

RE VALIDACIÓN DE BOMBILLAS LED Y DE INCANDESCENCIA EN VIDA ÚTIL  
CON BETA WEIBULL MAYOR A 2.

NICOLÁS PÉREZ GAVIRIA

MAESTRÍA EN INGENIERÍA

CÓDIGO 201710025114

CÉDULA 1.152'201.720

UNIVERSIDAD EAFIT

ESCUELA DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

MEDELLÍN – COLOMBIA

2017



RE VALIDACIÓN DE BOMBILLAS LED Y DE INCANDESCENCIA EN VIDA ÚTIL  
CON BETA WEIBULL MAYOR A 2.

NICOLÁS PÉREZ GAVIRIA

DIRECTOR DE PROYECTO

PhD. MSc. Ing. LUIS ALBERTO MORA GUTIÉRREZ

UNIVERSIDAD EAFIT

ESCUELA DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

MEDELLÍN - COLOMBIA

2017

## CONTENIDO

CONTENIDO.....	4
ILUSTRACIONES.....	6
ECUACIONES.....	8
<b>0 PRÓLOGO.....</b>	<b>9</b>
0.1 INTRODUCCIÓN.....	9
0.2 OBJETIVOS.....	9
0.2.1 General.....	9
0.2.2 Específicos.....	10
0.2.2.1 Uno - CMD.....	10
0.2.2.2 Dos - Métodos.....	10
0.2.2.3 Tres - Cálculos.....	10
0.2.2.4 Cuatro - Estrategias.....	10
0.2.2.5 Cinco - Conclusiones.....	10
0.3 Estructura del proyecto.....	12
0.4 Justificación.....	12
0.5 Antecedentes.....	13
0.6 Conclusiones capítulo 0.....	13
<b>1 CMD.....</b>	<b>15</b>
1.1 Objetivo.....	15
1.2 Introducción al capítulo 1.....	15
1.3 Confiabilidad.....	15
1.3.1 Zona I – Mortalidad infantil.....	18
1.3.2 Zona II – Rodaje.....	18
1.3.3 Zona III – Envejecimiento.....	18
1.3.4 Curva de Davies ajustada por factor Beta ( $\beta$ ).....	18
1.4 Mantenibilidad.....	20
1.5 Disponibilidad.....	20
1.5.1 Disponibilidad genérica.....	22
1.5.2 Disponibilidad inherente.....	23
1.5.3 Disponibilidad alcanzada.....	23
1.5.4 Disponibilidad operacional.....	24
1.6 Conclusiones del capítulo 1.....	25
<b>2 ORDENAMIENTO DE DATOS.....</b>	<b>26</b>
2.1 Objetivo.....	26
2.2 Introducción al capítulo 2.....	26
2.3 Distribución normal.....	26
2.4 Distribución de datos obtenidos.....	27
2.4.1 Datos incandescentes.....	28
2.4.2 Datos LED's.....	32
2.5 Conclusiones del capítulo 2.....	35

<b>3</b>	<b>VALIDACIÓN ESTADÍSTICA Y ANALÍTICA DE LOS DATOS DE FALLA Y SUPERVIVENCIA DE LAS BOMBILLAS.....</b>	<b>36</b>
3.1	Objetivo .....	36
3.2	Introducción al capítulo 3.....	36
3.3	Validez estadística.....	36
3.4	Prueba de Alfa de Cronbach .....	36
3.4.1	Alfa de Cronbach - Aplicación del Software .....	38
3.5	Correlación.....	40
3.6	Correlación Lineal ACF .....	42
3.7	Prueba de hipótesis.....	42
3.8	Conclusiones de capítulo 3.....	44
<b>4</b>	<b>CÁLCULOS DE CONFIABILIDAD CON SOFTWARE PARA DETERMINAR VIDA ÚTIL Y BETAS EN WEIBULL.....</b>	<b>45</b>
4.1	Objetivo .....	45
4.2	Introducción al capítulo 4.....	45
4.3	Cálculos para incandescentes.....	45
4.3.1	Cálculos incandescentes CMD++ .....	46
4.3.2	Cálculos incandescentes CMD .....	51
4.3.3	Cálculos incandescentes CMD++ sin frecuencia .....	53
4.3.4	Cálculos incandescentes CMD sin frecuencia.....	56
4.4	Cálculos LED´s.....	59
4.4.1	Cálculos LED CMD++ .....	59
4.4.2	Cálculos led CMD .....	62
4.4.3	Cálculos LED CMD++ sin frecuencia .....	64
4.4.4	Cálculos LED CMD sin frecuencia .....	66
4.5	Análisis de resultados y planes CMD .....	67
4.5.1	Análisis .....	67
4.6	Comparación de tipos de bombillas según sus costos y su vida útil determinada.....	72
4.6.1	Estadística básica .....	72
4.7	Conclusiones del capítulo.....	74
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES DE RIGOR.....</b>	<b>75</b>
5.1	Objetivo .....	75
5.2	Desarrollo .....	75
5.2.1	Uno.....	75
5.2.2	Dos .....	75
5.2.3	Tres .....	76
5.2.4	Cuatro.....	76
5.2.5	Cinco .....	76
5.2.6	Seis.....	77
	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>78</b>

## ILUSTRACIONES

Ilustración 1 - Secuencia lógica lineal de objetivos.....	11
Ilustración 2 - Curva de Davies. ....	16
Ilustración 3 - Probabilidad condicional de fallo.....	17
Ilustración 4 - Curva de Davies para mantenimiento general. ....	17
Ilustración 5 - $\beta$ ajustado al factor de forma.....	19
Ilustración 6 - Disponibilidad VS Costo.....	22
Ilustración 7 - Gráfica estándar de una distribución normal. ....	27
Ilustración 8 - Distribución de datos históricos incandescentes. ....	28
Ilustración 9 - Frecuencia de datos Incandescentes.....	31
Ilustración 10 - Datos históricos incandescentes si frecuencia. ....	32
Ilustración 11 - Datos históricos LED´s.....	33
Ilustración 12 - Frecuencia de datos de los LED´s. ....	34
Ilustración 13 - Datos LED´s históricos sin frecuencia.....	34
Ilustración 14 - Muestra de distribución normal en incandescentes.....	37
Ilustración 15 - Muestra distribución normal para LED´s. ....	37
Ilustración 16 - Prueba de Alfa de Cronbach para 150 datos. ....	38
Ilustración 17 - Prueba de Alfa de Cronbach para 100 datos. ....	39
Ilustración 18 - Auto-Correlation Function para incandescentes.....	40
Ilustración 19 - Auto-Correlation Function para LED´s. ....	41
Ilustración 20 - Prueba de correlación lineal.....	43
Ilustración 21 - Análisis de p value. ....	43
Ilustración 22 - Curva de Davies ....	46
Ilustración 23 - Análisis de CMD++ para 500 datos.....	47
Ilustración 24 - Gráfica de Beta específico por confiabilidad. ....	48
Ilustración 25 - Beta no planeado por confiabilidad. ....	49
Ilustración 26 - Gráfica de Etas específicos y globales.....	50
Ilustración 27 - Gráfico de confiabilidad CMD para 500 datos, en conjunto.....	51
Ilustración 28 - Gráficas para cálculos completos CMD 500 datos, en conjunto...	52
Ilustración 29 - Parámetros básicos de CMD. ....	53
Ilustración 30 - Análisis de confiabilidad en CMD++ sin frecuencia. ....	53
Ilustración 31 - Gráfica de Beta específico en CMD++ sin frecuencia. ....	54
Ilustración 32 - Gráfica de Betas no planeados CMD++ sin frecuencia. ....	54
Ilustración 33 - Gráfica de Etas específicos y globales CMD++ sin frecuencia.....	55
Ilustración 34 - Gráficas CMD sin frecuencia, en conjunto. ....	56
Ilustración 35 - Parámetros básicos en CMD sin frecuencia, en conjunto. ....	56

Ilustración 36 - Programa CMD .....	57
Ilustración 37 - Programa CMD ++ .....	58
Ilustración 38 - Software Weibull .....	59
Ilustración 39 - Análisis de CMD++ para 100 datos .....	60
Ilustración 40 - Gráfico de $\beta$ específico por confiabilidad .....	61
Ilustración 41 - Gráfico de $\beta$ no planeado por confiabilidad .....	61
Ilustración 42 - Gráfico de Etas específicos y globales .....	62
Ilustración 43 - Gráficas para 100 datos completos en CMD .....	62
Ilustración 44 - Parámetros básicos completos con CMD .....	63
Ilustración 45 - Análisis de las bombillas LED sin frecuencias .....	65
Ilustración 46 - Beta específico y global para LED sin frecuencia .....	65
Ilustración 47 - Etas para LED sin frecuencia .....	65
Ilustración 48 - Gráficas para LED sin frecuencia, en conjunto. ....	66
Ilustración 49 - Datos básicos CMD para LED sin frecuencia, en conjunto. ....	67
Ilustración 50 - Métodos de distribución para Confiabilidad y Mantenibilidad. ....	68
Ilustración 51 - Modelo para cálculos y predicciones CMD. ....	69
Ilustración 52 - Estadística básica para los 100 datos. ....	72

## ECUACIONES

Ecuación 1 - Cálculo de la disponibilidad genérica.....	22
Ecuación 2 - Fórmula cálculo de disponibilidad inherente. ....	23
Ecuación 3 - Fórmula disponibilidad alcanzada.....	24
Ecuación 4 - Fórmula disponibilidad operacional. ....	24
Ecuación 5 - Formulación distribución normal. ....	27
Ecuación 6 - Fórmula de Alfa de Cronbach.....	39
Ecuación 7 - Fórmula para costo por hora de las bombillas. ....	73

## **0 PRÓLOGO**

### **0.1 INTRODUCCIÓN**

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 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.

Los datos adoptados para este proyecto son gracias a la colaboración de varios estudiantes de maestría de años anteriores, todos los datos tomados con mucha cautela y teniendo en cuenta todas las variables que afectan directa o indirectamente a los resultados del mismo.

### **0.2 OBJETIVOS**

El proyecto consta de dos partes, una de ellas analítica y de fundamentación de los dos primeros objetivos y una parte aplicada y de análisis son los dos objetivos finales (tres y cuatro)

#### **0.2.1 General**

Validar la vida útil y comercial de las bombillas incandescentes y LED para frenado automotriz, en aras de su cantidad en términos de horas, para comprobar que sus

ciclos de vida corresponden a la fase III de la etapa 3 de la curva de la Bañera, es decir donde la función de distribución es normal, lo que permite validar la hipótesis de que las bombillas fallan por fatiga y/o envejecimiento.

## **0.2.2 Específicos**

A continuación, se presentan los objetivos propuestos para el alcance del proyecto.

### **0.2.2.1 Uno - CMD**

Relatar los principios fundamentales de cálculos CMD<sup>1</sup> a partir de datos de registros de vida útil, explicando la funcionalidad de las mediciones y análisis de CMD. Nivel 1 - Conocer - Escala de Bloom y Gagñé - Conocer.

### **0.2.2.2 Dos - Métodos**

Estructurar la ubicación adecuada de los datos históricos de vida útil de bombillas LED's e incandescentes, en aras de disponerlos para su interpretación, cálculos y estudio, en la curva de Weibull y sus cálculos de Confiabilidad y de sus parámetros Tiempos medios,  $\beta$ eta y Etas. Nivel 2 - Comprender - Escala de Bloom y Gagñé.

### **0.2.2.3 Tres - Cálculos**

Realizar los análisis matemáticos y estadísticos de sus cálculos de vida útil por distribuciones de Weibull, estudiando sus parámetros, curvas y resultados, con el fin de hacer pruebas de validación de los datos de incandescentes y de LED, para determinar la viabilidad del análisis. Nivel 3 - Escala de Bloom y Gagñé.

### **0.2.2.4 Cuatro - Estrategias**

Definir estrategias y acciones de características concluyentes, a partir de la interpretación y cálculos de vida útil, de las bombillas incandescentes y LED para determinar su aplicación empresarial y comercial. Nivel 4 - Analizar - Escala de Bloom y Gagñé.

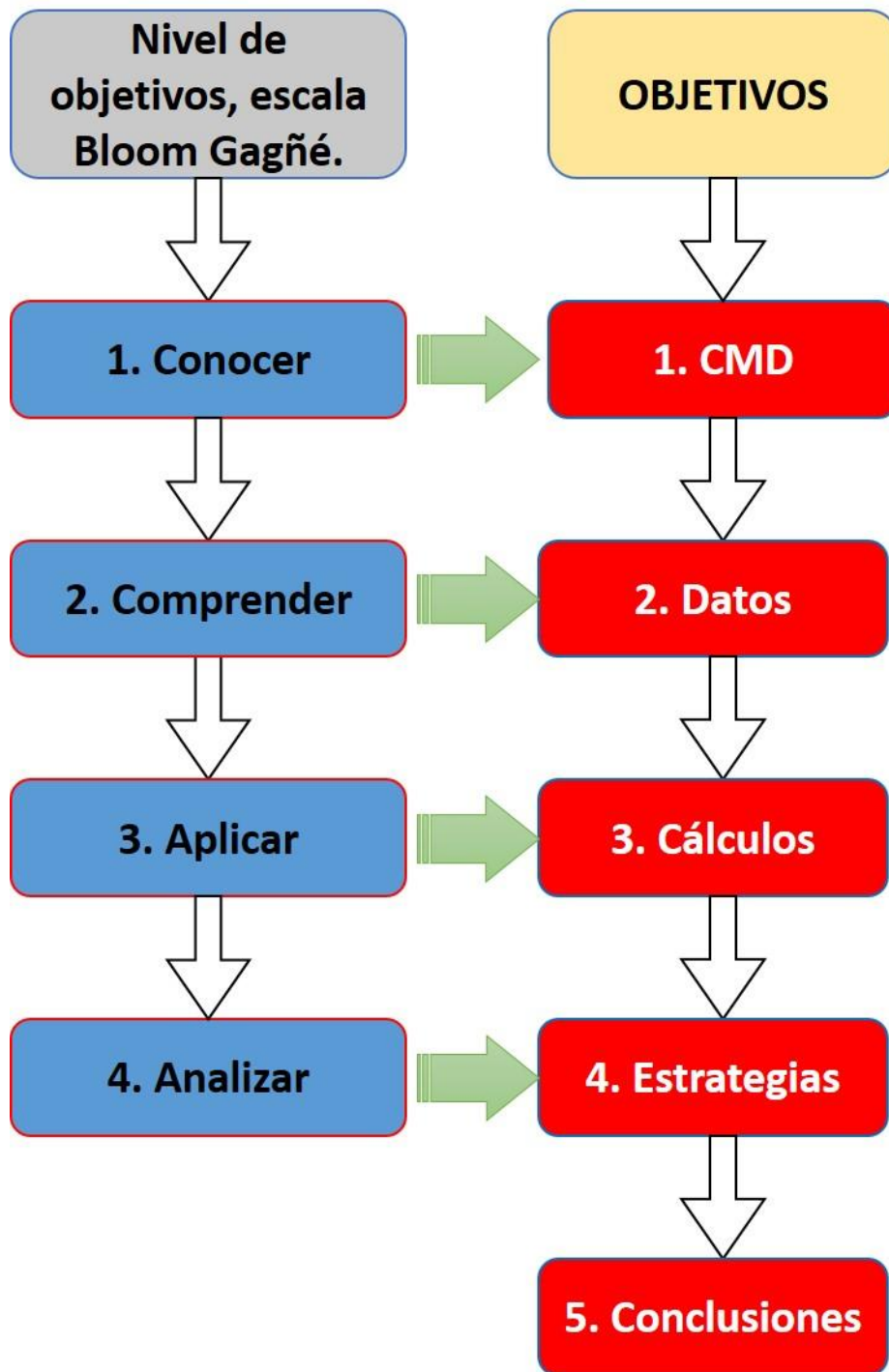
### **0.2.2.5 Cinco - Conclusiones**

Concluir los principales resultados del proyecto.

---

<sup>1</sup> CMD - Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad.

Ilustración 1 - Secuencia lógica lineal de objetivos



### **0.3 Estructura del proyecto**

El primer capítulo del proyecto muestra explica los principios fundamentales de los cálculos CMD, mediante datos de registro anteriores para medir la vida útil de los elementos en cuestión.

En el segundo capítulo pretende ubicar los datos de la mejor manera, disponerlos en formatos especiales para sus cálculos posteriores por medio de la metodología explicada en el primer objetivo

El capítulo cuatro aplica un método específico de los explicados en el segundo capítulo, para realizar los cálculos y obtener unos resultados pertinentes.

La sección de estrategias busca analizar los resultados obtenidos por medio de estrategias de validación matemática y estadística, para así, plantear unas mejores formas de mantenimiento de los sistemas de frenado de los vehículos de transporte público y privado.

El quinto capítulo expone las principales conclusiones del desarrollo del proyecto de re validación de bombillas LED y de incandescencia, asimismo desea mostrar los resultados inesperados del proyecto y algunas mejoras para su próxima implementación.

### **0.4 Justificación**

Las sociedades en el mundo dependen directa o indirectamente de los medios de transporte públicos o privados, todas las personas en su diario vivir y transitar por las ciudades, tienen un peligro latente. Por consiguiente, los gobiernos a lo largo de muchos años y estudios, ha comenzado diferentes métodos de concientización para las personas, peatones, conductores, ciclistas, etc.

El lenguaje de comunicación no verbal de los vehículos es uno de los sistemas más enfáticos para la prevención de accidentes, los principales responsables de dichos sistemas de comunicación son los mismos conductores de los vehículos, tanto públicos como privados.

El sistema de prevención es el conjunto óptico del cuál hacen parte un grupo de luces de servicio, delimitadoras, direccionales, pilotos de freno y reverso. Son el grupo del sistema eléctrico que más importancia tiene en un vehículo al hablar de seguridad vial. (Ministerio de Transporte, república de Colombia, 2012).

Los sistemas de frenado en los automóviles y en el sistema de transporte público y privado juegan un papel fundamental en la seguridad vial de las sociedades, por ende, el proyecto apunta a dar la máxima seguridad y vida útil a las bombillas de frenado de los vehículos.

La luz roja de frenado denota pare y en los casos que no se comunica completamente el mensaje, ya sea por ausencia del sistema o baja luminiscencia del mismo, pueden ocurrir accidentes que afecten la vida de las personas y la infraestructura ciudadana.

Las fallas ocurren por causa de la fatiga, el estar encendiendo y apagando la luz desarrolla un desgaste acelerado de las bombillas provocando su falla posterior, por eso es importante conocer si se encuentran en un punto de fallo por desgaste normal o si mueren prematuramente, garantizando que se maximice su vida de funcionalidad y siendo reemplazadas a tiempo para evitar accidentes.

## **0.5 Antecedentes**

Los sistemas de frenado de los vehículos han venido cambiando a lo largo de los años con el desarrollo tecnológico de la industria automotriz, sin embargo, ha existido el llamado piloto de freno.

El piloto de freno consiste en un impulso eléctrico enviado directamente desde la batería central del vehículo, hasta la parte trasera donde se encuentra la bombilla de frenado, al recibir la corriente necesaria, dicha bombilla cambia su estado para encenderse y mostrar, por medio de un “talco” o una tapa acrílica, un color rojo al exterior que en el lenguaje de los sistemas de transporte denota pare.

Los sistemas de frenado más comunes utilizan las bombillas LED y las de incandescencia, las primeras tienen una luminiscencia muy constante a lo largo de su vida útil, pero su falla es repentina; mientras que las bombillas LED tienen un bajo consumo de corriente y una mayor luminiscencia, aunque su vida útil es más amplia, su desgaste es progresivo y la mayoría de veces, reconocer el momento de baja luminiscencia es muy complicado para el ojo humano y se convierte en un riesgo potencial (Oscar, 2016).

## **0.6 Conclusiones capítulo 0**

El capítulo describe y ordena las ideas acerca de lo que se va a representar dentro de este proyecto, conociendo toda la estructura y los objetivos alcanzables dentro del mismo.

Asimismo, se quiere presentar el proyecto como una propuesta a disminuir o mitigar los accidentes de tránsito ocasionados por la falta o el descuido en el sistema de comunicación, principalmente la luminaria de frenado.

El trabajo realizado, representa una gran recopilación de datos, análisis y estudios obtenidos por medio de conocimientos como: análisis de fallas, planeación de mantenimiento, logística documental, RCM, acciones correctivas y manejo de pronósticos.



# 1 CMD

## 1.1 Objetivo

Relatar los principios fundamentales de cálculos CMD<sup>2</sup> a partir de datos de registros de vida útil, explicando la funcionalidad de las mediciones y análisis de CMD. Nivel 1 - Conocer - Escala de Bloom y Gagñé - Conocer.

## 1.2 Introducción al capítulo 1

Los cálculos de vida útil de los elementos ligian directamente con las variables principales en su funcionamiento, para ello, se utilizan métodos de tipo estadístico para calcular sus tiempos de falla y de vida.

Este proyecto utiliza la metodología CMD para los cálculos de vida útil de las bombillas de freno de vehículos públicos y particulares, gracias a la simulación acelerada de la vida de los mismos.

La metodología CMD comprende variables de los elementos tales como; confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de los mismos. Dichas variables son formuladas matemáticamente como se encuentra en el capítulo.

## 1.3 Confiabilidad

Confiabilidad: Probabilidad de que un equipo cumpla una misión específica bajo condiciones de uso determinadas en un periodo determinado”. La palabra confiabilidad es usualmente empleada para referirse al conjunto de disciplinas de la mantenibilidad, la disponibilidad, la seguridad y la confiabilidad propiamente dicha. El desarrollo de las técnicas de confiabilidad comienza en la segunda guerra mundial, como una respuesta a los rápidos desarrollos tecnológicos y a las exigencias sobre los equipos (Matalobos, 1992).

Según (Kececioglu, 1995), la Ingeniería de confiabilidad proporciona las herramientas teóricas y prácticas por las cuales la probabilidad y la capacidad de las partes, componentes, equipos, subsistemas y sistemas de realizar sus funciones requeridas sin fallar por periodos deseados en entornos específicos, y en particular su confiabilidad optimizada puede ser especificada, predicha, diseñada, probada y demostrada bajo condiciones de uso, así como su mantenimiento optimizado, disponibilidad, seguridad y nivel de calidad.

Para realizar la validación de los datos de falla y supervivencia, es necesario tomar la metodología experimental y analítica de los resultados de años anteriores tales como 2015 y 2016 de GEMI, los cuales utilizan una simulación de datos y

---

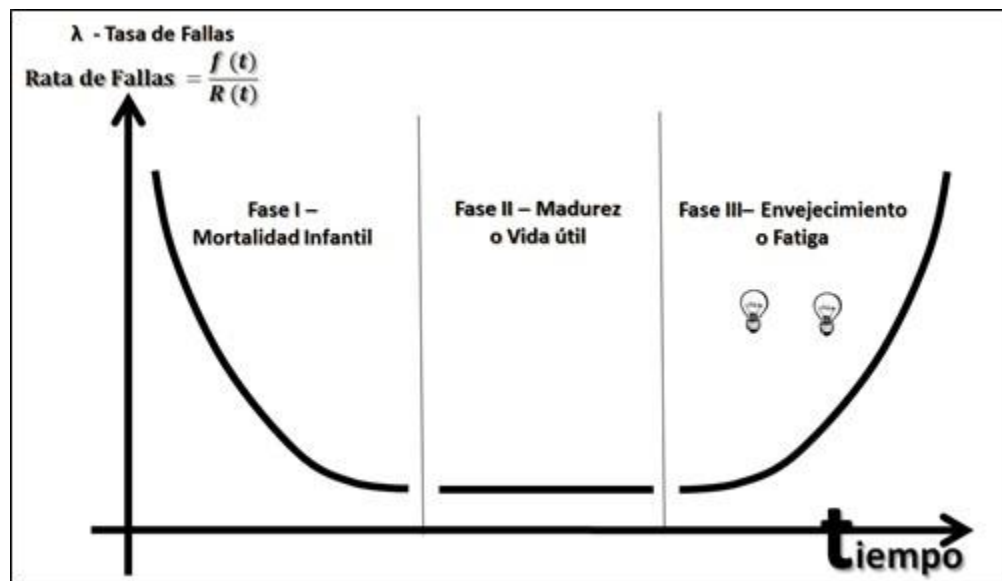
<sup>2</sup> CMD - Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad.

distribuciones, pruebas estadísticas, consultas a sitios y el desarrollo de conocimiento propio a través del estudio estadístico de distribuciones.

Antes del inicio del análisis de la vida útil es necesario validar la consistencia de los datos recopilados mediante los diferentes métodos estadísticos con los cuales se aprueba o desecha una cierta cantidad de datos a lo largo de sus pruebas. Asimismo, se calcula el tamaño muestral requerido para obtener datos confiables, principalmente se utilizan metodologías como la prueba de Alfa de Cronbach, R cuadrado, Correlaciones, entre otras.

Las fallas de las máquinas y equipos de trabajo en planta, se ven representados sus comportamientos en una gráfica y análisis llamado La curva de Davies, en la cual se observan claramente tres fases, las cuales se rigen por un valor de  $\lambda$ . Estas fases son: fase I de rodaje o mortalidad infantil, fase II de madurez o vida útil y fase III de envejecimiento o desgaste.

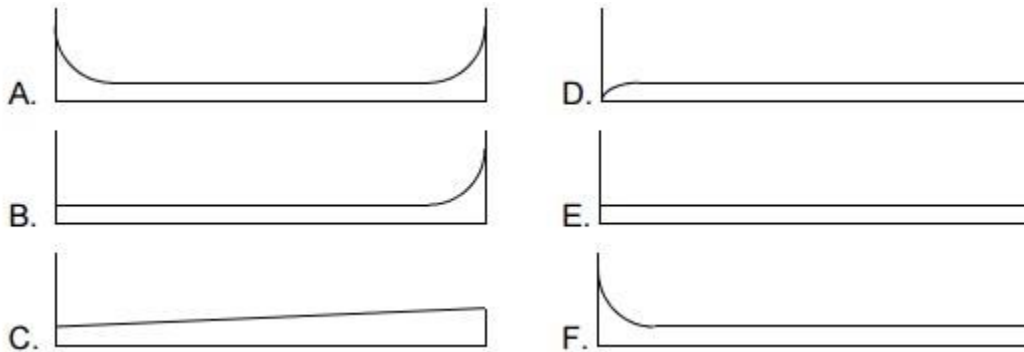
Ilustración 2 - Curva de Davies.



Fuente (Mora, 2009).

La curva de Davies representa el comportamiento de algunos elementos, sin embargo, existen diferentes modelos de fallo, los cuales varían según la complejidad o el tipo de elemento, sistema o máquina. Adelante se presenta el gráfico de probabilidad condicional de fallo contra la vida útil de diversos tipos de elementos mecánicos y eléctricos.

Ilustración 3 - Probabilidad condicional de fallo.



Fuente (Moubray, 1997).

Ilustración 4 - Curva de Davies para mantenimiento general.



Fuente (Mora, 2009).

El modelo A comienza con una incidencia de fallo alta conocida como mortalidad infantil, seguida por una frecuencia de operación y vida constante y termina con una zona de desgaste. El modelo B comienza con una probabilidad de fallo constante y relativamente baja y luego termina con una zona de desgaste. El modelo C presenta un comienzo indefinido, es bajo, pero con una aceleración en la probabilidad de falla, en esta no es posible definir una edad de desgaste identificable. El modelo D muestra que la probabilidad de fallo es baja debido a

que la pieza es nueva, sin embargo, aumenta rápidamente hasta alcanzar un nivel constante. El modelo E presenta un nivel constante en todas las edades de funcionamiento. Por último, el modelo F comienza con una mortalidad infantil muy alta, que desciende a una probabilidad de fallo constante.

A pesar de la creciente complejidad de los equipos, los estudios de confiabilidad han permitido sustanciales mejoras en el desempeño de equipos y sistemas: En 1958, solo el 28% de los lanzamientos de satélites en los Estados Unidos fue exitoso, comparado con más del 92% en la actualidad. Las técnicas de confiabilidad se aplican no solo al diseño de equipos y sistemas, también se utiliza en el análisis de data operativa para mantenimiento (Matalobos, 1992).

### **1.3.1 Zona I – Mortalidad infantil**

Representa la probabilidad de falla en los primeros ciclos de operación del artefacto, cuyo valor es exponencial decreciente y refleja los fallos asociados a mortalidad infantil (fallas tempranas), estas fallas son asociadas a problemas de diseño, mala instalación, operación inadecuada por parte del personal por desconocimiento del equipo o del procedimiento de operación.

### **1.3.2 Zona II – Rodaje**

Es la segunda fase de la curva en la cual, la probabilidad de falla se mantiene casi constante y en donde sus fallas son principalmente aleatorias y causadas por factores externos (no hay desgaste en los componentes de máquina), también pueden ser producidas por mala operación del equipo o condiciones de operación fuera de parámetros (RCM and TPM complementary rather than conflicting techniques, 1996) (Hecht, y otros, 2001).

### **1.3.3 Zona III – Envejecimiento**

Esta etapa está caracterizada por una probabilidad de falla creciente con el tiempo y obedece al desgaste natural de las partes del artefacto. Cabe resaltar que este modelo probabilístico no es aplicable a todo tipo de artefactos y que existen otros modelos que se adecuan de mejor forma a otros sistemas y dispositivos (Mora, 2013).

### **1.3.4 Curva de Davies ajustada por factor Beta ( $\beta$ )**

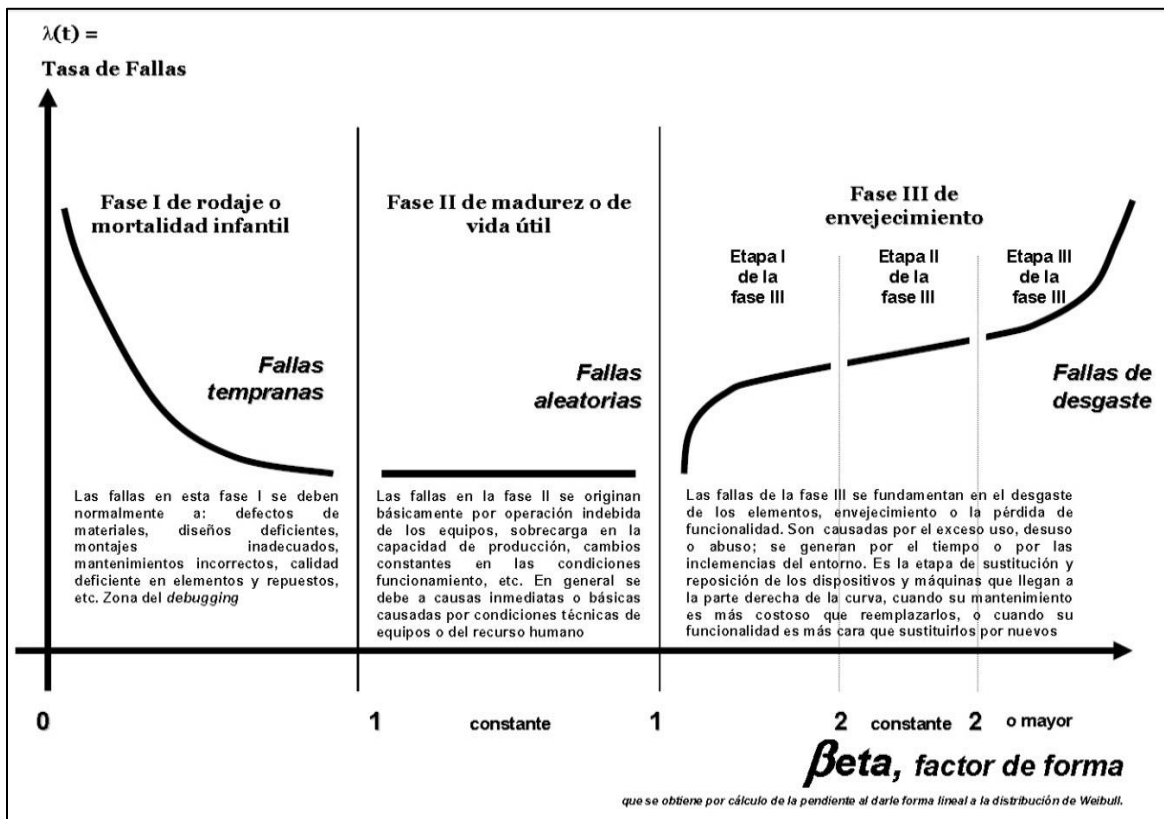
Es posible determinar el área de la curva donde se encuentra un equipo con la curva de Davies ajustada según el factor de forma  $\beta^3$ , lo cual sirve como base para

---

<sup>3</sup> Saber que no todos los equipos se ajustan a la curva de la bañera, existen modelos matemáticos que funcionan mejor para otro tipo de componentes y/o equipos.

establecer el estado de deterioro del artefacto y las mejores prácticas de mantenimiento que se deben llevar a cabo para mejorar el rendimiento del sistema.

Ilustración 5 -  $\beta$  ajustado al factor de forma.



Fuente (Mora, 2009).

En parte del área 1 de la curva la tasa fallas es decreciente; en esta área se deben aplicar acciones modificativas y correctivas, las cuales se enfocan en encontrar la causa raíz de las fallas. Una de las más utilizadas es la matriz FMECA<sup>4</sup>.

En la segunda parte o área de la curva la tasa de falla se mantiene casi constante, lo que significa que cualquier equipo tiene una probabilidad de falla similar a otro equipo idéntico; estas fallas están asociadas por lo general a mala operación u operación fuera de ventanas; en esta área se deben aplicar mantenimientos preventivos y la matriz FMECA es recomendable también para esta área de la curva.

<sup>4</sup> Failure Mode, Effects, and Criticality, Causes Analysis

La tercera sección compuesta por el área número 3 de la curva, tiene una tasa de fallos con tendencia al alza, lo que significa que incrementan los mantenimientos correctivos los cuales se deben acompañar de acciones de tipo predictivo u overhaul para trasladar el equipo al área 2 de la misma curva.

La confiabilidad, la mantenibilidad y la disponibilidad, son prácticamente las únicas medidas técnicas y científicas, fundamentadas en cálculos matemáticos, estadísticos y probabilísticos, que tiene el mantenimiento para su análisis (Mora, 2009) y su evaluación integral y específica; es a través del CMD que se puede planear, organizar, dirigir, ejecutar y controlar totalmente la gestión y operación del mantenimiento (Mora, 2013) (González, 2004).

#### **1.4 Mantenibilidad**

Mantenibilidad es la capacidad de un elemento, bajo determinadas condiciones de uso, para conservar, o ser restaurado a un estado en el que pueda realizar la función requerida, cuando el mantenimiento se realiza bajo determinadas condiciones y usando procedimientos y recursos establecidos (Asociación Española para la Calidad, 2017).

La mantenibilidad se define como la probabilidad de que un equipo vuelva a un estado operativo bajo unas condiciones y después de haber ocurrido una falla, su relación con la confiabilidad es conocida como disponibilidad. Su cálculo exacto tiene en cuenta el tiempo de reparación de los artefactos y su gestión se atribuye directamente al área de mantenimiento.

El factor de forma  $\beta$  es directamente proporcional al inverso del promedio de la duración de fallos, por lo que la rapidez en la gestión del mantenimiento de una compañía impacta directamente el cálculo del factor de forma.

El tiempo requerido para la localización de la avería y la eficacia en el trabajo del mantenedor son claves en el cálculo de la mantenibilidad y por ende en la disponibilidad de la máquina.

Esto también se explica con la curva de la bañera ajustada donde las fallas tempranas ( $\beta < 1$ ) tienen tiempos de reparación prolongados, pero resultan escasas.

De otro lado los fallos del área 3 de la curva de la bañera tienen tiempos de reparación bastante cortos pero con una frecuencia mayor, por lo que  $\beta > 1$  (Mora, 2009).

#### **1.5 Disponibilidad**

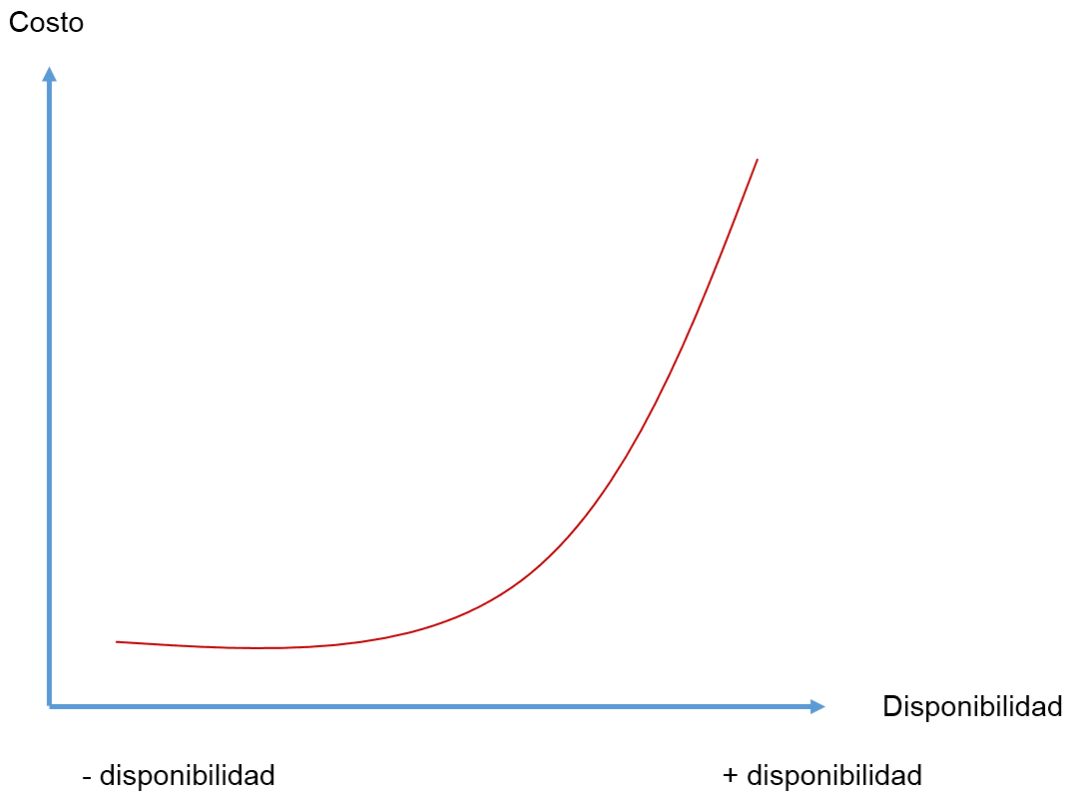
La disponibilidad es la manera de cuantificar el tiempo de uso de un equipo como se debe, es decir, cumpliendo su función principal. Por ende, a mayor disponibilidad, mayor capacidad de producción. Gracias a esto, el objetivo

principal de la disponibilidad es minimizar los tiempos muertos mediante el mejoramiento de la fiabilidad del proceso y de los equipos.

El índice de disponibilidad, que también es identificado como el Desempeño del Equipo, es de gran utilidad para la gestión del mantenimiento. En efecto, a través de él se puede hacer un análisis selectivo de los equipos cuyo comportamiento operacional está por debajo de los estándares fijados por el usuario. Si bien este índice es el más representativo para la Seguridad de Funcionamiento, hay que relacionarlo con el servicio que presta el equipo, ya que esto es lo que el usuario aprecia en la realidad (Espinosa, 2004).

La disponibilidad es una característica que resume cuantitativamente el perfil de funcionalidad de un elemento, es la probabilidad de que un equipo pueda cumplir una función requerida, en las condiciones determinadas en un instante dado, suponiendo que el suministro de los medios externos necesarios está asegurado (Cárcel Carrasco, 2014).

## Ilustración 6 - Disponibilidad VS Costo.



### 1.5.1 Disponibilidad genérica

La Disponibilidad genérica sirve para organizaciones que no predicen CMD, la información de la que se dispone solo contempla los tiempos útiles y los de no funcionalidad.

Es muy adecuada para inicializar pruebas pilotos en las empresas, los parámetros que se usan son UT y DT.

Los MUT en la disponibilidad genérica solo contemplan los tiempos en los que el equipo funciona correctamente, como a su vez los MDT contemplan todo lo que genere no disponibilidad o no funcionalidad, los tiempos de paradas previstas o planeadas por mantenimiento deben descontarse del tiempo en el que puede operar.

Ecuación 1 - Cálculo de la disponibilidad genérica.

$$\text{Disponibilidad genérica} = A_G = \frac{MUT}{MUT + MDT}$$

Donde;

*UT = Tiempos útiles*

*DT = Down Time, tiempos que la máquina no produce;*

*MUT = Tiempo medio de funcionamiento entre fallas;*

*MDT = Tiempo medio entre no disponibilidad;*

Fuente (Mora, 2013).

### **1.5.2 Disponibilidad inherente**

Es la probabilidad de que el sistema opere satisfactoriamente cuando se requiere en cualquier tiempo bajo las condiciones de operación específicas y en un entorno ideal de soporte logístico, es decir, con la disponibilidad adecuada de personal, repuestos, herramientas, equipos de prueba y demás, sin considerar ninguna demora logística o administrativa.

Ecuación 2 - Fórmula cálculo de disponibilidad inherente.

$$\text{Disponibilidad inherente} = A_I = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Donde;

*MTBF = Tiempo medio entre fallas;*

*MTTR = Tiempo medio para reparar;*

Fuente (Mora, 2013).

### **1.5.3 Disponibilidad alcanzada**

Es la probabilidad de que el sistema opere satisfactoriamente, cuando se requiere en cualquier tiempo bajo condiciones de operaciones normales y en un entorno ideal de soporte logístico, sin considerar ningún retraso logístico o administrativo, pero involucran en sus cálculos, los tiempos imputables a las actividades planeadas de mantenimiento, a parte de las acciones correctivas que ya trae desde la inherente.

Ecuación 3 - Fórmula disponibilidad alcanzada.

$$\text{Disponibilidad alcanzada} = A_A = \frac{MTBM}{MTBM + \bar{M}}$$

Donde;

$MTBM =$  Tiempo medio entre mantenimientos;

$\bar{M} =$  Tiempo medio de mantenimiento;

Fuente (Mora, 2013).

#### 1.5.4 Disponibilidad operacional

Es la probabilidad de que el sistema opere satisfactoriamente, cuando se requiere que funcione bien en cualquier tiempo bajo condiciones de operación normal, en un entorno real de soportes logísticos y abarca por lo tanto dentro de los tiempos de mantenimiento, los tiempos que se causan por retrasos logísticos y administrativos, es decir, todos los tiempos concernientes al estado de reparación e incluye el mantenimiento programado y no planeado (Vallejo, 2016).

Ecuación 4 - Fórmula disponibilidad operacional.

$$\text{Disponibilidad operacional} = A_O = \frac{MTBM}{MTBM + \bar{M}'}$$

Fuente (Mora, 2013).

## 1.6 Conclusiones del capítulo 1

Los datos presentados en el siguiente capítulo muestran y dan claridad de la teoría y la introducción presentada anteriormente.

Es claro que cuando se trata de elementos tan importantes o influyentes en las operaciones, como en este caso las bombillas para los vehículos, hay que tener muy en cuenta que deben ser elementos con una disponibilidad operacional máxima, en la cual se tienen en cuenta todos los tiempos que afectan la misma disponibilidad.

Es decir, el caso de un tiempo logístico para este elemento, es la cantidad de tiempo que le toma al conductor o dueño del vehículo en ir hacia un lugar de aprovisionamiento para conseguir el repuesto necesario.

En caso diferente, el tiempo administrativo se puede tomar como el tiempo que demora conseguir el dinero o el trámite para realizar el pago de la bombilla para posteriormente ser instalado.

Por ende, se deben de tener en cuenta todos estos tiempos en el momento de calcular o referenciar la disponibilidad en equipos que puedan llegar a ser críticos en el tema.

Al hablar de la curva de Davies, se debe tener en cuenta que, en este proyecto, se espera que las bombillas reflejen un  $\beta$  de supervivencia mucho mayor a 2 y así, indicar que efectivamente fallan en la fase III de la Zona III de la vida útil, es decir, fallan porque su vida útil ha caducado y no por deterioro prematuro o fallas no estipuladas.

Esto anteriormente dicho, se quiere reflejar tanto para bombillas LED como de incandescencia y así poder realizar planes y sugerencias a los índices CMD y mitigar un poco las consecuencias de dichas fallas.

## 2 ORDENAMIENTO DE DATOS

### 2.1 Objetivo

Estructurar la ubicación adecuada de los datos históricos de vida útil de bombillas LED's e incandescentes, en aras de disponerlos para su interpretación, cálculos y estudio, en la curva de Weibull y sus cálculos de Confiabilidad y de sus parámetros Tiempos medios,  $\beta$ eta y Etas. Nivel 2 - Comprender - Escala de Bloom y Gagñé.

### 2.2 Introducción al capítulo 2

Las bombillas de frenado que se estudian son de dos tipos, el tipo LED (Light Emitting Diode) y las de filamento conductor. Para hablar de las LED primeramente se hace referencia a su definición.

Un diodo es un dispositivo electrónico que únicamente permite el paso de corriente en un solo sentido, el principio de funcionamiento se basa en que un diodo semiconductor tiene dos regiones de materiales semiconductores distintos, la región del semiconductor N es un material que posee una carga negativa (-) y la región del semiconductor P el cual posee una carga positiva (+). Cuando se somete el diodo a una tensión positiva en su lado P y a una negativa en el lado N, este provoca el flujo de corriente eléctrica por el semiconductor y así se genera la iluminación.

El proceso de encontrar su vida útil es un método de ensayo, error y validación matemática permanente, de tal manera que el estudio se realiza en paralelo con la investigación y el banco de bombillas (banco de pruebas), con un alto contenido experimental y analítico.

Desarrollo

### 2.3 Distribución normal

La distribución normal es la forma de distribución más importante e influyente dentro de toda estadística y probabilidad. Esto se refiere a que muchas poblaciones numéricas (tamaño de muestra) tienen distribuciones que pueden ser representadas por una curva normal apropiada (Devore, 2008).

Se dice que una variable aleatoria continua  $X$  tiene una distribución normal con parámetros  $\mu$  y  $\sigma$ , donde;

$$-\infty < \mu < \infty; \text{ y } \sigma > 0;$$

Si la función de densidad de probabilidad de  $X$  es:

Ecuación 5 - Formulación distribución normal.

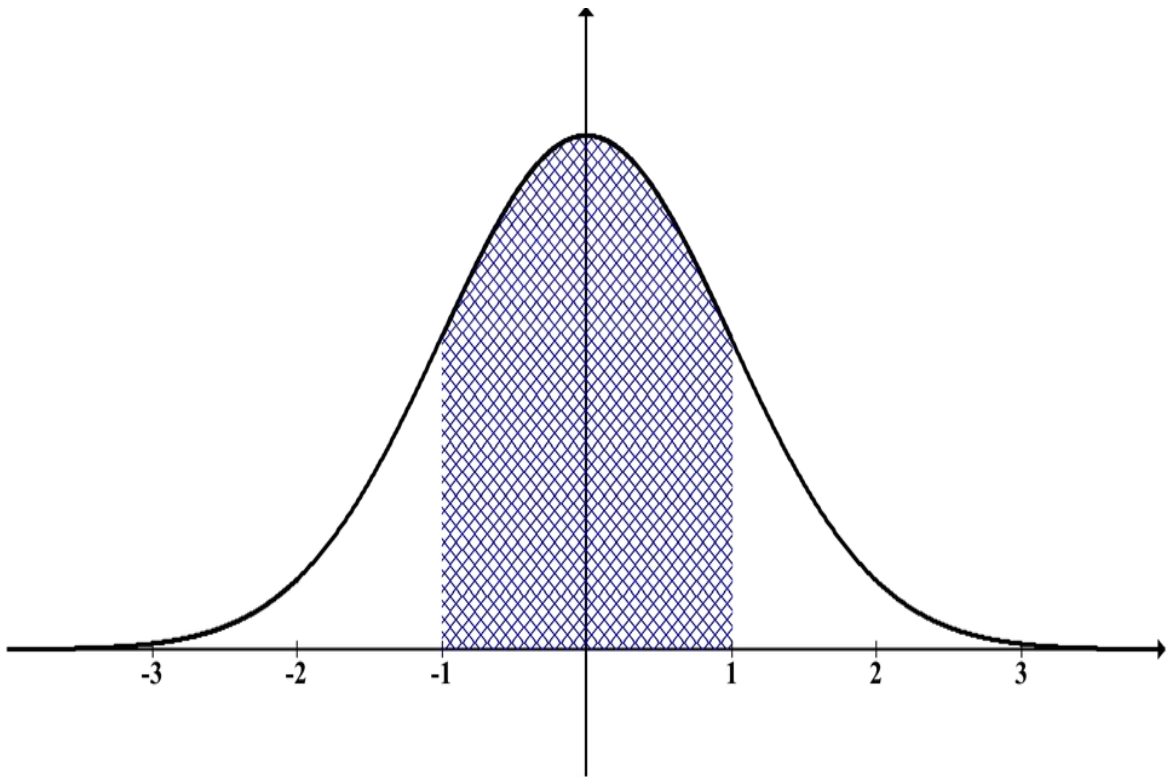
$$f(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{(2\sigma)^2}};$$

Donde;

$$-\infty < x < \infty;$$

Fuente (Devore, 2008).

Ilustración 7 - Gráfica estándar de una distribución normal.



## 2.4 Distribución de datos obtenidos

Los datos analizados de las bombillas Incandescentes y LED's se presentan de la siguiente manera.

## 2.4.1 Datos incandescentes

Ilustración 8 - Distribución de datos históricos incandescentes.

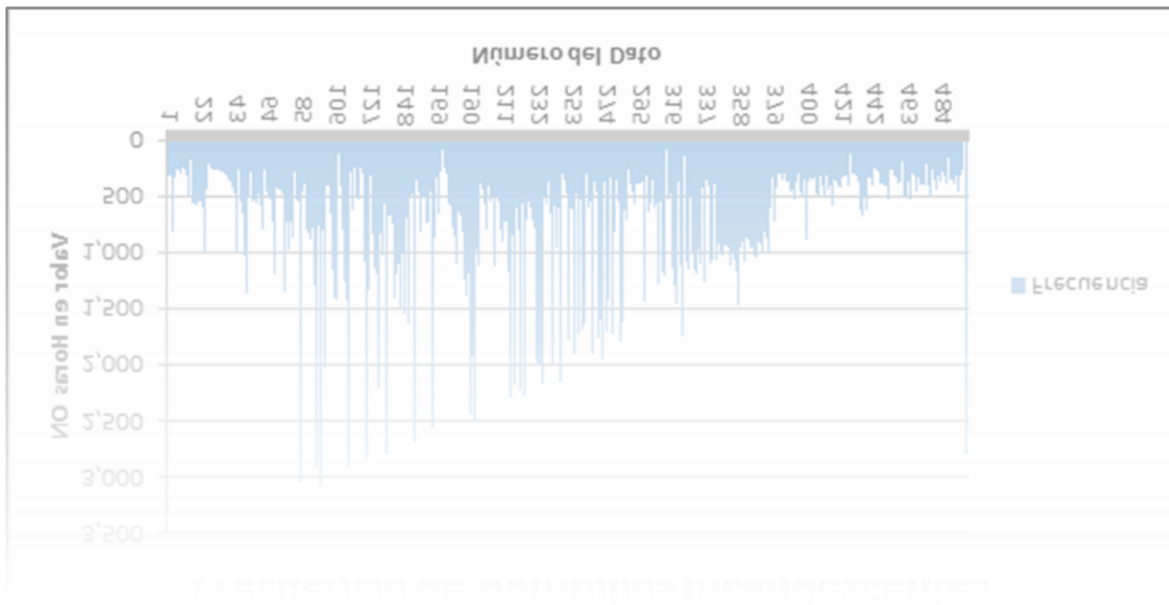
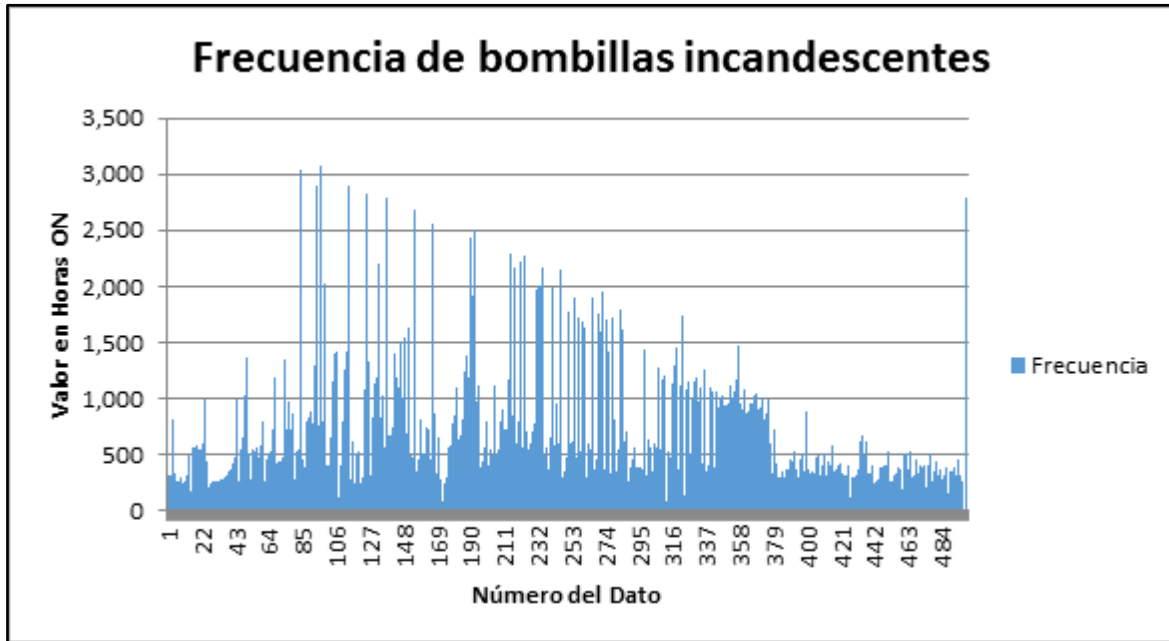
Incandescentes		Incandescentes		Incandescentes		Incandescentes	
Dato N°	Horas ON	Dato N°	Horas ON	Dato N°	Horas ON	Dato N°	Horas ON
1	349.6	41	368	81	395.6	121	423.2
2	349.6	42	368	82	395.6	122	423.2
3	349.6	43	368	83	395.6	123	423.2
4	349.6	44	368	84	395.6	124	423.2
5	349.6	45	368	85	395.6	125	423.2
6	349.6	46	368	86	395.6	126	432.4
7	349.6	47	368	87	395.6	127	432.4
8	349.6	48	368	88	395.6	128	432.4
9	349.6	49	377.2	89	395.6	129	432.4
10	349.6	50	377.2	90	395.6	130	432.4
11	349.6	51	377.2	91	404.8	131	432.4
12	349.6	52	377.2	92	404.8	132	432.4
13	349.6	53	377.2	93	404.8	133	432.4
14	349.6	54	377.2	94	404.8	134	432.4
15	358.8	55	377.2	95	404.8	135	432.4
16	358.8	56	377.2	96	404.8	136	432.4
17	358.8	57	377.2	97	404.8	137	432.4
18	358.8	58	377.2	98	404.8	138	432.4
19	358.8	59	377.2	99	404.8	139	432.4
20	358.8	60	386.4	100	404.8	140	441.6
21	358.8	61	386.4	101	404.8	141	441.6
22	358.8	62	386.4	102	404.8	142	441.6
23	358.8	63	386.4	103	404.8	143	441.6
24	358.8	64	386.4	104	404.8	144	441.6
25	358.8	65	386.4	105	404.8	145	441.6
26	358.8	66	386.4	106	404.8	146	441.6
27	358.8	67	386.4	107	414	147	441.6
28	358.8	68	386.4	108	414	148	441.6
29	358.8	69	386.4	109	414	149	450.8
30	358.8	70	386.4	110	414	150	450.8
31	358.8	71	386.4	111	414	151	450.8
32	368	72	386.4	112	414	152	450.8
33	368	73	386.4	113	414	153	450.8
34	368	74	386.4	114	414	154	450.8
35	368	75	386.4	115	414	155	450.8
36	368	76	395.6	116	414	156	450.8
37	368	77	395.6	117	423.2	157	460
38	368	78	395.6	118	423.2	158	460
39	368	79	395.6	119	423.2	159	460
40	368	80	395.6	120	423.2	160	460

Incandescentes		Incandescentes		Incandescentes		Incandescentes	
Dato N°	Horas ON	Dato N°	Horas ON	Dato N°	Horas ON	Dato N°	Horas ON
161	460	201	506	241	552	281	607.2
162	460	202	506	242	552	282	616.4
163	469.2	203	515.2	243	552	283	616.4
164	469.2	204	515.2	244	552	284	616.4
165	469.2	205	515.2	245	552	285	616.4
166	469.2	206	515.2	246	552	286	625.6
167	469.2	207	515.2	247	552	287	625.6
168	469.2	208	515.2	248	561.2	288	625.6
169	469.2	209	515.2	249	561.2	289	634.8
170	469.2	210	524.4	250	561.2	290	634.8
171	469.2	211	524.4	251	561.2	291	634.8
172	469.2	212	524.4	252	561.2	292	644
173	469.2	213	524.4	253	570.4	293	644
174	478.4	214	524.4	254	570.4	294	653.2
175	478.4	215	524.4	255	570.4	295	653.2
176	478.4	216	524.4	256	570.4	296	653.2
177	478.4	217	524.4	257	570.4	297	662.4
178	478.4	218	524.4	258	570.4	298	671.6
179	478.4	219	524.4	259	570.4	299	671.6
180	478.4	220	524.4	260	579.6	300	671.6
181	487.6	221	533.6	261	579.6	301	671.6
182	487.6	222	533.6	262	579.6	302	671.6
183	487.6	223	533.6	263	579.6	303	671.6
184	487.6	224	533.6	264	579.6	304	671.6
185	487.6	225	533.6	265	588.8	305	671.6
186	487.6	226	533.6	266	588.8	306	680.8
187	496.8	227	542.8	267	588.8	307	680.8
188	496.8	228	542.8	268	588.8	308	680.8
189	496.8	229	542.8	269	588.8	309	680.8
190	496.8	230	542.8	270	588.8	310	680.8
191	496.8	231	542.8	271	598	311	690
192	496.8	232	542.8	272	598	312	690
193	496.8	233	542.8	273	598	313	699.2
194	506	234	552	274	598	314	699.2
195	506	235	552	275	607.2	315	708.4
196	506	236	552	276	607.2	316	708.4
197	506	237	552	277	607.2	317	708.4
198	506	238	552	278	607.2	318	708.4
199	506	239	552	279	607.2	319	708.4
200	506	240	552	280	607.2	320	708.4

Incandescentes		Incandescentes		Incandescentes		Incandescentes		Incandescentes	
Dato N°	Horas ON	Dato N°	Horas ON	Dato N°	Horas ON	Dato N°	Horas ON	Dato N°	Horas ON
321	717.6	361	864.8	401	1021.2	441	1260.4	481	2051.6
322	717.6	362	864.8	402	1021.2	442	1278.8	482	2152.8
323	717.6	363	864.8	403	1030.4	443	1288	483	2162
324	717.6	364	864.8	404	1030.4	444	1288	484	2162
325	717.6	365	874	405	1039.6	445	1324.8	485	2208
326	726.8	366	883.2	406	1048.8	446	1352.4	486	2226.4
327	726.8	367	883.2	407	1058	447	1370.8	487	2272.4
328	736	368	883.2	408	1058	448	1380	488	2290.8
329	736	369	883.2	409	1058	449	1398.4	489	2428.8
330	736	370	901.6	410	1076.4	450	1407.6	490	2438
331	745.2	371	901.6	411	1076.4	451	1416.8	491	2502.4
332	745.2	372	901.6	412	1085.6	452	1416.8	492	2557.6
333	754.4	373	910.8	413	1094.8	453	1426	493	2677.2
334	754.4	374	920	414	1094.8	454	1444.4	494	2787.6
335	754.4	375	920	415	1094.8	455	1453.6	495	2787.6
336	772.8	376	938.4	416	1104	456	1472	496	2824.4
337	772.8	377	938.4	417	1104	457	1508.8	497	2888.8
338	782	378	938.4	418	1113.2	458	1545.6	498	2898
339	782	379	956.8	419	1113.2	459	1600.8	499	3045.2
340	782	380	956.8	420	1122.4	460	1619.2	500	3082
341	782	381	966	421	1122.4	461	1628.4		
342	791.2	382	966	422	1122.4	462	1637.6		
343	791.2	383	966	423	1140.8	463	1692.8		
344	800.4	384	966	424	1140.8	464	1702		
345	800.4	385	966	425	1150	465	1720.4		
346	800.4	386	975.2	426	1150	466	1729.6		
347	800.4	387	975.2	427	1159.2	467	1748		
348	800.4	388	975.2	428	1168.4	468	1766.4		
349	809.6	389	984.4	429	1177.6	469	1766.4		
350	809.6	390	984.4	430	1177.6	470	1775.6		
351	818.8	391	984.4	431	1177.6	471	1794		
352	818.8	392	993.6	432	1186.8	472	1904.4		
353	818.8	393	993.6	433	1186.8	473	1904.4		
354	818.8	394	1002.8	434	1196	474	1922.8		
355	837.2	395	1002.8	435	1196	475	1950.4		
356	837.2	396	1002.8	436	1196	476	1978		
357	837.2	397	1012	437	1196	477	1987.2		
358	837.2	398	1012	438	1214.4	478	2005.6		
359	855.6	399	1021.2	439	1242	479	2014.8		
360	855.6	400	1021.2	440	1251.2	480	2024		

Se puede apreciar que los incandescentes tienen gran cantidad de datos, los cuales algunos tienen frecuencias repetidas.

Ilustración 9 - Frecuencia de datos Incandescentes.



Por lo anterior, lo que se realiza para obtener más confiable el estudio, es tomar solo los datos con un solo dato, es decir sin frecuencia, quedando de esta manera.

Ilustración 10 - Datos históricos incandescentes si frecuencia.

Incandescentes		Incandescentes		Incandescentes		Incandescentes	
Dato N°	Horas ON	Dato N°	Horas ON	Dato N°	Horas ON	Dato N°	Horas ON
1	349.60	41	717.60	81	1159.20	121	1987.20
2	358.80	42	726.80	82	1168.40	122	2005.60
3	368.00	43	736.00	83	1177.60	123	2014.80
4	377.20	44	745.20	84	1186.80	124	2024.00
5	386.40	45	754.40	85	1196.00	125	2051.60
6	395.60	46	772.80	86	1214.40	126	2152.80
7	404.80	47	782.00	87	1242.00	127	2162.00
8	414.00	48	791.20	88	1251.20	128	2208.00
9	423.20	49	800.40	89	1260.40	129	2226.40
10	432.40	50	809.60	90	1278.80	130	2272.40
11	441.60	51	818.80	91	1288.00	131	2290.80
12	450.80	52	837.20	92	1324.80	132	2428.80
13	460.00	53	855.60	93	1352.40	133	2438.00
14	469.20	54	864.80	94	1370.80	134	2502.40
15	478.40	55	874.00	95	1380.00	135	2557.60
16	487.60	56	883.20	96	1398.40	136	2677.20
17	496.80	57	901.60	97	1407.60	137	2787.60
18	506.00	58	910.80	98	1416.80	138	2824.40
19	515.20	59	920.00	99	1426.00	139	2888.80
20	524.40	60	938.40	100	1444.40	140	2898.00
21	533.60	61	956.80	101	1453.60	141	3045.20
22	542.80	62	966.00	102	1472.00	142	3082.00
23	552.00	63	975.20	103	1508.80		
24	561.20	64	984.40	104	1545.60		
25	570.40	65	993.60	105	1600.80		
26	579.60	66	1002.80	106	1619.20		
27	588.80	67	1012.00	107	1628.40		
28	598.00	68	1021.20	108	1637.60		
29	607.20	69	1030.40	109	1692.80		
30	616.40	70	1039.60	110	1702.00		
31	625.60	71	1048.80	111	1720.40		
32	634.80	72	1058.00	112	1729.60		
33	644.00	73	1076.40	113	1748.00		
34	653.20	74	1085.60	114	1766.40		
35	662.40	75	1094.80	115	1775.60		
36	671.60	76	1104.00	116	1794.00		
37	680.80	77	1113.20	117	1904.40		
38	690.00	78	1122.40	118	1922.80		
39	699.20	79	1140.80	119	1950.40		
40	708.40	80	1150.00	120	1978.00		

#### 2.4.2 Datos LED's

Los datos de las bombillas LED se presentan a continuación con su distribución inicial gracias a que son solamente 100 datos.

Ilustración 11 - Datos históricos LED's.

LED		LED		LED	
Dato N°	Horas ON	Dato N°	Horas ON	Dato N°	Horas ON
1	257.6	41	2796.8	81	3643.2
2	607.2	42	2796.8	82	3643.2
3	625.6	43	2796.8	83	3643.2
4	625.6	44	2796.8	84	3661.6
5	644	45	2815.2	85	3661.6
6	644	46	2815.2	86	3661.6
7	644	47	2815.2	87	3661.6
8	644	48	2815.2	88	3661.6
9	662.4	49	2833.6	89	3661.6
10	662.4	50	2852	90	3661.6
11	680.8	51	2852	91	3661.6
12	680.8	52	3054.4	92	5832.8
13	680.8	53	3054.4	93	5832.8
14	680.8	54	3054.4	94	5832.8
15	717.6	55	3054.4	95	5832.8
16	717.6	56	3072.8	96	5832.8
17	717.6	57	3072.8	97	6403.2
18	809.6	58	3072.8	98	6403.2
19	846.4	59	3072.8	99	8592.8
20	846.4	60	3091.2	100	10561.6
21	846.4	61	3091.2		
22	846.4	62	3091.2		
23	864.8	63	3091.2		
24	938.4	64	3091.2		
25	1214.4	65	3091.2		
26	1214.4	66	3091.2		
27	1232.8	67	3091.2		
28	1232.8	68	3091.2		
29	1251.2	69	3367.2		
30	1251.2	70	3367.2		
31	1251.2	71	3367.2		
32	1416.8	72	3459.2		
33	1416.8	73	3459.2		
34	2704.8	74	3496		
35	2760	75	3514.4		
36	2796.8	76	3624.8		
37	2796.8	77	3624.8		
38	2796.8	78	3624.8		
39	2796.8	79	3624.8		
40	2796.8	80	3643.2		

Los datos presentados en la ilustración pertinente corroboran la frecuencia.

Ilustración 12 - Frecuencia de datos de los LED's.

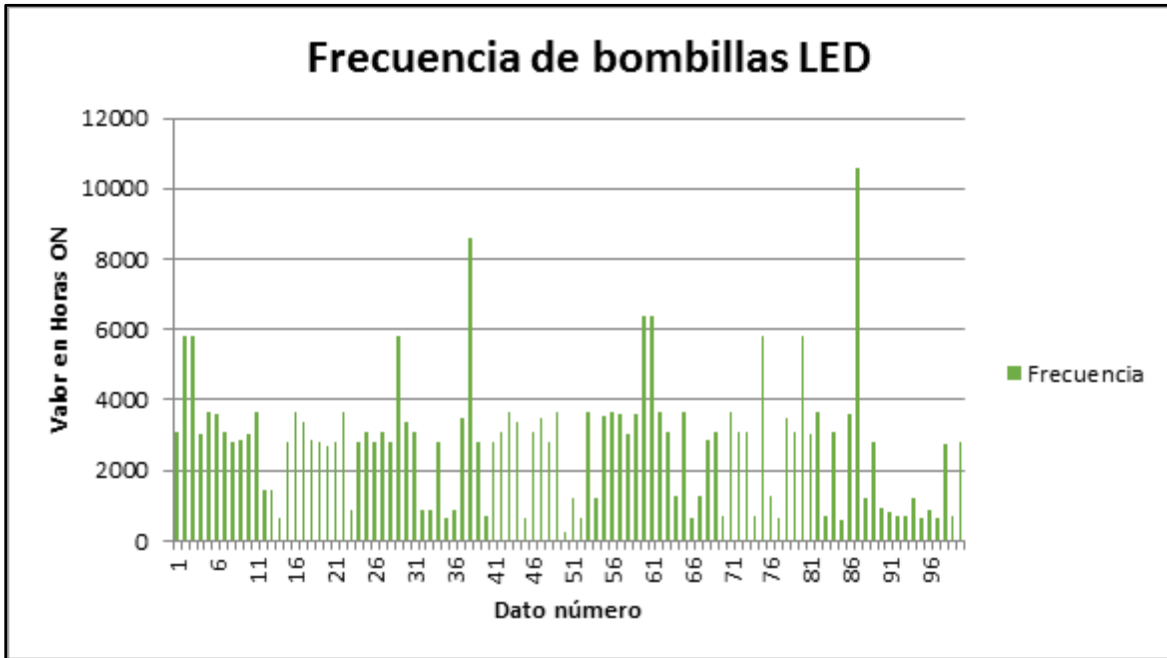


Ilustración 13 - Datos LED's históricos sin frecuencia.

LED		LED	
Dato N°	Horas ON	Dato N°	Horas ON
1	257.6	16	2704.8
2	607.2	17	2760
3	625.6	18	2796.8
4	644	19	2815.2
5	662.4	20	2833.6
6	680.8	21	2852
7	717.6	22	3054.4
8	809.6	23	3072.8
9	846.4	24	3091.2
10	864.8	25	3367.2
11	938.4	26	3459.2
12	1214.4	27	3496
13	1232.8	28	3514.4
14	1251.2	29	3624.8
15	1416.8	30	3643.2
16	2704.8	31	3661.6
		32	5832.8
		33	6403.2
		34	8592.8
		35	10561.6

## **2.5 Conclusiones del capítulo 2**

Los datos demuestran que elementos tan sencillos, no poseen como tal unos índices relevante de CMD, ya que la mantenibilidad de estos equipos se reduce únicamente al reemplazo, cambio o re abastecimiento de los elementos que han perdido su función principal.

Por ende, los costos de mantener un equipo o sistema como bombillas, resultan generando gastos o déficit, ya que no sería necesario y el reemplazo es mucho más económico.

Las distribuciones de los datos se tomaron en cuenta por fecha de inicio y fin de la vida útil de cada bombilla, aunque para la organización y análisis es necesario tener los datos ordenados de menor a mayor, para definir la distribución.

Los datos recopilados que se muestran anteriormente, representan un estudio y análisis alrededor de cuatro años consecutivos y con unos tamaños muestrales considerables, tales son, que se puede identificar fácilmente que tienen una validez estadística que más adelante será corroborada.

### **3 VALIDACIÓN ESTADÍSTICA Y ANALÍTICA DE LOS DATOS DE FALLA Y SUPERVIVENCIA DE LAS BOMBILLAS.**

#### **3.1 Objetivo**

Realizar los análisis matemáticos y estadísticos de sus cálculos de vida útil por distribuciones de Weibull, estudiando sus parámetros, curvas y resultados, con el fin de hacer pruebas de validación de los datos de incandescentes y de LED, para determinar la viabilidad del análisis. Nivel 3 - Escala de Bloom y Gagñé.

#### **3.2 Introducción al capítulo 3**

Esta sección aporta todo el análisis matemático requerido a través de la aplicación de los análisis CMD por distribuciones, con los parámetros y algoritmos para ello requeridos.

Además de lo anterior esta parte otorga la comparación de resultados en la curva de Davies o de la Bañera, permitiendo detectar de una vez la procedencia y pertinencia de resultados con base en el envejecimiento, como plantea la hipótesis del proyecto.

#### **3.3 Validez estadística**

La validez estadística indica si un estudio estadístico es capaz de arrojar conclusiones que estén de acuerdo con las leyes estadísticas y científicas. Esto significa que si una conclusión se extrae de un determinado conjunto de datos después de la experimentación se dice que es científicamente válida si la conclusión del experimento es científica y se basa en las leyes matemáticas y estadísticas (Ruiz Bolivar, 2010).

#### **3.4 Prueba de Alfa de Cronbach**

El Alfa de Cronbach es un coeficiente que sirve para medir la fiabilidad de una escala de medida y cuya denominación Alfa fue propuesta por Cronbach en 1951.

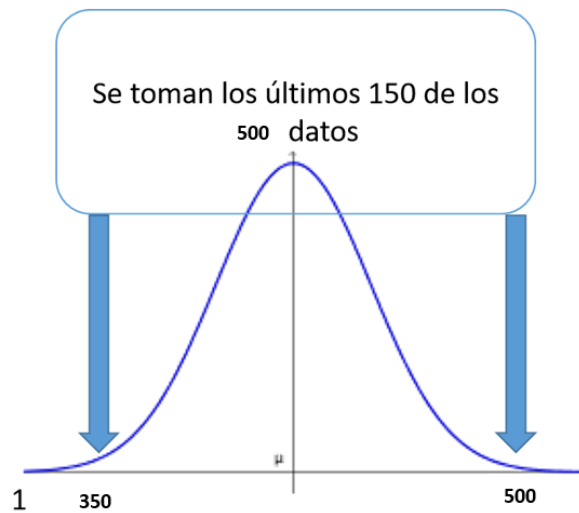
Para realizar las pruebas de Alfa de Cronbach se debe buscar la armonía entre los datos, es decir: al tener solamente 100 datos de LED's y 500 de incandescentes, se debe tomar una decisión.

La primera opción propuesta, dado que el programa Alfa de Cronbach<sup>5</sup> usado solamente tiene capacidad para 150 datos, se comparan de la siguiente forma.

---

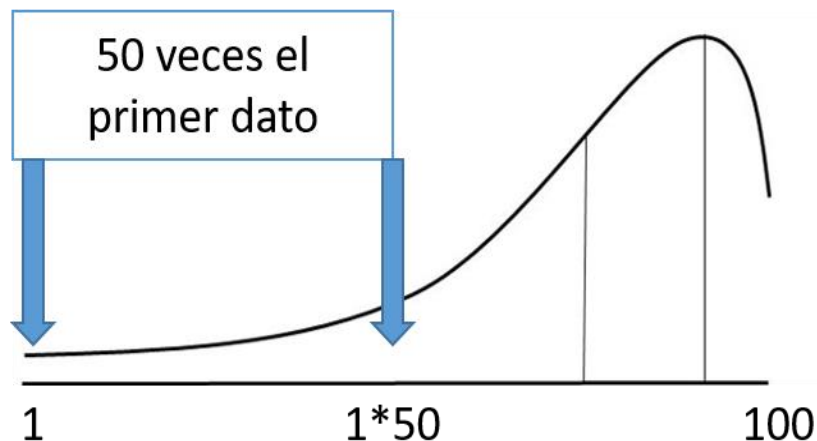
<sup>5</sup> © ® Informática - Derechos de Autor A. Mora G. - Los programas informáticos adjuntos del Libro, tienen Derechos de Autor, debidamente registrados ante la Dirección Nacional de Derechos de Autor – UAE - Oficina de Registro - Ministerio del Interior y de Justicia – República de Colombia - Radicados 1-2013-56630 y 56628 y 56629 de Colombia, en fecha de

Ilustración 14 - Muestra de distribución normal en incandescentes.



En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra la forma de escoger los datos para analizar, es decir, al tener 500 datos de los históricos de incandescentes, se toman los últimos 150 datos, por ende, se eliminan o no se tienen en cuenta los primeros 350 datos.

Ilustración 15 - Muestra distribución normal para LED's.



Los datos de LED se analizan de la siguiente manera: se toman los 100 datos históricos pero el primer dato se repite 50 veces para poder obtener una simetría en los datos tanto incandescentes como LED.

---

septiembre de 2013 – debidamente tramitados y autorizados, por empresa Soluciones Legales teléfono 57 4 5119100 - Oficina Medellín - Colombia. Se permite su uso como soporte técnico y académico de las explicaciones del Libro, no se permite su utilización comercial o remunerativa; sin previo permiso escrito y notariado de CIMPRO SAS - RUT 900.366.198-5 y/o del Autor.

### 3.4.1 Alfa de Cronbach - Aplicación del Software

Ilustración 16 - Prueba de Alfa de Cronbach para 150 datos.

Sirve con 0.83756 en Cronbach		Suspenda variables - Simplemente selecciones No en la Pestaña	Coeficiente alfa de Cronbach					
			Fecha					
Favor limpie primero los datos anteriores, con la Macro del recuadro azul abajo.		Variable 1	Dato No. 1	Dato No. 2	Dato No. 3	Dato No. 4	Dato No. 5	Dato No. 6
					276	285.2	294.4	303.6
		Variable 2	257.6	257.6	257.6	257.6	257.6	257.6
		Variable 3						
		Variable 4						
		Variable 5						
		Variable 6						
		Variable 7						
		Variable 8						
		Variable 9						
		Variable 10						
		Variable 11						
		Variable 12						
		Variable 13						
		Variable 14						
		Variable 15						
		Variable 16						
		Variable 17						
		Variable 18						
		Variable 19						
		Variable 20						
		Variable 21						
		Variable 22						
		Variable 23						
		Variable 24						
		Variable 25						
		Variable 26						
		Variable 27						
		Variable 28						
		Variable 29						
		Variable 30						

Se referencia en la ilustración que existe un buen Alfa de Cronbach para los datos, es decir, existe una cohesión entre los datos de las variables.

La segunda opción compara 100 datos de incandescentes (tomando los últimos 100 del histórico) vs. los 100 datos del histórico de los LED's. El resultado se muestra a continuación.

Al tratar de medir una cualidad no observable directamente (la inteligencia, por ejemplo) en una población determinada, se toman o se miden N variables que sí sean observables (n respuestas para un cuestionario o un conjunto de problemas lógicos) de cada uno de los sujetos para obtener una medición. En particular, las N variables que se tomen, se deben realizar mediciones estables y consistentes y que exista un elevado nivel de correlación.

La confiabilidad es el grado en el cual la medida de una variable está libre de todo error aleatorio, por lo tanto, proporciona resultados consistentes. El coeficiente Alfa de Cronbach estima la consistencia interna de una escala de medida y se formula de la siguiente manera (Mestre, 2009).

Ilustración 17 - Prueba de Alfa de Cronbach para 100 datos.

Suspenda variables - Simplemente selecciones No en la Pestaña				Coeficiente alfa de Cronbach		
				Fecha		
				Dato No. 1	Dato No. 2	Dato No. 3
	Variable 1			736	745.2	754.4
	Variable 2			257.6	607.2	625.6
	Variable 3					
	Variable 4					
	Variable 5					
	Variable 6					
	Variable 7					
	Variable 8					
	Variable 9					
	Variable 10					
	Variable 11					
	Variable 12					
	Variable 13					
	Variable 14					
	Variable 15					
	Variable 16					
	Variable 17					
	Variable 18					
	Variable 19					
	Variable 20					
	Variable 21					
	Variable 22					
	Variable 23					
	Variable 24					
	Variable 25					
	Variable 26					

Ecuación 6 - Fórmula de Alfa de Cronbach

$$\alpha = \frac{k}{k - 1} \left( 1 - \sum_{i=1}^k \frac{\sigma_i^2}{\sigma_s^2} \right)$$

Donde;

$k$  = Número de ítems de la escala.

$\sigma_i^2$  = varianza del ítem  $i$

$\sigma_s^2$  = varianza total de la escala

Fuente (Santesmases, 2003).

Un valor del coeficiente inferior a 0.7 indica una baja consistencia interna, es decir, la escala mide varios niveles y por ende no es confiable ni apropiada para los datos de investigación (Mestre, 2009).

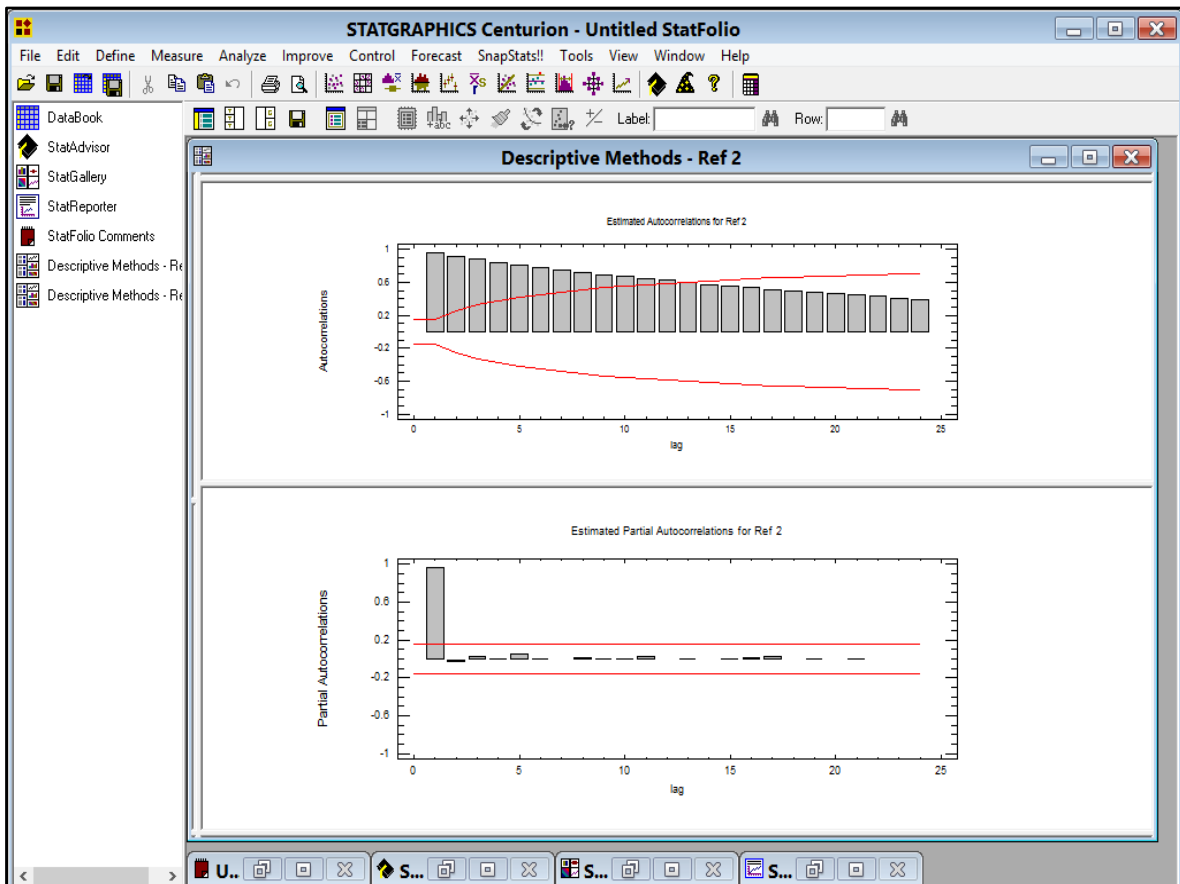
Dado lo anterior, podemos deducir que ambas pruebas (con 150 y con 100 datos) son confiables y que entre ellas existe una consistencia y una cohesión apropiada para ser analizadas.

El coeficiente Alfa de Cronbach permite cuantificar el nivel de fiabilidad de una escala de medida para la magnitud inobservable construida gracias a las N variables si observadas (Coefficient alpha and the internal structure of test, 1951).

### 3.5 Correlación

En esta sección se hacen varias pruebas, una es la relación entre cada uno de los datos de cada serie limpia, tanto en LED como en Incandescentes. Esta prueba se realiza mediante la curva de ACF.

Ilustración 18 - Auto-Correlation Function para incandescentes.



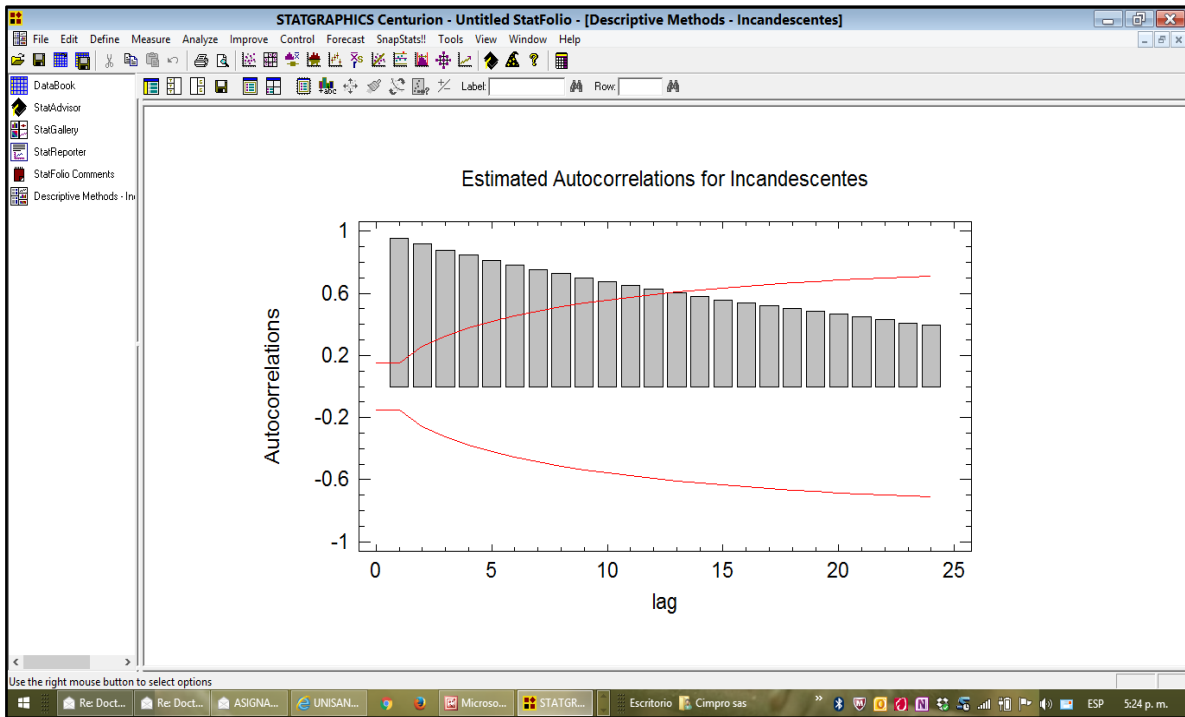
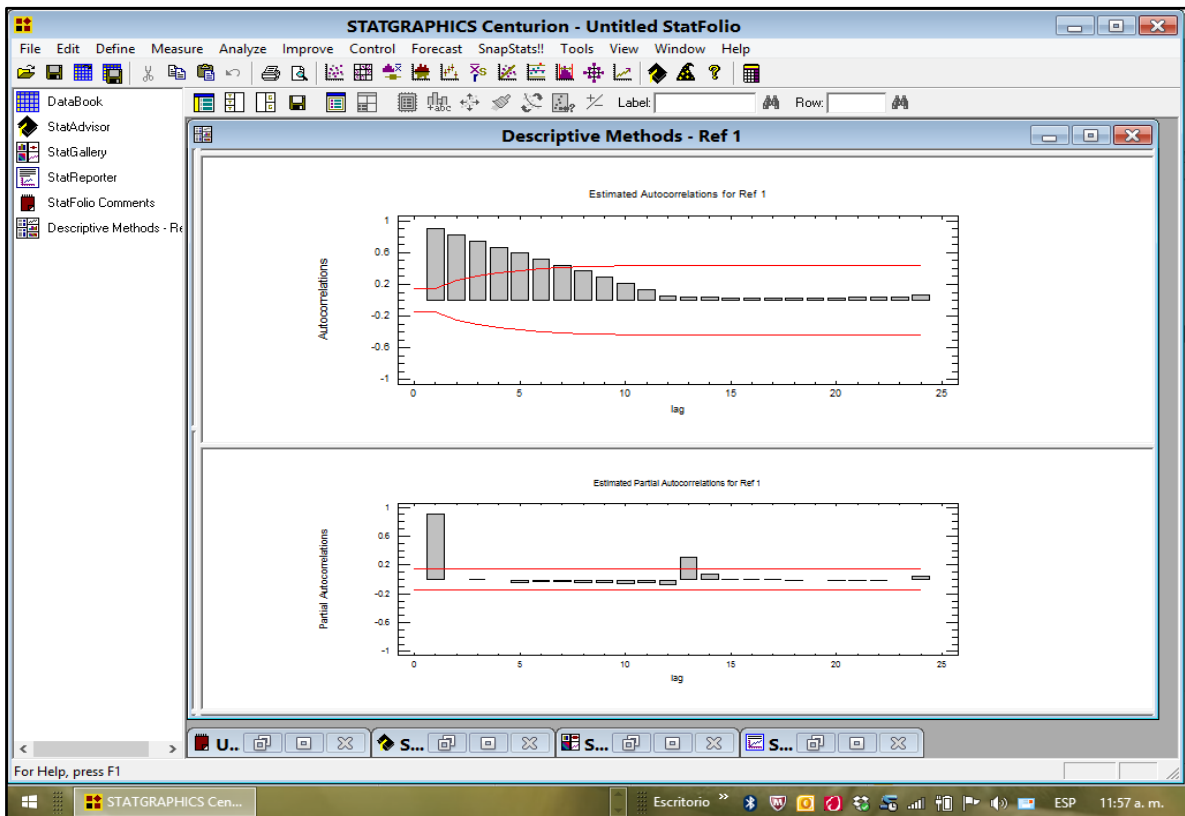
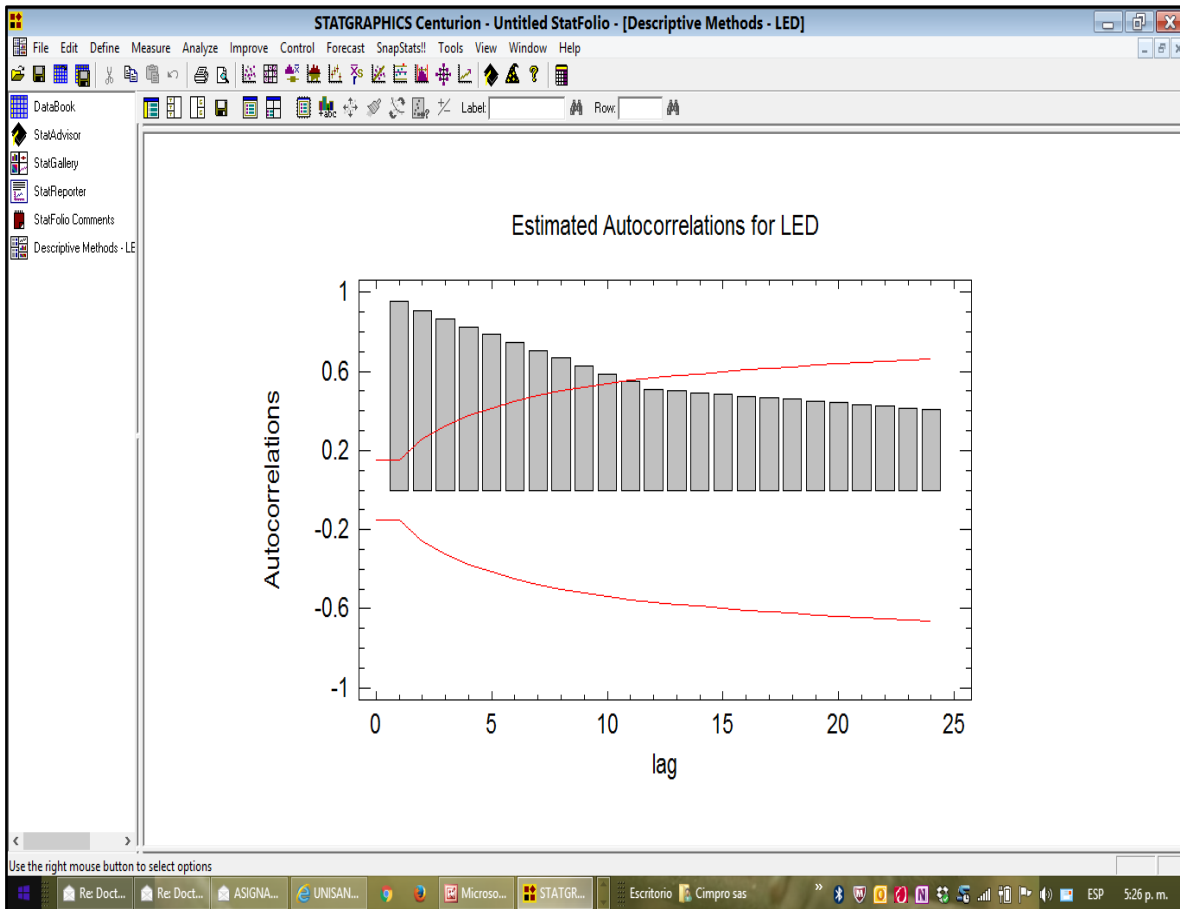


Ilustración 19 - Auto-Correlation Function para LED's.





### 3.6 Correlación Lineal ACF

La correlación es la asociación entre las variaciones de los valores de dos variables. La asociación puede ser negativa o positiva, es decir, inversa o directamente asociadas. Una medida de la correlación lineal se muestra (Mestre, 2009).

Para desarrollar el estudio de correlación lineal se utiliza el Software Correlation (licencia propiedad del tutor PHD. Luis Alberto Mora) en este software se utilizan los últimos 50 datos de las series.

### 3.7 Prueba de hipótesis

Otra forma de encontrar una relación entre ambas variables es utilizando las pruebas de hipótesis, donde se lanza una hipótesis nula y se comprueba para conocer el resultado de dicha hipótesis (Mestre, 2009) (Santesmases, 2003).

En este caso se utiliza el software DYANE y se analiza el p value. El cual, si su valor es inferior a 0.05 existe una relación y este nos dirá de cuanto es dicha relación. Para dicho análisis se utilizan 100 datos.

Ilustración 20 - Prueba de correlación lineal.

1	Promedio de Correlaciones	1	Correlaciones	1	1		
2	Series Revisadas	2					
3			Dato No.	Referencia 1	Referencia 2	Referencia 3	Referencia 4
4			1	1352.4	2852	0	0
5			2	1370.8	3054.4	0	0
6			3	1380	3054.4	0	0
7			4	1398.4	3054.4	0	0
8			5	1407.6	3054.4	0	0
9			6	1416.8	3072.8	0	0
10			7	1426	3072.8	0	0
11			8	1444.4	3072.8	0	0
12			9	1453.6	3072.8	0	0
13			10	1472	3091.2	0	0
14			11	1508.8	3091.2	0	0
15			12	1545.6	3091.2	0	0
16			13	1600.8	3091.2	0	0
17			14	1619.2	3091.2	0	0
18			15	1628.4	3091.2	0	0
19			16	1637.6	3091.2	0	0
20			17	1692.8	3091.2	0	0
21			18	1702	3091.2	0	0
22			19	1720.4	3367.2	0	0
23			20	1729.6	3367.2	0	0
24			21	1748	3367.2	0	0
25			22	1766.4	3459.2	0	0
26			23	1775.6	3459.2	0	0

Ilustración 21 - Análisis de p value.

```

ANÁLISIS DE CORRELACIÓN LINEAL
-----
IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES
-----
VARIABLE 1 : ypbNam 1 - ypbNam 1
VARIABLE 2 : Nam 2 - Nam 2

Matriz de coeficientes de correlación simple
-----

          ypbNam 1  Nam 2
-----
ypbNam 1  1.0000  0.9164
N =      ( 100)  ( 100)
p =      0.0000  0.0000

Nam 2     0.9164  1.0000
N =      ( 100)  ( 100)
p =      0.0000  0.0000
    
```

En la ilustración anterior se alcanza a denotar un p value de 0.0000 el cual es inferior a 0.05, gracias a esto se puede deducir que existe una relación directa entre ambas variables, dicha relación es del 91.64% como se ve en la imagen.

### **3.8 Conclusiones de capítulo 3**

Esta sección demuestra que los datos que se trabajan con datos pertinentes y coherentes para comprobar pruebas estadísticas y estocásticas como Cronbach que demuestra que las muestras tomadas son suficientes para llegar a conclusiones estadísticas, a la vez a partir de las pruebas de correlación y ACF ponen en buen orden y disposición los datos, es decir es procedente a continuar con el análisis de CMD por distribuciones, lo cual es pertinente, a lo cual se procede ahora en el siguiente capítulo.

Las pruebas realizadas durante esta parte cumplen bien y a satisfacción los requerimientos exigidos de Alfa de Cronbach, correlaciones y prueba de Auto-correlation function.

## **4 CÁLCULOS DE CONFIABILIDAD CON SOFTWARE PARA DETERMINAR VIDA ÚTIL Y BETAS EN WEIBULL**

### **4.1 Objetivo**

Definir estrategias y acciones de características concluyentes, a partir de la interpretación y cálculos de vida útil, de las bombillas incandescentes y LED para determinar su aplicación empresarial y comercial. Nivel 4 - Analizar - Escala de Bloom y Gagñé.

### **4.2 Introducción al capítulo 4**

Este capítulo es el más importante del proyecto, dado que es el epicentro de análisis y cálculos de todo el trabajo, es donde se valida si los valores de los Betas encontrados en las bombillas LED e Incandescentes pertenecen o no a la zona derecha final de la curva de la Bañera, donde se trabaja por fatiga o envejecimiento, el cual presenta los análisis y cálculos de rigor, donde se ha de determinar la vida útil de las bobillas LED e incandescentes.

Esta sección provee los cálculos necesarios de confiabilidad y disponibilidad de elementos no reparables, como es el caso de las bombillas LED's e Incandescentes.

En los cuales se estiman los principales parámetros relevantes de tiempos útiles y se definen los criterios necesarios para su interpretación y entendimiento, con el fin de demostrar la hipótesis de distribución normal al final de la curva de Davies o Zona III fase III de envejecimiento. Se presenta la información tomada de la base de datos asociada al sistema de generación de electricidad que alimenta el banco de pruebas de bombillas LED's y de Incandescentes, de tal forma que se lleva un registro histórico y secuencial de los datos, los cuales se presentan con anterioridad (ver Ilustración 10).

Para realizar los cálculos respectivos se utilizan los softwares informáticos (propiedad del tutor) CMD++ y CMD, primeramente, los datos totales y luego sin frecuencia para incandescentes y LED's.

A continuación, se presentan los cálculos obtenidos con el paquete CMD++ y CMD, dichos cálculos son supervisados y revisados con una gran atención, teniendo en cuenta la probabilidad existente para obtener datos errados o fallidos.

### **4.3 Cálculos para incandescentes**

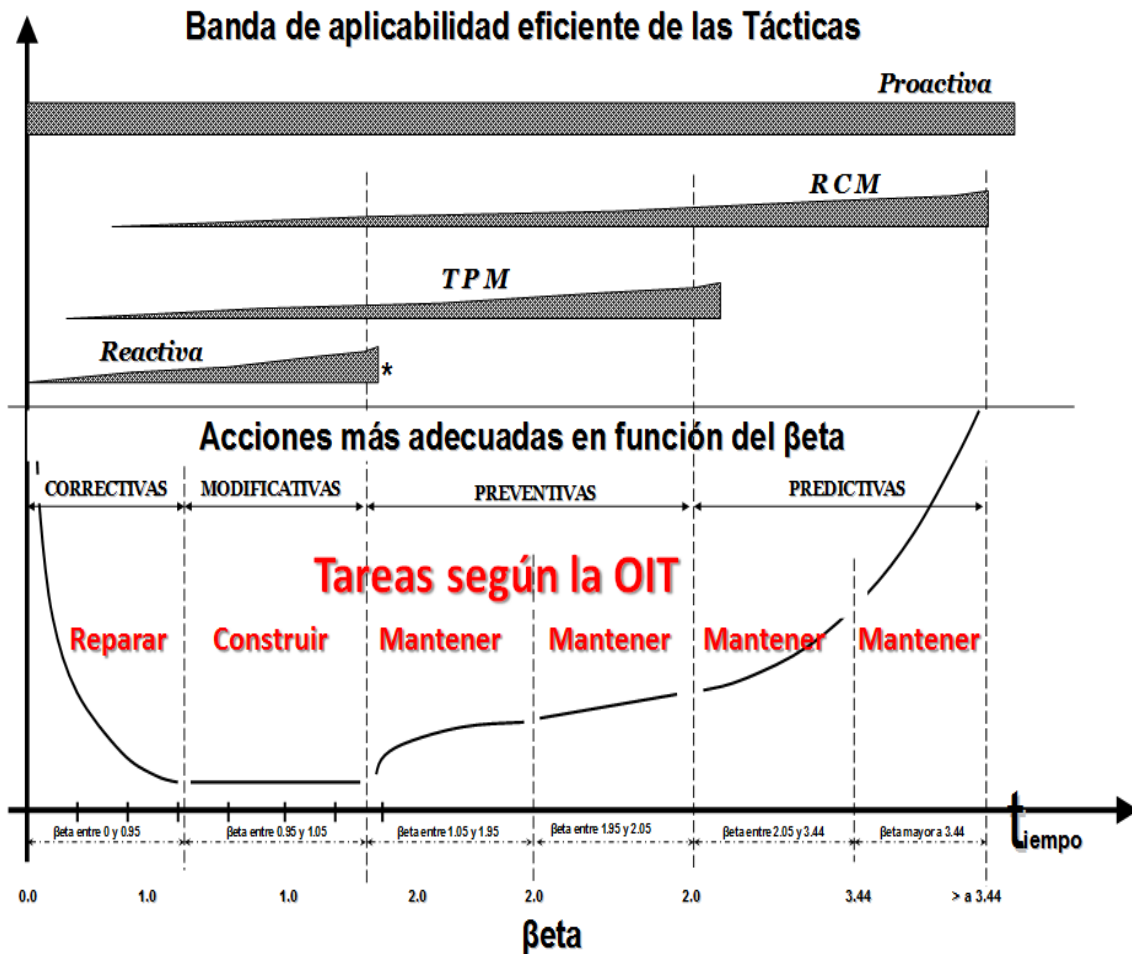
Los cálculos de confiabilidad para bombillas incandescentes se presentan a continuación, siguiendo toda la teoría aplicada y demostrada anteriormente.

### 4.3.1 Cálculos incandescentes CMD++

A continuación se presentan y se realizan los denominados cálculos de rigor que permiten encontrar los valores Beta y Eta de las bombillas Incandescentes.

Ilustración 22 - Curva de Davies

$\lambda(t)$  Tasa de fallas en Weibull



\* Denota que la línea a medida que se vuelve más gruesa la aplicación de la táctica es más eficiente ya que se acomoda más a las características de las fallas y de su tasa.

Ilustración 23 - Análisis de CMD++ para 500 datos.

Confiability - No Planeada (Correctiva)									
MTBM <sub>c</sub>									
Dato Número	Función Distribución	Tiempo	β MTBM <sub>c</sub> de Confiability	η - Eta de Confiability No Planeada MTBM <sub>c</sub>	Alineación	Goodness of Fit	Cumple o no Bondad de Ajuste - Goodness of Fit	MTBM <sub>c</sub> Calculado	Tiempo Confiability Calculado MTBM <sub>c</sub>
0		349.60							
1		349.60							
2	Weibull	349.60	33650952.39	349.60	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	349.6000088	349.6000088
3	Weibull	349.60	33061732.59	349.60	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	349.6000064	349.6000064
4	Weibull	349.60	33281257.67	349.60	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	349.6000051	349.6000051
5	Weibull	349.60	33684686.54	349.60	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	349.6000042	349.6000042
6	Weibull	349.60	34127283.14	349.60	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	349.6000036	349.6000036
7	Weibull	349.60	34564620.12	349.60	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	349.6000031	349.6000031
8	Weibull	349.60	34982012.03	349.60	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	349.6000028	349.6000028
9	Weibull	349.60	35375213.81	349.60	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	349.6000025	349.6000025
10	Weibull	349.60	35743951.78	349.60	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	349.6000022	349.6000022
11	Weibull	349.60	36089472.86	349.60	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	349.600002	349.600002
12	Weibull	349.60	36413545.17	349.60	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	349.6000019	349.6000019
13	Weibull	349.60	36718036.31	349.60	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	349.6000017	349.6000017
14	Weibull	358.80	68.69	352.95	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	350.0601353	350.0601353
15	Weibull	358.80	66.97	353.57	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	350.598551	350.598551
16	Weibull	358.80	66.29	354.08	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	351.0757462	351.0757462
17	Weibull	358.80	66.13	354.52	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	351.5011533	351.5011533
18	Weibull	358.80	66.24	354.90	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	351.8825932	351.8825932
19	Weibull	358.80	66.53	355.23	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	352.2264616	352.2264616
20	Weibull	358.80	66.94	355.53	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	352.5380013	352.5380013
21	Weibull	358.80	67.41	355.70	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	352.8215377	352.8215377

Ilustración 24 - Gráfica de Beta específico por confiabilidad.

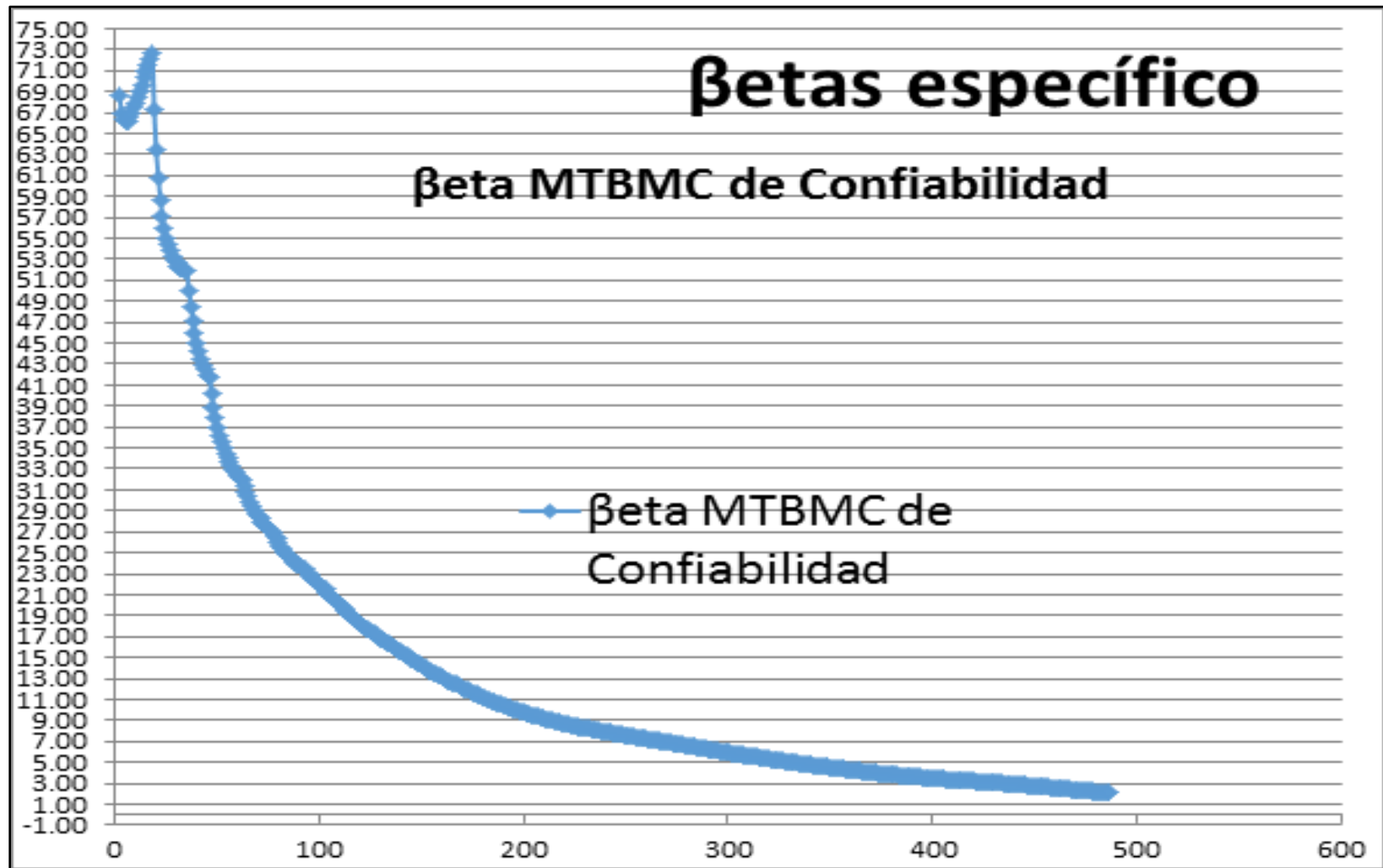


Ilustración 25 - Beta no planeado por confiabilidad.

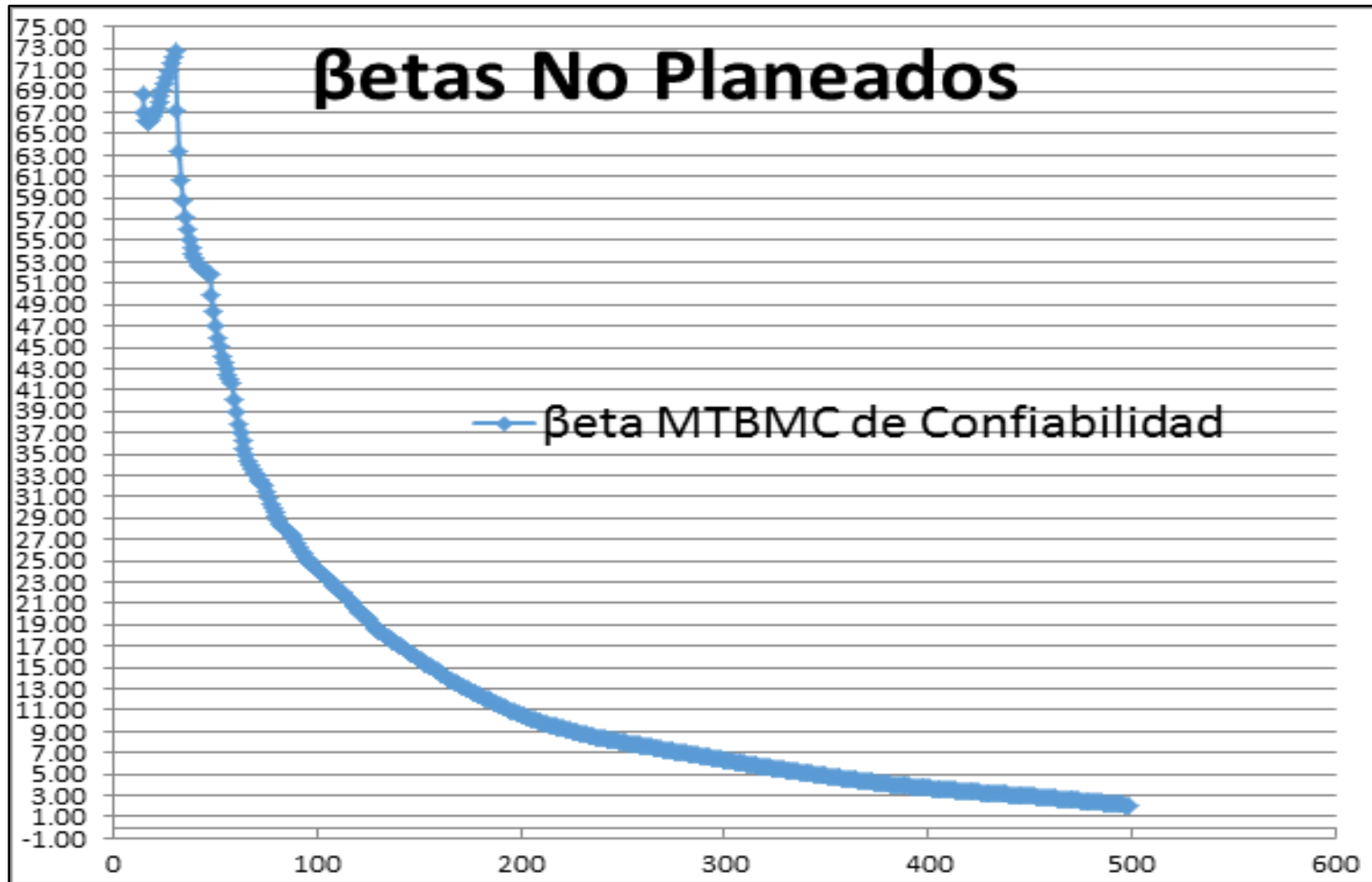


Ilustración 26 - Gráfica de Etas específicos y globales.



### 4.3.2 Cálculos incandescentes CMD

Esta otra parte hace los mismos análisis anterior pero con los LEDs.

Ilustración 27 - Gráfico de confiabilidad CMD para 500 datos, en conjunto.

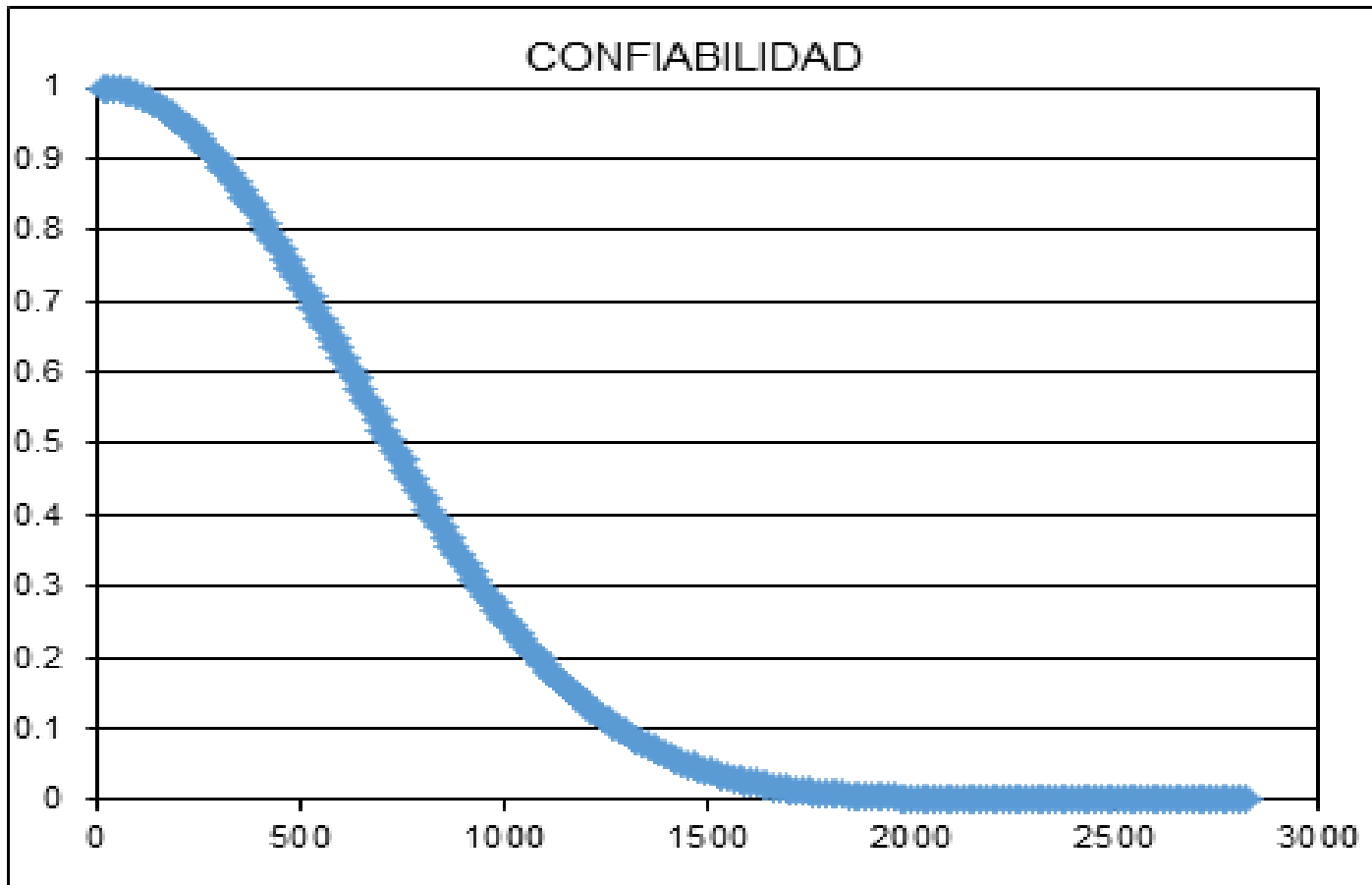


Ilustración 28 - Gráficas para cálculos completos CMD 500 datos, en conjunto.

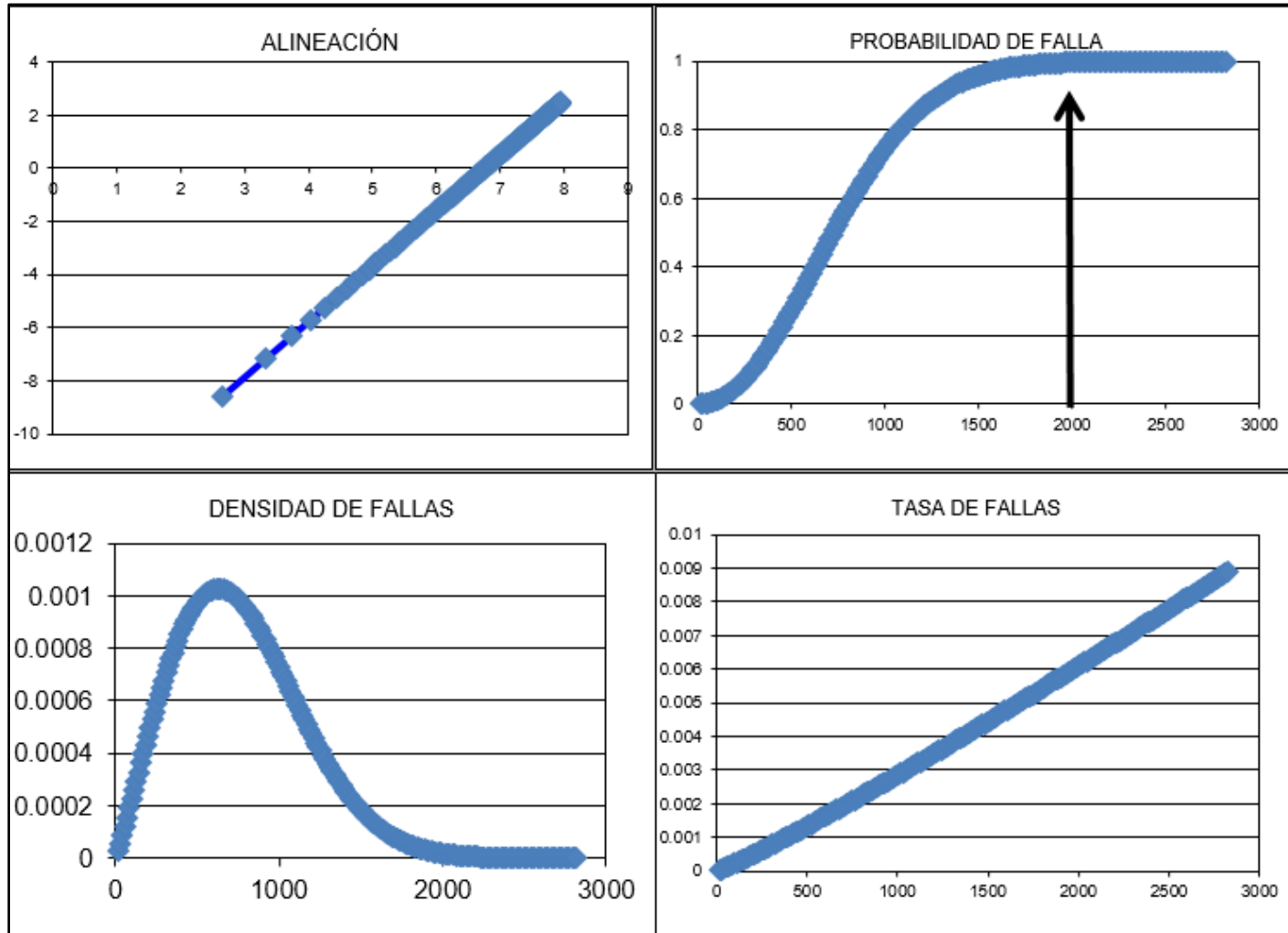


Ilustración 29 - Parámetros básicos de CMD.

**Confiabilidad**

**ESTIMACIÓN**

BENARD

**DISTRIBUCIÓN**

Weibull

$\beta$	2.0936
$\eta$	861.8498
<b>MTBF:</b>	<b>763.3511</b>

**PRUEBA**

Kolmogorov-Smirnov

<b>V. Prueba:</b>	<b>0.0014</b>
<b>V. Crítico:</b>	<b>0.05</b>
<b>Resultado:</b>	<b>OK</b>

### 4.3.3 Cálculos incandescentes CMD++ sin frecuencia

Ilustración 30 - Análisis de confiabilidad en CMD++ sin frecuencia.

**Confiabilidad - No Planeada (Correctiva)**

*MTBM<sub>c</sub>*

Dato Número	Función Distribución	Tiempo	$\beta$ eta <i>MTBM<sub>c</sub></i> de Confiabilidad	$\eta$ - Eta de Confiabilidad No Planeada <i>MTBM<sub>c</sub></i>	Alineación	Goodness of Fit	Cumple o no Bondad de Ajuste - Goodness of Fit	<i>MTBM<sub>c</sub></i> Calculado	Tiempo Confiabilidad Calculado <i>MTBM</i>
0		349,60							
1		358,80							
2	Weibull	368,00	37,55	363,13	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	357,797302	357,797302
3	Weibull	377,20	30,64	368,96	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	362,3895915	362,3895915
4	Weibull	386,40	26,01	374,78	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	366,9888927	366,9888927
5	Weibull	395,60	22,68	380,58	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	371,5938362	371,5938362
6	Weibull	404,80	20,17	386,36	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	376,2032831	376,2032831
7	Weibull	414,00	18,21	392,13	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	380,8163347	380,8163347
8	Weibull	423,20	16,63	397,89	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	385,4322831	385,4322831
9	Weibull	432,40	15,34	403,64	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	390,0505651	390,0505651
10	Weibull	441,60	14,26	409,37	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	394,6707265	394,6707265
11	Weibull	450,80	13,34	415,09	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	399,292397	399,292397
12	Weibull	460,00	12,55	420,80	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	403,9152714	403,9152714

Ilustración 31 - Gráfica de Beta específico en CMD++ sin frecuencia.

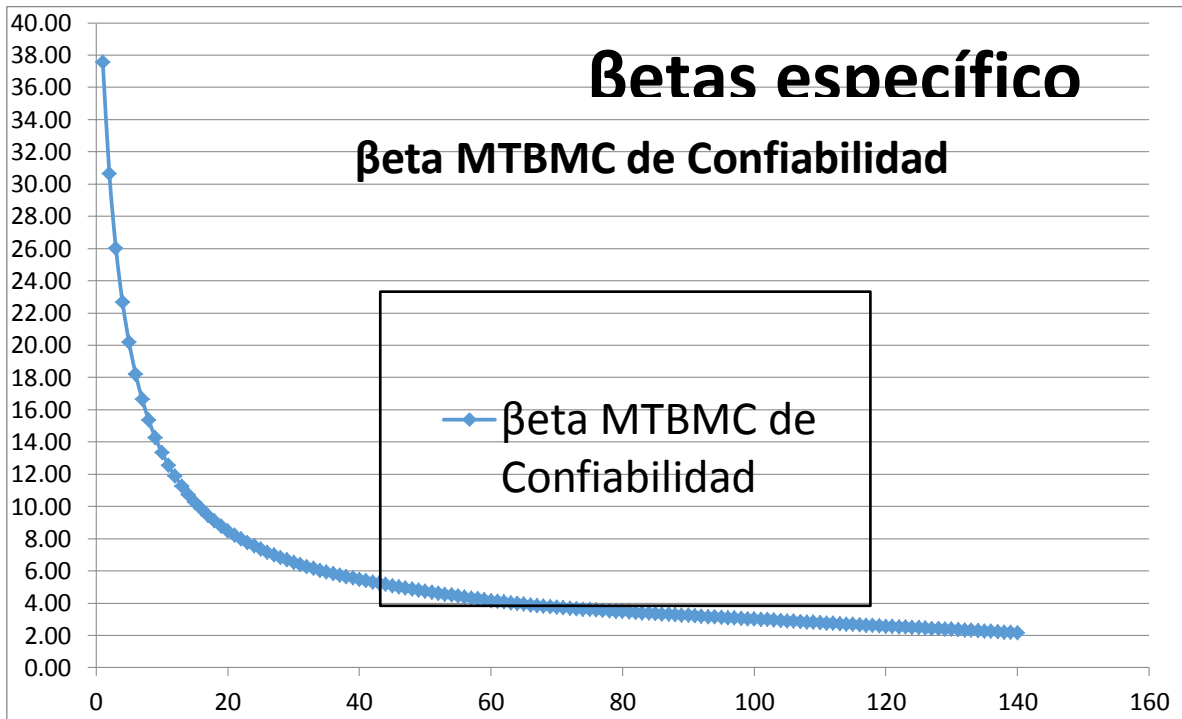


Ilustración 32 - Gráfica de Betas no planeados CMD++ sin frecuencia.

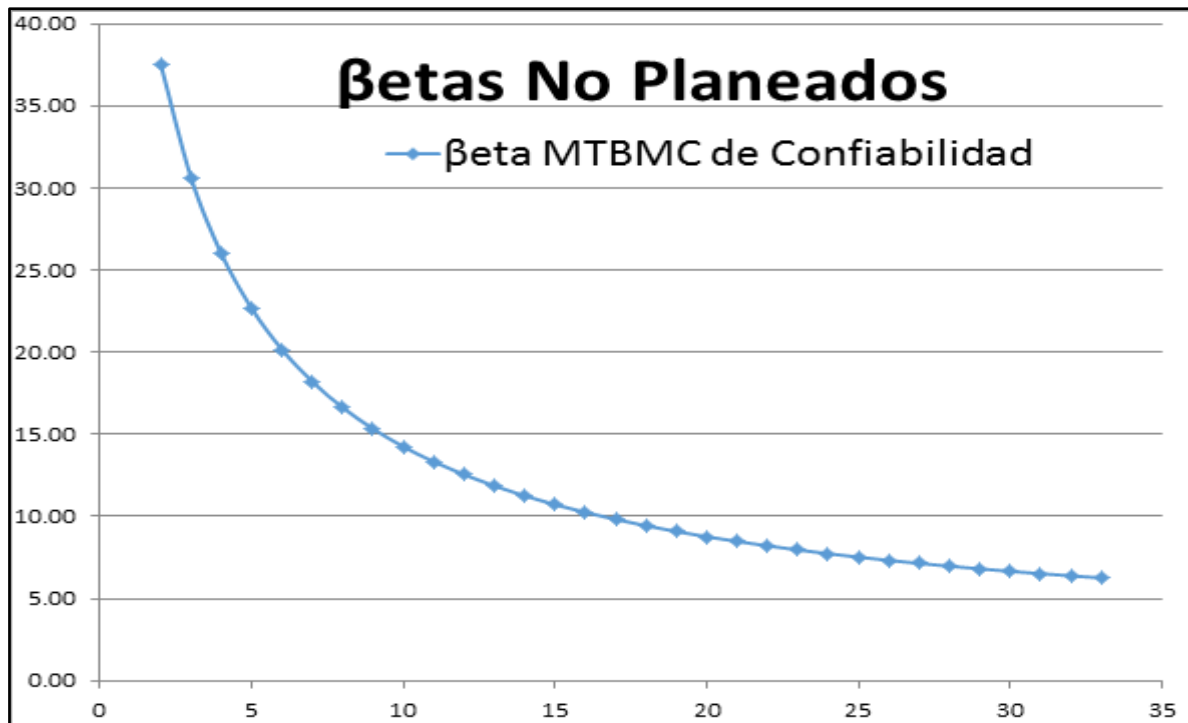
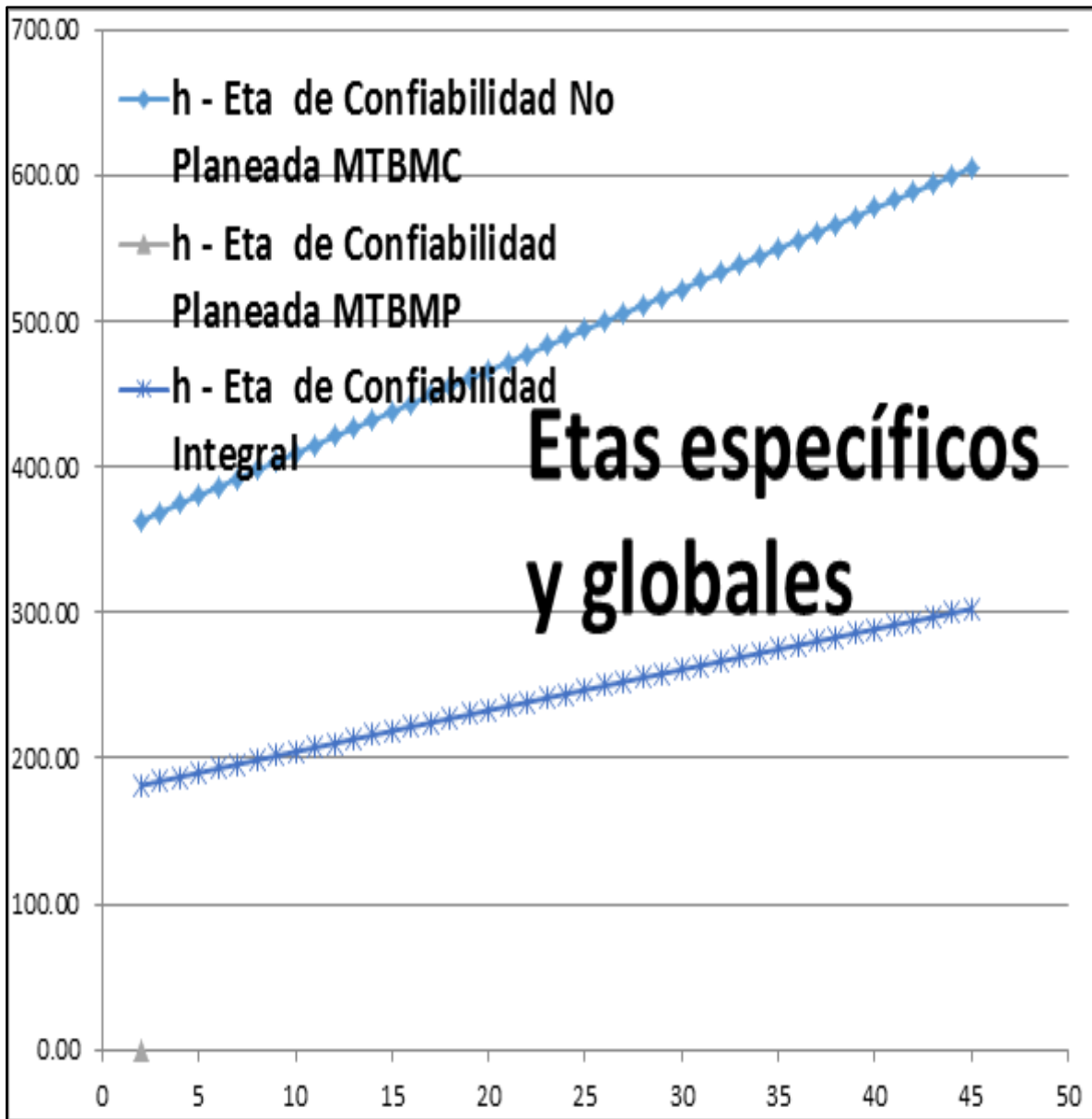


Ilustración 33 - Gráfica de Etas específicos y globales CMD++ sin frecuencia.



#### 4.3.4 Cálculos incandescentes CMD sin frecuencia

Ilustración 34 - Gráficas CMD sin frecuencia, en conjunto.

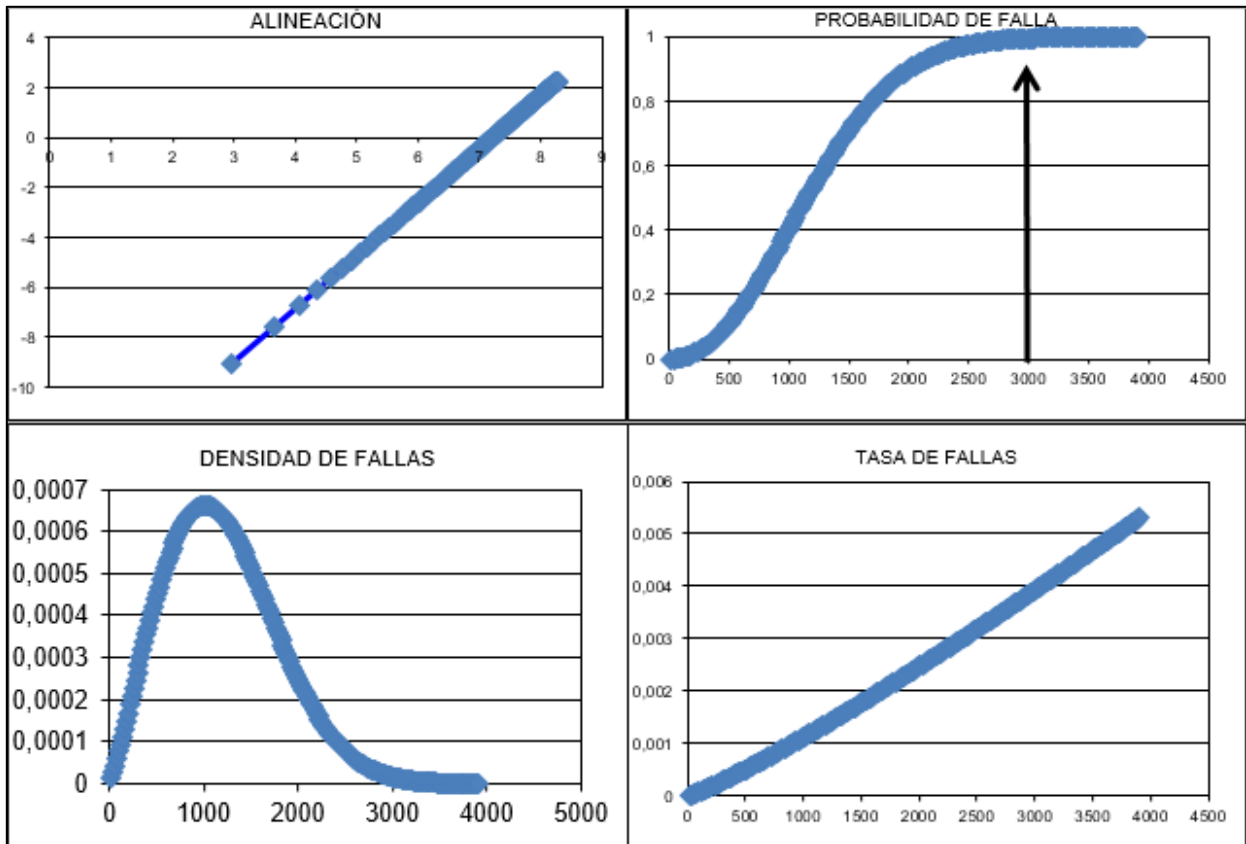
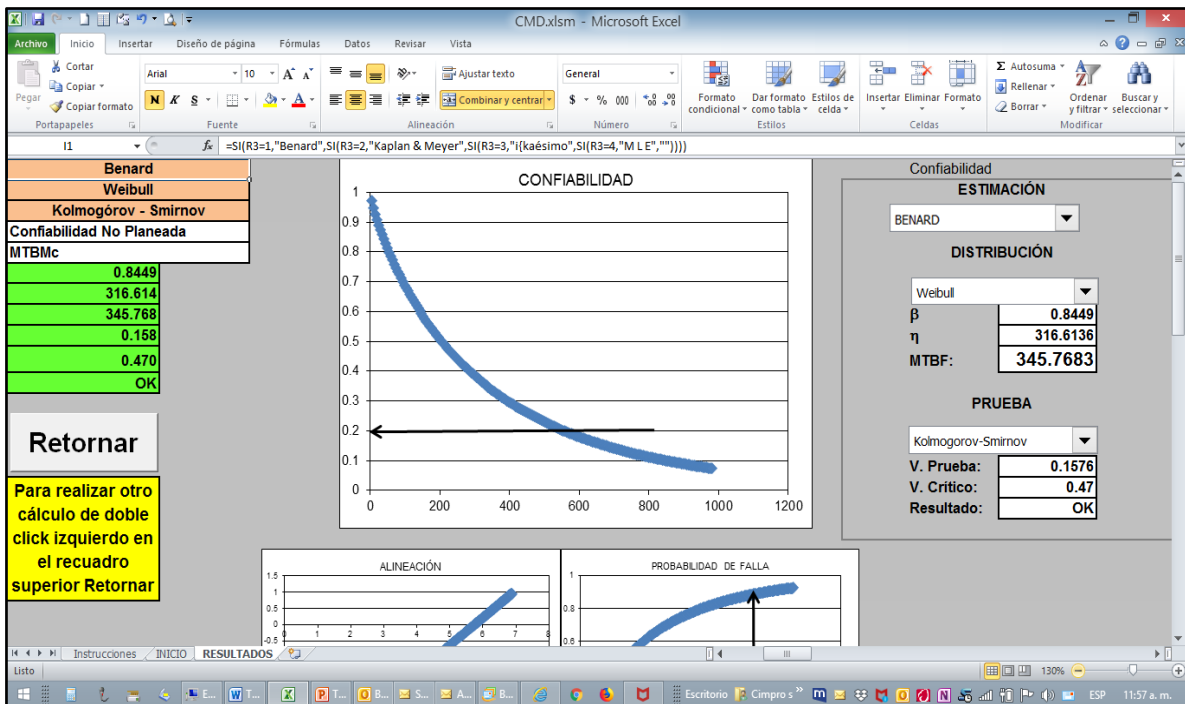
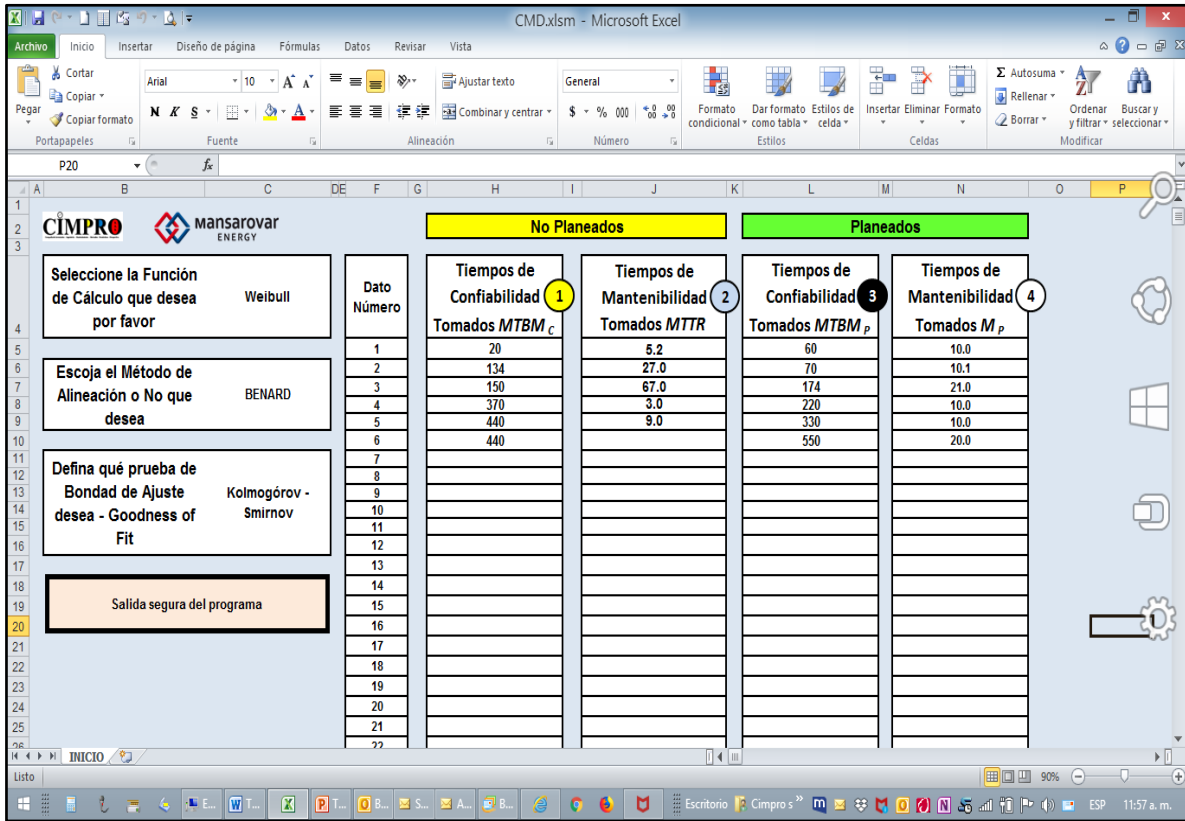


Ilustración 35 - Parámetros básicos en CMD sin frecuencia, en conjunto.

Confiabilidad	
<b>ESTIMACIÓN</b>	
BENARD	
<b>DISTRIBUCIÓN</b>	
Weibull	
$\beta$	2,1462
$\eta$	1358,0989
MTBF:	1202,7476
<b>PRUEBA</b>	
Kolmogorov-Smirnov	
V. Prueba:	0,0019
V. Crítico:	0,10
Resultado:	OK

# Ilustración 36 - Programa CMD



Fuente (Mora, 2013)

# Ilustración 37 - Programa CMD ++<sup>6</sup>

**Macro para Calcular CMD**

Introduzca los datos completos, recuerde que deben tener en fila la misma longitud, es decir la cantidad de datos de cada Variable debe ser igual, para que sean comparables. Seleccione la distribución, el método de alineación o no y la Bondad de Ajuste. Luego de doble click izquierdo en el macro del recuadro negro izquierdo

Salir de forma segura

Dato Número	No Planeados		Planeados	
	Tiempos de Confiabilidad Tomados $MTBM_C$	Tiempos de Mantenibilidad Tomados $MTRR$	Tiempos de Confiabilidad Tomados $MTBM_P$	Tiempos de Mantenibilidad Tomados $M_P$
1	349.6	0	0	0
2	349.60001	0.00001	0.00001	0.00001
3	349.60002	0.00002	0.00002	0.00002
4	349.6	0	0	0
5	349.6	0	0	0
6	349.6	0	0	0
7	349.60	0	0	0
8	349.60	0	0	0
9	349.60	0	0	0
10	349.60	0	0	0
11	349.60	0	0	0
12	349.60	0	0	0
13	349.60	0	0	0

Seleccione la Función se Cálculo que desea por favor: Weibull

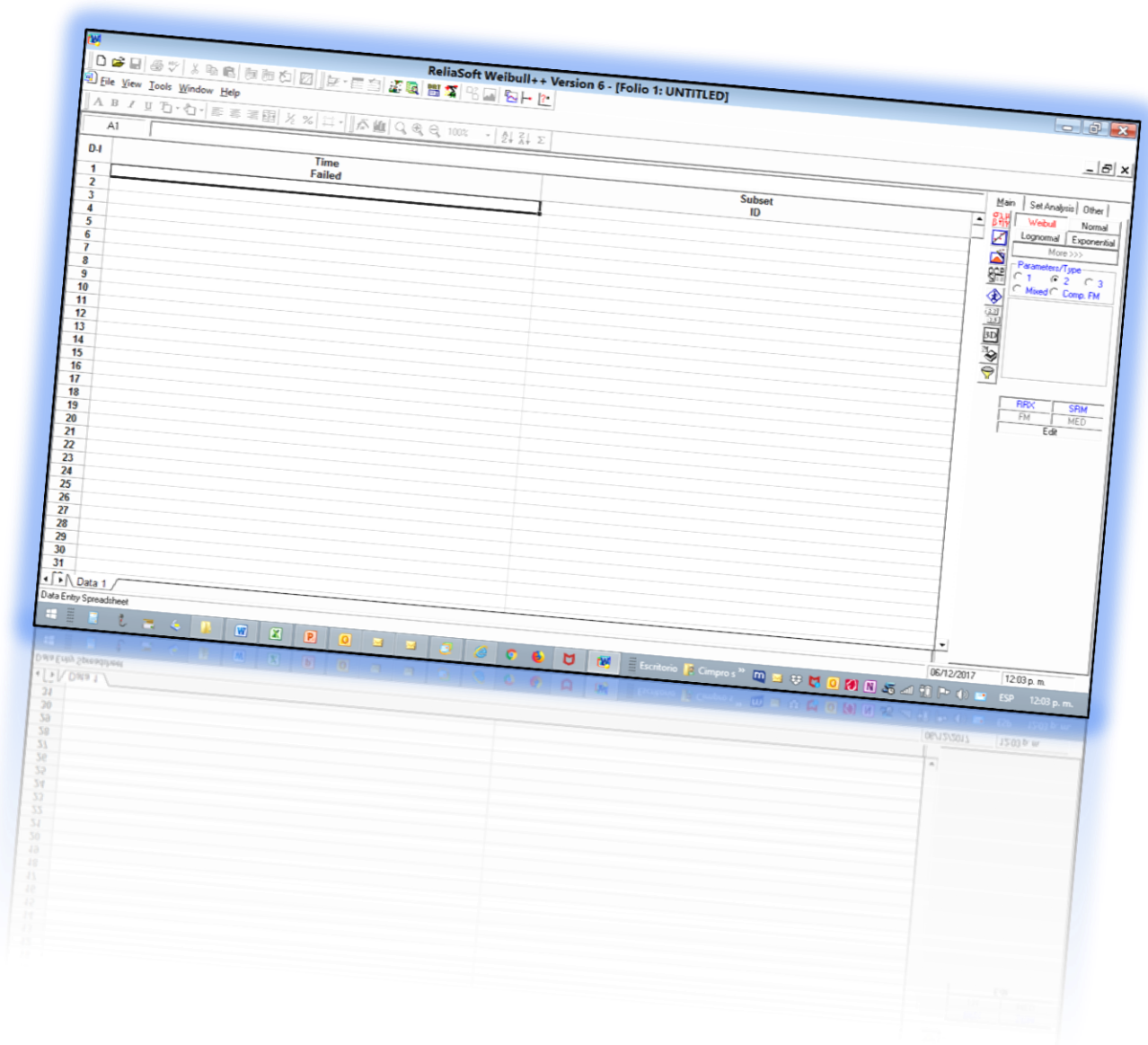
Escoja el Método de Alineación o No que desea: BENARD

Defina qué prueba de Bondad de Ajuste desea - Goodness of Fit: Kolmogórov - Smirnov

	beta $MTBM_C$ de Confiabilidad	$\eta$ - Eta de Confiabilidad No Planeada $MTBM_C$	beta $MTRR$ de Mantenibilidad	$\eta$ - Eta de Mantenibilidad No Planeada $MTRR$	beta $MTBM_P$ de Confiabilidad	$\eta$ - Eta de Confiabilidad Planeada $MTBM_P$	beta $M_P$ de Mantenibilidad	$\eta$ - Eta de Mantenibilidad Planeada
feb-14	0.37	53.99	4.54	3.15	1.99	347.29	1.23	3.30
mar-14	0.42	71.76	4.50	2.99	1.42	288.65	1.18	4.50
abr-14	0.46	90.75	1.29	5.21	1.48	251.81	1.39	4.40
may-14	0.44	172.16	0.92	8.49	1.36	314.54	1.57	4.40
jun-14	0.48	191.37	1.06	8.28	1.35	362.93	1.71	4.30
jul-14	0.51	187.56	0.58	19.72	1.36	401.42	1.84	4.30
ago-14	0.54	184.71	0.52	31.90	1.39	432.65	1.94	4.30
sep-14	0.57	182.42	0.50	44.77	1.41	458.40	2.04	4.20
oct-14	0.60	195.48	0.53	41.07	0.99	677.07	2.17	4.10
nov-14	0.63	205.49	0.51	31.86	1.02	627.41	1.40	5.50
dic-14	0.64	225.09	0.52	28.55	1.07	604.70	1.04	7.60
ene-15	0.67	230.89	0.53	25.77	1.11	577.81	1.07	7.40

<sup>6</sup> Los datos que muestran los programas CMD y CMD++ en las figuras no pertenecen a las bombillas, son meramente ilustrativos

Ilustración 38 - Software Weibull



#### 4.4 Cálculos LED's

Se presentan a continuación todos los cálculos de confiabilidad para las bombillas LED en los softwares mencionados, siguiendo todos los parámetros necesarios.

##### 4.4.1 Cálculos LED CMD++

De forma primaria se trabaja inicialmente con LED en esta parte.

Ilustración 39 - Análisis de CMD++ para 100 datos.

CMD++ - Excel

Paola Andrea Guzman Aristzabal

Inicio

Confiabilidad - No Planeada (Correctiva)

MTBM<sub>c</sub>

Dato Número	Función Distribución	Tiempo	βeta MTBM <sub>c</sub> de Confiabilidad	η - Eta de Confiabilidad No Planeada MTBM <sub>c</sub>	Alineación	Goodness of Fit	Cumple o no Bondad de Ajuste - Goodness of Fit	MTBM <sub>c</sub> Calculado	Tiempo Confiabilidad Calculado MTBM
0		257,60							
1		607,20							
2	Weibull	625,60	1,76	598,29	Benard	Kolmogórov - Smírnov	OK	532,7250906	532,7250906
3	Weibull	625,60	1,97	633,92	Benard	Kolmogórov - Smírnov	OK	561,9665647	561,9665647
4	Weibull	644,00	2,16	657,20	Benard	Kolmogórov - Smírnov	OK	582,0140995	582,0140995
5	Weibull	644,00	2,32	672,52	Benard	Kolmogórov - Smírnov	OK	595,0661203	595,0661203
6	Weibull	644,00	2,46	683,08	Benard	Kolmogórov - Smírnov	OK	605,8431047	605,8431047
7	Weibull	644,00	2,58	690,64	Benard	Kolmogórov - Smírnov	OK	613,3147207	613,3147207
8	Weibull	662,40	2,72	696,92	Benard	Kolmogórov - Smírnov	OK	619,9387626	619,9387626
9	Weibull	662,40	2,84	702,07	Benard	Kolmogórov - Smírnov	OK	625,5291111	625,5291111
10	Weibull	680,80	2,98	706,80	Benard	Kolmogórov - Smírnov	OK	630,9586123	630,9586123
11	Weibull	680,80	3,10	710,97	Benard	Kolmogórov - Smírnov	NO	635,7853136	635,7853136
12	Weibull	680,80	3,20	714,54	Benard	Kolmogórov - Smírnov	NO	640,0004043	640,0004043

13	Weibull	680,80	3,50	719,24	Benard	Kolmogórov - Smírnov	NO	640,0004043	640,0004043
14	Weibull	680,80	3,70	720,81	Benard	Kolmogórov - Smírnov	NO	632,1822126	632,1822126
15	Weibull	680,80	3,88	706,80	Benard	Kolmogórov - Smírnov	OK	630,9586123	630,9586123
16	Weibull	605,40	3,84	705,03	Benard	Kolmogórov - Smírnov	OK	632,2581111	632,2581111
17	Weibull	605,40	3,55	698,85	Benard	Kolmogórov - Smírnov	OK	618,8383838	618,8383838
18	Weibull	644,00	3,28	680,84	Benard	Kolmogórov - Smírnov	OK	612,3141301	612,3141301
19	Weibull	644,00	3,48	683,08	Benard	Kolmogórov - Smírnov	OK	602,8431041	602,8431041
20	Weibull	644,00	3,35	635,25	Benard	Kolmogórov - Smírnov	OK	282,8881383	282,8881383
21	Weibull	644,00	3,78	621,50	Benard	Kolmogórov - Smírnov	OK	285,0140992	285,0140992
22	Weibull	652,40	3,81	633,85	Benard	Kolmogórov - Smírnov	OK	281,8882841	281,8882841
23	Weibull	652,40	3,78	288,85	Benard	Kolmogórov - Smírnov	OK	235,3520808	235,3520808
24		601,50							
25		321,52							
26									
27									
28									
29									
30									
31									
32									
33									
34									
35									
36									
37									
38									
39									
40									
41									
42									
43									
44									
45									
46									
47									
48									
49									
50									
51									
52									
53									
54									
55									
56									
57									
58									
59									
60									
61									
62									
63									
64									
65									
66									
67									
68									
69									
70									
71									
72									
73									
74									
75									
76									
77									
78									
79									
80									
81									
82									
83									
84									
85									
86									
87									
88									
89									
90									
91									
92									
93									
94									
95									
96									
97									
98									
99									
100									

Ilustración 40 - Gráfico de  $\beta$  específico por confiabilidad.

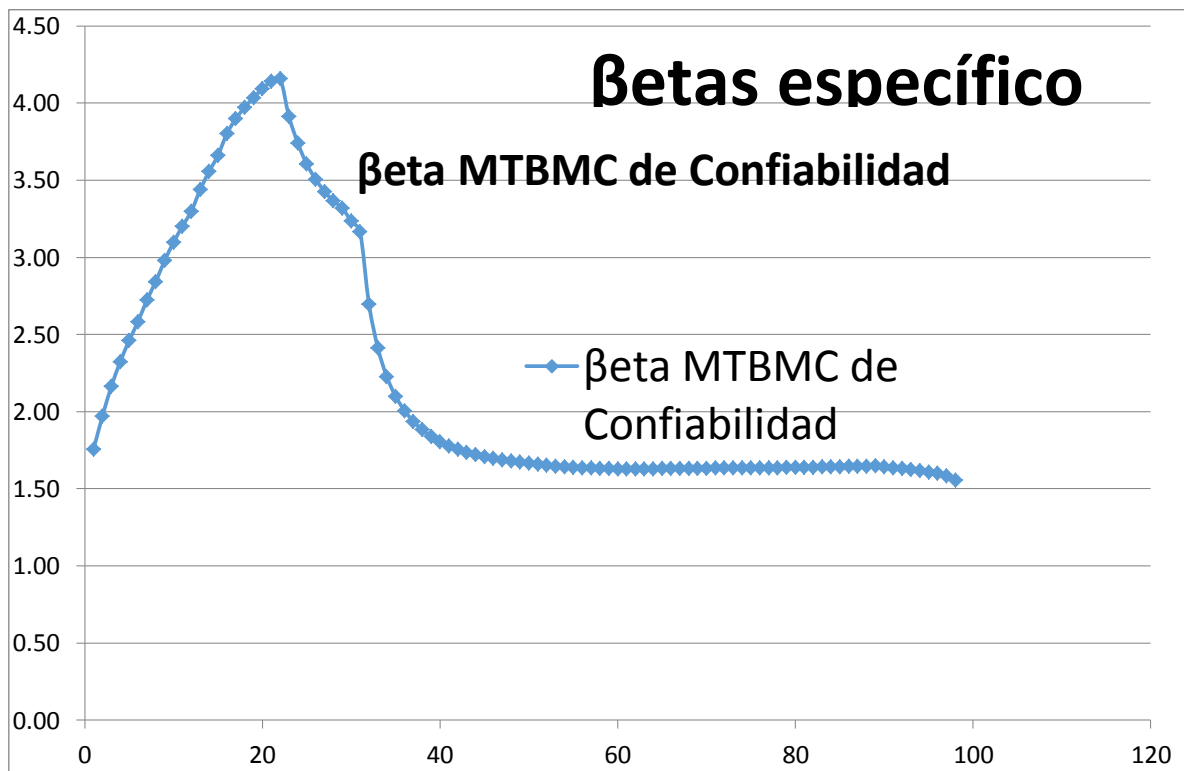


Ilustración 41 - Gráfico de  $\beta$  no planeado por confiabilidad

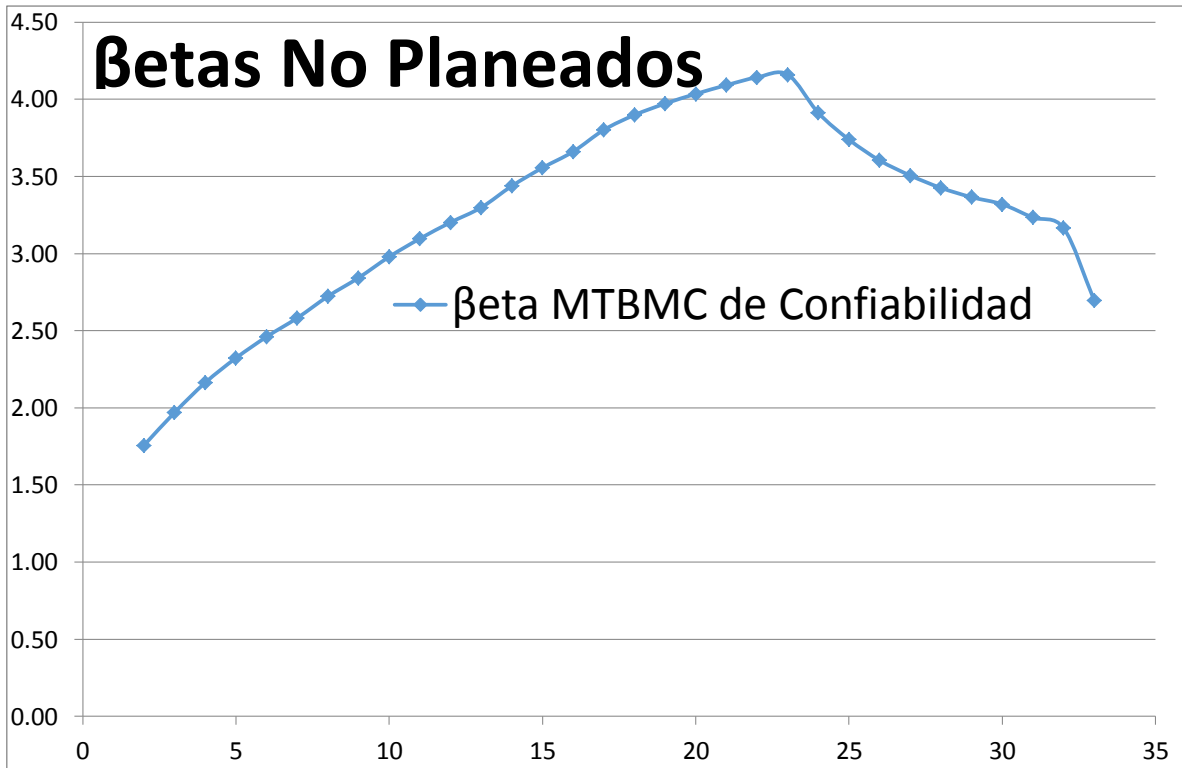
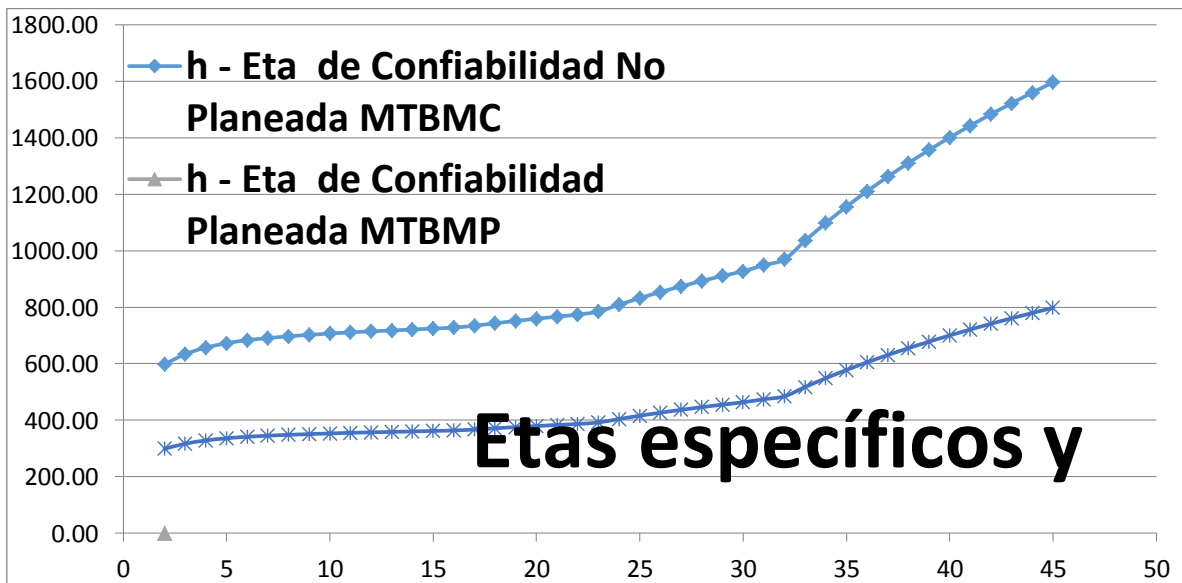


Ilustración 42 - Gráfico de Etas específicos y globales.



**4.4.2 Cálculos led CMD**

Ilustración 43 - Gráficas para 100 datos completos en CMD.

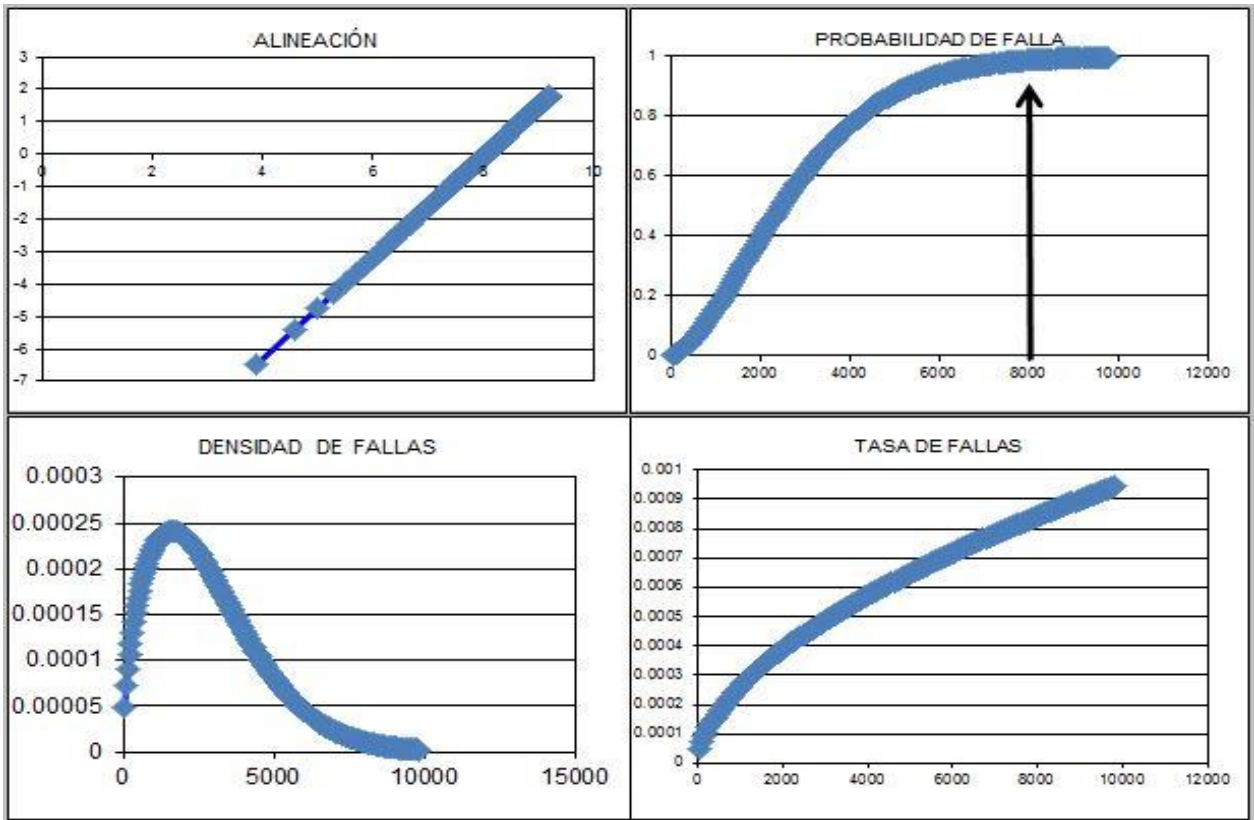


Ilustración 44 - Parámetros básicos completos con CMD.

## Confiabilidad

### ESTIMACIÓN

BENARD

### DISTRIBUCIÓN

Weibull

$\beta$

1.5564

$\eta$

3117.4374

MTBF:

2802.5831

### PRUEBA

Kolmogorov-Smirnov

V. Prueba:

0.0057

V. Crítico:

0.12

Resultado:

OK

#### 4.4.3 Cálculos LED CMD++ sin frecuencia

Ilustración 45 - Análisis de las bombillas LED sin frecuencias.

Confiabilidad - No Planeada (Correctiva)							
MTBM <sub>c</sub>							
Dato Número	Función Distribución	Tiempo	Beta MTBM <sub>c</sub> de Confiabilidad	$\eta$ - Eta de Confiabilidad No Planeada MTBM <sub>c</sub>	Alineación	Goodness of Fit	Cumple o no Bondad de Ajuste - Goodness of Fit
0		257.60					
1		607.20					
2	Weibull	625.60	1.76	598.29	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK
3	Weibull	644.00	1.98	637.99	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK
4	Weibull	662.40	2.17	664.45	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK
5	Weibull	680.80	2.34	684.21	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK
6	Weibull	717.60	2.51	702.22	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK
7	Weibull	809.60	2.66	726.33	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK
8	Weibull	846.40	2.77	750.39	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK
9	Weibull	864.80	2.86	772.12	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK
10	Weibull	938.40	2.92	796.99	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK
11	Weibull	1214.40	2.81	844.95	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK
12	Weibull	1232.80	2.74	887.76	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK
13	Weibull	1251.20	2.69	926.17	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK
14	Weibull	1416.80	2.62	971.93	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK
15	Weibull	2704.80	2.12	1101.62	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK
16	Weibull	2760.00	1.90	1217.34	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK
17	Weibull	2796.80	1.77	1322.58	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK
18	Weibull	2815.20	1.70	1418.96	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK

Ilustración 46 - Beta específico y global para LED sin frecuencia.

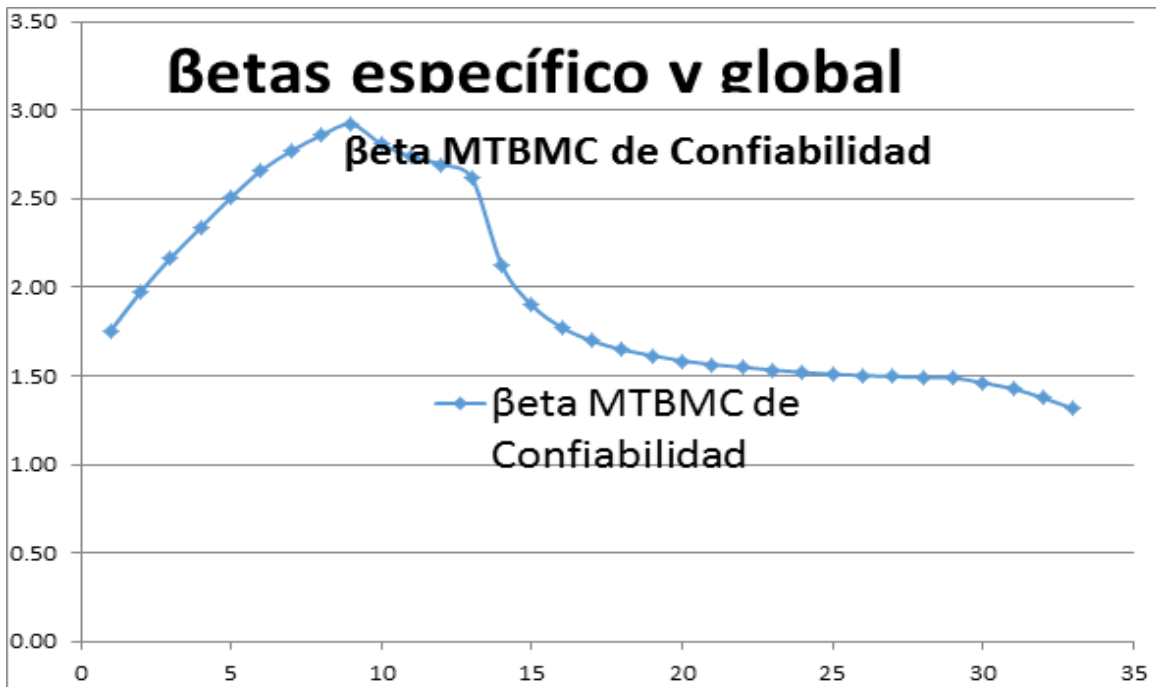
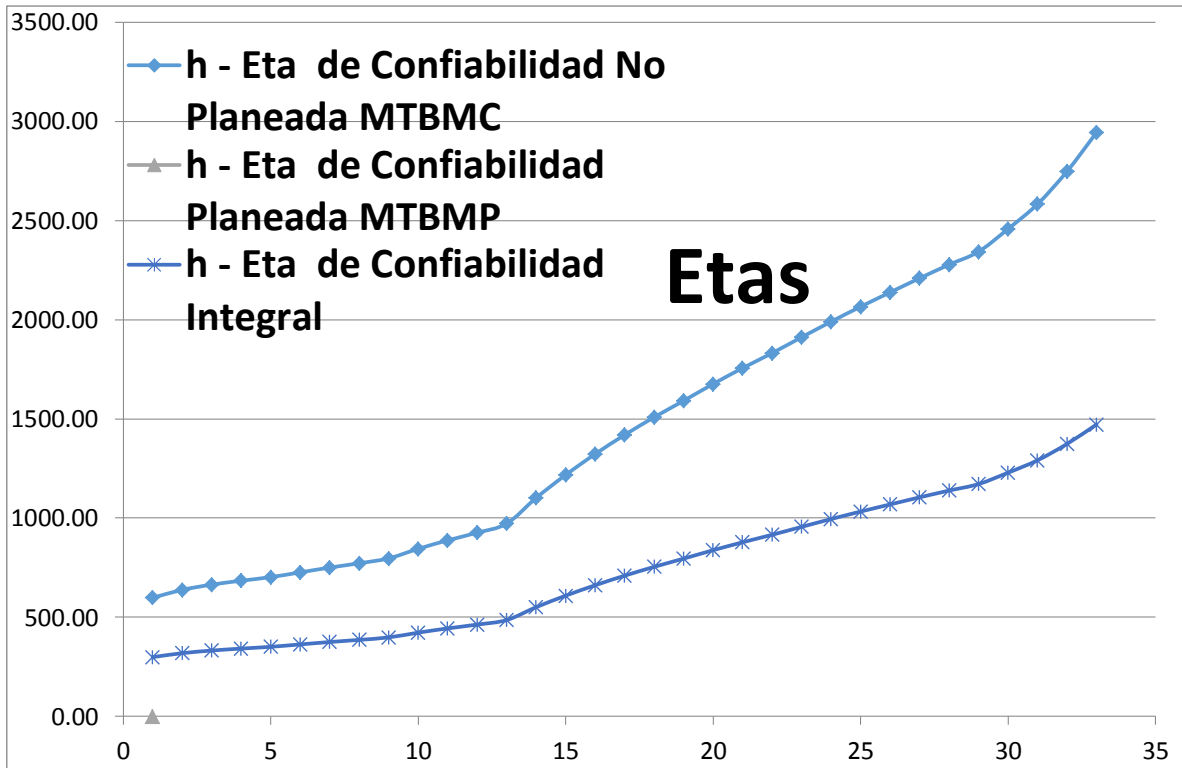


Ilustración 47 - Etas para LED sin frecuencia.



#### 4.4.4 Cálculos LED CMD sin frecuencia

Ilustración 48 - Gráficas para LED sin frecuencia, en conjunto.

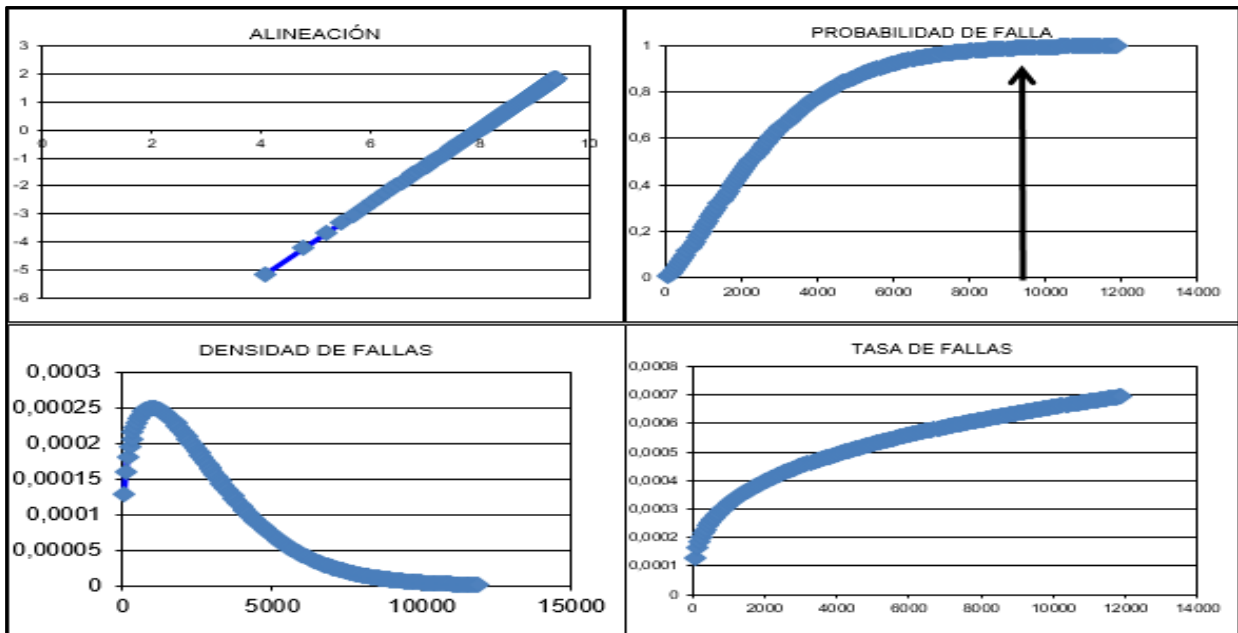


Ilustración 49 - Datos básicos CMD para LED sin frecuencia, en conjunto.

Confiabilidad

**ESTIMACIÓN**

BENARD

**DISTRIBUCIÓN**

Weibull

$\beta$	1.3158
$\eta$	2943.1789
MTBF:	2711.7647

**PRUEBA**

Kolmogorov-Smirnov

V. Prueba:	0.0151
V. Crítico:	0.21
Resultado:	OK

#### 4.5 Análisis de resultados y planes CMD

Esta última sección del proyecto presenta cálculos recientes de los bombillos tanto Incandescentes y LED's que fallan acordes a la teoría logrados mediante cálculos de confiabilidad y los software, en él se aportan datos suficientes para dichos cálculos, se lanza otra vez la hipótesis de que lo que viene es también de Fase III de envejecimiento en Weibull y en la Curva de Davies.

##### 4.5.1 Análisis

Los datos analizados, se determinaron teniendo en cuenta algunos parámetros iniciales tales como; tipo de estimación, tipo de distribución y prueba; escogidos de la siguiente manera, Benard, Weibull y Kolmogorov-Smirnov respectivamente.

Los parámetros escogidos cumplen los requerimientos para este tipo de datos, como se muestra en la ilustración pertinente.

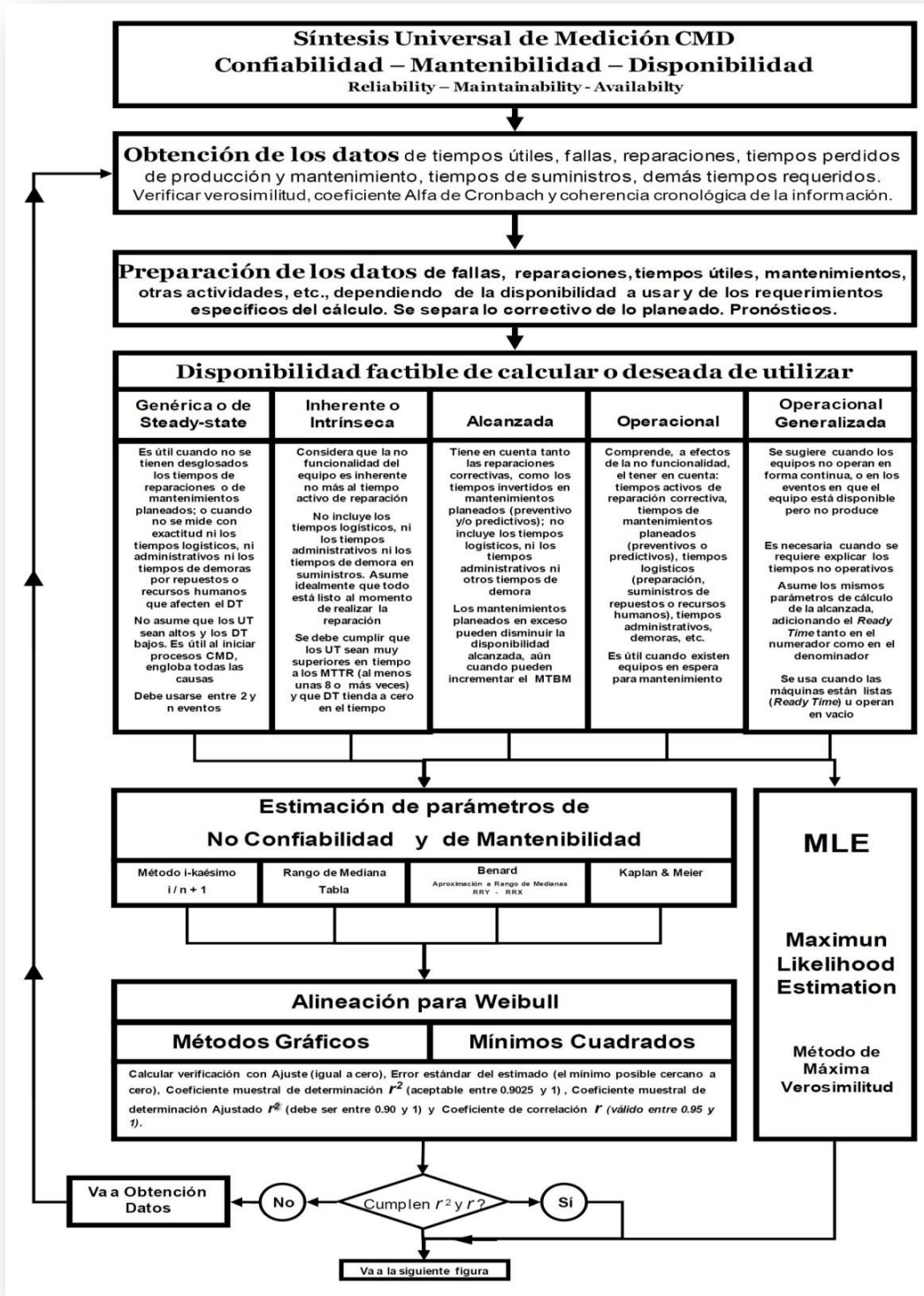
Ilustración 50 - Métodos de distribución para Confiabilidad y Mantenibilidad.

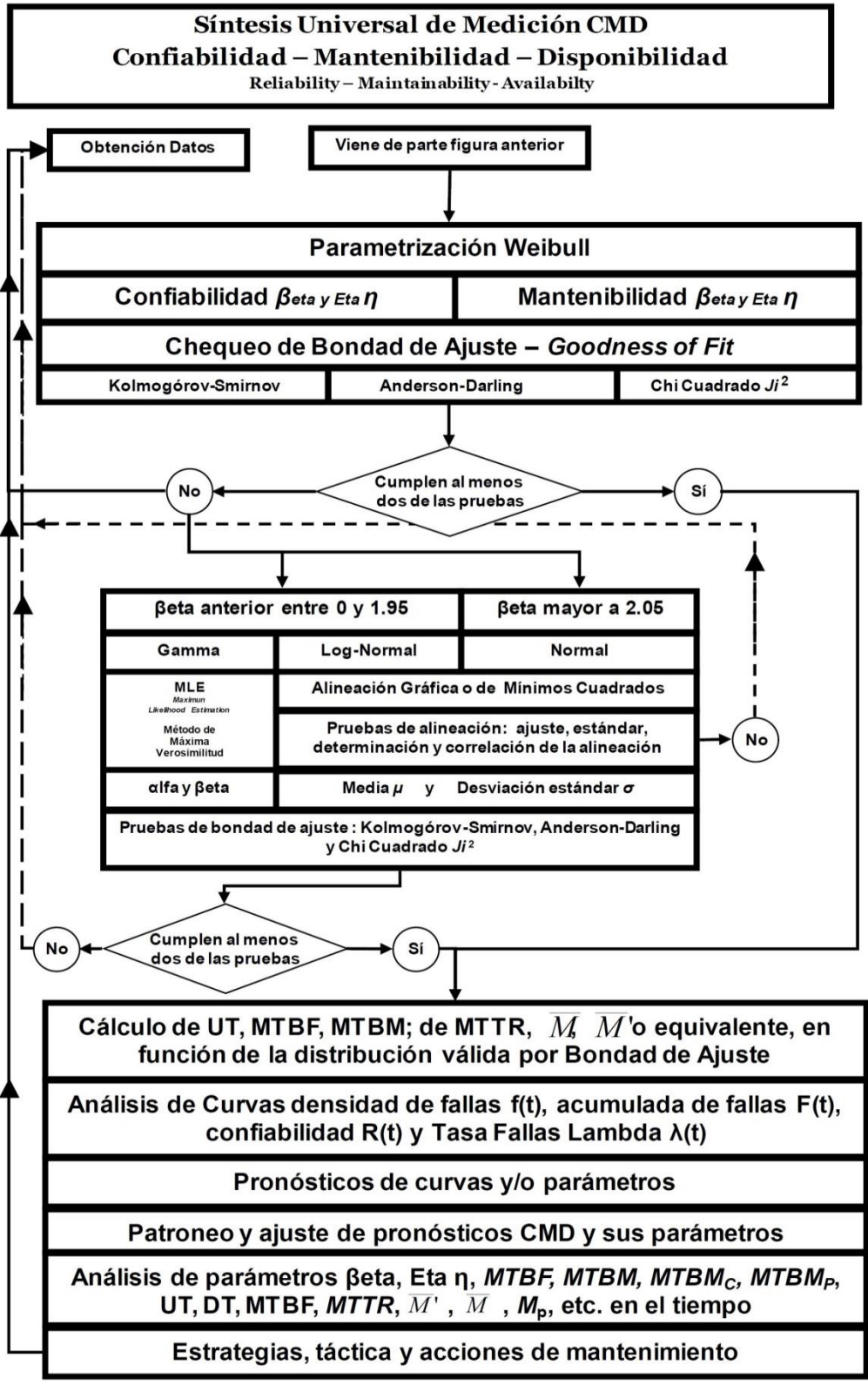
<i>Distribución</i>	<i>Criterios</i>
Normal	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Describe fenómenos de envejecimiento de equipos (Díaz, 1992).</li> <li>- Describe fenómenos de modelos de fatiga (Ebeling,2005)</li> <li>- Describe fenómenos naturales (Ramakumar, 1996).</li> <li>- Los componentes son 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 lleve 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 <i>stand-by</i> (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>\nu = 2a</math> (Leemis, 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>

Fuente (Mora, 2009).

Existen otros modelos como el HPP (modelo homogéneo de Poisson) y NHPP (método no homogéneo de Poisson), así como otras metodologías que se basan en el modelo universal de pronósticos y sus variantes (Mora, 2009).

Ilustración 51 - Modelo para cálculos y predicciones CMD.





Fuente (Mora, 2009).

En este modelo se propone una preparación de la información sobre las intervenciones realizadas (tiempos útiles), tanto en LED como en Incandescentes, para los cálculos se toman los valores TTF que es el tiempo que toma a la falla cada bombilla LED o incandescente (Knezevic, 1996) (Improvingt Equipment Reliability at Plant Efficiency through PM Optimisation at Kewaunee Nuclear power Plant, 1995) (Knezevic, 2010) (Torres, y otros, 2014).

El software CMD++ y el CMD, se diferencian principalmente por que el CMD++ analiza dato por dato, tomando en cuenta el anterior y así sucesivamente, es decir, cuando calcula el dato 100, toma en cuenta el dato 99, siendo así, que el dato 99 tomó en cuenta el 98 y así en más. Mientras que el software CMD, analiza todos los datos como un conjunto completo sin tener iteraciones de datos anteriores. Aun así, ambos Software entregan datos casi idénticos, por ende, se puede confiar en cualquiera de los dos.

Ahora bien, al analizar los datos se observa primeramente con el  $\beta$ eta y eta de las bombillas incandescentes con frecuencia. Dichos datos son: 2.0936 para Beta en Weibull y 861.8498 para Eta como se puede ver en la Ilustración 29.

Los datos para los incandescentes sin frecuencia son: 2.1462 para  $\beta$ eta Weibull y 1358.0989 para Eta, como se puede ver en la Ilustración 35.

Los LED con frecuencia entregan valores diferentes como estos: 1.5564 para  $\beta$ eta Weibull y 3117.4374 para Eta, como se ve en la Ilustración 44.

Asimismo, los LED sin frecuencia: 1.3158 para Beta Weibull y 2943.1789 para Eta, ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Los datos en análisis de incandescentes muestran una tendencia al alza en cuestión de vida útil, corroborando la principal hipótesis del proyecto, la cual se basa en que las bombillas han de fallar cuando se encuentran en la Fase III, zona III de la curva de Davies, ya que su Beta alcanza a superar el valor de 2.0, el cual nos indica la zona probable de falla.

Por el contrario, los datos de LED's nos muestran algo diferente, ambos análisis resultan con valor de Beta menor a 2.0, lo cual demuestra que no se encuentran fallando en la Fase III, Zona III de la Curva de Davies, por el contrario, fallan en la Zona II de la curva, es decir en la fase de rodaje o vida útil. (por favor ver Ilustración 4).

Los datos se concluyen en el Capítulo 0 (

conclusiones de rigor).

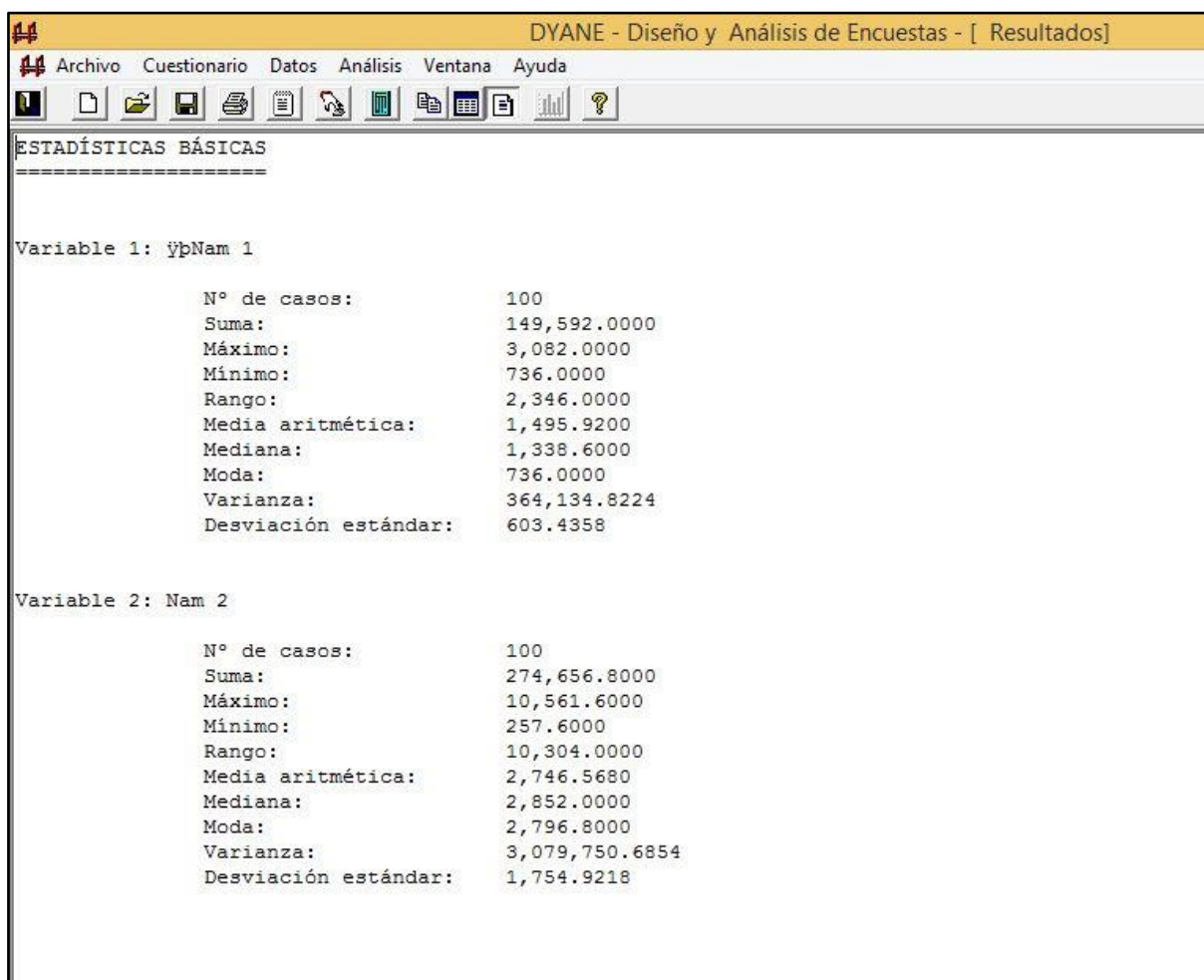
## 4.6 Comparación de tipos de bombillas según sus costos y su vida útil determinada

En los siguientes párrafos se describen las principales ideas al respecto.

### 4.6.1 Estadística básica

Se realizan pruebas de estadística básica para obtener algunas variables útiles de medida, tales como media, mediana, moda, varianza, rango, entre otros. Los resultados están en la Ilustración 44, para los dos conjuntos de datos a analizar.

Ilustración 52 - Estadística básica para los 100 datos.



The screenshot shows the 'DYANE - Diseño y Análisis de Encuestas - [ Resultados]' window. The menu bar includes 'Archivo', 'Cuestionario', 'Datos', 'Análisis', 'Ventana', and 'Ayuda'. The toolbar contains icons for file operations and analysis. The main window displays 'ESTADÍSTICAS BÁSICAS' for two variables.

Variable	Nº de casos	Suma	Máximo	Mínimo	Rango	Media aritmética	Mediana	Moda	Varianza	Desviación estándar
Variable 1: ypNam 1	100	149,592.0000	3,082.0000	736.0000	2,346.0000	1,495.9200	1,338.6000	736.0000	364,134.8224	603.4358
Variable 2: Nam 2	100	274,656.8000	10,561.6000	257.6000	10,304.0000	2,746.5680	2,852.0000	2,796.8000	3,079,750.6854	1,754.9218

Gracias a los datos anteriores se pueden tomar algunos datos importantes como la media aritmética de ambos tipos de bombillas.

Para las incandescentes se alcanza a denotar una vida útil media de 1495.2 horas encendidas, mientras que para las LED es una vida útil media de 2746.6 horas encendidas.

La depreciación luminosa que experimenta una luminaria LED, se utiliza como referencia la depreciación de un módulo de LED's, si bien el módulo compone toda la luminaria su comportamiento es distinto en un ambiente cerrado, con controles ambientales, disipadores de calor, etc. Por ende, entrega valores diferentes. En las normas se indica un método para caracterizar la curva de reducción de un flujo luminoso de un módulo de LED en función del tiempo de uso y un valor característico. En las normas analizadas se denota que no se debe sobrepasar el decrecimiento al 70% ya que su módulo de LED's perdería las propiedades completas de luminiscencia (Eficiencia y mantenimiento de luminarias led en alumbrado público, 2017).

La teoría anterior es llamada la teoría del 70% para la cual se necesita de unos elementos técnicos y tecnológicos para poder medir con precisión el desgaste o el decrecimiento de la luminiscencia. En el proyecto se utiliza un Luxómetro PANLUX ELECTRONIC LUXMETER (Panlux electronic, 1974).

Si bien la cita anterior se refiere al alumbrado público se recomienda lo mismo para la luminaria vehicular.

Indudablemente se ha demostrado en los análisis presentados, que la media de vida útil de las bombillas LED es bastante superior a la media de vida útil de las incandescentes, casi en 2 veces, pero al observar los costos y a las premisas encontradas se puede observar lo siguiente.

Ecuación 7 - Fórmula para costo por hora de las bombillas.

$$\frac{\$}{hora} = \frac{\text{costo por unidad}(COP)}{\text{media de vida útil}(horas)}$$

Para Incandescentes;

$$\begin{aligned} \frac{\$ (inc)}{hora} &= \frac{2500\$}{1495.2h} \\ \frac{\$ (inc)}{hora} &= 1.67 \$/h \end{aligned}$$

Para LED

$$\begin{aligned} \frac{\$ (LED)}{hora} &= \frac{5302\$}{2746.6h} \\ \frac{\$ (LED)}{hora} &= 1.93 \$/h \end{aligned}$$

#### **4.7 Conclusiones del capítulo**

Gracias a la teoría del 70% se puede concluir que no es tan sencillo ni práctico tener luminaria LED en los vehículos, ya que, para el usuario del mismo, sería casi imposible estar midiendo el decrecimiento de la luminaria, ya que necesitaría un elemento externo para medir dicha variable.

Asimismo, se puede concluir que es más costoso en términos de Costo por hora encendido, los bombillos LED.

## **5 CONCLUSIONES DE RIGOR**

### **5.1 Objetivo**

Presentar las diferentes conclusiones obtenidas para el proyecto Re validación de Bombillas LED y de Incandescencia.

### **5.2 Desarrollo**

El proyecto fue desarrollado bajo la tutoría y acompañamiento del Profesor PhD. MSc. Ing. Luis Alberto Mora Gutiérrez, director de la especialización en Mantenimiento industrial y profesor de planta de la Universidad EAFIT.

Luego de analizar todos los datos obtenidos en el proyecto, se puede concluir lo siguiente:

#### **5.2.1 Uno**

La vida útil encontrada en las bombillas Incandescentes es bastante coherente con la teoría básica de mantenimiento, en referencia a que son elementos cuya vida útil se extiende a la Zona III Fase III de la curva de Davies, son elementos en los cuales las fallas son aleatorias y no tienen aviso alguno, ya que por su forma o su atributo, no poseen un clásico sistema CMD, de esta forma la teoría de Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad, se reduce única y exclusivamente a Confiabilidad y Disponibilidad.

#### **5.2.2 Dos**

De lo anterior, se esperaba obtener un valor de Beta más alto, indicando así, que fueran elementos que fallaran por vejez o por alcanzar un máximo de vida útil. Este resultado se puede deber a varios factores tales como: el hecho de que las bombillas durante sus pruebas son sometidas a fatiga por estar encendiendo y apagando, puede generar una aceleración en las fallas o en la pérdida de funcionalidad, por ende, no alcanzarían a fallar por naturaleza.

Otro de los factores puede ser producido por fallas en el banco durante el periodo de toma de datos, es decir, caídas de tensión en la corriente eléctrica introducida, recalentamiento de algunas partes influyentes, desgaste en materiales de composición del banco. Todo esto puede afectar en la vida útil de las bombillas.

Asimismo, se debe tener en cuenta que un factor importante en los resultados es la toma de datos óptimos y confiables, es decir, pueden ser datos alterados por personas que manipulen el banco sin ningún tipo de autorización.

### **5.2.3 Tres**

Las bombillas LED, mostraron tener una vida útil más baja que las incandescentes, es decir, no fallan por vejez, sino por desgaste prematuro en sus componentes. Esto se puede deber a los factores comentados anteriormente, ya que las LED están en el mismo banco que las bombillas incandescentes.

Otro de los factores que puede afectar a las LED es que los módulos de LED inmersos en las bombillas no tengan la capacidad de resistir una vida útil determinada o según la teoría y, por el contrario, fallen antes de lo esperado. Es decir, se podría decir que son bombillas de muerte rápida, aunque su vida útil sea lo bastante amplia.

### **5.2.4 Cuatro**

El costo de las bombillas por su vida útil, indica que la decisión más acertada es tomar las bombillas incandescentes, dado que su costo es menor para la cantidad de horas que duran con respecto a las LED.

El hecho de tener en cuenta comprar incandescentes antes que LED también se ve reflejado no solo en el costo sino también en el hecho de que para las bombillas LED se ha de ser necesario tener un dispositivo que mida la luminiscencia de ellas, ya que son elementos que deben ser sustituidos en cuanto decrezca en más del 30% su luminiscencia. Mientras que para las incandescentes es hacer la reposición de la bombilla en cuanto muere o falla.

### **5.2.5 Cinco**

Ahora bien, teniendo en cuenta la conclusión anterior de que es mejor utilizar las bombillas incandescentes por X o Y motivo, asimismo se debe considerar en el impacto medioambiental que generan ambas bombillas, tanto en sus procesos de producción como en el transcurso de su vida y en la posterior disposición de los elementos.

El impacto medioambiental de las bombillas incandescentes es considerablemente grande ya que la producción de los vidrios protectores, los filamentos conductores y los demás materiales que se contienen, asimismo, el hecho de ser luz generada por calor, emite unos gases los cuales conllevan impactos fuertes en el medioambiente. También el hecho de su disposición final, es más complicado hacer un buen uso de ellos luego de su falla.

Por otro lado, las bombillas LED tienen una ventaja sobre las incandescentes y es que son elementos de mejor proceso productivo, con menor impacto, también tienen la ventaja de que no generan gases en su vida productiva y la disposición final no es tan compleja.

### 5.2.6 Seis

Al aplicar la teoría de confiabilidad en empresas es necesario tener en cuenta que, es importante que una misma división de una compañía realice el manejo integral de mantenimientos correctivos, preventivos y predictivos, de tal forma que se armonicen dichos trabajos, ya unos enluten en los otros, es decir de esta forma se integran mejor los recursos y se puede realizar una labor más trazable en el proyecto de sostener el mantenimiento de la unidad generadora. Asimismo, la inminente necesidad de crear un Grupo que se dedique a estudiar los análisis de casusa raíz en los problemas correctivos con el fin de que se eliminen o se controlen definitivamente, de tal forma que no vuelvan a suceder.

Se requiere de forma urgente que se cambien o se transformen los mantenimientos preventivos en predictivos, todo con el ánimo de aumentar los valores del Beta a valores siquiera superiores de 3.44, con el fin de poder consolidar la Ingeniería de Fábricas con tácticas robustas como RCM y/o TPM.

Por último y con el ánimo de consolidar los valores de los Betas hacia valores más altos se debe intensificar en cantidad y calidad las tareas predictivas, de tal forma que se garantice la máxima disponibilidad de herramientas avanzadas en este tópico, lo que permitiría el mantenimiento y reducir costes a largo plazo.

En las circunstancias actuales, en el contexto desarrollado la hipótesis de envejecimiento no se cumple en su totalidad en ninguna de las bombillas, no fallan por viejas.

## BIBLIOGRAFÍA

**AMEF@. 2005.** Análisis de Fallas. *GestioPolis*. [En línea] Libre, 2005. <http://www.gestipolis.com/recursos/documentos/fulldocs/ger/amef.htm>.

**Asociación Española para la Calidad. 2017.** AEC. [En línea] 15 de 10 de 2017. [Citado el: 15 de 10 de 2017.] <https://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/mantenibilidad>.

**Ávila, Rubén - Espinosa. 1992.** *Fundamentos del mantenimiento - Guías Económicas, Técnicas y Administrativas*. Primera reimpresión. Cd. de México : Limusa Grupo Noriega Editores PRIMERA REIMPRESIÓN, 1992. ISBN 968-18-2528-4.

**Bajaria, H. J. 1983.** *Integration of Reliability, Maintainability and Quality Parameters in Design of Heavy Duty Vehicles (L. Ray Buckendale lecture) - Society of Automotives Engineers, Inc.* Palo Alto : Warrendale, 1983. ISBN: 0898833043.

**Barlow, Richard E. 1998.** *Engineering Reliability*. s.l. : Editorial Board SIAM, 1998. pág. 199. ISBN: 0898714052..

**Barlow, Richard E y Proschan, Frank. 1996.** *Mathematical Theory of Reliability*. New York : John Wiley & Sons, Inc, 1996. ISBN 0898713692.

**Cárcel Carrasco, J. 2014.** *Planteamiento de un modelo de mantenimiento industrial basado en técnicas de gestión del conocimiento*. Valencia : OmniaSience, 2014. pág. 322. 978-84-941872-8-5.

*Coefficient alpha and the internal structure of test.* **Cronbach, Lee J. 1951.** Estados Unidos : s.n., 1951. 0033-3123.

**Devore, Jay - L. 2008.** *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. Séptima. Ciudad de México : Cengage Learning Editores, S.A., 2008. págs. 144-154. Vol. 1. 978-970-686-831-2.

*Eficiencia y mantenimiento de luminarias led en alumbrado público.* **Mazano, Eduardo. 2017.** Tucumán : ILAV, Junio de 2017, ILAV-CONICET, pág. 9.

**El Universal. 2010.** Agua. [ed.] El Universal. *El Universal*. 1 de septiembre, 1 de Septiembre de 2010.

**Emerson Process Management. 2002.** Emerson process. [En línea] 10 de 2002. [http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Central%20Web%20Documents/BusSch-OEE\\_102es.pdf](http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Central%20Web%20Documents/BusSch-OEE_102es.pdf).

**Espinosa, F. y CEA, R. 2004.** *Diseño de un Programa Computacional para Evaluar la Gestión de Mantenimiento Basado en la Seguridad de Funcionamiento*. Talca : Inf Tecnol, 2004. págs. 71,78. Vol. 6.

**ESReDa. 2001.** *ESReDa Handook on Maintenance management*. [ed.] Reliability & Data ESReDa - European Safety. Primera de 2001. Hevik - Norway : DET NORSKE VERITAS - ESReDa, 2001. pág. 255. Vol. Uno, Idioma Español. ISBN: 82-515-02705.

**ESReDa-Industrial. 1998.** *Industrial Application of Strutural Realibility Theory*. [ed.] P. Thoft-Christensen - Det Norske Veritas DNV. ESReDa - European Safety, reliability and Data. Hovik : ESReDa Working Group Report, 1998. pág. 283. Vol. ESReDa Safety Series No. 2. ISBN: 82-515-0233-0.

**Evans, D. W. 1975.** *Terotechnology - How can it work*. 1975.

**Fitch@, Jim. 2002.** Proactive Maintenance's Unruly Cousin - Machinery Lubrication Magazine. [En línea] 2002. [http://www.machinerylubrication.com/article\\_detail.asp?articleid=335&relatedbookgroup=ContaminationControl](http://www.machinerylubrication.com/article_detail.asp?articleid=335&relatedbookgroup=ContaminationControl).

**González, Francisco Javier - Fernández. 2004.** *Auditoría del mantenimiento e indicadores de gestión*. [ed.] S.A. ARTEGRAF. Primera. Madrid : Fundación CONFEMETAL, 2004. pág. 260. ISBN: 84-96169-36-7.

**Hecht, Myron y Jady, Handal. 2001.** *An Analytical Model for Predicting The Impact of Maintenance Resource Allocation on National Airspace System Availability*. [ed.] IEEE Explore. Philadelphia : IEEE Explore, 2001. págs. 46 - 52. Vol. 1. 0-7803-6615-8.

**Idhammar, Christer. 1997a.** *Maintenance management: moving from reactive to results-oriented – Journal Review Pima's Papermaker*. Julio. 1997a. C. Idhammar es el Presidente de IDCON, Raleigh, NC. ISBN: 02018-00038 –.

—. **1997b.** *Results Oriented Maintenance™ Management Book*. 1997b.

**Idhammar@, Torbjorn. 1999.** - A New Preventive Maintenance Implementation and Training Concept -. [En línea] Libre, 1999. [Citado el: 20 de Octubre de 2000.] [http://maintenanceworld.com/Articles/reliability\\_jump\\_start.htm](http://maintenanceworld.com/Articles/reliability_jump_start.htm).

*Improvingt Equipment Reliability at Plant Efficiency through PM Optimisation at Kewaunee Nuclear power Plant.* **Johnson, L. P. 1995.** [ed.] The Society for Maintenance & Reliability Professionals (SMRP) -. Chicago - Illinois - Estados Unidos de América : s.n., Octubre de 1995, SMRP 3rd Annual Conference.

**Jones, Richard. 1995.** *Risk Based Management: A realibility – Centered Approach* - Gulf Publishing Company. Houston : Gulf Professional Publishing, 1995. pág. 282. ISBN-10 0884157857, ISBN-13 978-0884157854 .

**Kececioglu, Dimitri. 1995.** *Maintainability, Availability and Operational Readiness Engineering.* [ed.] DEStech Publications. Upper Saddle River : Prentice Hall PTR, 1995. pág. 782. Vol. 1. 0135736277.

—. **1995.** *Maintainability, Availability, & Operational Readiness Engineering.* New Jersey City : Editorial Prentice-Hall Professional Technical, 1995. ISBN: 0135736277.

**Knezevic, Jezdimir. 1996.** *Mantenibilidad.* Madrid : Editorial ISDEFE, 1996. ISBN: 84-89338-08-6.

**Knezevic, Otro - Lorenz. 2010.** *Weibull avanzado.* Varsovia : s.n., 2010.

**Matalobos, Ángel Díaz. 1992.** *Confiabilidad en mantenimiento.* Caracas : Ediciones IESA, 1992. ISBN 9802710682.

**Mestre, Miguel Santesmases. 2009.** *DYANE, diseño y análisis de encuestas en investigación social y de mercados.* Madrid : Ediciones pirámide, 2009. pág. 271. Vol. 4. 978-84-368-2296-0.

**Ministerio de Transporte, república de Colombia. 2012.** Alcaldía de Bogotá. *Alcaldía de Bogotá.* [En línea] 07 de 08 de 2012. [Citado el: 13 de 03 de 2017.] <http://www.alcaldiabogota.gov.co>. 44893.

**Mora, Alberto - Gutiérrez. 2009.** *Mantenimiento Estratégico Empresarial.* Primera. Medellín : Fondo Editorial FONEFIT, 2009. pág. 345. Vol. 1. ISBN 978-958-8281-46-9.

—. **2009.** *Mantenimiento Industrial Efectivo.* 1. Medellín : Coldi Limitada, 2009. págs. 148-298. 978-958-98902-0-2.

**Mora, Luis Alberto - Gutierrez. 2013.** *Mantenimiento Industrial Efectivo.* 2. Envigado : Coldi Ltda, 2013. págs. 148-395. 978-958-98902-0-2.

**Moubray, John. 1997.** *Reliability-centered Maintenance.* 2. Gran Bretaña : Industrial Press Inc., 1997. pág. 440p. Vol. 1. 0-8311-3078-4.

**Oscaro. 2016.** Oscaro recambios de coche. [En línea] 2016. <https://consejos.oscaro.es/cambiar-bombilla-automovil.html> .

**Panlux electronic. 1974.** *PANLUX electronic luxmeter operating instructions*. 04 de 1974.

*RCM and TPM complementary rather than conflicting techniques.* **Geraghty, Tony. 1996.** 2390242, USA : Metallurgia : the British journal of metals., 06 de 1996, Metallurgia Journal, Vol. 63, pág. 231. ISSN 0141-8602.

**Ruiz Bolivar, Carlos. 2010.** *Fiabilidad y validez*. 2010. 0214-7823.

**Santesmases, Miguel. 2003.** *DYANE 2 Diseño y análisis de encuestas en investigación social y de mercados*. [ed.] Grupo editorial Anaya. Madrid : Ediciones Pirámide, 2003. 84-368-1557-2.

**Torres, Mariela y Paz, Kim. 2014.** Universidad Rafael Landivar. [En línea] 20 de 09 de 2014. [Citado el: 20 de 09 de 2014.] [http://www.tec.url.edu.gt/boletin/URL\\_02\\_BAS02.pdf](http://www.tec.url.edu.gt/boletin/URL_02_BAS02.pdf).

**Vallejo, Christian - David. 2016.** Repositorio UTP. [En línea] 12 de 2016. [Citado el: 1 de 11 de 2017.] <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/7459/6200046V182di.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.