hardware flexible, el Arduino es un circuito integrado que contiene toda la estructura de un ordenador (CPU, memoria RAM, memoria ROM y conexiones de entrada/salida).

Para el control de los bombillos no se usan las entradas del micro controlador, es decir, que el control de los bombillos va a ser cíclico y no va a depender de ningún pulsador o sensor. A continuación, se muestra un plano

esquemático del Arduino donde están marcadas sus salidas y entradas.

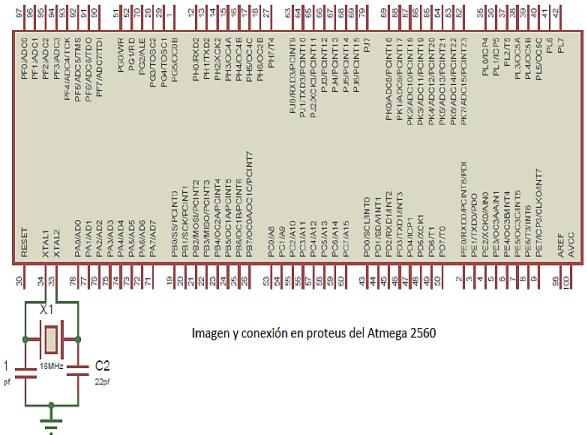


Imagen y conexión en proteus del Atmega 2560



Ilustración 12 – Relé

El conjunto de elementos funciona de la siguiente manera: a partir de un circuito de bajo voltaje y corriente se energiza la bobina, esta al ser energizada crea un campo magnético el cual atrae la armadura hacia el núcleo de la bobina, debido a que la armadura pivota sobre un punto esta hace cerrar o abrir los contactos (de acuerdo con el tipo de relé, si es normalmente abierto o normalmente cerrado). El relé se usa para interrumpir el paso de la corriente (circuitos eléctricos) a partir de corrientes pequeñas (circuitos electrónicos), es decir, si el relé recibe corriente.

Transistores: se utilizan para controlar el encendido y apagado de los bombillos LED, son los transistores de tipo TIP 121, los cuales

reciben directamente la señal desde el microcontrolador, dando accionamiento al puente que da el paso de corriente que alimenta los bombillos LED.

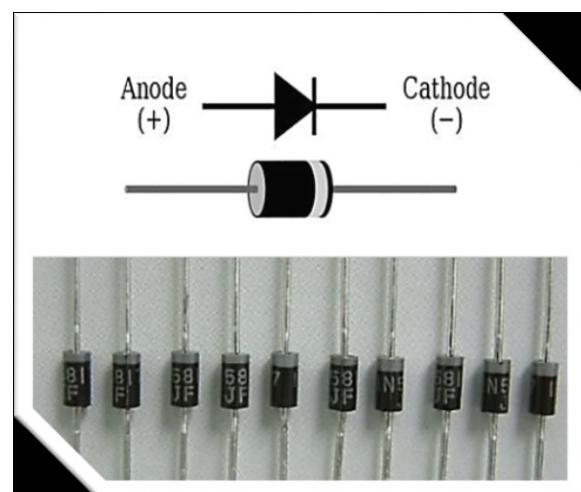
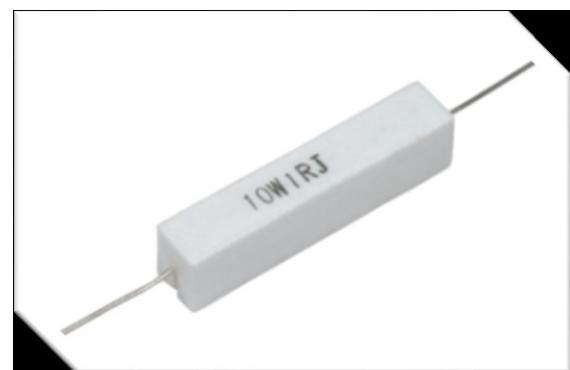
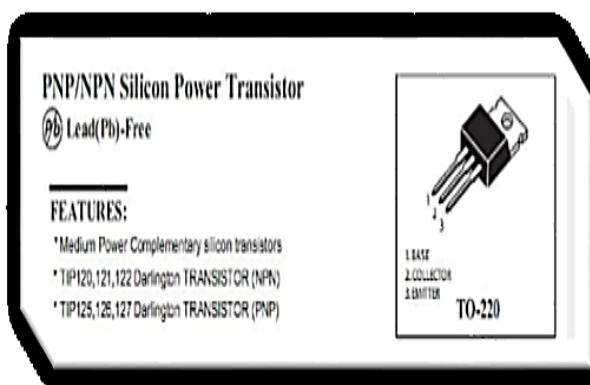
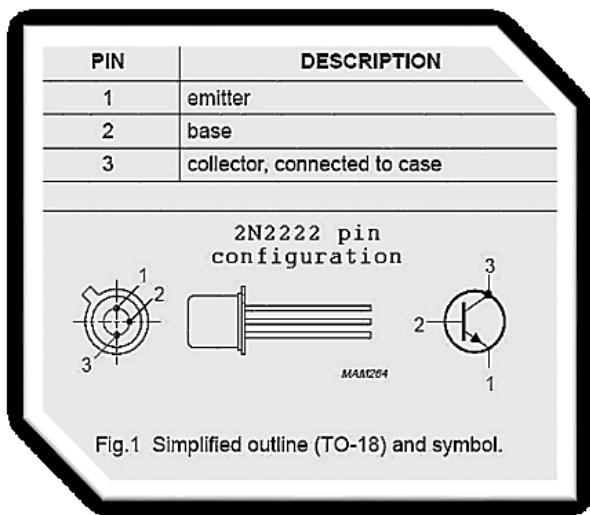
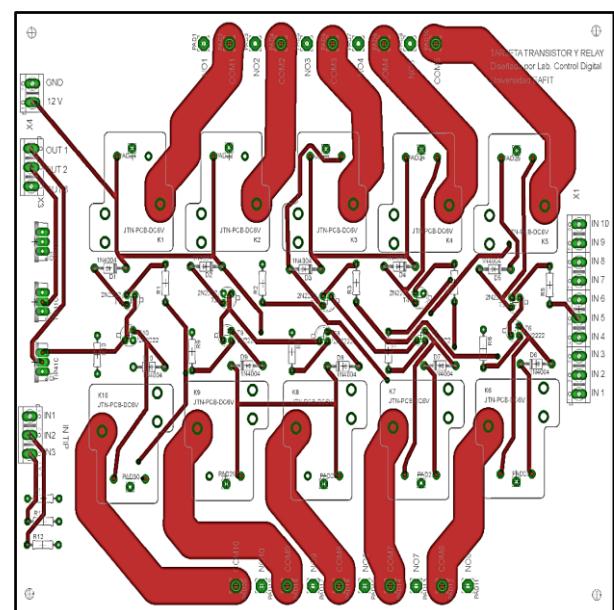
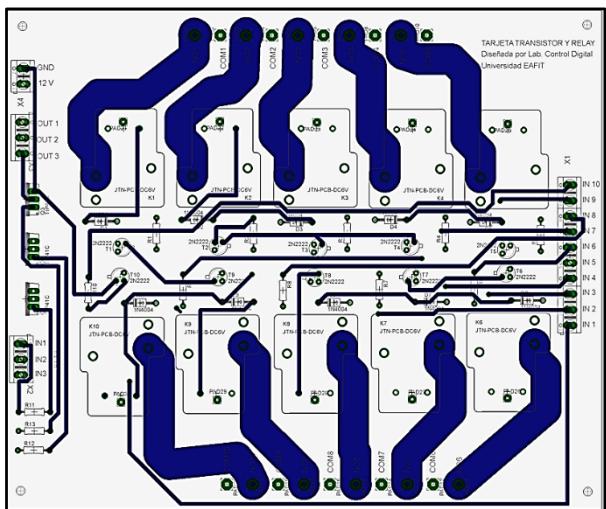


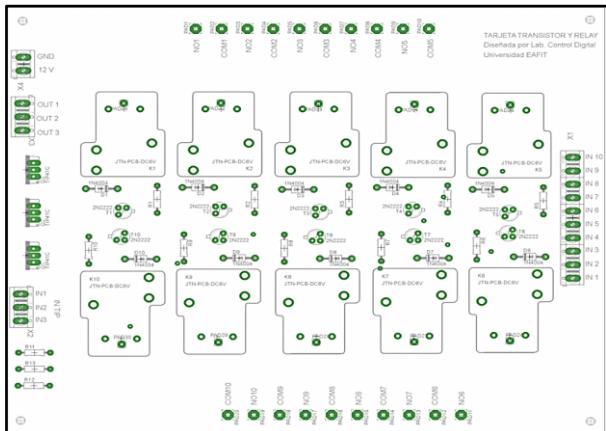
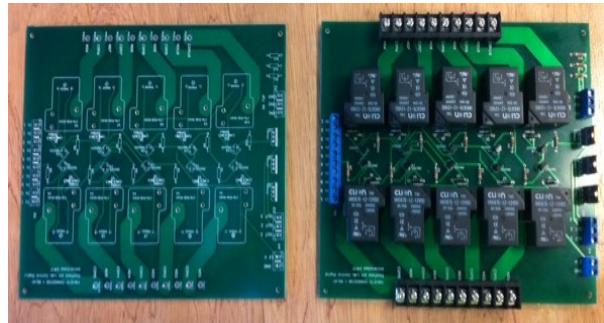
Ilustración 13 - Transistores Resistencias y Diodos





**Ilustración 14 - Capas superior e inferior Circuito impreso**

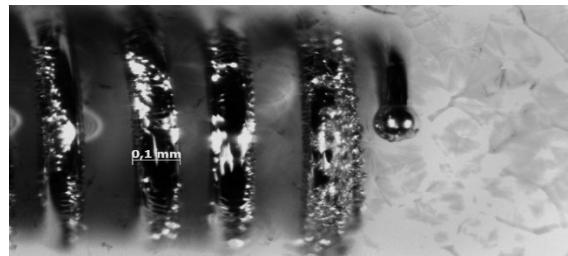
De esta manera se controla totalmente el funcionamiento simulado a la vida real de los 200 bombillos (LEDs e Incandescentes), para fatigarlos y poder medir su confiabilidad con el fin de probar si sí o no su están en la zona tres de Weibull o comprobar el Mito de si las bombillas fallan por viejas, fatiga o envejecimiento.



**Ilustración 15 - Circuitos reales controladores de la simulación y fatiga inducida**

Ahora se pasa a la fundamentación de confiabilidad.

Las fallas típicas en incandescentes muestran graficas como la siguiente. En cambio la falla en los LEDS se miden cuantificando.



**Ilustración 16 - Fallas en las bombillas de frenado**

## 2. CMD - Fundamentos de medición científica y predicción de vida útil bajo sistemas de distribuciones.

El proceso consiste en seleccionar el tipo de disponibilidad más adecuada para valorar la confiabilidad, dado que los elementos a medir son no reparables, de una vez se toma la decisión de utilizar del Método internacional CMD de medición y predicción de

confiabilidad, inicialmente el sistema de distribuciones de Weibull, donde se prueban estadística y estocásticamente los dos valores de vida útil acumulados durante los seis años del experimento, de tal forma que se les prueba a la función estadística de Coeficiente Alfa de Cronbach, para determinar si los datos obtenidos son coherentes, también se mide la correlación para determinar relación entre los datos y por ultimo antes de correr los valores de predicción y cálculos de confiabilidad por Distribuciones con Weibull, LogNormal, Erlang, Raleigh y otras , se hace la valoración de Función de Autocorrelación, mediante la cual se determina si los datos son aleatorios, si se correlacionan entre sí y si tienen pendiente, de esta forma se garantiza que los resultados de Weibull al realizarlos son estadísticamente contundentes en los resultados y concluyentes estadísticamente hablando.

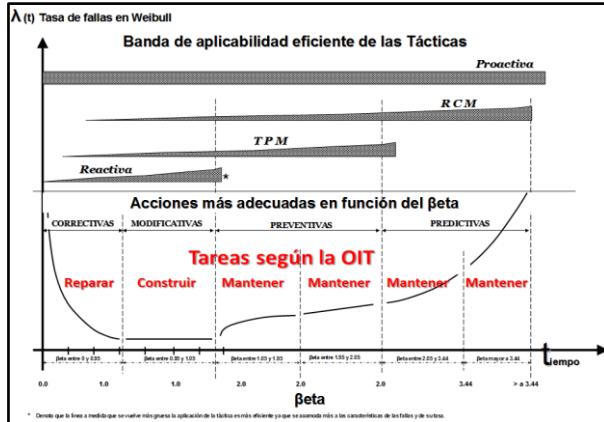
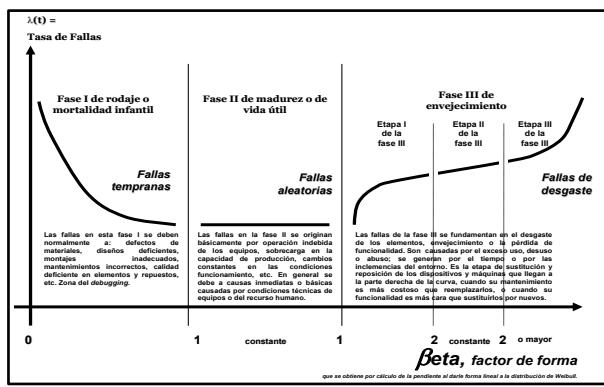


Ilustración 17 - Curva de Davies o de la Bañera - Bathroom Fase III a loa derecha.

INCANDESCENTES				L E D s			
Número	Identificación en el Banco de Prueba		Vida útil en horas	Número	Identificación en el Banco de Prueba		Vida útil en horas
	Zona	Letra			Zona	Letra	
37	1	F	303.60	37	1	F	1035.26
38	1	J	303.60	38	1	G	1036.86
39	8	I	303.60	39	2	F	1038.46
40	10	A	303.60	40	2	G	1040.06
41	10	B	312.80	41	4	B	1043.26
42	10	E	312.80	42	4	H	1044.86
43	1	D	312.80	43	5	C	1046.46
44	2	A	312.80	44	5	H	1048.06
45	4	G	322.00	45	6	I	1049.66
46	4	H	322.00	46	6	J	1051.26
47	5	D	322.00	47	8	F	1052.86
48	4	E	322.00	48	9	E	1054.46
49	4	I	322.00	49	9	F	1070.80
50	8	E	322.00	50	9	H	1072.40
51	10	J	322.00	51	4	A	1087.14
52	1	B	322.00	52	9	J	1088.74
53	1	G	322.00	53	8	B	1105.09
54	2	C	322.00	54	9	A	1103.49
55	3	C	349.60	55	7	J	1119.83
56	3	E	349.60	56	9	C	1201.89
57	3	J	349.60	57	10	B	1203.49
58	4	B	349.60	58	2	E	1218.23
59	5	C	349.60	59	3	G	1219.83
60	6	C	349.60	60	3	J	1221.43
61	10	D	349.60	61	9	G	1223.03
62	4	C	349.60	62	1	H	1264.06
63	4	D	349.60	63	7	B	1278.80
64	5	A	349.60	64	1	D	1306.69
65	6	I	358.80	65	1	I	1308.29
66	7	J	358.80	66	1	J	1309.89
67	8	C	358.80	67	2	D	1311.49
68	5	G	358.80	68	3	D	1313.09
69	6	G	358.80	69	7	C	1314.69
70	8	B	358.80	70	7	D	1316.29
71	1	H	358.80	71	7	F	1317.89
72	2	B	358.80	72	2	H	1332.63
73	2	F	358.80	73	8	A	1334.23
74	5	E	368.00	74	8	D	1335.83
75	5	J	368.00	75	8	H	1337.43
76	6	J	368.00	76	10	A	1339.03
77	7	D	368.00	77	2	I	1380.06
78	7	G	368.00	78	2	J	1381.66
79	8	D	368.00	79	3	H	1383.26
80	8	G	368.00	80	10	H	1263.26
81	3	B	386.40	81	10	E	1412.74
82	4	A	404.80	82	10	G	1414.34
83	5	F	294.40	83	3	B	1442.23
84	6	D	294.40	84	10	J	1496.40
85	7	B	294.40	85	10	C	1537.43
86	7	I	294.40	86	2	C	1604.74

Ilustración 18 - Datos tipo muestra del Banco total de datos de seis años

Los datos se calculan tanto con el software Weibull como con CMD++ avanzado del Autor Mora.

## 2.1. Desarrollo del modelo matemático de simulación.

El algoritmo de desarrollo de encendido, apagado0, frecuencia e intervalos de los bombillos, se define en el programa informático pertinente, mostrando los siguientes pasos.

La descripción que se dan en palabras sobre los dos ciclos de accionamiento se traduce en el siguiente código que se compila y ejecuta desde el microcontrolador.

```

long cont;
void setup()
{
    DDRB=0x00000000;
    PORTB=0x00000000;
    cont=0;
}
void loop()
{
    while(cont<920)
    {
        (PORTA=0B01011011);           (PORTA=0B01100100);
        (PORTC=0B10100000);           (PORTC=0B00100000);
        delay(6000);                 delay(6000);

        (PORTA=0B11111111);
        (PORTC=0B11111111);
        cont++;
        delay(6000);

        (PORTA=0B00110101);
        (PORTC=0B10001000);
        delay(6000);
        (PORTA=0B00110101);
        (PORTC=0B11010000);
        delay(6000);

        (PORTA=0B01011011);
        (PORTC=0B10100000);
        delay(6000);
        (PORTA=0B01011011);
        (PORTC=0B11010000);
        delay(6000);

        (PORTA=0B00110101);
        (PORTC=0B10001000);
        delay(6000);
        (PORTA=0B00110101);
        (PORTC=0B11010000);
        delay(6000);

        (PORTA=0B01011011);
        (PORTC=0B10100000);
        delay(6000);
        (PORTA=0B01011011);
        (PORTC=0B11010000);
        delay(6000);

        (PORTA=0B00110101);
        (PORTC=0B10001000);
        delay(6000);
        (PORTA=0B00110101);
        (PORTC=0B11010000);
        delay(6000);

        (PORTA=0B01001001);
        (PORTC=0B10111000);
        delay(6000);
    }
}

```

Ilustración 19 - Algoritmo de accionamiento de bombillos

## 2.2. Medición de la vida útil de los diferentes miles de bombillos usados en la muestra y población experimental del Banco Electrónico de Pruebas.

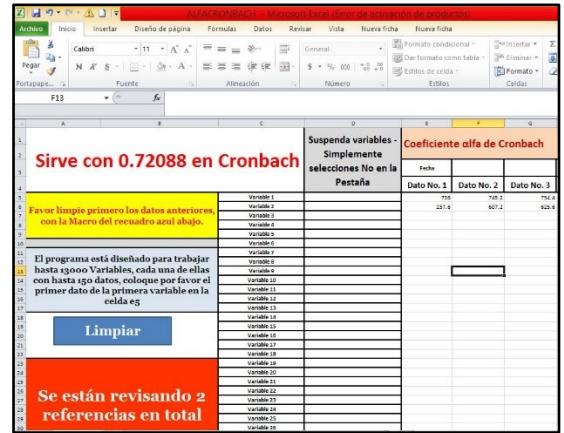
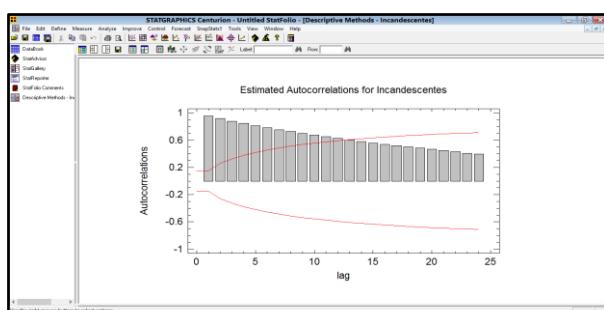
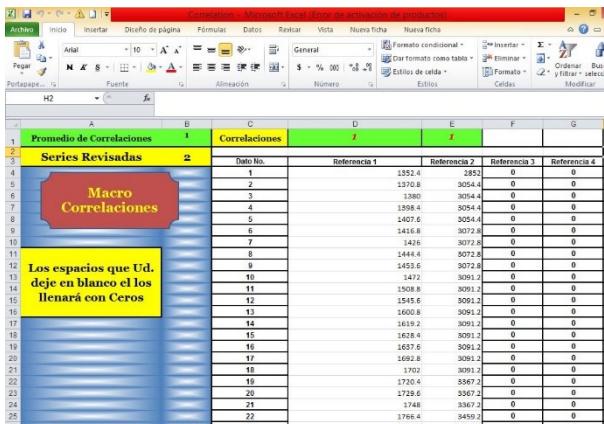
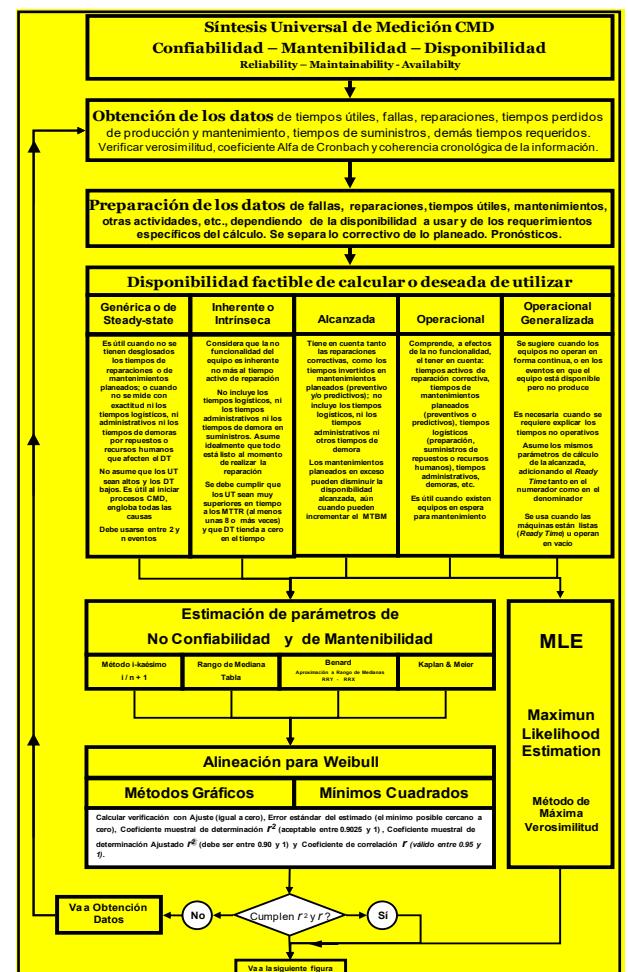
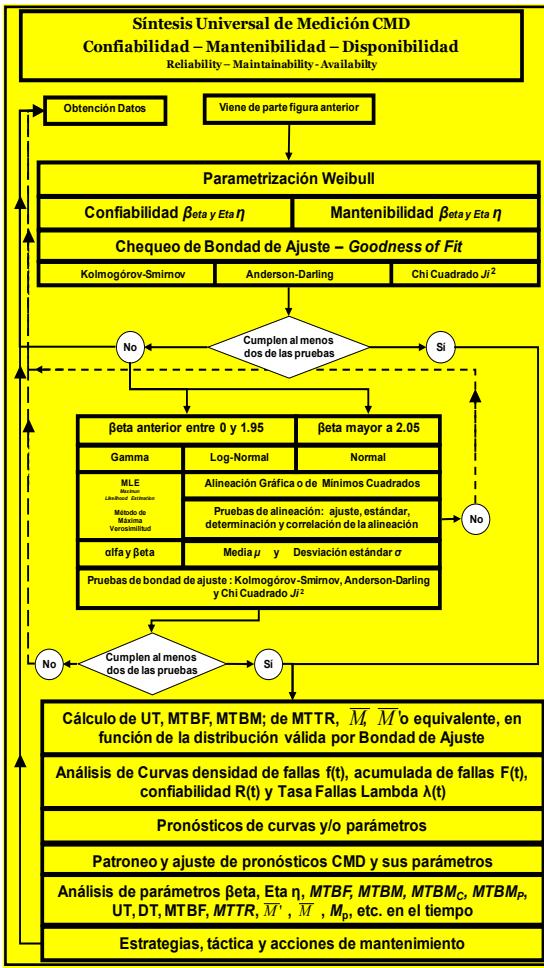


Ilustración 20 - Análisis especiales de datos y pruebas de validación

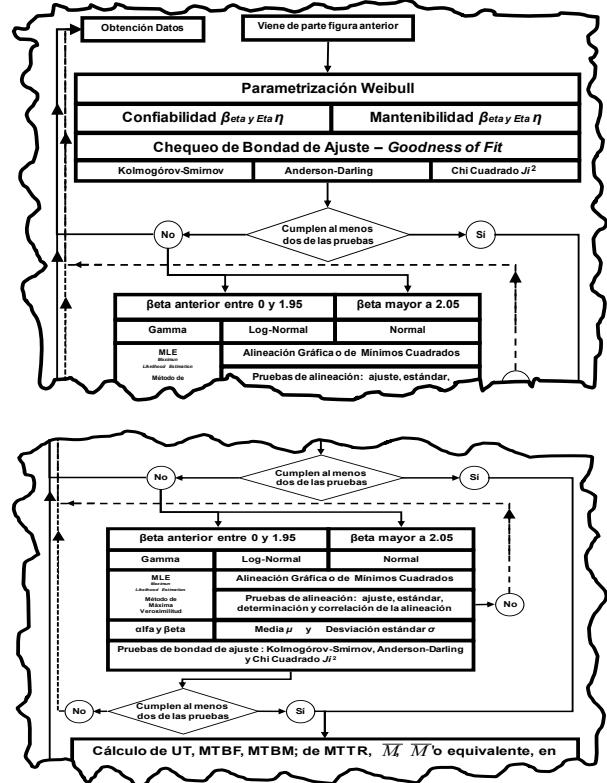
De esta manera ya se dispone entonces de toda la información necesaria para hacer los análisis finales con distribuciones de Weibull o de otras distribuciones que se requieran.



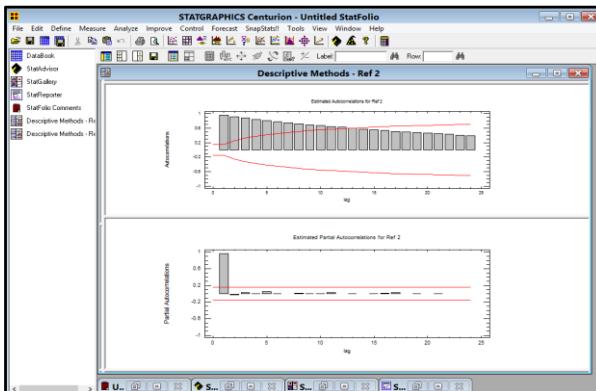


otras como: Erlang, Hjorth, Gamma, Rayleigh, LogNormal, Normal.

Las metodologías con los diferentes softwares aseguran resultados al hacer los cálculos necesarios de orden científico, con base en la metodología internacional de confiabilidad por distribución.



### 3. Análisis de datos, bajo curvas de confiabilidad.



### 4. Cálculos matemáticos, correlacionales, estocásticos y estadísticos, para concluir resultados de vida útil de bombillas de frenado con distribuciones de Weibull y

Distribución	Criterios
Normal	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Describe fenómenos de envejecimiento de equipos (Díaz, 1992).</li> <li>- Describe fenómenos de modelos de fatiga (Ebeling, 2005).</li> <li>- Describe fenómenos naturales (Ramakumar, 1996).</li> <li>- Los componentes son afectados desde un comienzo por el desgaste (Rojas, 1975).</li> </ul>
Exponencial	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Las reparaciones constituyen un intercambio de piezas estándar.</li> <li>- Fallas aleatorias y que no dependan del tiempo que llevan en funcionamiento.</li> <li>- Describe situaciones de función de tasa de falla constante (Rojas, 1975).</li> <li>- El componente usado que aún no ha fallado, es estadísticamente tan bueno como un componente nuevo.</li> <li>- Modelar componentes electrónicos (Díaz, 1992). Es un caso particular de la Gamma cuando <math>\beta = 1</math>.</li> </ul>
Weibull	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es la única función de probabilidad que puede utilizarse para representar cualquier tipo de distribución (Kelly y otro, 1998, 24).</li> <li>- Representar la vida de los componentes.</li> <li>- Vida de servicio de tubos y equipos electrónicos (Rojas, 1975).</li> </ul>
Gamma	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conveniente para caracterizar los tiempos de fallas de equipos durante períodos de rodaje (Rojas, 1975).</li> <li>- Adecuada para representar sistemas con componentes stand-by (Díaz, 1992).</li> </ul>
Log normal	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Describe bien cuando la mayor parte de las intervenciones son de corta duración (Díaz, 1992).</li> <li>- Aplicada para equipos electrónicos y electromecánicos (Blanchard, 1994).</li> <li>- Se aproxima a la distribución exponencial, y siendo ésta mucho más sencilla de manejar, es esta última la que más se utiliza.</li> </ul>
Binomial	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se aplica en eventos mutuamente excluyentes, falla o no falla (Lewis, 1995).</li> </ul>
Poisson	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Frecuentemente usada en gestión de inventarios.</li> <li>- Se usa también en lugar de la distribución binomial cuando se manejan probabilidades de fallas bajas (Díaz, 1992).</li> </ul>
Beta	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Usada principalmente en procesos acotados en dos extremos (Díaz, 1992).</li> </ul>
Erlang	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es un caso especial de la distribución gamma, K entero (Díaz, 1992).</li> </ul>
Rayleigh	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es un caso especial de la distribución Weibull, <math>\beta=2</math> (Ebeling, 2005).</li> </ul>
Chi cuadrada	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es un caso especial de la distribución gamma, <math>\lambda=0.5</math>, y <math>v=2\alpha</math> (Lemis, 1995).</li> </ul>
Valores Extremos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es usada en modelos que limitan los valores máximos y mínimos (Díaz, 1992).</li> </ul>

Ilustración 21 - Distribuciones usadas en los software para medición

## 5. Resultados, validaciones y conclusiones.

Con la función de Weibull, se analizan los datos y resultados.

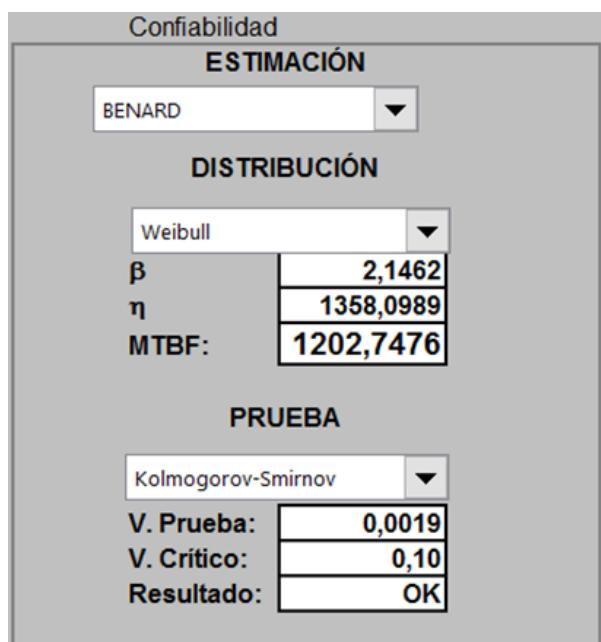
$$\int \lambda(t) dt = \left( \frac{t - t_0}{\eta} \right)^\beta$$

$$R(t) = \exp \left[ - \int_0^{\infty} \lambda(t) * d(t) \right]$$

$$\lambda(t) = - \frac{d[R(t)]}{dt} = \frac{f(t)}{R(t)}$$

### Ilustración 22 - Ecuaciones de medición Weibull y base de softwares

Los resultados LEDs e Incandescentes, muestran



Un  $\beta$  de la Zona III de la fase 3 de la Bañera; donde se cumple y se concluye estadística, estocásticamente y matemáticamente que los Bombillas de frenado si fallan por vejez, fatiga, uso excesivo o envejecimiento.

Científicamente se demuestra que el Mito es cierto.

## BIBLIOGRAFÍA

- Antonelli, Giorgio. 1995. *Light Signs: A light path through posters and advertising*. Milan, Italy: Lupetti, :Lupetti, 1995.
- CEI . 1988. Norma 191. [aut. libro] Comisión Electrotécnica Internacional. *Normativa Comisión Electrotécnica Internacional*. 1988.
- Díaz, Matalobos - Ángel. 1992. *Confiabilidad en mantenimiento*. Caracas : Ediciones IESA, C.A., 1992. pág. 110. ISBN: 980-271-068-2.
- Ebeling, Charles E. 2005. *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. [ed.] Inc. Waveland Press. New York City : McGraw-Hill Science - Engineering - Math, 2005. pág. 576. ISBN: 1577663861.
- Estadística aplicada a los Sistemas & Confiabilidad en los Sistemas. Forcadas, Jorge - Feliú. 1983. 4. Medellín : Revista SAI - Revista SAI Sociedad Antioqueña de Ingenieros y Arquitectos - En: Revista SAI. No.4 Vol.1 - Medellín - Colombia - 1983, 1983, Vol. 1, pág. 41.
- Forbes, Catherine, y otros. 2011. *Statistical Distributions*. New Jersey : John Wiley & Sons, Inc, 2011. ISBN 978-0-470-39063-4.
- Gagné®, Robert y Bloom, Benjamín. 2008. Taxonomía de los Objetivos educacionales y formativos de los seres humanos. *Modelos de procesamiento de la información de los humanos*. [En línea] [http://cmaps.conectate.gob.pa/servlet/SBReadResourceServlet?rid=1189491719498\\_981864839\\_519162&partName=htmltext](http://cmaps.conectate.gob.pa/servlet/SBReadResourceServlet?rid=1189491719498_981864839_519162&partName=htmltext), 21 de Septiembre de 2008. [Citado el: 21 de Septiembre de 2008.] Se conoce como la escala de niveles de objetivos de Bloom, Barret y Gagné. <http://www.scribd.com/doc/408060/Robert-Gagne>.
- Gago Calderón, Alfonso y Fraile Vilán, Jorge. 2012. *ILUMINACIÓN CON TECNOLOGÍA LED*. s.l. : Ediciones Parafuso S.A, 2012. ISBN 13: 978-84-332-3368-9.
- Galván, Blas - González, Carrón, Andrés - García, Nieves Martínez-Alzamora. 2013. Ingeniería de Fiabilidad. [En línea] 2013.
- General Electric. 1980. Form 1144-205-R. [aut. libro] Lamp Business Division. *The Extraordinary Light Bulb: Its Parts and Assembly*. Cleveland, OH : circa , 1980.
- Leemis, Lawrence M. 1995. *Reliability: Probabilistic Models and Statistical Methods*. New Jersey City : Editorial Prentice Hall International Series in Industrial and Systems Engineering, 1995. ISBN: 0-13-720517-1.
- Lewis, Elmer E. 1995. *Introduction to Reliability Engineering*. Segundo, s.l. : Editorial John Wiley & Sons, Inc, 1995. pág. 435. ISBN: 0471018333.
- Liffrville. [En línea]
- Mora, Alberto - Gutiérrez. 2009. *Mantenimiento Industrial Efectivo*. Medellín : Coldi limitada, 2009. ISBN 978-958-98902-0-2.
- Mora, Luis Alberto - Gutiérrez. 2012. *Mantenimiento Industrial Efectivo*. Envigado : Coldi Ltda, 2012. ISBN 978-958-98902-0-2.
- . 2012. *Mantenimiento Industrial Efectivo*. Medellín : COLDI Ltda, 2012. ISBN 978-958-98902-0-2.
- Mora, Luis Alberto. 2009. *Mantenimiento Industrial Efectivo*. Envigado : Coldi, 2009. ISBN 978-958-98902-0-2.
- O'Connor, Patrick D.T. 2002. *Practical Reliability Engineering*. Cuarta. Stevenage : Wiley - Jhon Wiley & Son, 2002. pág. 540. ISBN: 0-470-84463-9.
- Rey, Sacristán Francisco. 1996. *Hacia la excelencia en Mantenimiento*. [ed.] S.L. Tpp Hoshin. Madrid : Tpp Hoshin, S.L., 1996. pág. 411. ISBN 84-87022-21-9.
- Ricardo, David. 1817. *On the principles of Political Economy and Taxation*. Inglaterra : Ayuso, 1817.
- Santesteban, Miguel - Mestre. 2003. *DYANE 2 Diseño y análisis de encuestas en investigación social y de mercados*. Madrid - España : Ediciones Pirámide - Grupo Editorial Anaya, 2003. pág. 29. ISBN: 84-368-1557-2.
- Schneider Electric. 2000. *Cuaderno Técnico nº 144*. 2000.
- SOFTWARE

Solid Works  
Eagle circuits  
Cocodrilo  
Arduino Programer  
ReliaSoft Weibull ++ Versión 6  
Programa Base CMD & CMD Múltiple Excel  
Statgraphics

## CONFERENCISTA

### Alberto Mora G.

Ingeniero Mecánico Universidad Pontificia Bolivariana, Especialista en Mercadeo y Master en Administración de la Universidad EAFIT, Master en Negocios Universidad de Carabobo (s.c. Venezuela), Experticia en Logística de pronósticos y de Mantenimiento Terotecnología. Gerencia (INCE Venezuela), Especialista en Logística e Inventarios en Industrias de Alta Tecnología de la Universidad Politécnica de Valencia - España. PhD. en Ingeniería Futurística de Pronósticos en la Universidad Politécnica de Valencia - España. Ha laborado en cargos de dirección en logística de mantenimiento en Industrias Noel. Ha sido Gerente General de Industrias Lácteas Carabobo Valencia ( Venezuela ), Industrias de Alimentos del Yocoma (Venezuela), Gerente General Gaseosas Lux - Pepsi Barranquilla Colombia, Llora Grasas S.A. Gerente General División Plásticos Cali Colombia, Director de la Carrera y departamento de Ingeniería Mecánica Universidad EAFIT - Profesor T. C., Asesor, Consultor internacional e Investigador en Inventarios y Pronósticos de demanda e Ingeniería de Mantenimiento, Profesor de Logística en Universidad de Antioquia, EAFIT y Escuela de Ingeniería. Consultor Logístico y de Inventarios Asociado IAC Colombia - Ha sido catedrático en el tema en ACIEM, Universidad de Antioquia EAFIT, Escuela de Ingeniería de Antioquia, Universidad del Valle de México, Universidad Federico Santander Chile, CLAPAM Ecuador, Panamericana Consulting Nicaragua y Guatemala, IAC Honduras República Dominicana Guatemala, SESO Ecuador y Cuba, CICE Eléctrico Ecuador, Universidad Politécnica de Valencia España, Universidad Pontificia Bolivariana, Universidad del Valle de México, Universidad Escuela de Ingeniería, Universidad Politécnico GranColombiano, etc. Premio 2002-2006 internacional UPADI Ingeniería Logística - Premio El Colombiano Ejemplar versión Ingeniería 2000 y 2001 nominado. Consultor, catedrático, asesor y conferencista internacional en Inventarios y Pronósticos. Escritor diferentes libros, entre ellos: varios de Mantenimiento estratégico y Pronósticos de Demanda e Inventarios 2008. Colaborador de Auditoría Deloitte y Touche de Mantenimiento. Profesor, Conferencista, Investigador, Docente y Asesor de diferentes Universidades nacionales e internacionales — Presidente de COLMASU SA EMA Pronósticos, Inventarios y Mantenimiento Ecuador - Ha sido Gerente Técnico de COLDI Compañía Latinoamérica de Ingeniería de Pronósticos Inventarios de Colombia y CIMPROMO SAS Compañía de Inventarios Mantenimiento y pronósticos Colombia Ecuador - Experto y Asesor Internacional en Inventarios & Pronósticos & Ingeniería & Mantenimiento & Operación Plantas. Actualmente Profesor Investigador Asesor Mantenimiento Universidad EAFIT y Coordinador Área Pregrado y Postgrado en Mantenimiento Industrial Universidad EAFIT - Fundador, exDirector y Miembro de Grupo Investigación GEMI EAFIT. - Profesor Investigador mantenimiento EAFIT - Director General Área Postgrado Mantenimiento Universidad EAFIT - Escritor de libros de tiraje internacional en temas afines al proyecto

Alberto Mora Gutiérrez - Grupo GEMI Mantenimiento EAFIT - Carrera 49 # 7 sur 50 – Teléfono 57 4 2619349 o 5048000 - Celular 312 2874586 – Email [lmora@eafit.edu.co](mailto:lmora@eafit.edu.co) - [cimprom@usa.com](mailto:cimprom@usa.com) - Universidad EAFIT - Medellín - Colombia