

ESTUDIO DE LA FUNCION DE SUPERVIVENCIA DE BOMBILLAS DE FRENADO LED E INCANDESCENTES  
A LA FATIGA, BAJO LA METODOLOGIA DE LA FUNCION DISTRIBUCIÓN NORMAL

JOSE IGNACIO ALZATE BELTRAN  
CÓDIGO ESTUDIANTE 201510016114  
CÉDULA 1152436517

UNIVERSIDAD EAFIT  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA  
MEDELLÍN - COLOMBIA  
2016



ESTUDIO DE LA FUNCION DE SUPERVIVENCIA DE BOMBILLAS DE FRENADO LED E INCANDESCENTES  
A LA FATIGA, BAJO LA METODOLOGIA DE LA FUNCION DISTRIBUCIÓN NORMAL

JOSE IGNACIO ALZATE BELTRAN

CÓDIGO ESTUDIANTE 201510016114

CÉDULA 1152436517

TRABAJO DE TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE MAGÍSTER EN INGENIERÍA

DIRECTOR

PH.D. LUIS ALBERTO MORA GUTIÉRREZ

UNIVERSIDAD EAFIT

ESCUELA DE INGENIERÍA

MAESTRÍA EN INGENIERÍA

MEDELLÍN - COLOMBIA

2016

## **CONTENIDO**

	<b>CONTENIDO</b> .....	4
	<b>ILUSTRACIONES</b> .....	7
	<b>ECUACIONES</b> .....	10
<b>0</b>	<b>PRÓLOGO</b> .....	<b>11</b>
0.1	INTRODUCCIÓN .....	11
0.2	JUSTIFICACIÓN .....	11
0.3	ANTECEDENTES .....	12
0.4	OBJETIVOS.....	12
0.4.1	General .....	12
0.4.2	Específicos.....	12
0.4.2.1	Uno .....	13
0.4.2.2	Dos.....	13
0.4.2.3	Tres.....	14
0.4.2.4	Cuatro.....	14
0.4.2.5	Cinco-Conclusiones.....	14
0.5	DESCRIPCIÓN DE LOS OBJETIVOS - CAPÍTULOS .....	14
<b>1</b>	<b>FUNDAMENTOS</b> .....	<b>15</b>
1.1	OBJETIVO .....	15
1.2	INTRODUCCIÓN AL CAPÍTULO 1 .....	15
1.3	DESARROLLO .....	15
1.4	VALIDEZ ESTADÍSTICA Y ANALÍTICA, DE LOS DATOS DE FALLA DE SUPERVIVENCIA DE BOMBILLOS LED E INCANDESCENTES EN LA MESA DE PRUEBAS. ....	15
1.4.1	Datos recopilados.....	17
1.4.2	Validez estadística .....	25
1.4.2.1	Estadística básica .....	26
1.4.2.2	Tamaño muestral.....	26
1.4.2.3	Pruebas ACF .....	31
1.4.3	Coeficiente de alfa Cronbach .....	35
1.4.4	Correlación .....	36
1.4.4.1	Autocorrelación ACF.....	38
1.4.4.2	Correlación entre Curvas LED e Incandescentes .....	38
1.4.4.3	Zona I - Mortalidad Infantil .....	40
1.4.4.4	Zona II – Rodaje o Vida Útil .....	41
1.4.4.5	Zona III – Envejecimiento o fatiga.....	41
1.4.4.6	Tasa de fallos - Hazard.....	41
1.4.4.7	Curva de Davies ajustada por factor de forma $\beta$ .....	41
1.4.5	Confiabilidad - Fallas.....	43
1.4.5.1	Probabilidad .....	43
1.4.5.2	Desempeño satisfactorio.....	43
1.4.5.3	Período .....	44
1.4.5.4	Condiciones de operación .....	44
1.4.5.5	Curva de Supervivencia y de No Confiabilidad.....	44
1.4.6	Mantenibilidad .....	47
1.4.7	Disponibilidad .....	47
1.4.8	Métodos de predicción CMD .....	47
1.4.9	Modelo universal para pronosticar CMD .....	48
1.4.10	Conclusiones del capítulo uno .....	52
<b>2</b>	<b>MÉTODOS ESTADÍSTICOS PARA AFRONTAR EL ANÁLISIS DE DATOS</b> .....	<b>53</b>
2.1	OBJETIVO .....	53

2.2	INTRODUCCIÓN AL CAPÍTULO DOS .....	53
2.3	DESARROLLO .....	53
2.3.1	Descripción de los métodos.....	54
2.3.1.1.1	Apartar .....	54
2.3.1.1.2	Normalizar o reducir.....	54
2.3.1.2	Clasificar .....	54
2.3.1.2.1	Clasificaciones cualitativas:.....	54
2.3.1.2.2	Variable singular: .....	55
2.3.2	Análisis de variables individuales.....	55
2.3.2.1	Presentación grafica de una variable.....	56
2.3.2.2	Medias.....	57
2.3.2.2.1	Moda .....	57
2.3.2.2.2	Mediana .....	57
2.3.2.2.3	Mediana ( aritmética).....	57
2.3.2.2.4	Dispersión de los datos: .....	58
2.3.2.3	Análisis entre variables individuales .....	59
2.3.2.3.1	Tabulación.....	60
2.3.2.3.2	Presentación gráfica .....	60
2.3.2.3.3	Contingencia: .....	62
2.3.2.3.4	Correlación :.....	62
2.3.2.3.5	Análisis de varianza: .....	62
2.3.2.3.6	Análisis de regresión:.....	63
2.3.2.3.7	Análisis factorial.....	63
2.3.2.3.8	Análisis de una serie temporal:.....	63
2.3.3	Conclusiones del capítulo dos.....	65
<b>3</b>	<b>DATOS.....</b>	<b>67</b>
3.1	OBJETIVO .....	67
3.2	INTRODUCCIÓN.....	67
3.3	DESARROLLO .....	67
3.3.1	Cálculos de confiabilidad .....	68
3.3.1.1	Incandescentes .....	68
3.3.1.2	LEDs.....	70
3.3.1.3	Curvas de parámetros de Incandescentes.....	72
3.3.1.3.1	Con distribución Weibull .....	73
3.3.1.3.2	Con distribución LogNormal.....	75
3.3.1.3.3	Con distribución Normal .....	78
3.3.1.4	Curvas de parámetros de LEDs. ....	80
3.3.1.4.1	Con distribución Weibull .....	80
3.3.1.4.2	Con distribución LogNormal.....	83
3.3.1.4.3	Con distribución Normal .....	85
3.3.1.5	Cálculos con paquete CMD .....	89
3.3.1.6	Cálculos de Curvas de Tasa de Fallas con diferentes distribuciones .....	91
3.3.2	Conclusiones del capítulo tres .....	96
<b>4</b>	<b>PLANES CMD.....</b>	<b>97</b>
4.1	OBJETIVO .....	97
4.2	INTRODUCCIÓN AL CAPÍTULO CUATRO .....	97
4.3	DESARROLLO .....	97
4.4	SERIES TEMPORALES & PRONÓSTICOS.....	97
4.4.1	Análisis estratégico de resultados integrales del MTTF .....	106
4.4.1.1	$\beta$ ta .....	112
4.4.1.2	Etas.....	112
4.4.1.3	Pronósticos.....	113
4.4.1.4	Tiempos útiles pronosticados .....	114
4.4.2	Conclusiones del capítulo cuatro .....	124

<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>125</b>
5.1	OBJETIVO .....	125
5.2	RESULTADOS .....	125
5.2.1.1	Tasa de densidad de probabilidad de fallas .....	127
5.2.2	Conclusiones del capítulo quinto .....	129
	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>130</b>

## ILUSTRACIONES

Ilustración 1 - Taxonomía de los objetivos .....	13
Ilustración 2 - Curva tipificada de Davies.....	16
Ilustración 3 - Modelos de fallos.....	16
Ilustración 4 - Bombillos Incandescentes y LED en estado de falla muestra 1 a 4 .....	17
Ilustración 5 - Bombillos Incandescentes en estado de falla muestra 5 .....	23
Ilustración 6 - Estadística Básica muestras incandescentes y LED .....	26
Ilustración 7 - Tamaño muestral de los ciclos 3, 4 y 5 incandescentes y LED .....	27
Ilustración 8 - Datos limpios sin repeticiones de Bombillas Incandescentes y LED .....	32
Ilustración 9 - Pruebas ACF para Bombillas LED .....	33
Ilustración 10 - Pruebas ACF para Bombillas Incandescentes.....	34
Ilustración 11 - Prueba Coeficiente Alfa de Cronbach para incandescentes y LED .....	35
Ilustración 12 - ACF para Incandescentes.....	36
Ilustración 13 - ACF para LEDs.....	37
Ilustración 14 - Pruebas de correlación entre LEDs y los Incandescentes .....	38
Ilustración 15 - Curva de Davies - <i>Bathroom</i> .....	40
Ilustración 16 - Curva de la Bañera ajustada por factor de forma .....	42
Ilustración 17 - Cálculos de Confiabilidad - Supervivencia (Reliability) y No Confiabilidad (Failure) 45	
Ilustración 18 - Curva de Confiabilidad - Supervivencia (Reliability).....	46
Ilustración 19 - Curva de No Confiabilidad (Failure) .....	46
Ilustración 20 - Métodos de distribución para estimación de confiabilidad y mantenibilidad (CM) 48	
Ilustración 21 - Modelo para cálculos y predicciones CMD .....	49
Ilustración 22 - Diagrama análisis de datos .....	53
Ilustración 23 - Diagrama análisis de datos .....	55
Ilustración 24 - Diagrama de frecuencias o histograma .....	56
Ilustración 25 - Curva de Gauss .....	56
Ilustración 26 - Diagrama de sectores .....	57
Ilustración 27 - Figura ejemplo anterior .....	58
Ilustración 28 - Métodos estadísticos del análisis de variables .....	60
Ilustración 29 - Diagrama de dispersión de datos .....	61
Ilustración 30 - Histograma .....	61
Ilustración 31 - Diagrama de series cronológicas .....	64
Ilustración 32 - Datos limpios de LEDs e Incandescentes .....	67
Ilustración 33 - Cálculos Incandescentes con software Weibull con función Weibull .....	68
Ilustración 34 - Bondad de Ajuste .....	68
Ilustración 35 - Etapa para parametrizar y alinear función .....	69
Ilustración 36 - Cálculos Incandescentes con LogNormal.....	69
Ilustración 37 - Cálculos LEDs con Normal en software Weibull .....	70
Ilustración 38 - Cálculos LEDs con software Weibull con la función de distribución Weibull .....	70
Ilustración 39 - Bondad de Ajuste .....	71
Ilustración 40 - Etapa para parametrizar y alinear función .....	71
Ilustración 41 - Cálculos LEDs con LogNormal .....	72
Ilustración 42 - Cálculos LEDs con Normal en software Weibull .....	72
Ilustración 43 - Alineación de Weibull con Distribución Weibull.....	73
Ilustración 44 - Curva de Supervivencia o Reliability de Incandescentes Weibull con Weibull .....	73
Ilustración 45 - Curva de No Confiabilidad Weibull Incandescentes con Distribución Weibull .....	74

Ilustración 46 - Curva de Tasa de Fallas Hazard Time - Weibull Incandescentes con Weibull .....	74
Ilustración 47 - Curva de Función de Densidad Weibull de Incandescentes con Weibull .....	75
Ilustración 48 - Alineación de Weibull con Distribución LogNormal.....	75
Ilustración 49 - Curva de Supervivencia o Reliability de Incandescentes Weibull con LogNormal ...	76
Ilustración 50 - Curva de No Confiabilidad Weibull Incandescentes con Distribución LogNormal ...	76
Ilustración 51 - Curva de Tasa de Fallas Hazard Time - Weibull Incandescentes con LogNormal .....	77
Ilustración 52 - Curva de Función de Densidad Weibull de Incandescentes con LogNormal.....	77
Ilustración 53 - Alineación de Weibull con Distribución Normal .....	78
Ilustración 54 - Curva de Supervivencia o Reliability de Incandescentes Weibull con Normal .....	78
Ilustración 55 - Curva de No Confiabilidad Weibull Incandescentes con Distribución Normal.....	79
Ilustración 56 - Curva de Tasa de Fallas Hazard Time - Weibull Incandescentes con Normal .....	79
Ilustración 57 - Curva de Función de Densidad Weibull de Incandescentes con Normal .....	80
Ilustración 58 - Alineación de Weibull con Distribución Weibull.....	80
Ilustración 59 - Curva de Supervivencia o Reliability de LEDs Weibull con Distribución Weibull .....	81
Ilustración 60 - Curva de No Confiabilidad Weibull LEDs con Distribución Weibull .....	81
Ilustración 61 - Curva de Tasa de Fallas Hazard Time - Weibull LEDs con Distribución Weibull .....	82
Ilustración 62 - Curva de Función de Densidad Weibull de LEDs con Distribución Weibull .....	82
Ilustración 63 - Alineación de Weibull con Distribución LogNormal.....	83
Ilustración 64 - Curva de Supervivencia o Reliability de LEDs Weibull con Distribución LogNormal .....	83
Ilustración 65 - Curva de No Confiabilidad Weibull LEDs con Distribución LogNormal .....	84
Ilustración 66 - Curva de Tasa de Fallas Hazard Time - Weibull LEDs con Distribución LogNormal .....	84
Ilustración 67 - Curva de Función de Densidad Weibull de LEDs con Distribución LogNormal.....	85
Ilustración 68 - Alineación de Weibull con Distribución Normal .....	85
Ilustración 69 - Curva de Supervivencia o Reliability de LEDs Weibull con Distribución Normal .....	86
Ilustración 70 - Curva de No Confiabilidad Weibull LEDs con Distribución Normal .....	86
Ilustración 71 - Curva de Tasa de Fallas Hazard Time - Weibull LEDs con Distribución Normal.....	87
Ilustración 72 - Curva de Función de Densidad Weibull de LEDs con Distribución Normal .....	87
Ilustración 73 - Curva de Davies, énfasis en $\beta$ tas superiores a 3.44 .....	88
Ilustración 74 - Curva Supervivencia Weibull de Incandescentes con CMD .....	89
Ilustración 75 - Curva Supervivencia Weibull de LEDs con CMD .....	89
Ilustración 76 - Bañera, en ambos casos da superior a Beta 2 de distribución normal .....	90
Ilustración 77 - Curvas de Tasa de Fallas que tienen las Bombillas con diferentes distribuciones ...	91
Ilustración 78 - Fundamentación científica de las series temporales .....	98
Ilustración 79 - Modelos Clásicos y AR.I.MA de series temporales .....	103
Ilustración 80 - Datos limpios de LEDs e Incandescentes .....	105
Ilustración 81 - Parámetros y cálculos MTTF para Incandescentes .....	106
Ilustración 82 - Parámetros y cálculos MTTF para LEDs .....	109
Ilustración 83 - $\beta$ tas Incandescentes y LEDs con sus datos.....	112
Ilustración 84 - Etas $\eta$ altos y sus datos históricos .....	113
Ilustración 85 - Betas y Etas a pronosticar con LEDs e Incandescentes .....	114
Ilustración 86 - Pronósticos de Beta y Eta de Incandescentes y LEDs.....	117
Ilustración 87 - Pronósticos e históricos de Betas Incandescentes y LEDs .....	118
Ilustración 88 - Pronósticos e históricos de Betas Incandescentes y LEDs .....	118
Ilustración 89 - Cálculos de Tiempos Útiles de MTTF en LEDs e Incandescentes.....	119
Ilustración 90 - Datos Históricos Incandescentes .....	120
Ilustración 91 - Datos Históricos LEDs .....	121
Ilustración 92 - Beta Curva de Davies .....	122
Ilustración 93 - Bombillas Incandescentes con Beta cercano a 2.22 .....	125

Ilustración 94 - Bombillas LEDs con Beta cercano a 2.22.....	126
Ilustración 95 - Función de densidad Incandescentes fallas bajo distribución normal con Normal	127
Ilustración 96 - Función de densidad Incandescentes fallas bajo distribución Weibull y Normal...	127
Ilustración 97 - Función de densidad LEDs fallas bajo distribución normal con Normal.....	128
Ilustración 98 - Función de densidad LEDs de tasa de fallas bajo distribución Weibull y Normal ..	128

## ***ECUACIONES***

Ecuación 1 - $\lambda(t)$ - Tasa de Fallas - <i>Hazard</i> - <i>Lambda</i> de t .....	41
Ecuación 2 - Probabilidades de ocurrencia de un evento (de falla) y confiabilidad.....	44
Ecuación 3 - Representación matemática de la función de confiabilidad .....	45
Ecuación 4 - Disponibilidad (variable dependiente) en este caso Mantenibilidad es cero .....	47
Ecuación 5 - $\sigma$ Sigma .....	59
Ecuación 6 - Desviación .....	59
Ecuación 7 - Tendencia no lineal Cuadrática.....	62
Ecuación 8 - Múltiple.....	63
Ecuación 9 - MTTF en función de $\beta$ eta y $\eta$ ta por Weibull .....	113

## 0 PRÓLOGO

El proyecto pretende demostrar la importancia de las distribuciones y funciones estadísticas para determinar la supervivencia de los bombillos de frenado incandescentes y LED a la fatiga, basándonos en resultados provenientes de un banco de pruebas muy cercano a la realidad y ha estado en funcionamiento durante casi 3 años, en el cual se simula el frenado aleatorio de un vehículo durante varias horas continuas, como sus horas ON.

### 0.1 INTRODUCCIÓN

La vida útil de todos los diferentes sistemas, máquinas o equipos existentes se puede describir gráficamente mediante la curva de Davies, la cual se asemeja en su trayectoria a una bañera, de allí su nombre, en la cual se enmarcan tres fases, mortalidad infantil, madurez o rodaje y envejecimiento; la curva de la bañera también llamada de esta manera en honor a su creador el Médico Inglés Davies, cuyo objetivo es ilustrar gráficamente la tasa de mortalidad de los seres humanos, ya que refleja el comportamiento de la rata o tasa de fallas  $\lambda$  de los elementos en funcionamiento.

El mantenimiento industrial toma como pie fundamental, el estudio constante de los equipos que representan el capital y la generación de ingresos, en temas de producción o de los activos de la empresa; para lograr dicho objetivo se realizan los análisis y cálculos de CMD<sup>1</sup> para los equipos críticos con los que las organizaciones cuentan en particular y, a partir de estos datos y el uso de metodologías de distribuciones como Weibull, Hjorth, Normal, Log Normal y Exponencial entre otras, para hallar una serie de indicadores que ubican al sistema o equipo en algún punto de la curva de Davies (Mora, 2012) .

El análisis de la función de vida útil, bajo la metodología Normal es una práctica eficaz y estratégica que permite determinar con antelación el grado de confianza de las mismas en cuanto a su vida útil por parte de los usuarios o consumidores, a su vez permite establecer parámetros de confiabilidad y calidad de las mismas en su rango, categoría o marca; cuando se conoce la ubicación de un elemento en la curva de Davies, proporciona información sobre la etapa de vida útil en la que se encuentra el equipo; con esto se pueden tomar medidas de mantenimiento y planes pertinentes que se deben realizar.

Los equipos no necesariamente atraviesan, las tres zonas de Davies, en la actualidad se fabrican máquinas que inician desde un punto intermedio de la curva, así como también hay otras que empiezan su fase de desgaste inmediatamente, en este punto es donde se encuentran los elementos no reparables, usualmente son componentes o partes que están dentro de sistemas muy complejos y su reparación es mucho más costosa que la fabricación de uno nuevo.

### 0.2 JUSTIFICACIÓN

La ratificación y validación de los parámetros de vida útil anticipada en un elemento tan esencial y crítico como son las bombillas de freno de automóviles, justifica la inversión en las mismas; la conducta de la tasa de falla de los sistemas técnicos, se realiza por diferentes métodos, usando la predicción de indicadores CMD, entre los cuales predominan por fundamento técnico el uso de distribuciones estadísticas.

---

<sup>1</sup> CMD Confiabilidad Mantenibilidad Disponibilidad

Entre las distribuciones estadísticas están Weibull, Normal, Log Normal y exponencial, entre otras; cada una con características especiales que las distingue para usarse en cada tipo de ocasión para obtener los mejores ajuste en los resultados, aunque dentro de las particularidades de algunas, es que, se usan en zonas independientes de la zona de curva de Davies y de la naturaleza de las fallas, por lo que se puede utilizar en cualquier punto de vida útil que se encuentre en el sistema técnico.

El desarrollo de esta investigación propone principios, criterios y la aplicación de algunas de las distribuciones como la Normal, a un sistema no reparable, en este caso bombillos de frenado LED e incandescentes de vehículos, para definir cual se adapta mejor al sistema de mantenimiento.

### **0.3 ANTECEDENTES**

La evolución de las empresas que se desempeñan en la realización de bienes y/o servicios, utilizan instalaciones, edificios, herramientas y utensilios para satisfacer las necesidades del cliente o para cumplir con la misión de cada corporación, así, aparecen las actividades correctivas inherentes a los fallos que se presentan por diferentes motivos; por lo tanto las empresas necesitan que estos activos se mantengan con unos buenos indicadores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad, conforme con sus necesidades. Por lo cual, las organizaciones buscan un costo del ciclo de vida mínimo y una vida útil máxima para las maquinas (Mora, 2009) (Blanchard, y otros, 1994).

El enfoque de mantenimiento cambia con los años desde las acciones correctivas, preventivas y predictivas hacia la implementación de tácticas y estrategias con las que se organizan las actividades y los recursos con base en indicadores de costos y desempeño (Mora, 2009).

En el ciclo de vida de un elemento es de vital importancia identificar el comportamiento en la zona tres en la cual los elementos presentan mayor desgaste y tienes factores propios de algunas distribuciones que podrían dar un gran aporte a los estudios de confiabilidad en la curva de la bañera.

### **0.4 OBJETIVOS**

El proyecto pretende alcanzar las siguientes metas

#### **0.4.1 General**

Analizar el comportamiento de la vida útil de los bombillos de frenado, mediante la distribución normal, con sus parámetros  $\mu$  y  $s$ , para determinar con exactitud y de manera anticipada su vida útil, sus desviaciones y sus limitantes.

Los específicos contemplan el tratamiento explícito y detallado, de toda la cobertura del objetivo general.

#### **0.4.2 Específicos**

A continuación se plantean las metas individuales y secuenciales del proyecto, en los objetivos específicos.

Ilustración 1 - Taxonomía de los objetivos



(Gagne@, y otros, 2008)

#### 0.4.2.1 Uno

Registrar los datos de fallas de bombillas LED e incandescentes en la mesa electrónica de pruebas, mediante validaciones matemáticas de Cronbach, coeficientes de distribución y correlación, a la vez que utilizando su estadística. Nivel 1 – Conocer.

#### 0.4.2.2 Dos

Reconocer los parámetros de dispersión, desviación estándar, mediana, moda, media, etcétera a partir de los datos de bombillas fallidas en LED o en incandescentes en la mesa de pruebas durante el periodo de evaluación. Nivel 2 – Comprender.

#### **0.4.2.3 Tres**

Parametrizar las funciones de densidad global e individual, de supervivencia y demás requeridas desde la óptica de confiabilidad con la distribución más apropiada, que permitan determinar con exactitud y de manera anticipada la cantidad de vida útil de los bombillos. Nivel 3 - Aplicar

#### **0.4.2.4 Cuatro**

Analizar estratégicamente la fiabilidad de las bombillas, mediante la construcción de sus funciones de distribución que simulen la vida útil de los bombillos de frenado, con el fin de predecir su fase útil esperada. Nivel 4 - Analizar

#### **0.4.2.5 Cinco-Conclusiones**

Concluir los principales resultados obtenidos después de las mediciones, cálculos y análisis realizados.

### **0.5 DESCRIPCIÓN DE LOS OBJETIVOS - CAPÍTULOS**

El proceso se inicia con un primer capítulo donde se registran las fallas de las bombillas LED e incandescentes provenientes del banco de pruebas tomadas durante un largo periodo de tiempo estimado alrededor de 3 años consecutivos, mediante validaciones matemáticas, coeficientes de correlación y distribución y usando su estadística.

El segundo tema del capítulo aborda los principales parámetros de dispersión, desviación estándar, sigma y media a partir de los datos de las bombillas fallidas del banco de pruebas durante un periodo determinado.

El tercer objetivo aborda la parametrización de las funciones de densidad global e individual, de supervivencia desde la óptica de confiabilidad con la distribución apropiada, que permiten con exactitud conocer de manera anticipada la cantidad de vida útil de los bombillos.

El último capítulo de desarrollo, el cuarto presenta el análisis estratégico de la fiabilidad de las bombillas, mediante la construcción de sus funciones de distribución pertinente que simulen la vida útil de los bombillos de frenado.

Las conclusiones del quinto capítulo, presentan los principales logros del proyecto.

## 1 FUNDAMENTOS

### 1.1 OBJETIVO

Registrar los datos de fallas de bombillas LED e incandescentes en la mesa electrónica de pruebas, mediante validaciones matemáticas de Cronbach, coeficientes de distribución y correlación, a la vez que utilizando su estadística.

### 1.2 INTRODUCCIÓN AL CAPÍTULO 1

El proyecto desarrolla el plan inicial, tal y como se plantea en los objetivos, una parte de fundamentación técnica, una experimental en la recopilación de datos y finalmente la fase estadística y de distribuciones, donde se revalida la hipótesis de que los bombillos fallan en su fase III de la curva de la bañera.

### 1.3 DESARROLLO

La descripción de los conceptos que enseña este capítulo es una fundamentación básica para comprender el desarrollo en capítulos posteriores.

### 1.4 VALIDEZ ESTADÍSTICA Y ANALÍTICA, DE LOS DATOS DE FALLA DE SUPERVIVENCIA DE BOMBILLOS LED E INCANDESCENTES EN LA MESA DE PRUEBAS.

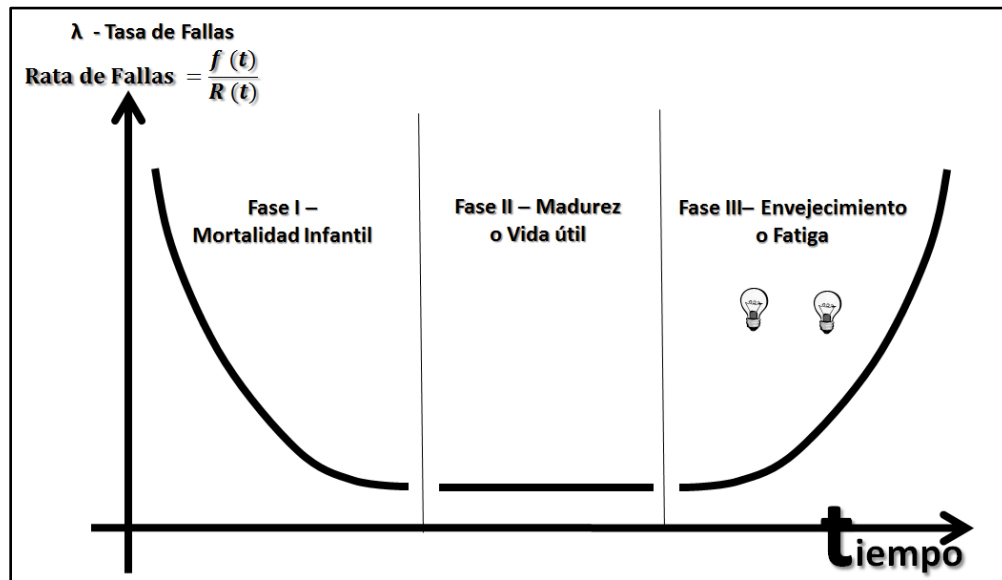
Para la validación de los datos de falla y supervivencia recopilada durante un periodo de tiempo de 3 años en el banco de pruebas, es necesario utilizar una metodología básicamente analítica y experimental a partir de resultados y de ejercicios modelados previamente en el grupo de investigación GEMI de la universidad EAFIT, que utiliza simulación de datos y distribuciones, pruebas estadísticas, consultas a sitios relacionados y en general al desarrollo de conocimiento propio a través del estudio estadístico con distribuciones, y del análisis cruzado de resultados de la fase III en las etapas en que salieron resultados de las funciones de fallas y de confiabilidad en bombillas.

Es necesario antes del inicio del análisis de vida, validar la consistencia de los datos recopilados, mediante los diferentes métodos estadísticos con los cuales se puede aprobar o desechar algunos datos a lo largo de la pruebas de validez. Así mismo se calcula el tamaño muestral mínimo requerido para obtener datos confiables.

Comúnmente se utilizan en la validación de datos herramientas estadísticas y estocásticas tales Alfa de Cronbach, *ACF Auto Correlation Function* y R cuadrado.

En las plantas industriales la forma de fallar de sus máquinas o equipos en general, se representa en su comportamiento por la curva de Davies, donde se observan claramente tres fases, las cuales se rigen por el comportamiento del valor de  $\lambda$ : fase I de rodaje o mortalidad infantil, fase II madurez o vida útil, fase III de envejecimiento o desgaste.

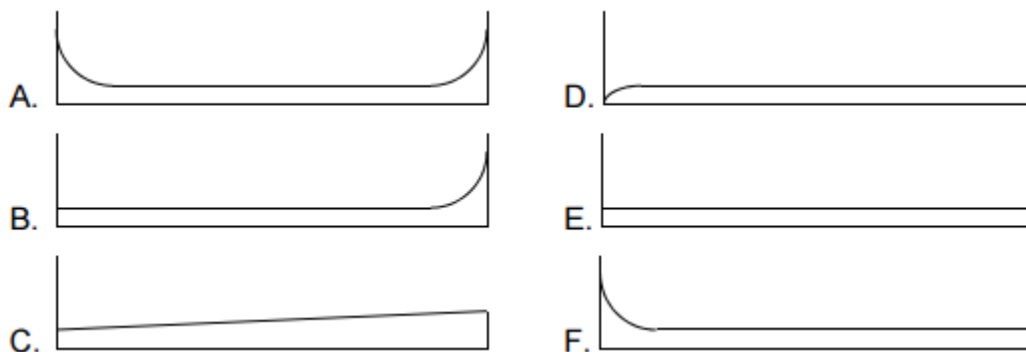
## Ilustración 2 - Curva tipificada de Davies



El fin del capítulo es mostrar si efectivamente o no, los bombillos de frenado en su vida de funcionamiento terminan en la Fase III derecha de Davies.

La curva de Davies representa el comportamiento de algunos elementos de máquina, sin embargo, existen diferentes modelos de fallo, los cuales varían según la complejidad y el tipo de elemento. A continuación se muestra el gráfico de probabilidad condicional de fallo contra vida útil para diversos tipos de elementos eléctricos y mecánicos (SQL, 1998) (Wireman, 2004) (HajShirmohammad, y otros, 2004) (Thorsteinsson, y otros, 1997) (Wireman, 1994).

## Ilustración 3 - Modelos de fallos



El modelo A comienza con una incidencia de fallo alta conocida como mortalidad infantil, seguida por una frecuencia constante y termina con la zona de desgaste. El modelo B empieza con una probabilidad de fallo constante y termina en zona de desgaste. El modelo C muestra un comienzo indefinido ligeramente ascendente sin lograr 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 luego aumenta rápido a un nivel constante. El modelo E muestra un nivel constante en todas las edades. Por último el modelo F comienza con una mortalidad infantil muy alta, que desciende a una probabilidad de fallo constante (Bajaría, 1983) (Blanchard, 1995).

### 1.4.1 Datos recopilados.

Teniendo en cuenta los estudios realizados y el seguimiento obtenido durante 3 años en la mesa de pruebas, los datos recopilados en la experimentación y funcionamiento permanente de los bombillos de frenado, simulando un entorno real de fatiga y desgaste al rodar en carreteras bajo condiciones normales, arroja los siguientes valores de tiempo de vida útil en los dos tipos de bombillas LED e incandescentes. La cuarta columna de las dos muestras el valor allí es el equivalente al tiempo de vida útil, es decir, tiempo que los bombillos permanecieron encendidos hasta su fallo.

**Ilustración 4 - Bombillos Incandescentes y LED en estado de falla muestra 1 a 4**

INCANDESCENTES				MUESTRA LED			
Numero	Línea	Fila	Tiempo ON horas	Numero	Línea	Fila	Tiempo ON horas
1	1	A	83	1	1	A	828.00
2	1	B	92	2	1	B	938.40
3	1	C	101	3	1	C	1177.60
4	1	D	101	4	1	D	1196.00
5	1	E	101	5	1	E	1196.00
6	1	F	120	6	1	F	1214.40
7	1	G	120	7	1	G	1214.40
8	1	H	129	8	1	H	1214.40
9	1	I	129	9	1	I	1214.40
10	1	J	129	10	1	J	1214.40
11	2	A	129	11	2	A	1214.40
12	2	B	166	12	2	B	1232.80
13	2	C	175	13	2	C	1232.80
14	2	D	193	14	2	D	1232.80
15	2	E	193	15	2	E	1232.80
16	2	F	193	16	2	F	1251.20
17	2	G	202	17	2	G	1251.20
18	2	H	202	18	2	H	1251.20
19	2	I	202	19	2	I	1251.20
20	2	J	212	20	2	J	1251.20
21	3	A	212	21	3	A	1251.20
22	3	B	212	22	3	B	1251.20
23	3	C	221	23	3	C	1269.60
24	3	D	221	24	3	D	1288.00
25	3	E	221	25	3	E	1288.00
26	3	F	239	26	3	F	1288.00
27	3	G	239	27	3	G	1380.00
28	3	H	239	28	3	H	1398.40
29	3	I	239	29	3	I	1416.80
30	3	J	248	30	3	J	1416.80
31	4	A	248	31	4	A	1416.80
32	4	B	248	32	4	B	1416.80
33	4	C	248	33	4	C	1416.80
34	4	D	248	34	4	D	1416.80
35	4	E	248	35	4	E	1435.20
36	4	F	248	36	4	F	2704.80

INCANDESCENTES				MUESTRA LED			
Numero	Línea	Fila	Tiempo ON horas	Numero	Línea	Fila	Tiempo ON horas
37	4	G	258	37	4	G	2760.00
38	4	H	258	38	4	H	2796.80
39	4	I	258	39	4	I	2796.80
40	4	J	258	40	4	J	2796.80
41	5	A	258	41	5	A	2796.80
42	5	B	258	42	5	B	2796.80
43	5	C	258	43	5	C	2796.80
44	5	D	258	44	5	D	2796.80
45	5	E	258	45	5	E	2796.80
46	5	F	258	46	5	F	2796.80
47	5	G	267	47	5	G	2796.80
48	5	H	267	48	5	H	2796.80
49	5	I	267	49	5	I	2796.80
50	5	J	267	50	5	J	2815.20
51	6	A	267	51	6	A	2815.20
52	6	B	267	52	6	B	2815.20
53	6	C	267	53	6	C	2815.20
54	6	D	267	54	6	D	2833.60
55	6	E	267	55	6	E	2852.00
56	6	F	267	56	6	F	2852.00
57	6	G	267	57	6	G	2888.80
58	6	H	267	58	6	H	2888.80
59	6	I	276	59	6	I	2925.60
60	6	J	276	60	6	J	2944.00
61	7	A	276	61	7	A	3054.40
62	7	B	276	62	7	B	3054.40
63	7	C	276	63	7	C	3054.40
64	7	D	276	64	7	D	3054.40
65	7	E	285	65	7	E	3054.40
66	7	F	285	66	7	F	3054.40
67	7	G	285	67	7	G	3054.40
68	7	H	285	68	7	H	3054.40
69	7	I	285	69	7	I	3072.80
70	7	J	285	70	7	J	3072.80
71	8	A	285	71	8	A	3072.80
72	8	B	285	72	8	B	3072.80

INCANDESCENTES				MUESTRA LED			
Numero	Línea	Fila	Tiempo ON horas	Numero	Línea	Fila	Tiempo ON horas
73	8	C	285	73	8	C	3072.80
74	8	D	294	74	8	D	3072.80
75	8	E	294	75	8	E	3072.80
76	8	F	304	76	8	F	3072.80
77	8	G	304	77	8	G	3091.20
78	8	H	304	78	8	H	3091.20
79	8	I	304	79	8	I	3091.20
80	8	J	304	80	8	J	3091.20
81	9	A	313	81	9	A	3091.20
82	9	B	313	82	9	B	3091.20
83	9	C	313	83	9	C	3091.20
84	9	D	313	84	9	D	3091.20
85	9	E	313	85	9	E	3091.20
86	9	F	313	86	9	F	3091.20
87	9	G	313	87	9	G	3091.20
88	9	H	322	88	9	H	3091.20
89	9	I	322	89	9	I	3091.20
90	9	J	322	90	9	J	3091.20
91	10	A	322	91	10	A	3091.20
92	10	B	322	92	10	B	3091.20
93	10	C	322	93	10	C	3091.20
94	10	D	331	94	10	D	540.40
95	10	E	331	95	10	E	658.69
96	10	F	331	96	10	F	757.43
97	10	G	331	97	10	G	759.03
98	10	H	331	98	10	H	760.63
99	10	I	331	99	10	I	762.23
100	10	J	331	100	10	J	803.26
101	1	A	331	101	1	A	804.86
102	1	B	331	102	1	B	806.46
103	1	C	331	103	1	C	808.06
104	1	D	331	104	1	D	809.66
105	1	E	331	105	1	E	811.26
106	1	F	340	106	1	F	852.29
107	1	G	340	107	1	G	853.89
108	1	H	340	108	1	H	855.49

INCANDECENTES				MUESTRA LED			
Numero	Línea	Fila	Tiempo ON horas	Numero	Línea	Fila	Tiempo ON horas
109	1	I	340	109	1	I	857.09
110	1	J	340	110	1	J	858.69
111	2	A	340	111	2	A	860.29
112	2	B	340	112	2	B	875.03
113	2	C	350	113	2	C	876.63
114	2	D	350	114	2	D	878.23
115	2	E	350	115	2	E	879.83
116	2	F	350	116	2	F	881.43
117	2	G	350	117	2	G	883.03
118	2	H	350	118	2	H	924.06
119	2	I	350	119	2	I	925.66
120	2	J	350	120	2	J	927.26
121	3	A	359	121	3	A	928.86
122	3	B	359	122	3	B	930.46
123	3	C	359	123	3	C	932.06
124	3	D	359	124	3	D	973.09
125	3	E	359	125	3	E	974.69
126	3	F	359	126	3	F	976.29
127	3	G	359	127	3	G	977.89
128	3	H	359	128	3	H	979.49
129	3	I	359	129	3	I	1033.66
130	3	J	359	130	3	J	1035.26
131	4	A	368	131	4	A	1036.86
132	4	B	368	132	4	B	1038.46
133	4	C	368	133	4	C	1040.06
134	4	D	368	134	4	D	1043.26
135	4	E	368	135	4	E	1044.86
136	4	F	368	136	4	F	1046.46
137	4	G	377	137	4	G	1048.06
138	4	H	377	138	4	H	1049.66
139	4	I	377	139	4	I	1051.26
140	4	J	377	140	4	J	1052.86
141	5	A	377	141	5	A	1054.46
142	5	B	377	142	5	B	1070.80
143	5	C	377	143	5	C	1072.40
144	5	D	386	144	5	D	1087.14

INCANDESCENTES				MUESTRA LED			
Numero	Línea	Fila	Tiempo ON horas	Numero	Línea	Fila	Tiempo ON horas
145	5	E	386	145	5	E	1088.74
146	5	F	386	146	5	F	1105.09
147	5	G	386	147	5	G	1103.49
148	5	H	386	148	5	H	1119.83
149	5	I	386	149	5	I	1201.89
150	5	J	386	150	5	J	1203.49
151	6	A	386	151	6	A	1218.23
152	6	B	386	152	6	B	1219.83
153	6	C	386	153	6	C	1221.43
154	6	D	396	154	6	D	1223.03
155	6	E	396	155	6	E	1264.06
156	6	F	396	156	6	F	1278.80
157	6	G	396	157	6	G	1306.69
158	6	H	396	158	6	H	1308.29
159	6	I	396	159	6	I	1309.89
160	6	J	396	160	6	J	1311.49
161	7	A	405	161	7	A	1313.09
162	7	B	405	162	7	B	1314.69
163	7	C	405	163	7	C	1316.29
164	7	D	405	164	7	D	1317.89
165	7	E	405	165	7	E	1332.63
166	7	F	405	166	7	F	1334.23
167	7	G	405	167	7	G	1335.83
168	7	H	414	168	7	H	1337.43
169	7	I	414	169	7	I	1339.03
170	7	J	414	170	7	J	1380.06
171	8	A	414	171	8	A	1381.66
172	8	B	414	172	8	B	1383.26
173	8	C	414	173	8	C	1263.26
174	8	D	423	174	8	D	1412.74
175	8	E	423	175	8	E	1414.34
176	8	F	423	176	8	F	1442.23
177	8	G	423	177	8	G	1496.40
178	8	H	423	178	8	H	1537.43
179	8	I	432	179	8	I	1604.74
180	8	J	432	180	8	J	1606.34

INCANDESCENTES				MUESTRA LED			
Numero	Línea	Fila	Tiempo ON horas	Numero	Línea	Fila	Tiempo ON horas
181	9	A	432	181	9	A	1621.09
182	9	B	432	182	9	B	1635.83
183	9	C	432	183	9	C	1637.43
184	9	D	432	184	9	D	1691.60
185	9	E	432	185	9	E	1732.63
186	9	F	432	186	9	F	1734.23
187	9	G	432	187	9	G	1801.54

Promedio	313
Desviación estándar	81.871259
Mediana	331

Promedio	1722.13
Desviación estándar	864.75909
Mediana	1311.49

**Ilustración 5 - Bombillos Incandescentes en estado de falla muestra 5**

INCANDECENTES 2							
Numero	Línea	Fila	Tiempo ON horas				
188	9	H	432	223	3	C	497
189	9	I	442	224	3	D	497
190	9	J	442	225	3	E	506
191	10	A	442	226	3	F	506
192	10	B	442	227	3	G	506
193	10	C	442	228	3	H	506
194	10	D	442	229	3	I	506
195	10	E	442	230	3	J	506
196	10	F	451	231	4	A	515
197	10	G	451	232	4	B	515
198	10	H	451	233	4	C	515
199	10	I	451	234	4	D	524
200	10	J	451	235	4	E	524
201	1	A	451	236	4	F	524
202	1	B	460	237	4	G	524
203	1	C	460	238	4	H	524
204	1	D	469	239	4	I	534
205	1	E	469	240	4	J	534
206	1	F	469	241	5	A	534
207	1	G	469	242	5	B	534
208	1	H	469	243	5	C	543
209	1	I	469	244	5	D	543
210	1	J	469	245	5	E	543
211	2	A	469	246	5	F	543
212	2	B	469	247	5	G	543
213	2	C	478	248	5	H	552
214	2	D	478	249	5	I	552
215	2	E	478	250	5	J	552
216	2	F	488	251	6	A	552
217	2	G	488	252	6	B	552
218	2	H	488	253	6	C	552
219	2	I	488	254	6	D	552
220	2	J	497	255	6	E	552
221	3	A	497	256	6	F	552
222	3	B	497	257	6	G	552

INCANDECENTES 2							
Numero	Línea	Fila	Tiempo ON horas				
258	6	H	561	293	10	C	681
259	6	I	561	294	10	D	681
260	6	J	561	295	10	E	681
261	7	A	570	296	10	F	681
262	7	B	570	297	10	G	690
263	7	C	570	298	10	H	699
264	7	D	570	299	10	I	708
265	7	E	580	300	10	J	708
266	7	F	580	301	1	A	708
267	7	G	580	302	1	B	708
268	7	H	580	303	1	C	718
269	7	I	589	304	1	D	718
270	7	J	589	305	1	E	718
271	8	A	589	306	1	F	718
272	8	B	589	307	1	G	718
273	8	C	589	308	1	H	736
274	8	D	589	309	1	I	736
275	8	E	598	310	1	J	736
276	8	F	598	311	2	A	745
277	8	G	607	312	2	B	754
278	8	H	607	313	2	C	754
279	8	I	616	314	2	D	754
280	8	J	616	315	2	E	773
281	9	A	635	316	2	F	773
282	9	B	635	317	2	G	782
283	9	C	644	318	2	H	791
284	9	D	653	319	2	I	800
285	9	E	653	320	2	J	800
286	9	F	653	321	3	A	800
287	9	G	672	322	3	B	800
288	9	H	672	323	3	C	810
289	9	I	672	324	3	D	810
290	9	J	672	325	3	E	819
291	10	A	672	326	3	F	819
292	10	B	672	327	3	G	837

INCANDECENTES 2			
Numero	Línea	Fila	Tiempo ON horas
327	3	G	837
328	3	H	837
329	3	I	837
330	3	J	837
331	4	A	865
332	4	B	874
333	4	C	883
334	4	D	975
335	4	E	984
336	4	F	984
337	4	G	994
338	4	H	1003
339	4	I	1012
340	4	J	1021
341	5	A	1021
342	5	B	1021
343	5	C	1030
344	5	D	1095
345	5	E	1141
346	5	F	1159
347	5	G	1196
348	5	H	1196
349	5	I	1196
350	5	J	1260
351	6	A	1288
352	6	B	1325
353	6	C	1371
354	6	D	1408

Promedio	1059
Desviación estándar	170.97117
Mediana	1021

#### 1.4.2 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 quiere decir que si una conclusión se extrae de un determinado conjunto de datos después de la experimentación se puede decir que es científicamente válida si la conclusión del experimento es científica y se basa en las leyes matemáticas y estadísticas (Ruiz, 2010) (Knezevic, 2010).

### 1.4.2.1 Estadística básica

Realizando algunas pruebas de estadística básica, se pueden obtener variables útiles que se usan comúnmente en estadística como rango, media, mediana, moda, varianza, desviación estándar, media aritmética, entre otros. Estos datos hacen parte de un conjunto de variables que se van analizar más adelante, como se indica en la siguiente tabla de resultados.

**Ilustración 6 - Estadística Básica muestras incandescentes y LED**

INCANDESCENTES		MUESTA LED		INCANDESCENTES 2	
Promedio	313	Promedio	1723	Promedio	666
Desviacion	81.871259	Desviacion	864.75909	Desviacion	214.60024
Mediana	331	Mediana	1311	Mediana	589
Suma	58530	Suma	322151	Suma	111154
Maximo	432	Maximo	3091	Maximo	1408
Minimo	83	Minimo	540	Minimo	432
Rango	350	Rango	2551	Rango	975
Media aritmetica	313	Media aritmetica	1723	Media aritmetica	666
Moda	266.8	Moda	3091.2	Moda	552
Varianza	6667.0586	Varianza	743809.31	Varianza	45777.497

### 1.4.2.2 Tamaño muestral

El tamaño muestral en estadística es el número de sujetos que componen la muestra extraída de una población, necesarios para el análisis de los datos obtenidos y para que sean representativos de la población.

La determinación del tamaño adecuado de una muestra de acuerdo con los objetivos estimados de un parámetro determina el nivel de confianza deseado, detectar una diferencia determinada, si realmente existe entre los grupos de estudio con un mínimo de garantía de reducir costes y aumentar la efectividad y rapidez en el estudio (Torres, y otros).

El tamaño muestral se determina a partir del método clásico para muestras finitas e infinitas, al igual para variables cualitativas y cuantitativas (Santesmases, 2003), para ello se determinó el siguiente calculo.

### Ilustración 7 - Tamaño muestral de los ciclos 3, 4 y 5 incandescentes y LED

Número	Vida Útil	INCANDESCENTES Ciclo 3 Inicial		Media es igual 313		Numérica 1
		Resultados de la muestra		Proporcional		
1	82.80	Ítem muestral	Elementos al azar (#)	Vida útil	Encima de la media 1 por debajo 0	Vida útil
2	92.00	1	91	322.00	1	322.0
3	101.20	2	34	248.40	0	248.4
4	101.20	3	39	101.20	0	101.2
5	101.20	4	71	101.20	0	101.2
6	119.60	5	37	101.20	0	101.2
7	119.60	6	20	119.60	0	119.6
8	128.80	7	94	119.60	0	119.6
9	128.80	8	76	128.80	0	128.8
10	128.80	9	8	128.80	0	128.8
11	128.80	10	17	128.80	0	128.8
12	165.60	11	36	128.80	0	128.8
13	174.80	12	9	165.60	0	165.6
14	193.20	13	23	174.80	0	174.8
15	193.20	14	84	193.20	0	193.2
16	193.20	15	49	193.20	0	193.2
17	202.40	16	72	193.20	0	193.2
18	202.40	17	14	202.40	0	202.4
19	202.40	18	6	202.40	0	202.4
20	211.60	19	57	202.40	0	202.4
21	211.60	20	50	211.60	0	211.6
22	211.60	21	38	211.60	0	211.6
23	220.80	22	30	211.60	0	211.6
24	220.80	23	31	220.80	0	220.8
25	220.80	24	19	220.80	0	220.8
26	239.20	25	5	220.80	0	220.8
27	239.20	26	57	239.20	0	239.2
28	239.20	27	97	239.20	0	239.2
29	239.20	28	51	239.20	0	239.2
30	248.40	29	63	239.20	0	239.2
31	248.40	30	19	248.40	0	248.4
32	248.40	31	88	248.40	0	248.4
33	248.40					
34	248.40					

#### Cálculos para la determinación muestral de tamaño n de la prueba final

Media	0.0323	190.5290
Desviación estándar $\sigma$ de la muestra	0.180	55.210
Proporción positiva	3.23%	
Proporción negativa	100.00%	
Población o Universo	100	Población o Universo
Error de precisión máximo deseado	1%	100
Rango de error permisible más o menos		3.811
		190.53 más o menos 3.81
Probabilidad (distribución normal)	95%	99%
Nivel Z deseado	1.6449	2.3263
n con población infinita	873	1136
Validación de si n es igual o mayor al 5%	No cumple la n de infinita	No cumple la n de infinita
n con población finita	90	92
<b>n final estimada</b>	Proporciones Se toma finita con n igual a 90	Valores Se toma finita con n igual a 92
En este caso particular se toma la n mayor de las dos características		92

Para los ciclos 4 y 5 del tamaño muestral se tiene lo siguiente

Número	Vida Útil	INCANDESCENTES Ciclo 4 y 5 muestra			Media es igual 665.6	Numérica 1
		Resultados de la muestra		Vida útil	Proporcional	
		Ítem muestral	Elementos al azar (#)		Encima de la media 1 por debajo 0	Vida útil
1	432.40	113	162	708.4	1	708.4
2	441.60	114	3	708.4	1	708.4
3	441.60	115	78	708.4	1	708.4
4	441.60	116	164	717.6	1	717.6
5	441.60	117	59	717.6	1	717.6
6	441.60	118	70	717.6	1	717.6
7	441.60	119	121	717.6	1	717.6
8	441.60	120	99	717.6	1	717.6
9	450.80	121	10	736	1	736.0
10	450.80	122	27	717.6	1	717.6
11	450.80	123	73	717.6	1	717.6
12	450.80	124	150	717.6	1	717.6
13	450.80	125	87	717.6	1	717.6
14	450.80	126	34	717.6	1	717.6
15	460.00	127	71	717.6	1	717.6
16	460.00	128	97	717.6	1	717.6
17	469.20	129	144	717.6	1	717.6
18	469.20	130	12	717.6	1	717.6
19	469.20	131	139	717.6	1	717.6
20	469.20	132	160	717.6	1	717.6
21	469.20	133	154	717.6	1	717.6
22	469.20	134	118	717.6	1	717.6
23	469.20	135	87	717.6	1	717.6
24	469.20	136	120	717.6	1	717.6
25	469.20	137	83	717.6	1	717.6
26	478.40	138	69	717.6	1	717.6
27	478.40	139	145	717.6	1	717.6
28	478.40	140	92	717.6	1	717.6
29	487.60	141	40	717.6	1	717.6
30	487.60	142	77	717.6	1	717.6
31	487.60	143	127	717.6	1	717.6
32	487.60					
33	496.80					
34	496.80					

### Cálculos para la determinación muestral de tamaño n de la prueba final

Media		1.0000	717.3032
Desviación estándar $\sigma$ de la muestra		0.000	4.434
Proporción positiva		21.68%	
Proporción negativa		79.02%	
Población o Universo		100	Población o Universo 100
Error de precisión máximo deseado		1%	1%
Rango de error permisible más o menos			14.346 717.3 más o menos 14.35
Probabilidad (distribución normal)		95%	99%
Nivel Z deseado		1.6449	2.3263
n con población infinita		4635	1
Validación de si n es igual o mayor al 5%		No cumple la n de infinita	Cumple la n de infinita
n con población finita		98	1
<b>n final estimada</b>	Proporciones		Valores
	Se toma finita con n igual a		Se toma infinita con n igual a
	98		1
este caso particular se toma la n mayor de las dos característi			98

Para los LEDs se tiene el siguiente tamaño muestral

Número	Vida Útil	INCANDESCENTES Ciclo 1 Inicial			Media es igual 1722.73	Numérica 1
		Resultados de la muestra		Vida útil	Proporcional	
		Ítem muestral	Elementos al azar (#)	Vida útil	Encncima de la media 1 por debajo 0	Vida útil
1	828.00					
2	938.40					
3	1177.60	93	139	3091	1	3091.2
4	1196.00	94	9	540	0	540.4
5	1196.00	95	137	659	0	658.7
6	1214.40	96	26	757	0	757.4
7	1214.40	97	51	759	0	759.0
8	1214.40	98	166	761	0	760.6
9	1214.40	99	1	762	0	762.2
10	1214.40	100	43	803	0	803.3
11	1214.40	101	72	803	0	803.3
12	1232.80	102	29	803	0	803.3
13	1232.80	103	56	803	0	803.3
14	1232.80	104	37	803	0	803.3
15	1232.80	105	75	803	0	803.3
16	1251.20	106	160	803	0	803.3
17	1251.20	107	166	803	0	803.3
18	1251.20	108	117	803	0	803.3
19	1251.20	109	168	803	0	803.3
20	1251.20	110	64	803	0	803.3
21	1251.20	111	91	803	0	803.3
22	1251.20	112	100	803	0	803.3
23	1269.60	113	178	803	0	803.3
24	1288.00	114	39	803	0	803.3
25	1288.00	115	42	803	0	803.3
26	1288.00	116	90	803	0	803.3
27	1380.00	117	7	803	0	803.3
28	1398.40	118	1	803	0	803.3
29	1416.80	119	85	803	0	803.3
30	1416.80	120	157	803	0	803.3
31	1416.80	121	22	803	0	803.3
32	1416.80	122	82	803	0	803.3
33	1416.80	123	68	803	0	803.3
34	1416.80					

Cálculos para la determinación muestral de tamaño n de la prueba final			
Media		0.0323	858.3152
Desviación estándar $\sigma$ de la muestra		0.180	417.862
Proporción positiva		0.81%	
Proporción negativa		100.00%	
Población o Universo		100	Población o Universo
Error de precisión máximo deseado		1%	100
Rango de error permisible más o menos			17.166
			858.32 más o menos 17.17
Probabilidad (distribución normal)		95%	99%
Nivel Z deseado		1.6449	2.3263
n con población infinita		220	3207
Validación de si n es igual o mayor al 5%		No cumple la n de infinita	No cumple la n de infinita
n con población finita		69	97
<b>n final estimada</b>	Proporciones		Valores
	Se toma finita con n igual a		Se toma finita con n igual a
	69		97
este caso particular se toma la n mayor de las dos características			97

Este análisis del tamaño muestral es consistente y confiable para proseguir con el análisis, ya que en los tres casos la muestra más alta es de 97, y existen datos suficientes de LEDs (187 que es mayor a 97) e incandescentes (se tienen dos partes una de 187 y otra de 354, para un gran total de 541, que es mayor a 97 muchas veces).

### 1.4.2.3 Pruebas ACF

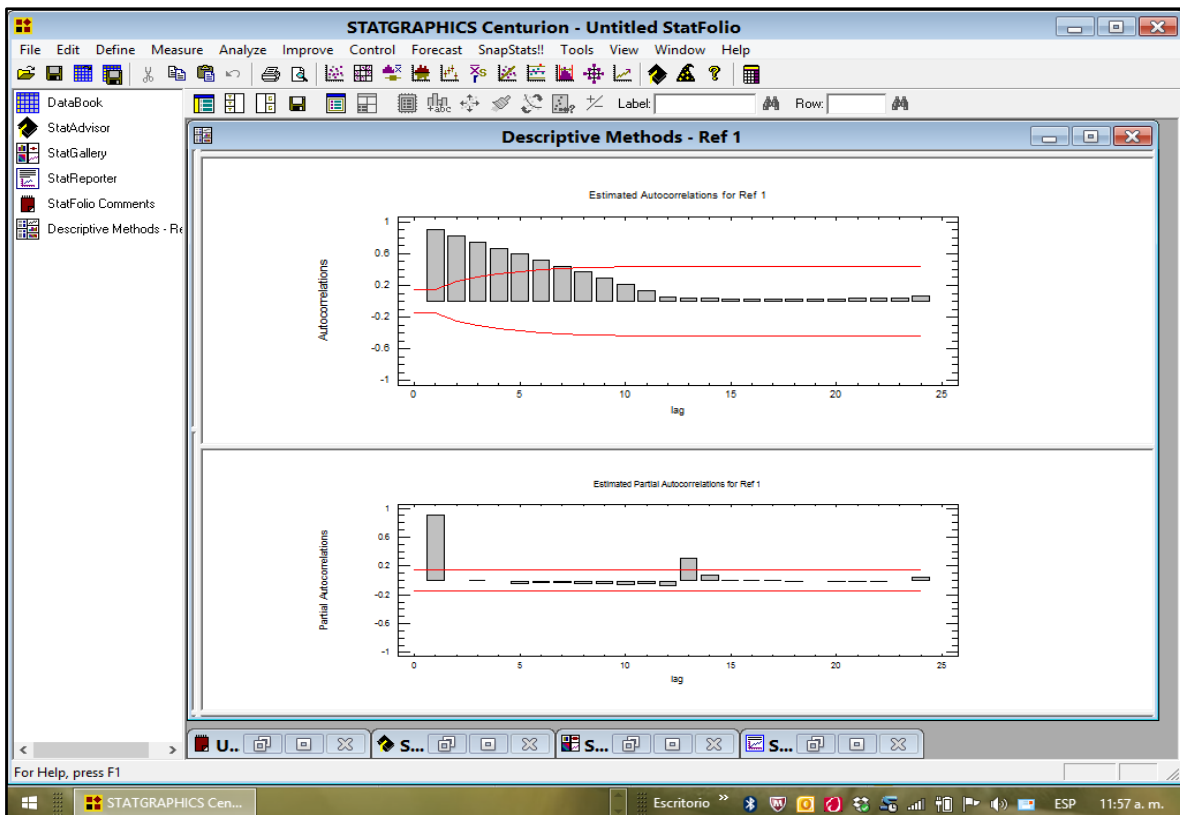
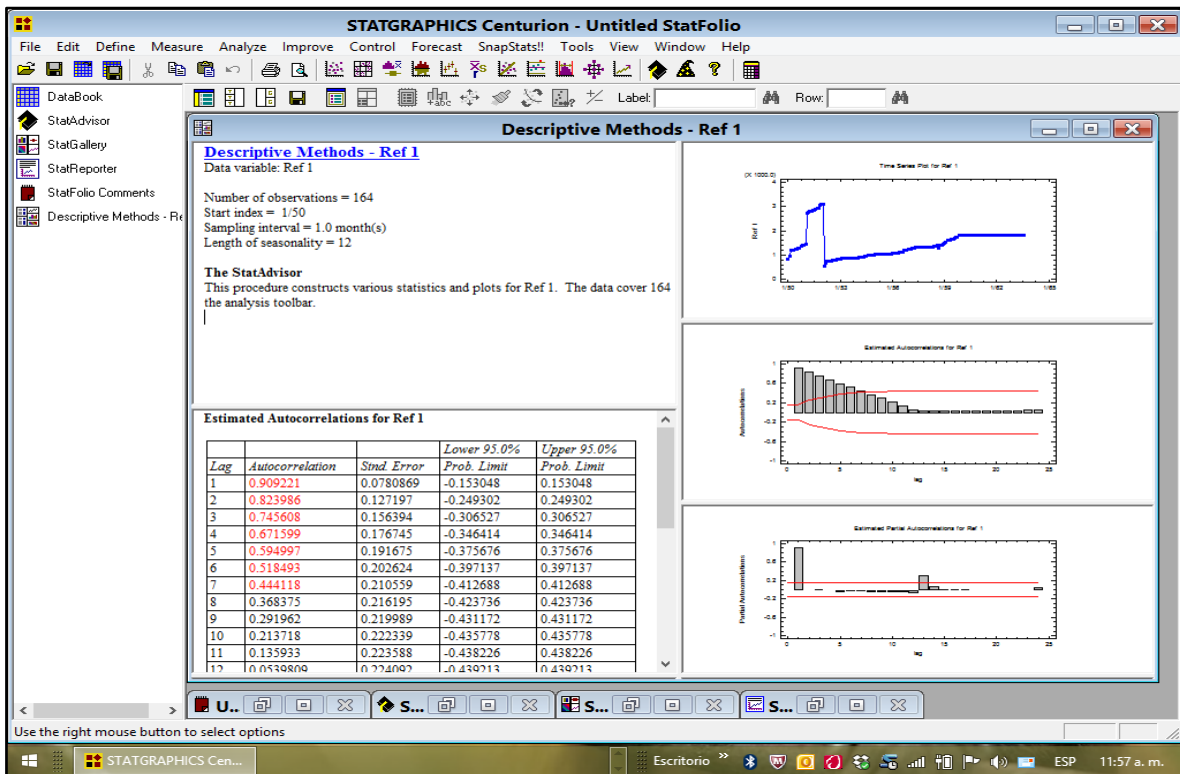
Las pruebas ACF o función de correlación nos permiten comprobar que las series de fallas de los bombillos de freno, no es aleatoria y que los valores se correlacionan entre sí, que todos estos bombillos tienen una tendencia de falla que se encuentra en una zona diferente a la II de Davies, donde el comportamiento es aleatorio y no está en función del tiempo, se realiza a las tres poblaciones, la prueba estocástica de función de Auto correlación –ACF con Statgraphics, donde muestra (Santesmases, 2003) (Santesmases, 2009):

**Ilustración 8 - Datos limpios sin repeticiones de Bombillas Incandescentes y LED<sup>2</sup>**

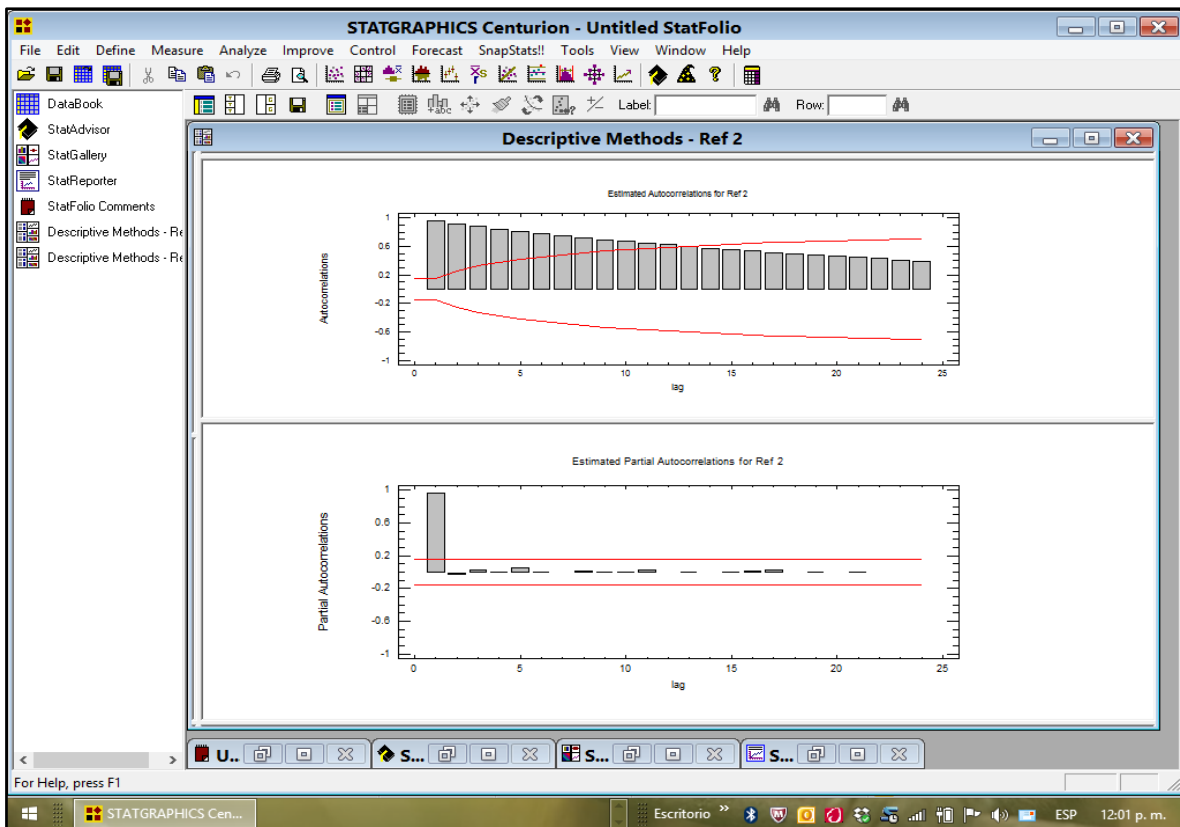
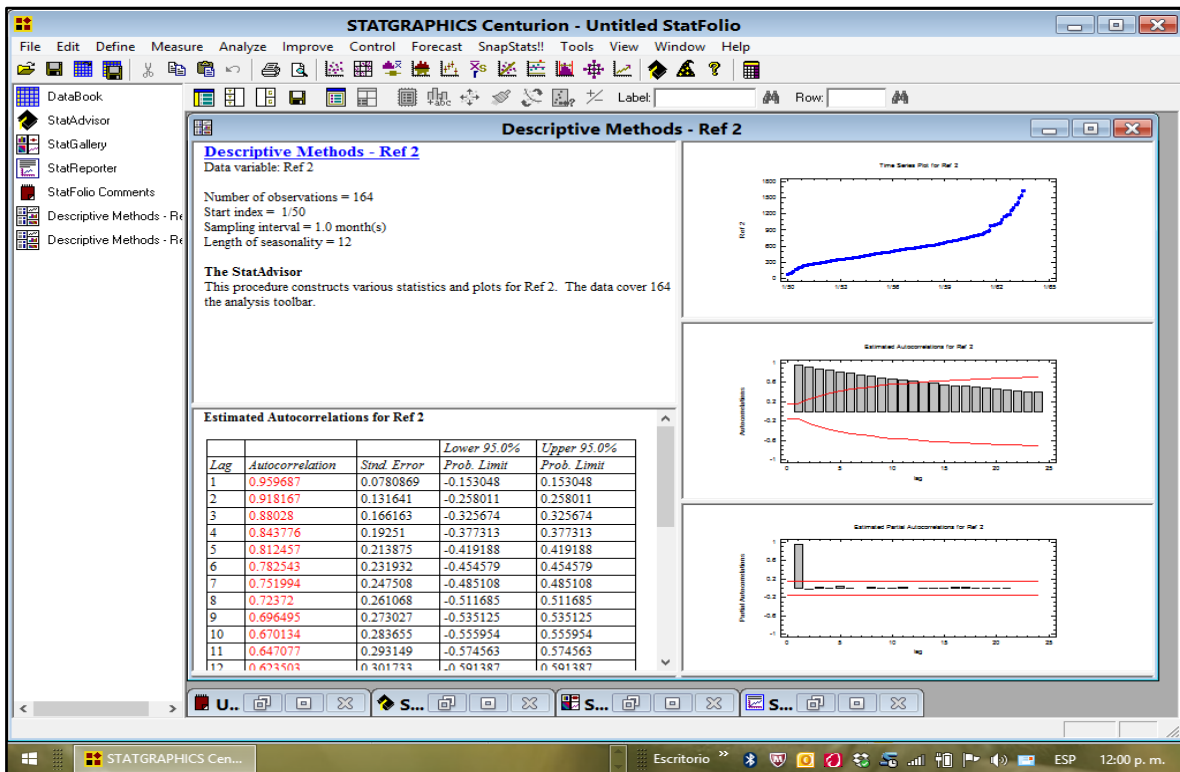
	LED	Incandescentes		LED	Incandescentes		LED	Incandescentes		LED	Incandescentes
1	540.40	82.80	42	1040.06	368.00	84	1335.83	552.00	127	1801.54	772.80
2	658.69	92.00	43	1043.26	377.20	85	1337.43	552.00	128	1801.54	782.00
3	757.43	101.20	44	1044.86	377.20	86	1339.03	561.20	129	1801.54	782.00
4	759.03	119.60	45	1046.46	377.20	87	1380.00	561.20	130	1801.54	791.20
5	760.63	128.80	46	1048.06	386.40	88	1380.06	561.20	131	1801.54	791.20
6	762.23	165.60	47	1049.66	395.60	89	1381.66	570.40	132	1801.54	800.40
7	803.26	174.80	48	1051.26	395.60	90	1383.26	570.40	133	1801.54	809.60
8	804.86	193.20	49	1052.86	395.60	91	1398.40	570.40	134	1801.54	818.80
9	806.46	202.40	50	1054.46	395.60	92	1412.74	579.60	135	1801.54	818.80
10	808.06	211.60	51	1070.80	404.80	93	1414.34	588.80	136	1801.54	837.20
11	809.66	220.80	52	1072.40	404.80	94	1416.80	588.80	137	1801.54	855.60
12	811.26	239.20	53	1087.14	414.00	95	1435.20	598.00	138	1801.54	864.80
13	828.00	248.40	54	1088.74	423.20	96	1442.23	598.00	139	1801.54	874.00
14	852.29	248.40	55	1103.49	423.20	97	1496.40	607.20	140	1801.54	883.20
15	853.89	257.60	56	1105.09	432.40	98	1537.43	607.20	141	1801.54	975.20
16	855.49	257.60	57	1119.83	432.40	99	1604.74	607.20	142	1801.54	975.20
17	857.09	266.80	58	1177.60	441.60	100	1606.34	607.20	143	1801.54	984.40
18	858.69	266.80	59	1196.00	441.60	101	1621.09	616.40	144	1801.54	993.60
19	860.29	276.00	60	1201.89	450.80	102	1635.83	616.40	145	1801.54	1002.80
20	875.03	276.00	61	1203.49	460.00	103	1637.43	625.60	146	1801.54	1012.00
21	876.63	285.20	62	1214.40	460.00	104	1691.60	634.80	147	1801.54	1021.20
22	878.23	285.20	63	1218.23	460.00	105	1732.63	634.80	148	1801.54	1030.40
23	879.83	285.20	64	1219.83	469.20	106	1734.23	644.00	149	1801.54	1094.80
24	881.43	294.40	65	1221.43	469.20	107	1801.54	644.00	150	1801.54	1140.80
25	883.03	294.40	66	1223.03	478.40	108	1801.54	653.20	151	1801.54	1159.20
26	924.06	303.60	67	1232.80	478.40	109	1801.54	662.40	152	2704.80	1177.60
27	925.66	303.60	68	1251.20	478.40	110	1801.54	671.60	153	2760.00	1196.00
28	927.26	312.80	69	1263.26	487.60	111	1801.54	680.80	154	2796.80	1196.00
29	928.86	322.00	70	1264.06	487.60	112	1801.54	680.80	155	2815.20	1260.40
30	930.46	322.00	71	1269.60	487.60	113	1801.54	690.00	156	2833.60	1288.00
31	932.06	331.20	72	1278.80	496.80	114	1801.54	690.00	157	2852.00	1324.80
32	938.40	331.20	73	1288.00	506.00	115	1801.54	699.20	158	2888.80	1370.80
33	973.09	331.20	74	1306.69	506.00	116	1801.54	699.20	159	2925.60	1380.00
34	974.69	340.40	75	1308.29	515.20	117	1801.54	708.40	160	2944.00	1407.60
35	976.29	349.60	76	1309.89	524.40	118	1801.54	708.40	161	3054.40	1508.80
36	977.89	349.60	77	1311.49	524.40	119	1801.54	717.60	162	3072.80	1545.60
37	979.49	349.60	78	1313.09	524.40	120	1801.54	726.80	163	3091.20	1628.40
38	1033.66	358.80	79	1314.69	533.60	121	1801.54	736.00			
39	1035.26	358.80	80	1316.29	542.80	122	1801.54	745.20			
40	1036.86	358.80	81	1317.89	542.80	123	1801.54	745.20			
41	1038.46	368.00	82	1332.63	542.80	124	1801.54	745.20			
42	1040.06	368.00	83	1334.23	552.00	125	1801.54	754.40			
43	1043.26	377.20	84	1335.83	552.00	126	1801.54	754.40			

<sup>2</sup> Recuérdese que en las mediciones de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad, no se asumen datos repetidos, solo se toman una vez, en el muestreo total (Blanchard, 1995) (Knezevic, 1996) (Bajaria, 1983).

## Ilustración 9 - Pruebas ACF para Bombillas LED



## Ilustración 10 - Pruebas ACF para Bombillas Incandescentes



En los dos casos los primeros palotes sobresalen significativamente fuera de la banda de confianza en la gráfica *ACF Auto Correlation Function*, lo cual denota que sus valores son independientes y no aleatorios, lo que le da gran validez y solidez a los datos del experimento (Statgraphics, 2016).

### 1.4.3 Coeficiente de alfa Cronbach

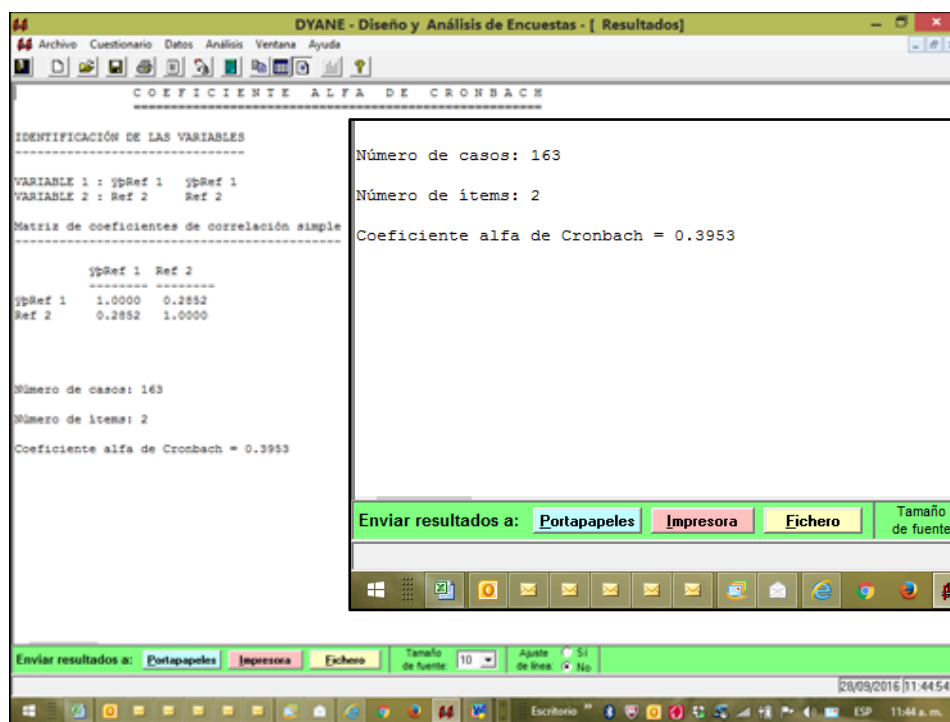
El Alfa de Cronbach es un coeficiente que sirve para medir la fiabilidad de una escala de medida, y cuya denominación Alfa fue realizada por Cronbach en 1951.

Un investigador trata de medir una cualidad no directamente observable (por ejemplo, la inteligencia) en una población de sujetos. Para ello mide  $n$  variables que sí son observables (por ejemplo,  $n$  respuestas a un cuestionario o un conjunto de  $n$  problemas lógicos) de cada uno de los sujetos. Se supone que las variables están relacionadas con la magnitud inobservable de interés. En particular, la  $n$  variable debería realizar mediciones estables y consistentes, con un elevado nivel de correlación entre ellas.

El alfa de Cronbach permite cuantificar el nivel de fiabilidad de una escala de medida para la magnitud inobservable construida a partir de las  $n$  variables observadas (Coefficient alpha and the internal structure of tests, 1951).

Para consolidar el análisis de datos previos, se recurre al software DYANE para realizar la prueba de coeficiente Alfa de Cronbach, el cual da aceptable y es uno de los objetivos de capítulo (Santesmases, 2003).

#### Ilustración 11 - Prueba Coeficiente Alfa de Cronbach para incandescentes y LED



Si bien los resultados deben proveer valores superiores a 0.65, este resultado de 0.39 está bien dentro de lo normalmente obtenido en las pruebas .

### 1.4.4 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, ya realizada en gráficas anteriores

Ilustración 12 - ACF para Incandescentes

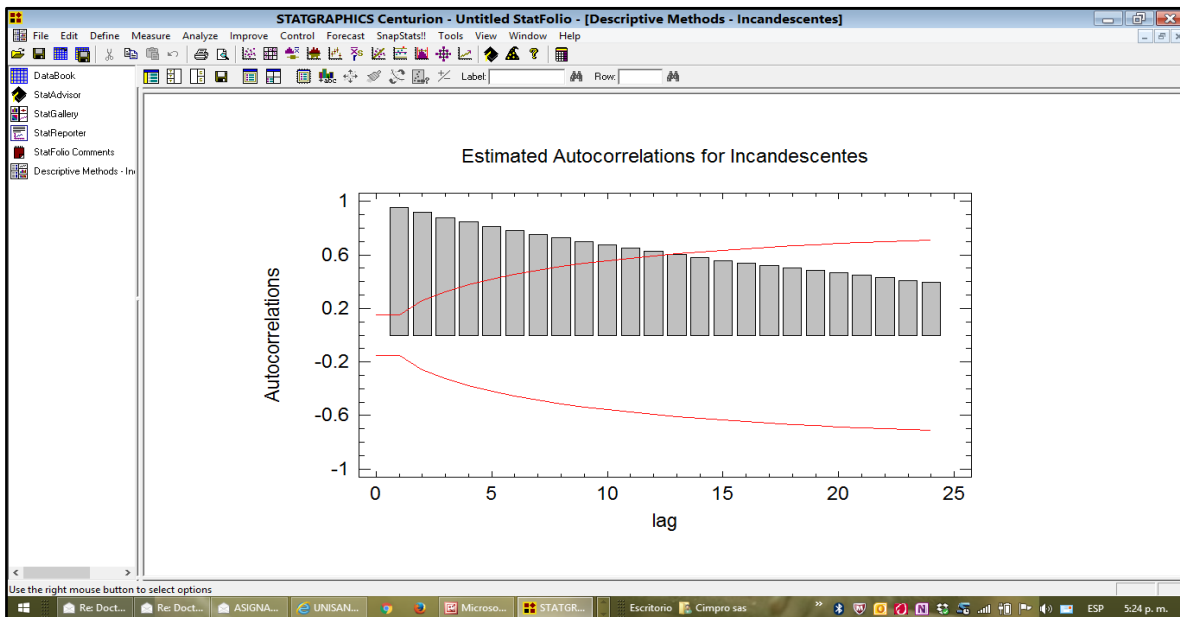
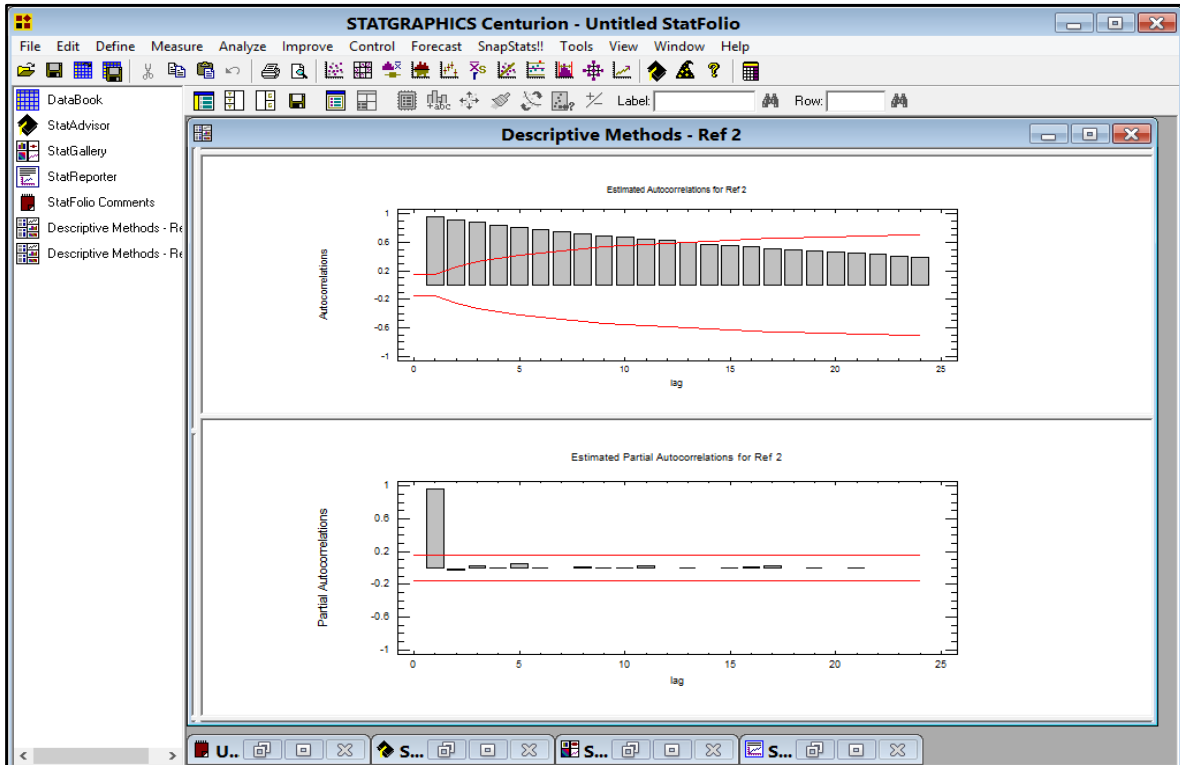
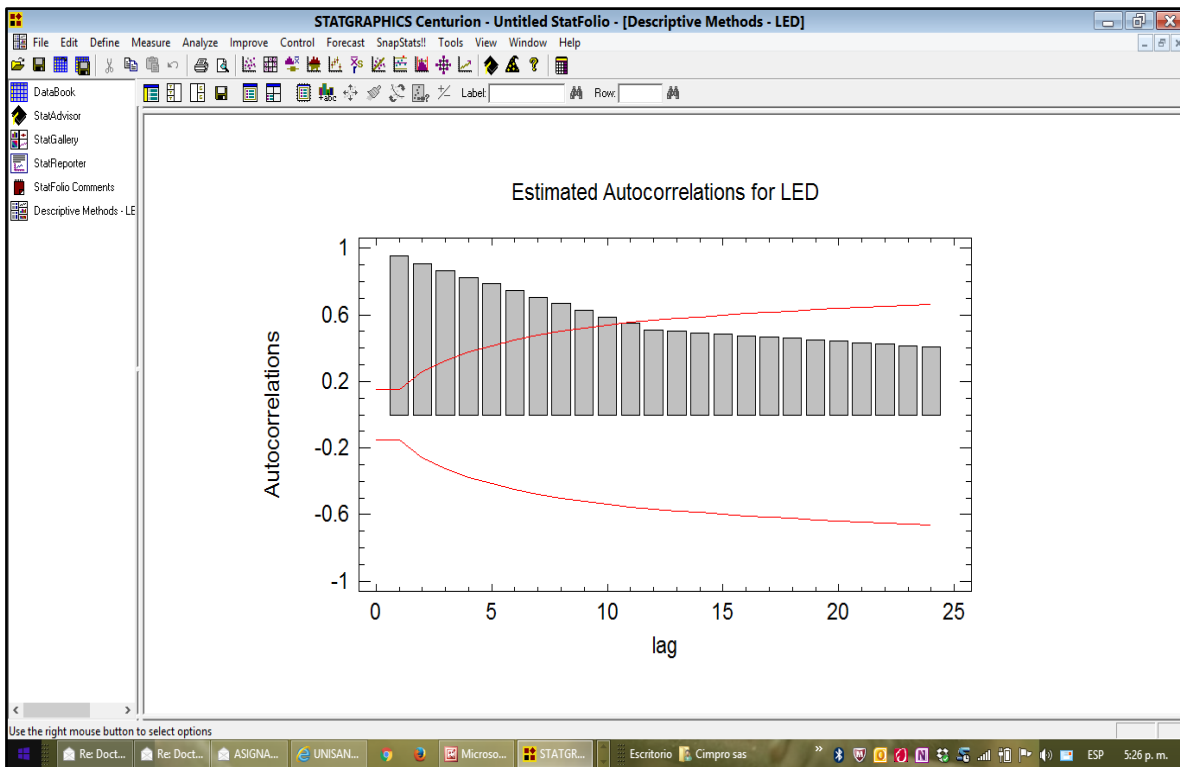
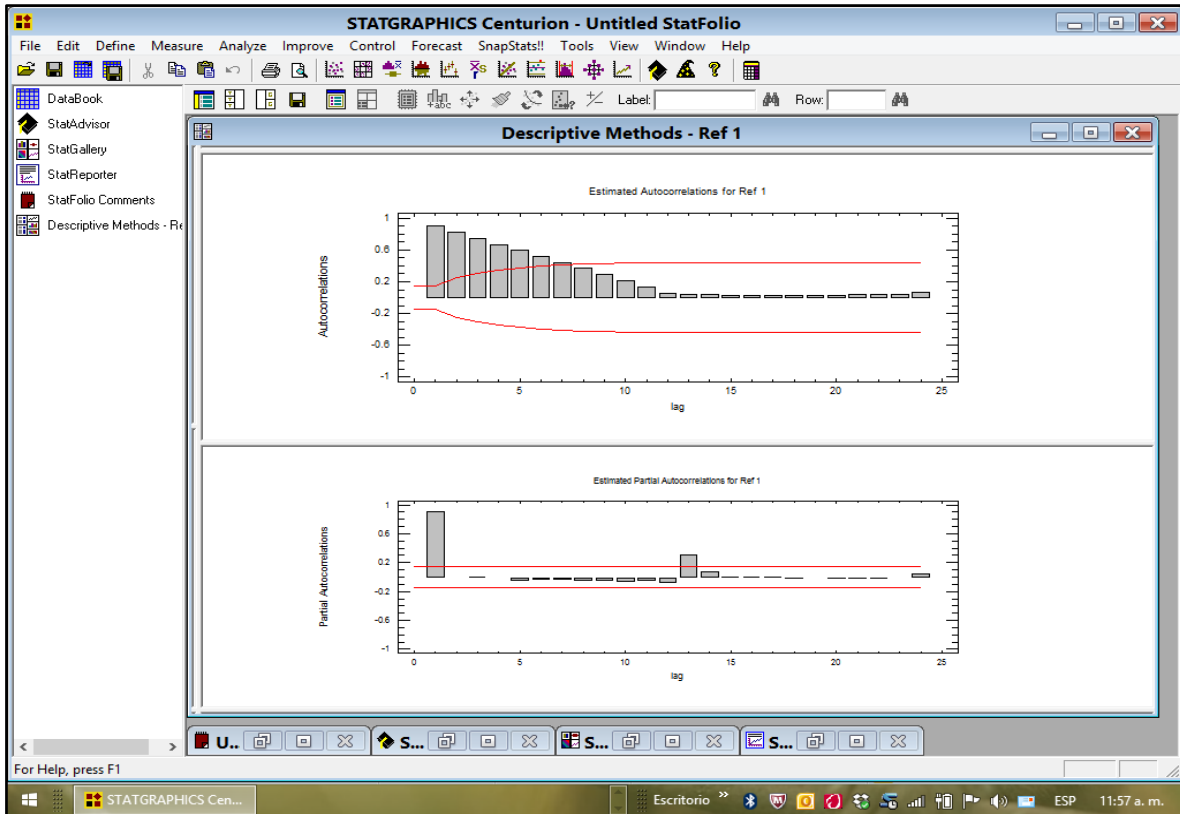


Ilustración 13 - ACF para LEDs



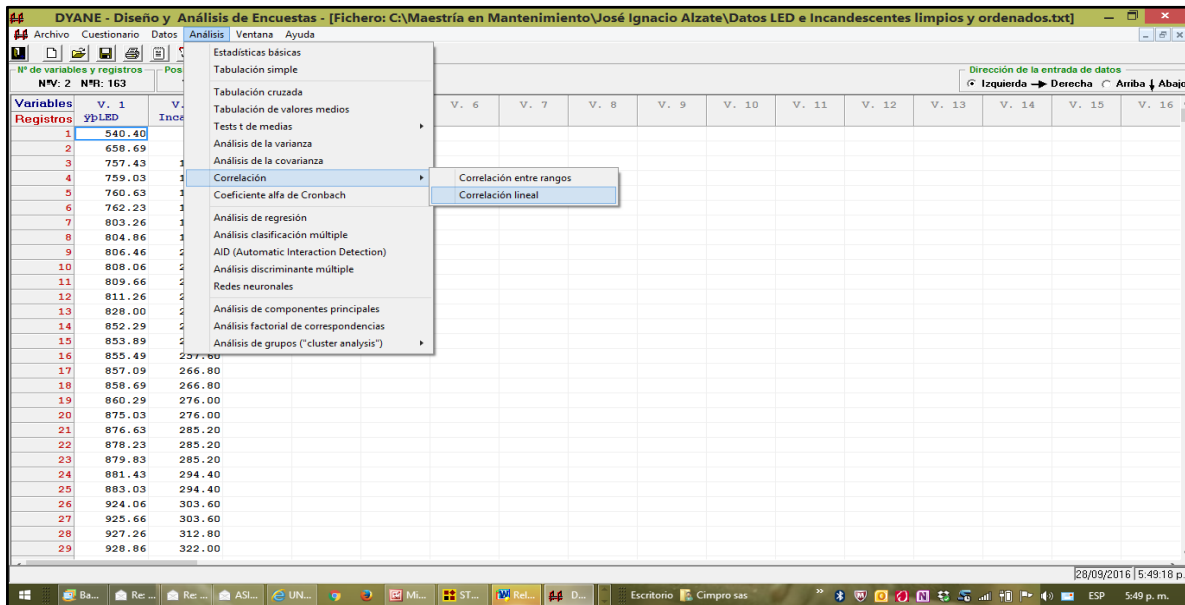
### 1.4.4.1 Autocorrelación ACF

En ambos casos tanto de Incandescentes como de LEDs, se observa que los primeros palotes sobresalen significativamente por encima de la banda de confianza y varios (muchos) tienden a uno, esto denota que los valores entre de los datos LEDs y de los Incandescentes, se auto correlacionan entre sí, es decir están unos en función de otros, lo que comprueba que el experimento es válido y estadísticamente certero y confiable para obtener conclusiones de cada uno de ellos.

### 1.4.4.2 Correlación entre Curvas LED e Incandescentes

Para el caso particular se calcula con el software DYANE, el cual debe presentar resultados de  $p$  value inferior a 0.05

Ilustración 14 - Pruebas de correlación entre LEDs y los Incandescentes



DYANE - Diseño y Análisis de Encuestas - [Fichero: C:\Maestría en Mantenimiento\José Ignacio Alzate\Datos LED e Incandescentes limpios y ordenados.txt]

Archivo Cuestionario Datos Análisis Ventana Ayuda

Nº de variables y registros: N°: 2 N°R: 163 Posición del cursor: V: 1 R: 1 Dirección de la entrada de datos: Izquierda → Derecha ↑ Arriba ↓ Abajo

Variables	V. 1	V. 2	V. 3	V. 4	V. 5	V. 6	V. 7	V. 8	V. 9	V. 10	V. 11	V. 12	V. 13	V. 14	V. 15	V. 16
Registros	ypLED	Incandes														
1	540.40	82.80														
2	658.69	92.00														
3	757.43	101.20														
4	759.03	119.60														
5	760.63	128.80														
6	762.23	165.60														
7	803.26	174.80														
8	804.86	193.20														
9	806.46	202.40														
10	808.06	211.60														
11	809.66	220.80														
12	811.26	239.20														
13	828.00	248.40														
14	852.29	248.40														
15	853.89	257.60														
16	855.49	257.60														
17	857.09	266.80														
18	858.69	266.80														
19	860.29	276.00														
20	875.03	276.00														
21	876.63	285.20														
22	878.23	285.20														
23	879.83	285.20														
24	881.43	294.40														
25	883.03	294.40														
26	924.06	303.60														
27	925.66	303.60														
28	927.26	312.80														
29	928.86	322.00														

**CORRELACIÓN LINEAL**

Variables numéricas/mixtas:

- 1. ypLED
- 2. Incandes

Opciones:

- Número de casos
- Test de significación

Calcular Cancelar

Elija dos o más variables sobre las que quiere calcular todos los pares de correlaciones posibles.

28/09/2016 | 5:50:08 p.

DYANE - Diseño y Análisis de Encuestas - [ Resultados ]

Archivo Cuestionario Datos Análisis Ventana Ayuda

ANÁLISIS DE CORRELACIÓN LINEAL

IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES

VARIABLE 1 : ypLED - ypLED  
 VARIABLE 2 : Incandes - Incandescentes

Matriz de coeficientes de correlación simple

	ypLED	Incandes
ypLED	1.0000	0.9648
N = ( 163)	( 163)	
p =	0.0000	0.0000
Incandes	0.9648	1.0000
N = ( 163)	( 163)	
p =	0.0000	0.0000

Enviar resultados a: Portapapeles Impresora Fichero Tamaño de fuente: 9 Ajuste de línea: Si No

28/09/2016 | 5:51:17 p.

Obsérvese en los resultados que todas las correlaciones entre LED e Incandescentes son inferiores a 0.005, dan en lo particular 0.0000, lo cual ratifica una vez más que el exoperimento en la Mesa de Pruebas de Bombillas es coherente y con resultados estadísticamente válidos, pues se asocian al mismo fenómeno de vida útil y fatiga de los mismos.

Ilustración 15 - Curva de Davies - Bathroom



(Mora, 2009)

#### 1.4.4.3 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.

#### 1.4.4.4 Zona II – Rodaje o Vida Útil

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 ventanas (González, 2004) (RCM and TPM complementary rather than conflicting techniques, 1996) (Hecht, y otros, 2001).

#### 1.4.4.5 Zona III – Envejecimiento o fatiga

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.

#### 1.4.4.6 Tasa de fallos - Hazard

La tasa de fallos  $\lambda(t)$  es una expresión que define la fracción de elementos sin fallar en un tiempo  $t$  y se expresa de la siguiente forma:

Ecuación 1 -  $\lambda(t)$  - Tasa de Fallas - Hazard - Lambda de t

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{1}{n(t)} \frac{dn(t)}{dt}$$

Donde  $n(t)$  es la cantidad de elementos sin falla (Navarro Elola, y otros, 1997).

De la ecuación anterior se puede afirmar que la tasa de fallos es directamente proporcional a la rata de cambio de los elementos sin fallar sobre los elementos sin falla, es decir que puede tomar valores negativos para los casos específicos donde la cantidad de artefactos sin fallar tenga una tendencia a la baja (rata de cambio negativa), lo que supone un resultado adverso para la empresa.

De otro lado, si la rata de cambio de los elementos sin fallar tiene una tendencia al alza tendríamos un valor de  $\lambda(t)$  positivo ( $dn(t)/dt > 0$ ) lo que supone una tendencia favorable.

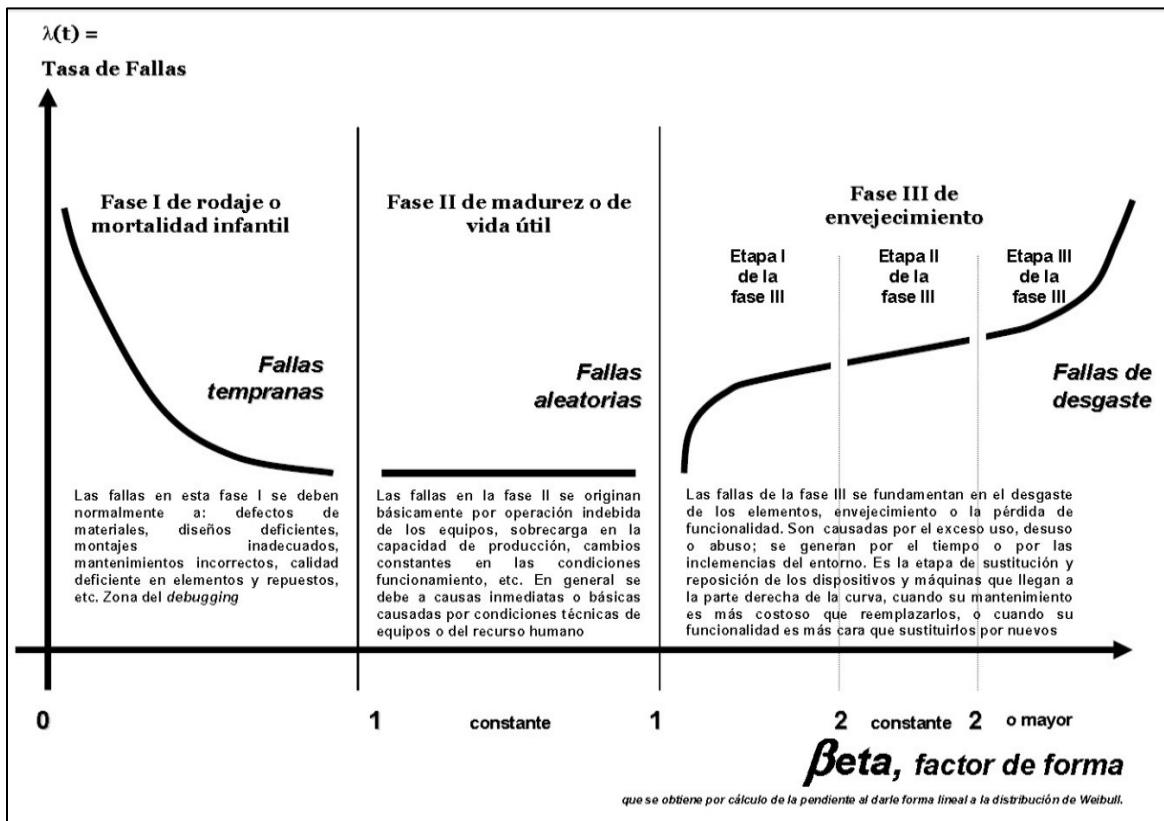
#### 1.4.4.7 Curva de Davies ajustada por factor de forma $\beta$

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 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 (Idhammar@, 1999).

---

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

Ilustración 16 - Curva de la Bañera ajustada por factor de forma



(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.

La tercera sección compuesta por el área número 3 de la curva (parte derecha) la tasa de fallos tiene 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 (centro).

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, 2007b) 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, 2012).

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

### **1.4.5 Confiabilidad - Fallas**

La medida de la confiabilidad de un equipo, es la frecuencia con la cual ocurren las fallas en el tiempo (ESReDa-Industrial, 1998). Si no hay fallas, el equipo es 100% confiable; si la frecuencia de fallas es muy baja, la confiabilidad del equipo es aún aceptable; pero si la frecuencia de fallas es muy alta, el equipo es poco confiable. Un equipo con un muy buen diseño, con excelente montaje, con adecuadas pruebas de trabajo en campo y con un apropiado mantenimiento, no debe fallar nunca (en teoría); sin embargo, la experiencia demuestra que incluso los equipos con mejores: diseños, montajes y mantenimientos; fallan alguna vez (Bazovsky, 2004).

La confiabilidad está estrechamente relacionada con la calidad de un producto y es con frecuencia considerada un componente de esta. La calidad puede ser definida cualitativamente como la cantidad de satisfacción, de los requerimientos de los usuarios de un producto. La confiabilidad se interesa por cuánto tiempo el producto continúa en funcionamiento, después de entrar en operación. Una baja calidad del producto implica una disminución de su confiabilidad, de la misma manera que una calidad alta implica una confiabilidad elevada.

La probabilidad de que un equipo<sup>5</sup> desempeñe satisfactoriamente las funciones para las cuales se diseña, durante un período de tiempo específico y bajo condiciones normales de operación, ambientales y del entorno, se define como confiabilidad (Blanchard, 1995)(Blanchard, y otros, 1994)(Ebeling, 2005)(Nachlas, 1995)(Ramakumar, 1996)(Sotskov, 1972)(Leemis, 1995)(O'Connor, 2002)(Kececioglu, 1995)(Kelly, y otros, 1998)(Dounce, 1998) (Rey, 1996)(Halpern, 1978)(Forcadas, 1983)(Modarres, 1993)(Barlow, 1998)(Barlow, y otros, 1996)(Bazovsky, 2004)(Lewis, 1995)(Nakajima, y otros, 1991).

La definición de confiabilidad muestra que existen cuatro características que definen su estructura: probabilidad, desempeño satisfactorio, período y condiciones específicas:

#### **1.4.5.1 Probabilidad**

Las mediciones de CM<sup>6</sup> se hacen en términos de probabilidad, la cual se define en forma clásica, como el resultado de dividir el número de veces de los casos estudiados (intentos o eventos, favorables o no) entre el número total posible de casos (intentos o eventos); en la medida que la cantidad<sup>7</sup> de intentos o casos posibles sea mayor la probabilidad se vuelve más exacta y cercana al valor real. Por ejemplo, la probabilidad de un desempeño eficaz durante 80 horas de 0.75 (o 75%), indica que el equipo funciona satisfactoriamente 75 veces de cada 100 ensayos, durante al menos 80 horas (Blanchard, y otros, 1994).

#### **1.4.5.2 Desempeño satisfactorio**

Este indica que se deben establecer criterios específicos para describir lo que se considera, como una operación satisfactoria. Una combinación de factores cualitativos y cuantitativos definen las funciones que el sistema (equipo) debe lograr, usualmente son las especificaciones del sistema(Blanchard, y otros, 1994). Implica además conocer cuándo el equipo falla y ya no se

---

<sup>5</sup> Cuando se refiere a un equipo, se abarcan sistemas, unidades, componentes y en general, cualquier elemento que represente una unidad lógica de seguimiento.

<sup>6</sup> CM - Confiabilidad Mantenibilidad.

<sup>7</sup> Se recomienda valores superiores a treinta y un experimentos (Levin, 1996), en el teorema del límite central, que menciona que cuando la muestra en poblaciones atípicas es igual o superior a treinta (o 31) elementos, la media muestral se asemeja a la media poblacional.

desempeña satisfactoriamente. Para un automóvil, por ejemplo, un adecuado nivel de satisfacción es que se pueda desplazar, si es así, el auto se desempeña satisfactoriamente, aún si su radio se daña o ciertas luces no funcionan (Leemis, 1995).

### 1.4.5.3 Período

Es la variable aleatoria de la definición de confiabilidad y se refiere a la duración del funcionamiento o longitud de vida; no necesariamente tiene que ser dado en horas, días, meses o años; de acuerdo con el sistema, el tiempo se puede medir con un reloj, el tiempo exacto de operación, el número de ciclos de operación o incluso en otras medidas como kilómetros recorridos, como es el caso de las llantas de un automóvil (Ebeling, 2005)(Ramakumar, 1996). El análisis de dicha variable aleatoria implica el uso de las distribuciones de probabilidad, que deben ser modelos razonables de la dispersión de los tiempos de vida (Nachlas, 1995).

### 1.4.5.4 Condiciones de operación

Son las circunstancias en las que se espera que el equipo funcione, y constituyen el cuarto elemento relevante de la definición básica de confiabilidad; incluyen factores como ubicación geográfica donde se espera que el equipo opere, el medio ambiente<sup>8</sup>, vibraciones, transporte, almacenamiento, empaque, cantidad de la carga, etc. (Ramakumar, 1996).

### 1.4.5.5 Curva de Supervivencia y de No Confiabilidad.

La forma gráfica en que se expresa la confiabilidad, depende de su formulación matemática. La probabilidad de ocurrencia de un evento se define mediante la expresión:

#### Ecuación 2 - Probabilidades de ocurrencia de un evento (de falla) y confiabilidad

$$P_f = \left( \frac{n}{N} \right)$$
, donde n es (son) el (los) evento (s) de falla (en confiabilidad) a estudiar; N= es el número total de eventos posibles;  $P_f$  es la probabilidad de falla.

$$P_f = \lim_{N \rightarrow \infty} \left( \frac{n}{N} \right)$$
, donde  $P_f$  se define como la probabilidad de que ocurra el evento n ante una serie grande o infinita N, de eventos posibles.

$$R_a = 1 - P_f$$
, con  $R_a$  como la probabilidad de confiabilidad o de éxito o de supervivencia, en un tiempo a, siendo  $P_f$  la probabilidad de falla en ese mismo tiempo a.  
(Ramakumar, 1996)

La curva de confiabilidad es la representación gráfica del funcionamiento después de que transcurre un tiempo t en un período T total. Se puede entender de dos maneras: la primera consiste en la representación de la probabilidad de confiabilidad o supervivencia que tiene un elemento, máquina o sistema después de que transcurre un determinado tiempo t; la otra forma de interpretarla es cuando se analizan varios o múltiples elementos (no reparables, normalmente) similares que tienen la misma distribución de vida útil, en este caso expresa el porcentaje de ellos que aún funcionan después de un tiempo t.

<sup>8</sup> Por ejemplo temperatura o ciclos de temperatura, humedad, etc.

### Ecuación 3 - Representación matemática de la función de confiabilidad

$R(t) = P[t < T]$ , donde  $R(t)$  es la función de confiabilidad o supervivencia, la cual decrece en la medida que se incrementa el tiempo, al igual  $R(0)=1$  o sea que siempre la probabilidad de confiabilidad de cualquier elemento antes de iniciar su funcionamiento es máxima del cien por ciento (100%);  $t$  es el tiempo determinado para evaluar el funcionamiento.

$\lim_{t \rightarrow \infty} R(t) = 0$ , expresa que cualquier elemento o máquina, siempre entra en estado de falla, así sea en un tiempo grande o infinito.

(Leemis, 1995).

### Ilustración 17 - Cálculos de Confiabilidad - Supervivencia (Reliability) y No Confiabilidad (Failure)

The screenshot shows the ReliaSoft Weibull++ Version 6 interface. The main window displays a data table with the following columns: D-I, Time Failed, and Subset ID. The data points are as follows:

D-I	Time Failed	Subset ID
1	82.8	
2	92	
3	101.2	
4	119.6	
5	128.8	
6	165.6	
7	174.8	
8	193.2	
9	202.4	
10	211.6	
11	220.8	
12	239.2	
13	248.4	
14	248.4	
15	257.6	
16	257.6	
17	266.8	
18	266.8	
19	276	
20	276	
21	285.2	
22	285.2	
23	285.2	
24	294.4	
25	294.4	
26	303.6	
27	303.6	
28	312.8	
29	322	
30	322	
31	331.2	

The Quick Calculation Pad (QCP) dialog box is open, showing the following settings:

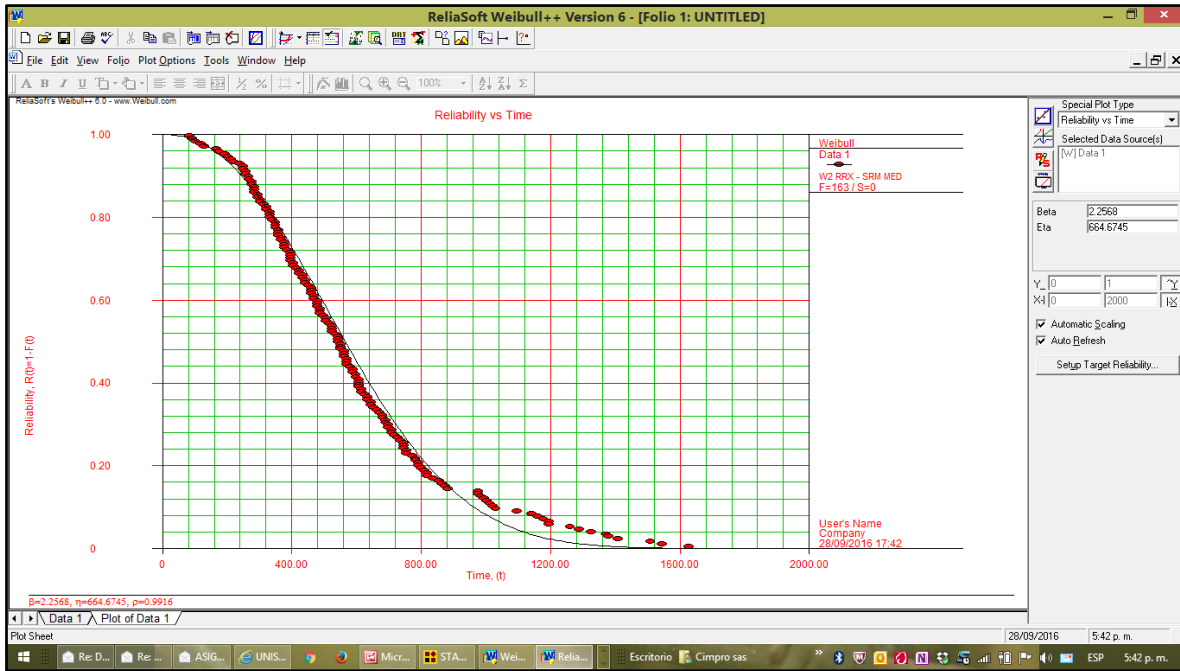
- Basic Calculations:  Std. Prob. Calculations,  Warranty (Time) Information,  Conditional Calculations,  BX Information,  Failure Rate,  Mean Life
- Results Option:  Results as Reliability,  Results as Probability of Failure
- Required Input From User: (Empty)
- Results:
  - Upper Limit: 629.6691
  - Mean Life: 588.7353
  - Lower Limit: 560.4625
  - Confidence: 2S @ 0.9

The software interface also shows a parameter table on the right side:

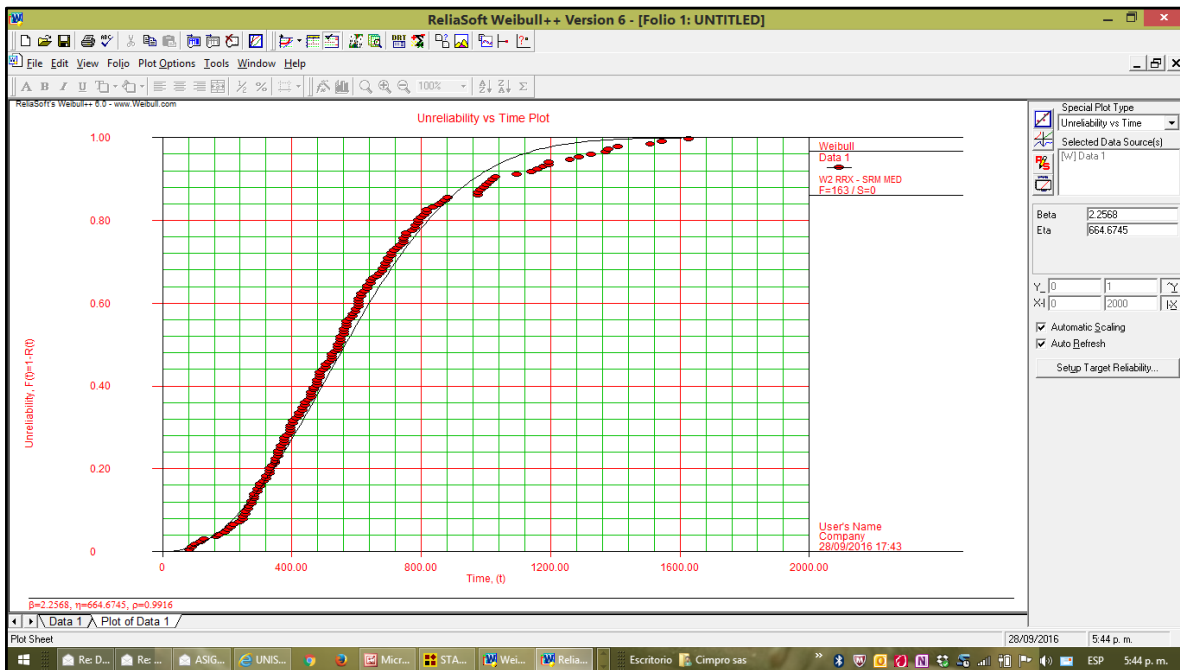
Parameter	Value
Beta	2.2568
Eta	684.6745
Rho	0.9916
Lk Value	-1157.3473

Es importante recalcar que los valores del Beta en este caso particular de los Bombillos Incandescentes es mayor a 1, da en lo particular un Beta de 2.2568 mayor a uno con suficiencia.

### Ilustración 18 - Curva de Confiabilidad - Supervivencia (Reliability)



### Ilustración 19 - Curva de No Confiabilidad (Failure)



#### 1.4.6 Mantenibilidad

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 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.

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.

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).

#### 1.4.7 Disponibilidad

La disponibilidad se define como la probabilidad de que un equipo opere durante un periodo de tiempo definido bajo ciertas condiciones y luego de que inicia su vida útil (Mora, 2009). La disponibilidad se puede calcular como la relación entre confiabilidad y mantenibilidad como sigue:

Ecuación 4 - Disponibilidad (variable dependiente) en este caso Mantenibilidad es cero

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Confiabilidad}}{\text{Confiabilidad} + \text{Mantenibilidad}}$$

Dado que los elementos bombillos no son reparables, se trabaja con  $D = C$

$$\text{Disponibilidad} = \text{Confiabilidad}$$

#### 1.4.8 Métodos de predicción CMD

Es posible tener pronósticos acerca del comportamiento de un equipo mediante el cálculo de parámetros CMD futuros, esto se puede lograr por el método puntual o métodos de distribuciones, los cuales se resumen en la siguiente tabla:

**Ilustración 20 - Métodos de distribución para estimación de confiabilidad y mantenibilidad (CM)**

<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,197592).</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>

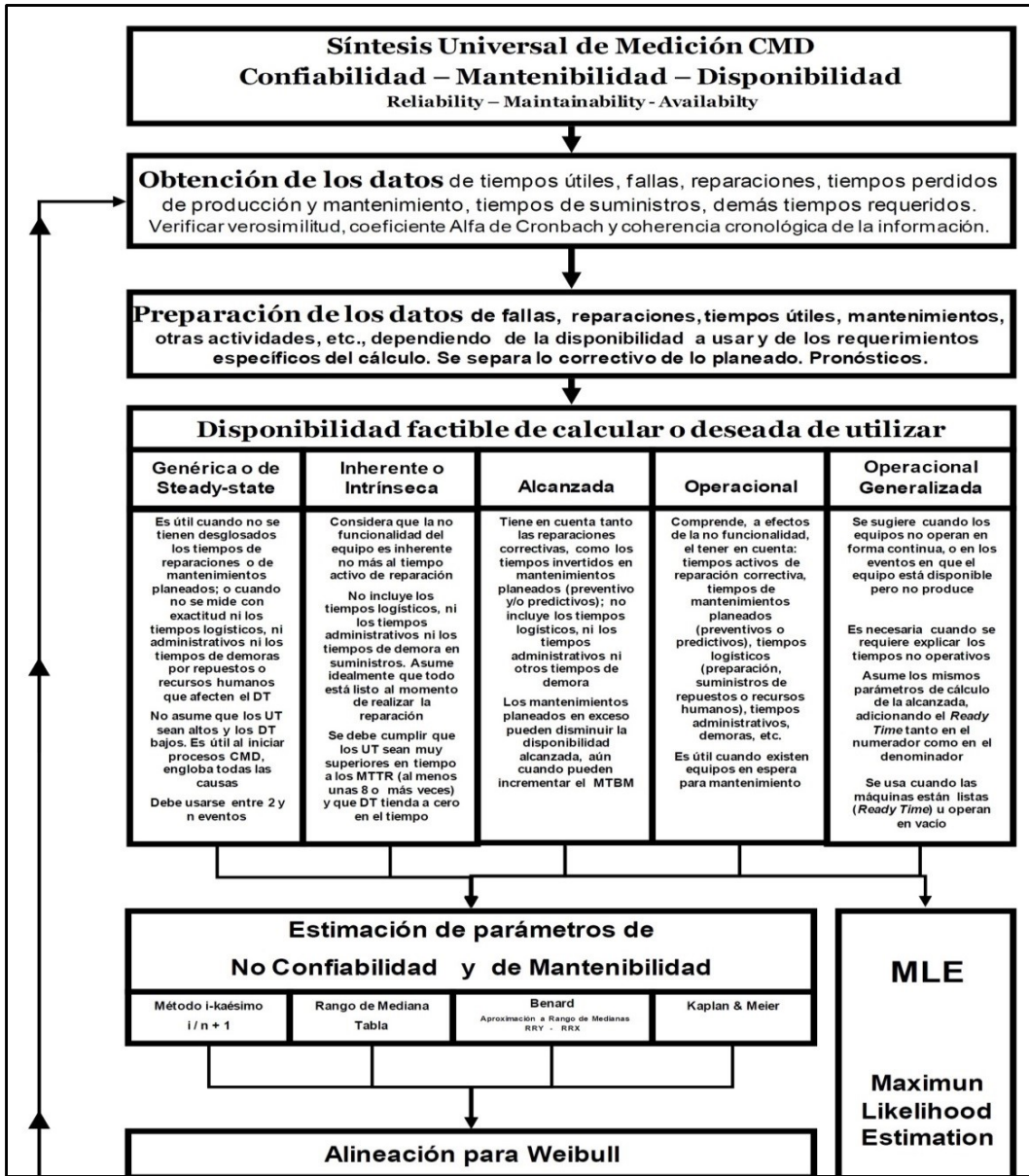
(Mora, 2009)

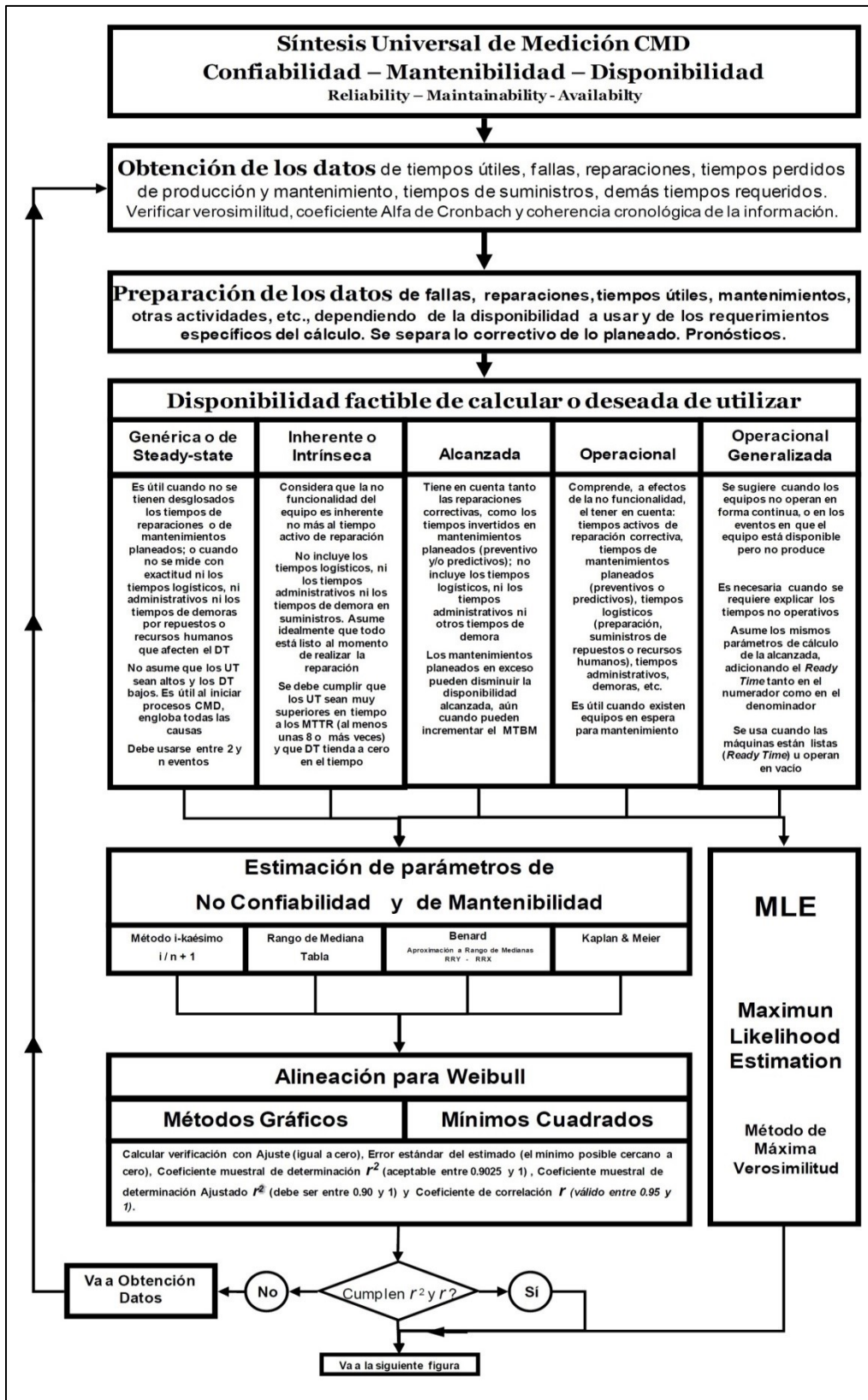
Existen otros modelos como el HPP (modelo homogéneo de Poisson) y NHPP (método no homogéneo de Poisson), así como otras metodologías que se basan en el modelo universal de pronósticos y sus variantes.

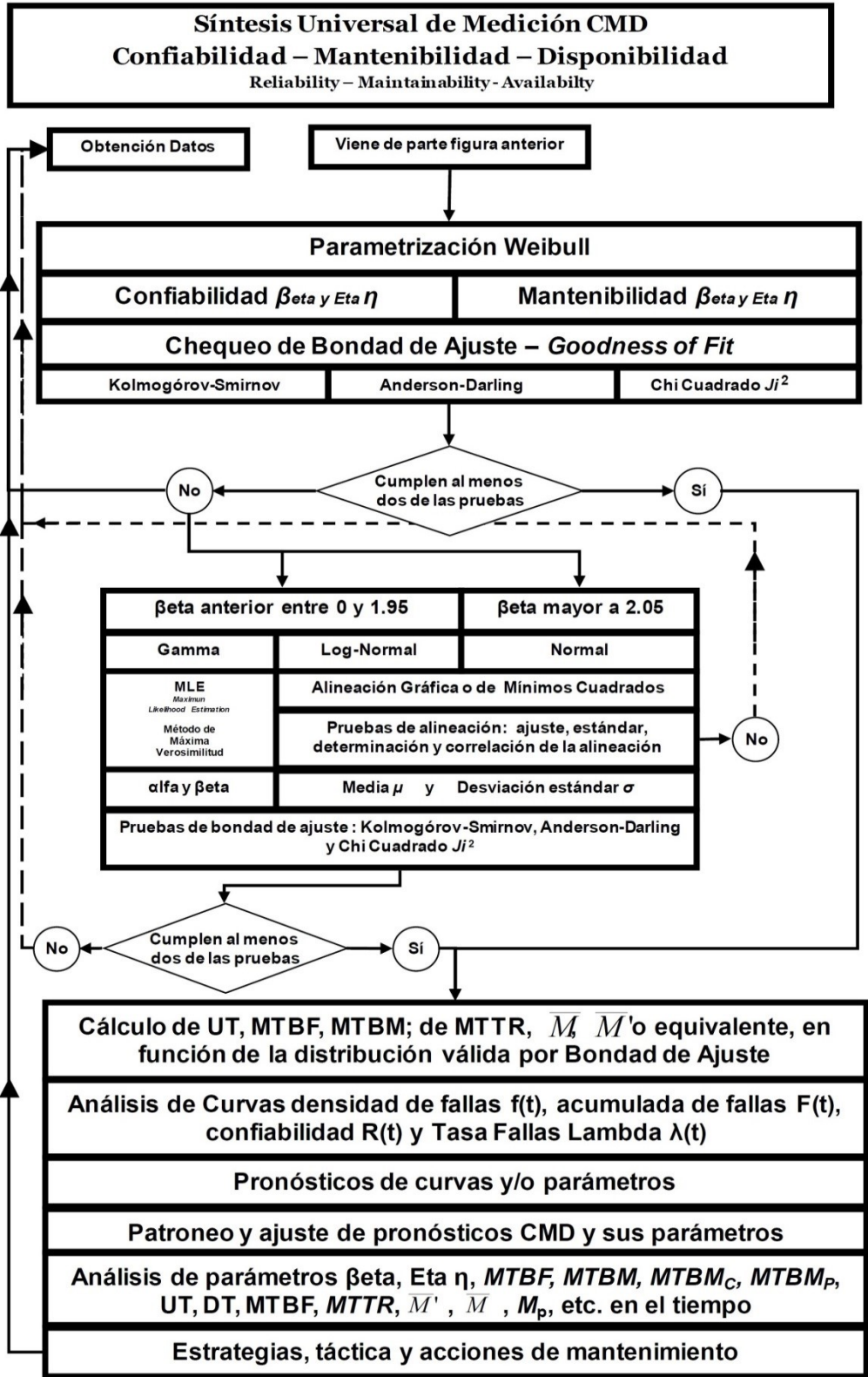
**1.4.9 Modelo universal para pronosticar CMD**

En este modelo se validan los datos de operación del sistema, posteriormente se generan resultados para el análisis y toma de decisiones y es aplicable a componentes en cualquier punto de la curva de fallas, adicionalmente es aplicable a métodos puntuales y a distribuciones.

Ilustración 21 - Modelo para cálculos y predicciones CMD







(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 en fallar (Knezevic, 1996) (Improvingt Equipment Reliability at Plant Efficiency through PM Optimisation at Kewaunee Nuclear power Plant, 1995) (Knezevic, 2010).

#### **1.4.10 Conclusiones del capítulo uno**

El objetivo uno pretende y propende registrar los datos de fallas de bombillas LED e incandescentes en la mesa electrónica de pruebas, mediante validaciones matemáticas de Cronbach, coeficientes de distribución y correlación, a la vez que utilizando su estadística.

De forma amplia se demuestra hasta la saciedad lo bueno de los valores y las posibilidades de realizar cálculos estadísticos y CMD, con el fin de obtener datos y resultados concluyentes en cuanto a que la vida {útil de las bombillas es de fatiga o envejecimiento.

Los modelos estadísticos para el cálculo de la densidad de fallas deben seleccionarse según la etapa de operación en que se encuentra (Rodaje, vida útil o envejecimiento) y según las restricciones por tipo de componente.

A través de los cálculos CD se analiza el estado de los equipos y puede definirse la estrategia más precisa para mejorar la disponibilidad del sistema de bombillas.

## 2 METODOS ESTADISTICOS PARA AFRONTAR EL ANALISIS DE DATOS

### 2.1 OBJETIVO

Reconocer los parámetros de dispersión, desviación estándar, mediana, moda, media, etcétera a partir de los datos de bombillas fallidas en LED o en incandescentes en la mesa de pruebas durante el periodo de evaluación.

### 2.2 INTRODUCCIÓN AL CAPÍTULO DOS

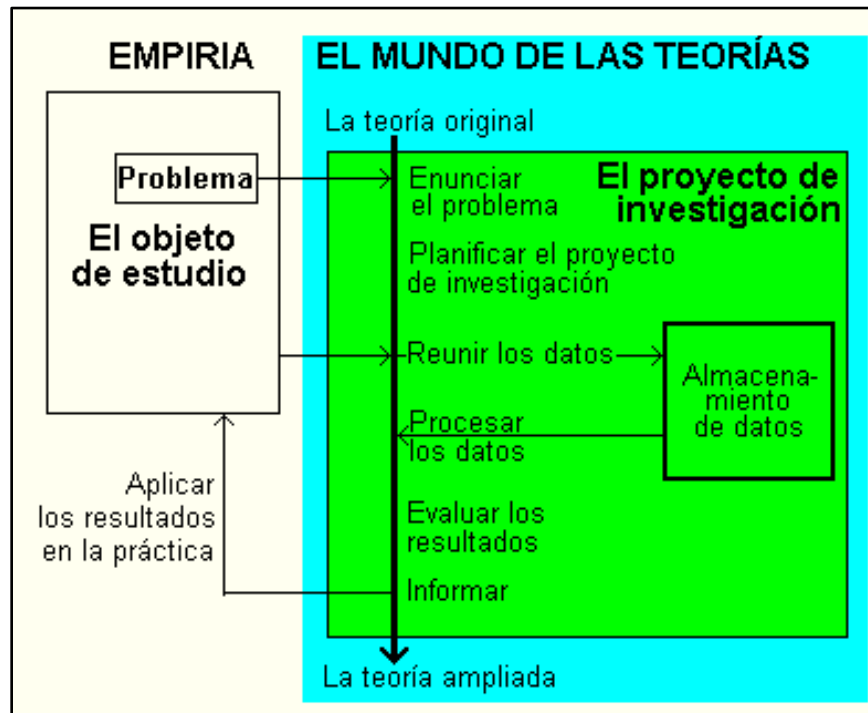
Este capítulo aporta información estadística, normalmente si se desea estudiar algo que también queremos medir, un prerrequisito es que, al comenzar, se debe saber bien claro que se va estudiar y para ello se examinan las cantidades medibles y así organizarlas para facilitar el análisis de los datos con herramientas tradicionales y el análisis cuantitativo que se divide tres fases: clasificación, análisis de variables individuales y análisis de las relaciones entre variables.

### 2.3 DESARROLLO

El proyecto de bombillas incandescentes y LED tiene como función principal la recolección de datos durante un periodo de tiempo no menor a un año, y estudiar los diferentes tipos de fallos y lograr llegar a conclusiones que permitan el pronóstico de falla y su posición en la curva de Davies.

El método que se desarrolla en este análisis, debe ir respaldado por una planeación de datos en la investigación la cual hace posible medirla. Normalmente un proyecto de investigación que examina cantidades medibles puede organizarse en distintas fases como se muestra en el diagrama. Primero, recogemos los datos y después los procesamos o depuramos, de modo que sean adecuados a los fines del proyecto.

Ilustración 22 - Diagrama análisis de datos



### **2.3.1 Descripción de los métodos**

Para facilitar el análisis de los datos, se debe almacenarlos bien ordenados. Las herramientas tradicionales para esta tarea suelen ser las fichas y las carpetas, pero hoy esto se suele llevar a cabo con ayuda de un ordenador en el cual es el más conveniente y efectivo cuando haya que alimentar y extraer datos desde operaciones analíticas. La elección depende de la naturaleza de los datos.

La herramienta normal para el uso de datos cuantitativos es una hoja de Excel, donde se recolectaron datos por más de tres años consecutivos, allí los datos se usaron de manera más conveniente, clasificados y presentados en varias tablas; junto con ellos, es más fácil someterlos a operaciones aritméticas o booleanas y también transformarlos en diagramas (Routio, 1998).

Una vez recolectados los datos y antes de someterlos al análisis, suele ser útil llevar a cabo algunas operaciones preliminares. Esto puede incluir:

#### **2.3.1.1.1 Apartar**

los datos que son obviamente erróneos o irrelevantes. Esto ha de ser un hecho con precaución: no se deberían borrar datos que son solamente anómalos y no armonizan con las hipótesis.

#### **2.3.1.1.2 Normalizar o reducir**

Normalizar o reducir los datos significa que se elimina la influencia de algún factor bien conocido pero sin interés. Por ejemplo, podemos eliminar el efecto de la inflación dividiendo todos los precios por el índice de precios de la fecha de la compra.

En el análisis propiamente dicho de los datos, el propósito es extraer una invariante o estructura que nos interese a partir de los datos. Esto no significa que introduzcamos los datos en un ordenador y esperemos que el ordenador nos muestre qué estructuras pueden encontrarse en ellos. Los ordenadores no son lo bastante listos para eso.

En lugar de ello, es bastante habitual que ya en un momento tan temprano como el inicio del proyecto, el investigador tenga un modelo matemático que aplicará a los resultados. Este modelo también proporciona las hipótesis para el proyecto de investigación o al menos actúa como una hipótesis de trabajo no exacta.

Los resultados empíricos pueden entonces analizarse del modo siguiente: primero, el investigador dispone los resultados de acuerdo con el modelo y después considera en qué grado el marco es adecuado a los datos o si ha de buscarse un modelo que se adapte mejor (Routio, 1998).

### **2.3.1.2 Clasificar**

Si se desea clasificar los datos o casos en una muestra de objetos de estudio, hay unos cuantos métodos alternativos y la elección depende de la clasificación.

#### **2.3.1.2.1 Clasificaciones cualitativas:**

Cuando va a ser estudiado un gran número de datos, puede ser útil estructurar la agrupación material de los datos en clases. La base de la agrupación es proporcionada normalmente por el punto de partida teórico, y suele ser uno de los atributos importantes de los datos. Todos los miembros en una clase tienen este atributo nombrado, o lo tienen en mayor grado que otros datos.

### 2.3.1.2.2 Variable singular:

Toda variable singular puede ser usada para clasificar los datos o casos. Qué es esta variable y dónde están situados los límites de la clase, suele ser dictado por la teoría y el modelo que estamos poniendo en práctica; si no, es común seguir la serie aritmética (como pueda ser: 0...10...20...30...) o las series geométricas o logarítmicas: 1...10...100...1000... etc.

Dos o tres variables:

Dos o tres variables simultáneamente pueden usarse para clasificar los datos, pero hay el riesgo de generar demasiadas clases si alguna de las variables tienen varios valores potenciales. El riesgo es menor si algunas variables son *dicotómicas*, con sólo dos valores. Por ejemplo, tres variables dicotómicas producen  $2 \times 2 \times 2 = 8$  clases.

Una vez que se ha llevado a cabo una clasificación con uno de los métodos arriba mostrados, queda la tarea de presentarla en el informe. El número de individuos en cada categoría es llamado frecuencia. Si se divide por el número total del conjunto de la muestra, se obtiene la frecuencia relativa. La frecuencia relativa puede indicarse como un porcentaje o una fracción. Todas estas estadísticas son variables de la escala aritmética sin que importe el tipo de escala de las mediciones originales (Routio, 1998).

### 2.3.2 Análisis de variables individuales

A continuación hay una lista de algunos métodos habituales para el análisis estadístico de una sola variable. Los métodos han sido dispuestos de acuerdo con la escala de medición de la variable.

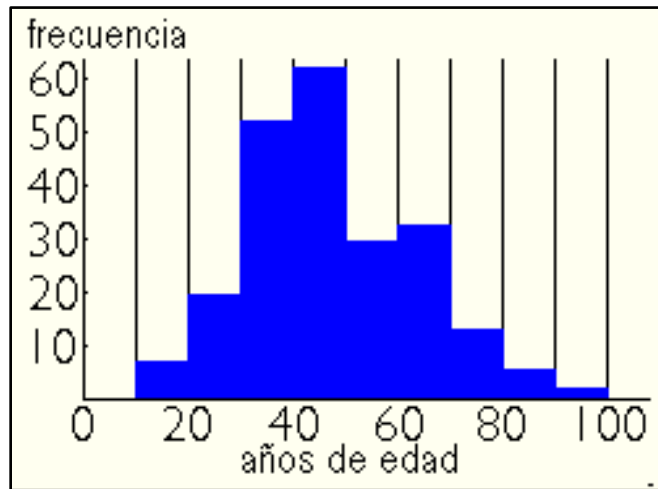
Ilustración 23 - Diagrama análisis de datos

	<u>Escala nominal</u>	<u>Escala ordinal</u>	<u>Escala de intervalo</u>	<u>Escala de proporción</u>
<b>Métodos de presentación de los datos</b>	- <u>Tabulación</u> ; <u>Presentación gráfica</u> -			
<u>Medias:</u>	- <u>La moda</u> -			
	-	- <u>La mediana</u> -		
	-	-	- <u>Media aritmética</u> -	
<u>Medidas de dispersión:</u>	-	- <u>Desviación de cuartil</u> -		
	-	- <u>El rango</u> -		
	-	-	- <u>Desviación estándar</u> -	

### 2.3.2.1 Presentación gráfica de una variable

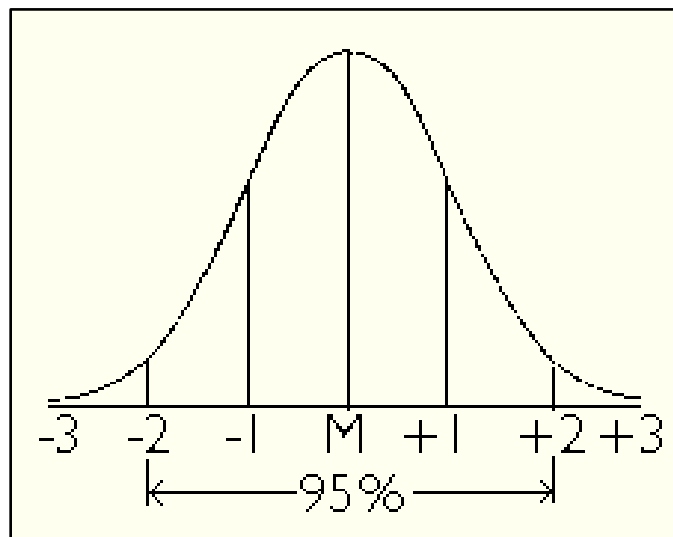
Un modo simple de presentar una distribución de valores es mostrar cada valor como un punto en una escala. Si hay un gran número de valores, puede ser mejor clasificarlos primero y entonces presentar la frecuencia de cada clase como un histograma.

Ilustración 24 - Diagrama de frecuencias o histograma



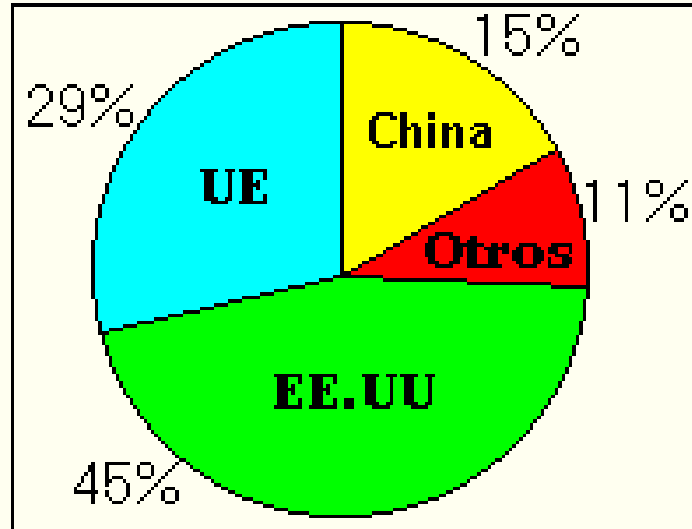
Si los estudios tienen que ver con personas, ocurre con bastante frecuencia que las mediciones estarán distribuidas de acuerdo con cierta curva, la llamada *curva de Gauss* (a la izquierda) que es, por consiguiente, llamada la distribución normal. Una de sus propiedades es que el 68% de todas las mediciones difiere de la media, en no más que la desviación estándar, y el 95% en no más que el doble de la desviación estándar (Routio, 1998).

Ilustración 25 - Curva de Gauss



A veces se desea colocar el énfasis no en la distribución *absoluta*, sino en la *proporcional* o de porcentaje. Un diagrama apropiado para esto es el gráfico de sectores, también llamado de tarta o de queso.

Ilustración 26 - Diagrama de sectores



### 2.3.2.2 Medias

Una media es una estadística que caracteriza el valor típico de nuestros datos y elimina la dispersión aleatoria de valores. Para cada una de las distintas escalas de medición hay un tipo adecuado de media.

#### 2.3.2.2.1 Moda

Es el valor más común en nuestro conjunto de datos.

#### 2.3.2.2.2 Mediana

Es el valor en el medio de la selección, si todos los valores están dispuestos del menor a mayor.

#### 2.3.2.2.3 Mediana (aritmética)

Es la suma de todos los valores divididos por su número.

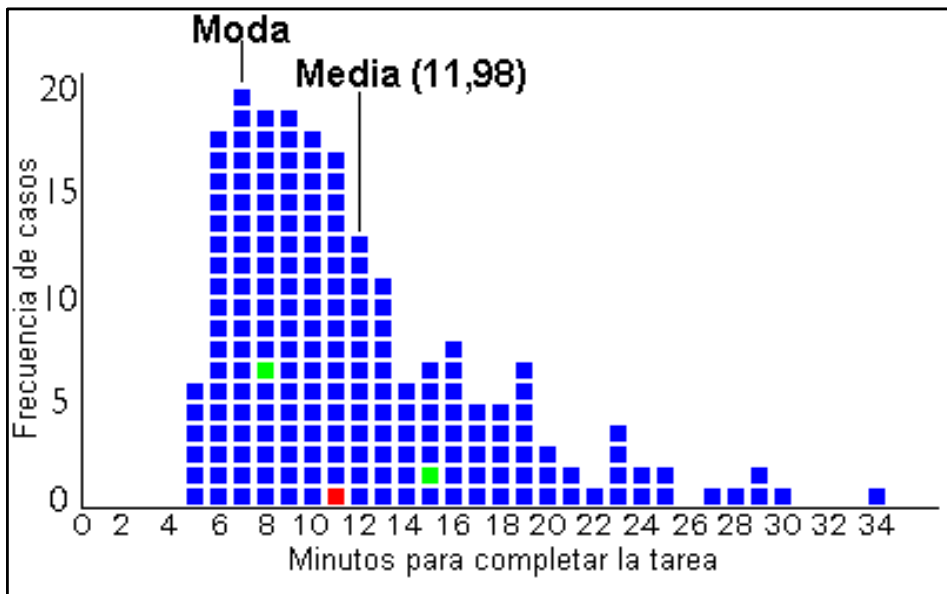
Entre las medias que se han presentado, se puede elegir habitualmente aquella que muestra mejor el valor típico de la variable. La media aritmética es la más popular, pero puede ofrecer un cuadro equivocado por ejemplo en datos que incluyan un valor que difieren en gran medida de los otros ( véase la imagen).

Lo mismo ocurre si la distribución está desviada como en la imagen. En el ejemplo se relacionan los minutos que los distintos sujetos tardan en llevar a cabo una tarea. Los más rápidos tardaron 5 minutos pero el resultado más común ( la moda) es de 7 minutos. El valor del medio, es decir, la mediana tiene un valor de 11 minutos. ¿Que pasa con la media? Como el más lento tardó 34

minutos, la media se eleva a 11.98 minutos, lo que no da un cuadro exacto del resultado medio en este caso.

Esto muestra que los datos están desviados y por eso el tipo de media debe elegirse con cuidado. La distribución mostrada en la figura está sesgada positivamente, porque las mediciones que han dado valores mayores que la mediana se extienden en un amplio rango (11 a 34), mientras que las mediciones que han dado valores por debajo de la mediana se concentran en pocos valores (5 a 11) (Routio, 1998).

Ilustración 27 - Figura ejemplo anterior



Se puede también, si es necesario, acudir a una estadística para describir la cantidad de desviación.

Al elegir la media más apropiada, se debe tener en cuenta la escala que es usada en la recolección de los datos. Si la escala era nominal, la única media posible es la moda. Si la escala fue ordinal, podemos usar la mediana o la moda.

Finalmente, si la media fue calculada a partir de una muestra, debemos examinar su representatividad estadística, o que probable es que la misma media sea cierta en la población de la que la muestra se extrajo (Routio, 1998).

#### 2.3.2.2.4 Dispersión de los datos:

Una vez que se ha calculado el valor medio, puede ser interesante descubrir que distancia en torno a la media están diseminados los valores singulares. Para este fin se puede elegir entre diversas estadísticas. La elección depende del tipo de media que se haya usado.

En el caso de la conexión con la moda la dispersión de valores raramente es interesante. Por lo contrario si se ha calculado una mediana muchas veces se puede señalar la diseminación de los

valores en torno a ella. Una forma adecuada para esto es la desviación de cuartiles. Un cuartil más alto es aquel valor que es sobrepasado por el 25% de todos los valores más bajos que el cuartil bajo. La desviación media de los cuartiles a partir de la mediana es llamada desviación de cuartiles y se calcula con facilidad dividiendo por la mitad la diferencia de los cuartiles.

El rango es otra alternativa muy simple que es la diferencia entre el mayor y el menor valor.

En conexión con la media aritmética muchas veces se desea calcular la desviación estándar. Si los valores se miden a partir de una población de datos la fórmula será:

Ecuación 5 -  $\sigma$  Sigma

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(\bar{x} - x)^2}{n - 1}}$$

Sin embargo, si la desviación estándar solo se refiere a una muestra la fórmula es:

Ecuación 6 - Desviación

$$s = \sqrt{\frac{\sum(\bar{x} - x)^2}{n}}$$

En ambas fórmulas,  $n$  es el número de los valores, y los valores de cada variable sustituirán a  $x$  uno tras otro. Raramente un investigador se molestará en realizar por sí mismo el cálculo, porque el algoritmo necesario para esto existe incluso en calculadoras de bolsillo. A la raíz cuadrada de la desviación estándar se llama **varianza**, y también ésta es usada con frecuencia para describir y analizar la dispersión (Routio, 1998).

### 2.3.2.3 Análisis entre variables individuales

Si dos variables evolucionan modo tal que en alguna medida se siguen entre ellas, podemos decir que existe una asociación entre ellas. Por ejemplo, la altura y peso de la gente están estadísticamente asociadas: aunque el peso de nadie esté causado por su altura ni la altura por el peso es, no obstante, habitual que las personas altas pesen más que las personas bajas. Por otro lado los datos habitualmente incluyen también excepciones, lo que significa que una asociación estadística es inherentemente estocástica.

La ciencia de la estadística ofrece numerosos métodos para revelar y presentar las asociaciones entre dos y hasta más variables. Los medios más simple son los medios de presentación gráfica y tabulación. La asociación entre las variables puede también describirse como una estadística especial, como el coeficiente de contingencia y una correlación para lo que hay varios métodos de análisis disponibles.

Si, al analizar los datos, se descubre alguna asociación entre las variables, esto no significa que necesariamente alguna de ellas dependa causalmente de la otra.

Se debe elegir deliberadamente una de estas alternativas. No hay medios en el análisis estadístico para la tarea de descubrir la explicación causal para una asociación estadística. En muchos casos, la teoría original del investigador puede proporcionar una explicación; si no, el investigador debe usar su sentido común para clarificar la causa.

A continuación mencionamos algunos métodos usuales de análisis estadístico que pueden usarse al estudiar la interdependencia entre una o más variables. Los métodos han sido dispuestos siguiendo a qué escala de medición corresponden la mayor parte de las variables (Routio, 1998).

Ilustración 28 - Métodos estadísticos del análisis de variables

	<u>Escala nominal</u>	<u>escala ordinal</u>	<u>escala de intervalo</u>	<u>escala de proporción</u>
<b>Métodos de presentación de datos</b>	- <u>Tabulación</u> ; <u>Gráficos</u> -			
<b>Medidas de <u>asociación</u></b>	- <u>Coefficiente de contingencia</u> ; <u>Chi cuadrado</u> -			
	-	- <u>correlación ordinal</u> -		
	-	-	<u>Correlación <math>r</math> de Pearson</u> ; <u>ANOVA</u>	
	-	-	<u>análisis de regresión</u> ; <u>análisis factorial</u>	

A continuación se explicaran estos métodos de una manera muy sencilla.

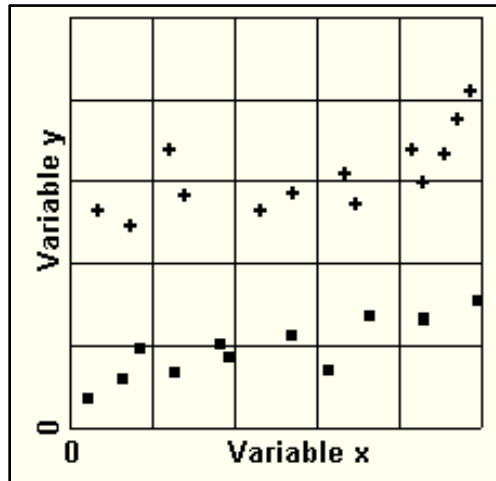
#### 2.3.2.3.1 Tabulación

La tabulación es una forma habitual de presentar las asociaciones entre dos o más variables. Una tabla tiene la ventaja de que en ella puede disponerse bien una cantidad extensa de datos y se conservan las cifras exactas. Una desventaja es que una tabla grande no es ilustrativa: raras veces revela algo más que las más obvias regularidades o interdependencias entre datos. Algunas abreviaturas convencionales que se usan en tablas se presentan bajo uno le los numerales anteriores clasificar (Routio, 1998).

#### 2.3.2.3.2 Presentación gráfica

Existen varios medios de representación gráfica. Uno de ellos es con un diagrama de dispersión si los datos consisten solamente en unas pocas mediciones, es posible mostrarlos todos. Se pueden exhibir los valores de dos variables sobre los ejes X y Y en formas de puntos o si se desea usando colores o formas. En el ejemplo mostrado a continuación se muestra la validez de los datos en forma de cuadros y el signo más.

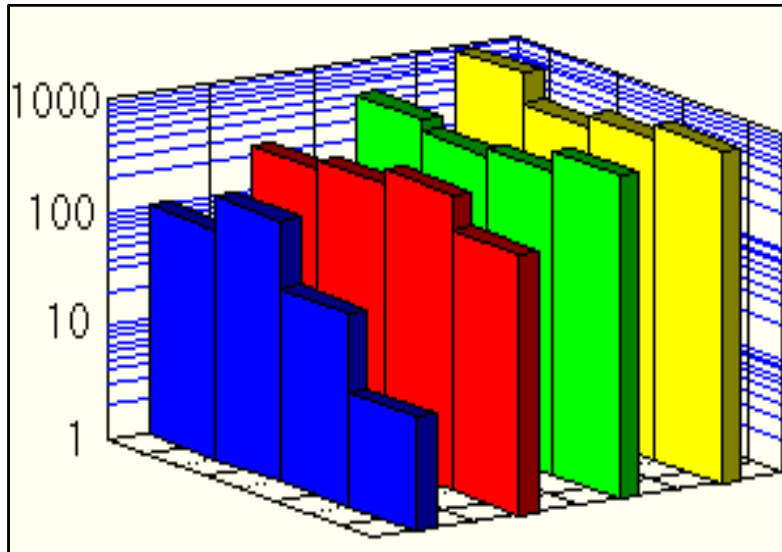
Ilustración 29 - Diagrama de dispersión de datos



Por otro lado, si el rango de variación de nuestros datos es muy amplio, podemos plantearnos usar una escala logarítmica en uno o ambos ejes (véase el diagrama ). La escala logarítmica es apropiada solamente en una escala de proporción.

Si tenemos cientos de mediciones, es probable que no queramos mostrarlas todas en forma de diagrama de dispersión. Una posibilidad en este caso es clasificar los casos y presentarlos como un histograma (Routio, 1998).

Ilustración 30 - Histograma



Existen otros métodos de representación gráfica de datos más complejos que no se mencionaron en este caso.

#### 2.3.2.3.3 Contingencia:

Los medios disponibles para el análisis de los vínculos entre las variables dependen de con qué tipo de escala se han medido las variables. La variable decisiva es aquella cuya escala es la más rudimentaria.

El método más rudimentario y general de la covarianza estadística de las variables es la contingencia.

Puede aplicarse a todo tipo de variables, incluyendo aquellas que se han medido solo con una escala de clasificación, es decir, una escala de diferencia de cualidades. La contingencia suele ser analizada haciendo una tabla, pero también hay disponibles estadísticas especiales para indicar su intensidad:

Para conexiones entre dos variables dentro de una clasificación a escala se describe con un cociente de contingencia o también con la estadística del Chi cuadrado.

Si dos variables se miden con una escala ordinal, su conexión puede describirse con una correlación ordinal.

Y por último para variables sobre escalas aritméticas, el método usual de contingencia es la correlación estándar (Routio, 1998).

#### 2.3.2.3.4 Correlación :

La correlación es una herramienta práctica para el análisis inicial de los datos, cuando no tenemos una idea clara de las relaciones mutuas entre variables. Es fácil para un ordenador calcular una *matriz de correlación* entre un gran número de variables o, más exactamente, para todos los pares potenciales de variables. Se puede entonces elegir esos pares que presentan las correlaciones más fuertes, y continuar examinándolos con otras herramientas, más refinadas, de análisis, por ejemplo el análisis de regresión.

Un aspecto débil del análisis de correlación es que no puede detectar otras relaciones lineales entre las variables. Por ejemplo, una relación que obedece a la ecuación cuadrática.

#### Ecuación 7 - Tendencia no lineal Cuadrática

$$y = a * x^2 + b .x + c$$

La cual pasa inadvertida. Sin embargo, algunos de los nuevos programas de análisis son capaces de detectar incluso esta y algunas otras asociaciones habituales de variables.

#### 2.3.2.3.5 Análisis de varianza:

El análisis de varianza examina dos o más conjuntos de mediciones, especialmente sus varianzas, e intenta detectar diferencias estadísticamente representativas entre los conjuntos. Estos conjuntos podrían ser, por ejemplo, reacciones medidas para dos grupos experimentales, y el investigador quiere examinar si hay una diferencia en las reacciones, tal vez causada por los distintos estímulos a los grupos.

#### 2.3.2.3.6 Análisis de regresión:

El análisis de regresión es un método apropiado para desvelar el patrón exacto de esta asociación.

El algoritmo de análisis de regresión construye una ecuación, que tiene el siguiente patrón. Además, da los parámetros  $a_1$ ,  $a_2$  etc. y  $b$  valores tales que la ecuación corresponde a los valores empíricos con tanta precisión cómo es posible.

#### Ecuación 8 - Múltiple

$$y = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + \dots + b$$

En la ecuación,

$Y$  = variable dependiente

$x_1$ ,  $x_2$  etc. = variables independientes

$a_1$ ,  $a_2$  etc. = parámetros.

$b$  = coeficiente

#### 2.3.2.3.7 Análisis factorial

A veces se tiene una gran cantidad de datos sobre numerosas variables diferentes con correlación entre ellas. Mediante el análisis factorial, tales datos suelen poder comprimirse y las variaciones presentarse a través de solo unas pocas variables.

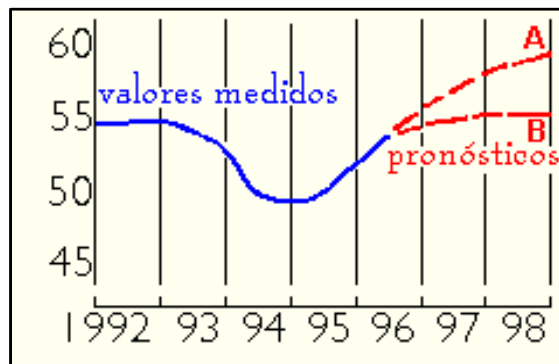
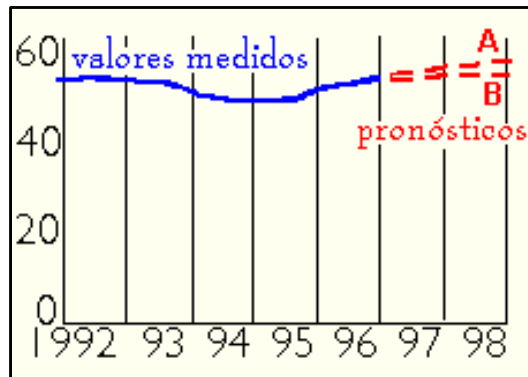
#### 2.3.2.3.8 Análisis de una serie temporal:

Una serie cronológica es una línea de valores de variables reunidos en un cierto periodo de tiempo, habitualmente en intervalos regulares. Si cada valor nuevo se añade a los previos, la serie es acumulativa (Routio, 1998).

La curva es la presentación más usual para la serie cronológica. El tiempo siempre se presenta en el eje horizontal,  $x$ . Si es necesario, pueden situarse varias variables o series de datos en el mismo diagrama. Esto tiene especial sentido cuando se están investigando sus conexiones o ha de ponerse énfasis en éstas. Cuando se presentan dos series cronológicas distintas con distintas escalas en una figura, podemos situar una escala cuanto al margen izquierdo de la figura y la otra junto al margen derecho.

Si es necesario, tanto los valores medidos como los que se predicen pueden mostrarse en la misma curva; véanse las figuras de abajo.

Ilustración 31 - Diagrama de series cronológicas



Toda serie cronológica es intrínsecamente *discontinua*, es decir, obtiene un valor discreto para cada periodo de tiempo. Esto es por lo que la presentación elegida para una serie cronológica suele ser una curva en escalera, que es en principio lo mismo que un histograma donde las columnas se dibujan una junto a otra.

Si se dirige una mirada más detenida a la variación de la serie cronológica, ésta suele revelar componentes, todos los cuales tienen sus regularidades específicas que pueden ser analizadas. Los más habituales de estos componentes son:

- Tendencia.
- Variación periódica.
- Variación coyuntural.

Una tendencia es una dirección lineal de desarrollo en un periodo de tiempo. Una forma sencilla de estudiarla es hacer un diagrama de dispersión y entonces situar manualmente una estimación aproximada de la línea que describe la tendencia en él.

Una variación periódica es una variación cíclica recurrente en forma similar una y otra vez. El periodo de variación suele ser una unidad natural de tiempo, como un año o un día. Cuando se ha encontrado la variación periódica, ésta se presenta, sea gráficamente como curva de la longitud de un periodo, o bien numéricamente como un *índice*. Este índice habitualmente se hace a partir de una base de 100 (ó 1,00), y sus valores periódicos se obtienen cuando las medias periódicas (por ejemplo mensuales) se dividen por la media común del conjunto de los datos (Routio, 1998).

Una variación de coyuntura tiene lugar repetidamente en la misma manera que una variación periódica, pero su longitud y forma varían.

Para revelar la variación de coyuntura, la tendencia y las variaciones periódicas de los datos han de ser halladas primero. Tras esto, la tendencia y las variaciones periódicas se eliminan de los datos. Esto se hace por ejemplo dividiendo todos los valores individuales por el índice de la variación periódica, y por la fórmula de la tendencia tal y como se calcula por el método de análisis de regresión.

Tras estas operaciones, los datos sólo incluyen (de forma suplementaria a la variación aleatoria) la variación de coyuntura. La variación coyuntural se presenta gráficamente como una curva o numéricamente, como un índice de coyuntura, del mismo modo que el índice de variación mencionado anteriormente (Routio, 1998).

### **2.3.3 Conclusiones del capítulo dos**

Le sección correspondiente al capítulo dos aporta los diferentes tipos de estadísticas y métodos que son comúnmente usados para afrontar investigaciones basados en la toma de datos, donde en este caso son datos acumulados a lo largo de más de 2 años en un banco de pruebas real, donde se analizan los fallos de dos tipos de bombillos incandescentes y LED con respecto a su desgaste en el tiempo.



### 3 DATOS

#### 3.1 OBJETIVO

Parametrizar las funciones de densidad global e individual, de supervivencia y demás requeridas desde la óptica de confiabilidad con la distribución más apropiada, que permitan determinar con exactitud y de manera anticipada la cantidad de vida útil de los bombillos. Nivel 3 - Aplicar

#### 3.2 INTRODUCCIÓN

Esta sección provee los cálculos necesarios de confiabilidad y disponibilidad de elementos no reparables, como es el caso de las bombillas LEDs 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 3 de envejecimiento.

#### 3.3 DESARROLLO

En esta sección 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 LEDs y de Incandescentes, de tal forma que se lleva un registro histórico y secuencial de los datos, los cuales se presentan a continuación.

Ilustración 32 - Datos limpios de LEDs e Incandescentes

	LED	Incandescentes		LED	Incandescentes		LED	Incandescentes		LED	Incandescentes
1	540.40	82.80	42	1040.06	368.00	83	1334.23	552.00	124	1801.54	745.20
2	658.69	92.00	43	1043.26	377.20	84	1335.83	552.00	125	1801.54	754.40
3	757.43	101.20	44	1044.86	377.20	85	1337.43	552.00	126	1801.54	754.40
4	759.03	119.60	45	1046.46	377.20	86	1339.03	561.20	127	1801.54	772.80
5	760.63	128.80	46	1048.06	386.40	87	1380.00	561.20	128	1801.54	782.00
6	762.23	165.60	47	1049.66	395.60	88	1380.06	561.20	129	1801.54	782.00
7	803.26	174.80	48	1051.26	395.60	89	1381.66	570.40	130	1801.54	791.20
8	804.86	193.20	49	1052.86	395.60	90	1383.26	570.40	131	1801.54	791.20
9	806.46	202.40	50	1054.46	395.60	91	1398.40	570.40	132	1801.54	800.40
10	808.06	211.60	51	1070.80	404.80	92	1412.74	579.60	133	1801.54	809.60
11	809.66	220.80	52	1072.40	404.80	93	1414.34	588.80	134	1801.54	818.80
12	811.26	239.20	53	1087.14	414.00	94	1416.80	588.80	135	1801.54	818.80
13	828.00	248.40	54	1088.74	423.20	95	1435.20	598.00	136	1801.54	837.20
14	852.29	248.40	55	1103.49	423.20	96	1442.23	598.00	137	1801.54	855.60
15	853.89	257.60	56	1105.09	432.40	97	1496.40	607.20	138	1801.54	864.80
16	855.49	257.60	57	1119.83	432.40	98	1537.43	607.20	139	1801.54	874.00
17	857.09	266.80	58	1177.60	441.60	99	1604.74	607.20	140	1801.54	883.20
18	858.69	266.80	59	1196.00	441.60	100	1606.34	607.20	141	1801.54	975.20
19	860.29	276.00	60	1201.89	450.80	101	1621.09	616.40	142	1801.54	975.20
20	875.03	276.00	61	1203.49	460.00	102	1635.83	616.40	143	1801.54	984.40
21	876.63	285.20	62	1214.40	460.00	103	1637.43	625.60	144	1801.54	993.60
22	878.23	285.20	63	1218.23	460.00	104	1691.60	634.80	145	1801.54	1002.80
23	879.83	285.20	64	1219.83	469.20	105	1732.63	634.80	146	1801.54	1012.00
24	881.43	294.40	65	1221.43	469.20	106	1734.23	644.00	147	1801.54	1021.20
25	883.03	294.40	66	1223.03	478.40	107	1801.54	644.00	148	1801.54	1030.40
26	924.06	303.60	67	1232.80	478.40	108	1801.54	653.20	149	1801.54	1094.80
27	925.66	303.60	68	1251.20	478.40	109	1801.54	662.40	150	1801.54	1140.80
28	927.26	312.80	69	1263.26	487.60	110	1801.54	671.60	151	1801.54	1159.20
29	928.86	322.00	70	1264.06	487.60	111	1801.54	680.80	152	2704.80	1177.60
30	930.46	322.00	71	1269.60	487.60	112	1801.54	680.80	153	2760.00	1196.00
31	932.06	331.20	72	1278.80	496.80	113	1801.54	690.00	154	2796.80	1196.00
32	938.40	331.20	73	1288.00	506.00	114	1801.54	690.00	155	2815.20	1260.40
33	973.09	331.20	74	1306.69	506.00	115	1801.54	699.20	156	2833.60	1288.00
34	974.69	340.40	75	1308.29	515.20	116	1801.54	699.20	157	2852.00	1324.80
35	976.29	349.60	76	1309.89	524.40	117	1801.54	708.40	158	2888.80	1370.80
36	977.89	349.60	77	1311.49	524.40	118	1801.54	708.40	159	2925.60	1380.00
37	979.49	349.60	78	1313.09	524.40	119	1801.54	717.60	160	2944.00	1407.60
38	1033.66	358.80	79	1314.69	533.60	120	1801.54	726.80	161	3054.40	1508.80
39	1035.26	358.80	80	1316.29	542.80	121	1801.54	736.00	162	3072.80	1545.60
40	1036.86	358.80	81	1317.89	542.80	122	1801.54	745.20	163	3091.20	1628.40
41	1038.46	368.00	82	1332.63	542.80	123	1801.54	745.20			

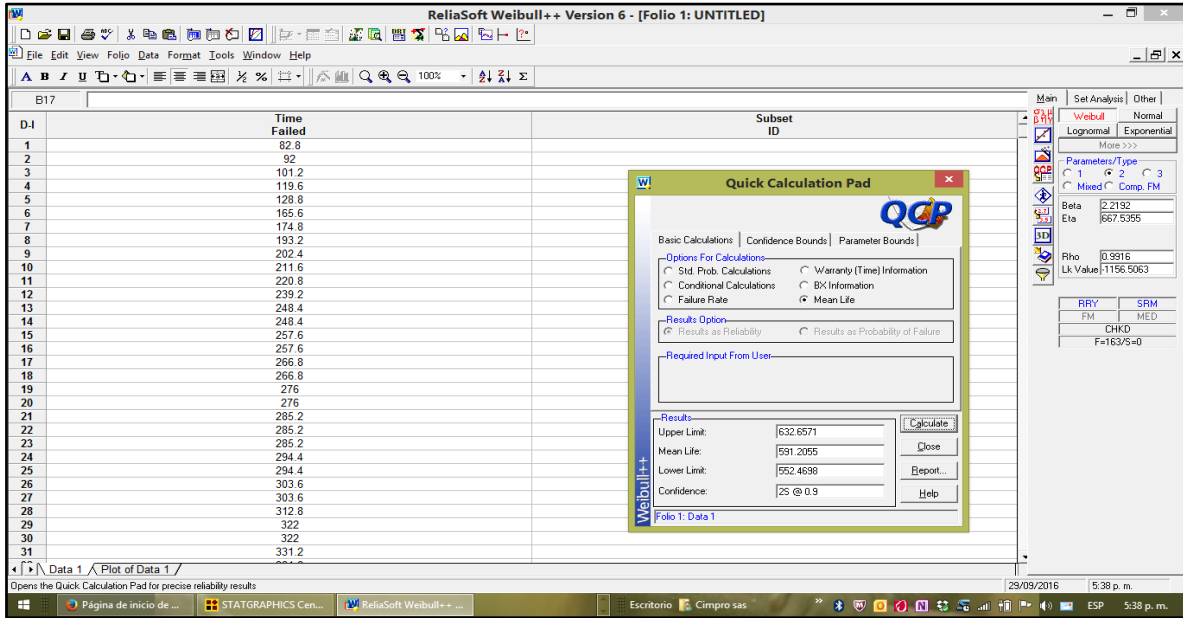
### 3.3.1 Cálculos de confiabilidad

Los procesos de cálculo se llevan a cabo de dos formas, uno es con el software Weibull y con el programa Informático CMD y CMD++; primero con incandescentes y luego con LEDs.

Para ello se procede inicialmente a calcular con la función de Weibull y el software Weibull, de la siguiente manera.

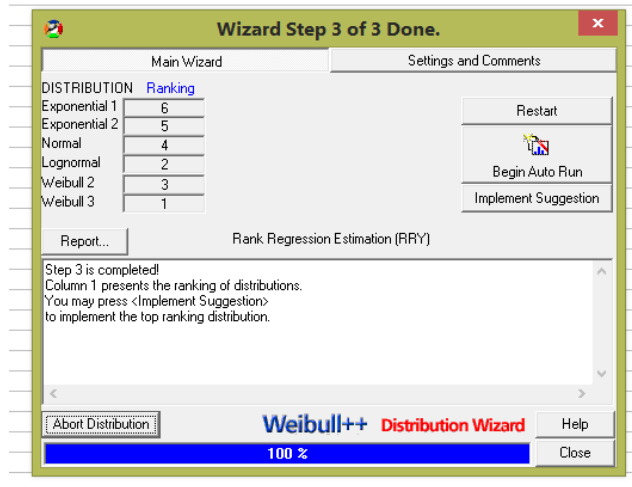
#### 3.3.1.1 Incandescentes

Ilustración 33 - Cálculos Incandescentes con software Weibull con función Weibull



Los resultados arrojan un Beta de 2.2192 y un Eta de 667.5355 horas con una vida media de 591.2055; haciendo las pruebas de Bondad de Ajuste da que:

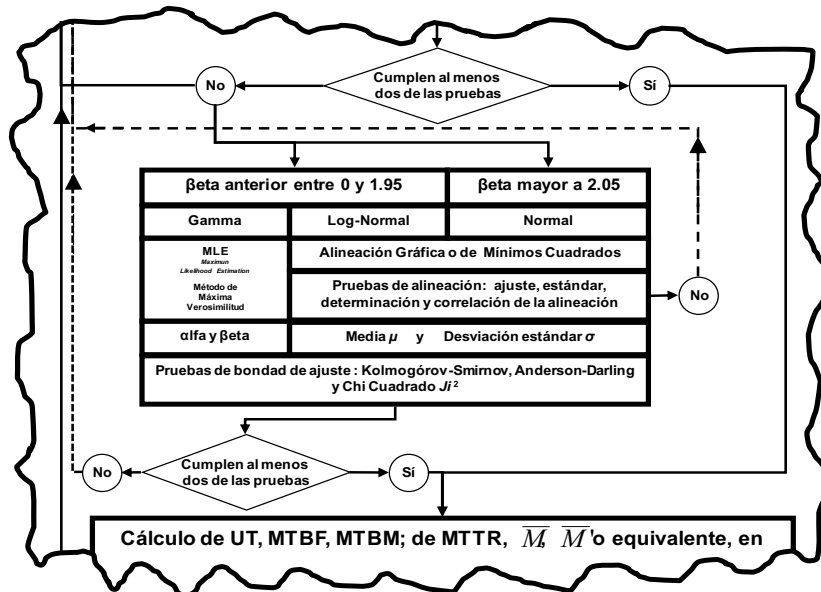
Ilustración 34 - Bondad de Ajuste



La expresión denota entonces que los valores más correctos son para Weibull, LogNormal y luego para Distribución normal.

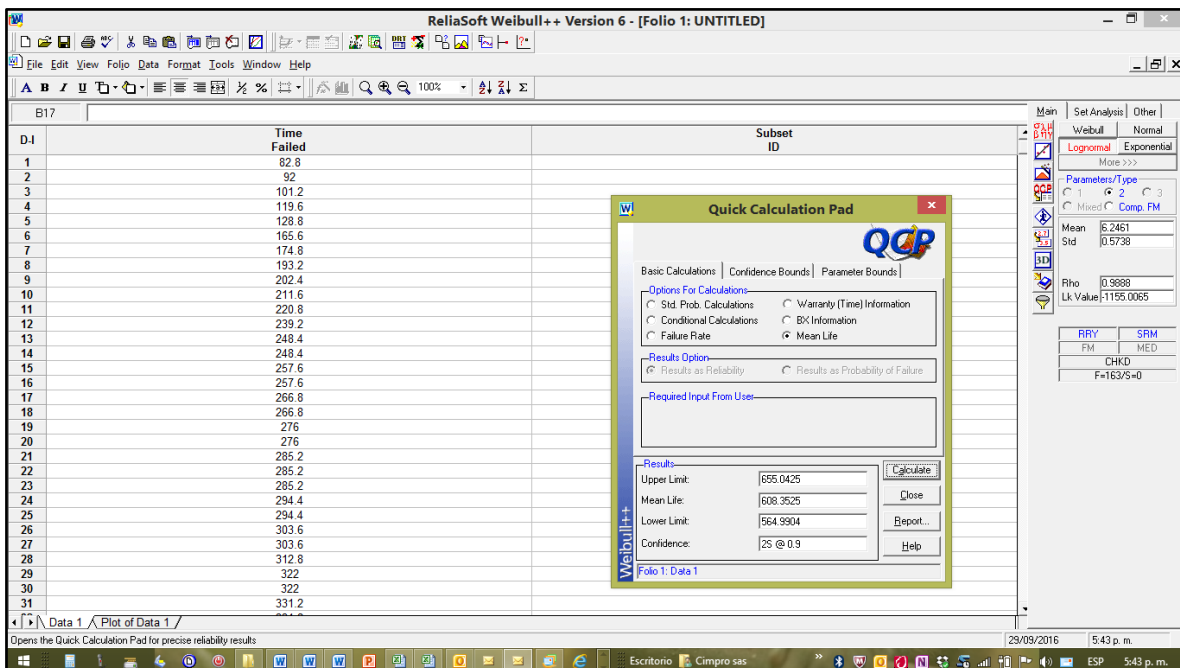
Al realizar cálculos con distribución LogNormal, se tiene que tener en cuenta antes lo siguiente.

Ilustración 35 - Etapa para parametrizar y alinear función



Los valores que se calculan entregan los siguientes resultados con la distribución LogNormal.

Ilustración 36 - Cálculos Incandescentes con LogNormal

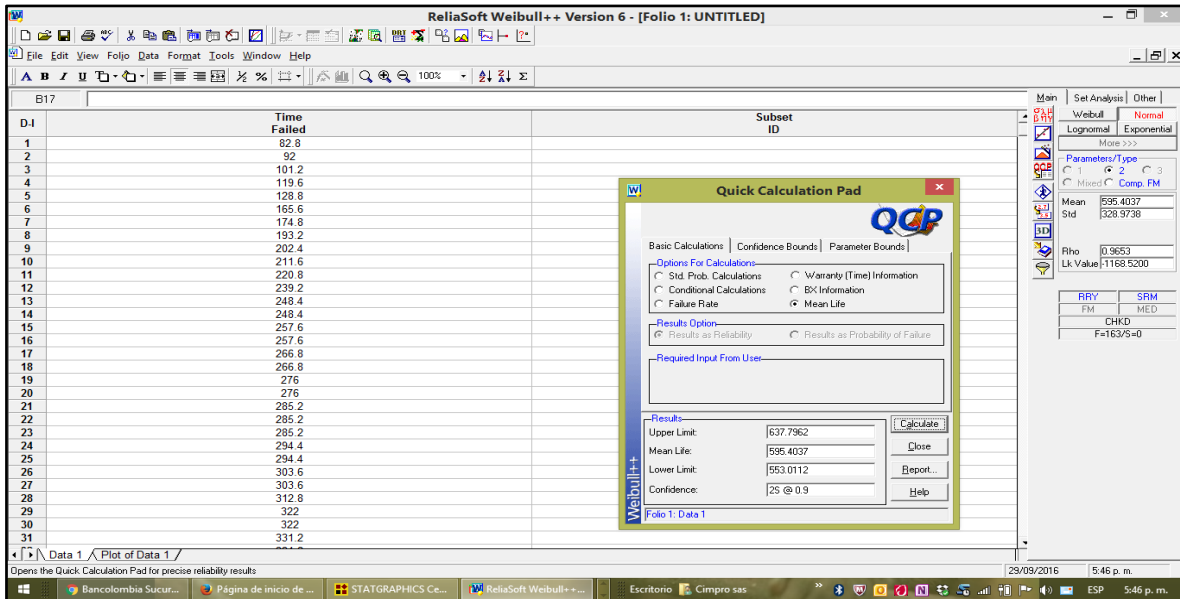


Los valores obtenidos con LogNormal muestran un valor medio de 6.2461 que al elevar exponencial a este valor, nos da un valor de 515.99 horas y una desviación de 0.5738; para una

vida media de los bombillos incandescentes con función LogNormal de 608.3525 horas que es bastante similar a la que otorga la función de distribución de Weibull de 591.2055 horas, lo que las hace muy similares.

Ahora se realizan los cálculos con la función de densidad o de distribución normal, para ello se utiliza el software Weibull de esta metodología.

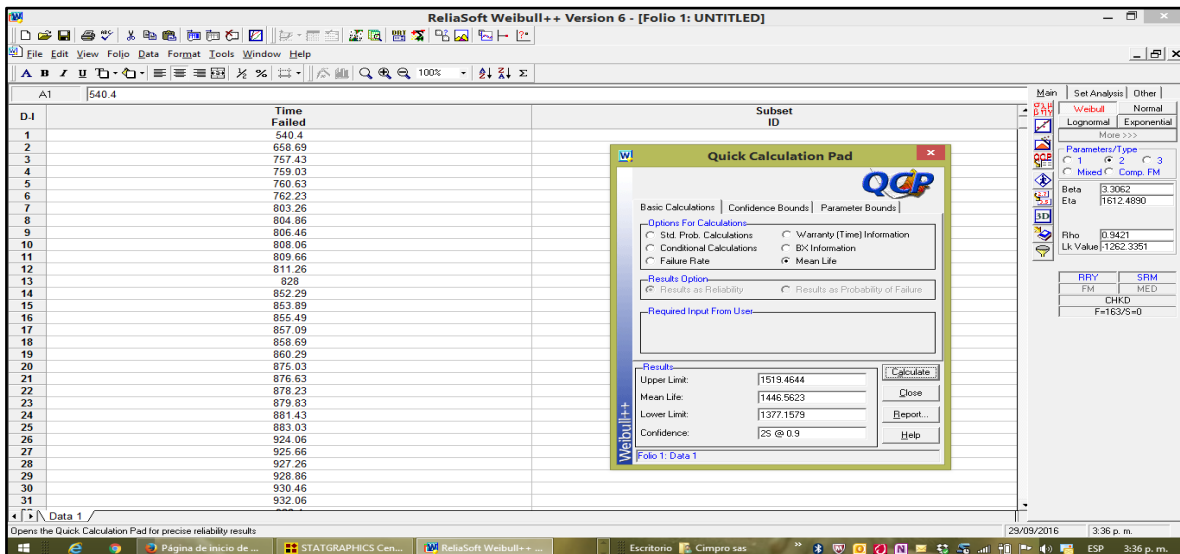
Ilustración 37 - Cálculos LEDs con Normal en software Weibull



Con la función de distribución normal da una vida media de 595.4037, muy similar a los valores encontrados con Weibull de 591.2055 y de LogNormal de 608.3525 horas. En todo caso en la Weibull el Beta da superior a 2 lo que garantiza que están los bombillos en la zona 3 de la Bañera.

### 3.3.1.2 LEDs

Ilustración 38 - Cálculos LEDs con software Weibull con la función de distribución Weibull



Los resultados arrojan un  $\beta$  de 3.3062 y un  $\eta$  de 1612.4890 horas con una vida media de 1446.5623; haciendo las pruebas de Bondad de Ajuste da que:

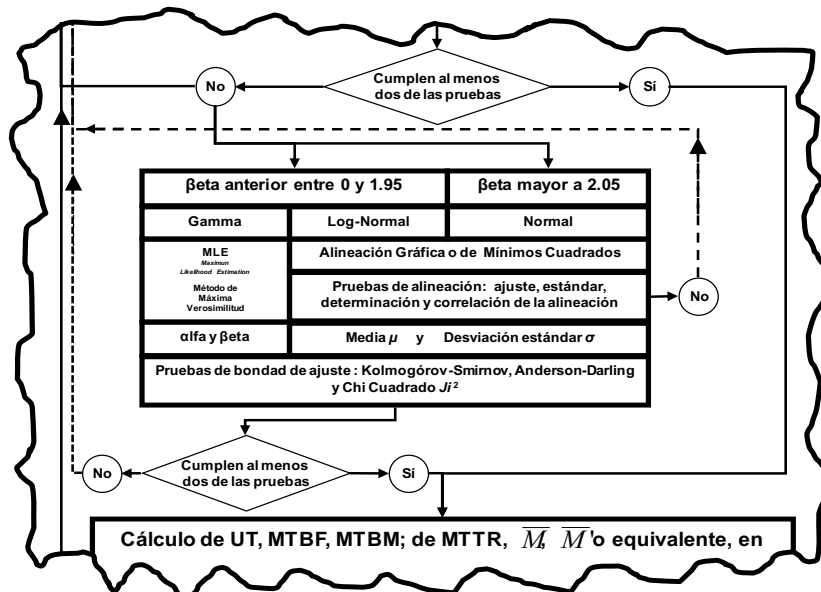
Ilustración 39 - Bondad de Ajuste



La expresión denota entonces que los valores más correctos son para la función de LogNormal, luego para Weibull de 2 y 3 parámetros y por último Distribución normal.

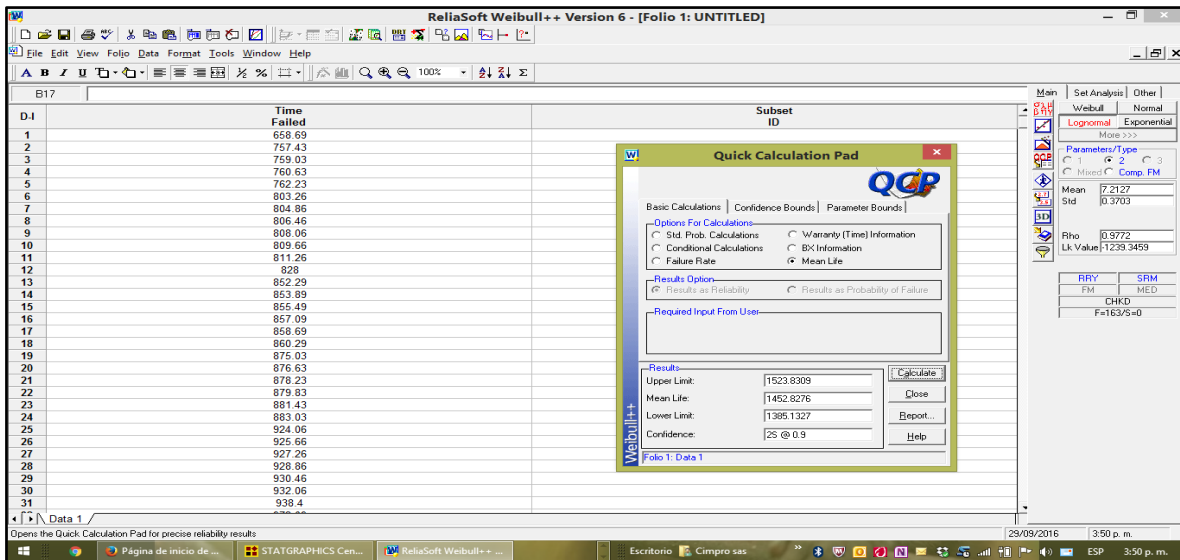
Al realizar cálculos con distribución LogNormal, se tiene que tener en cuenta antes lo siguiente.

Ilustración 40 - Etapa para parametrizar y alinear función



Los valores que se calculan entregan los siguientes resultados con la distribución LogNormal.

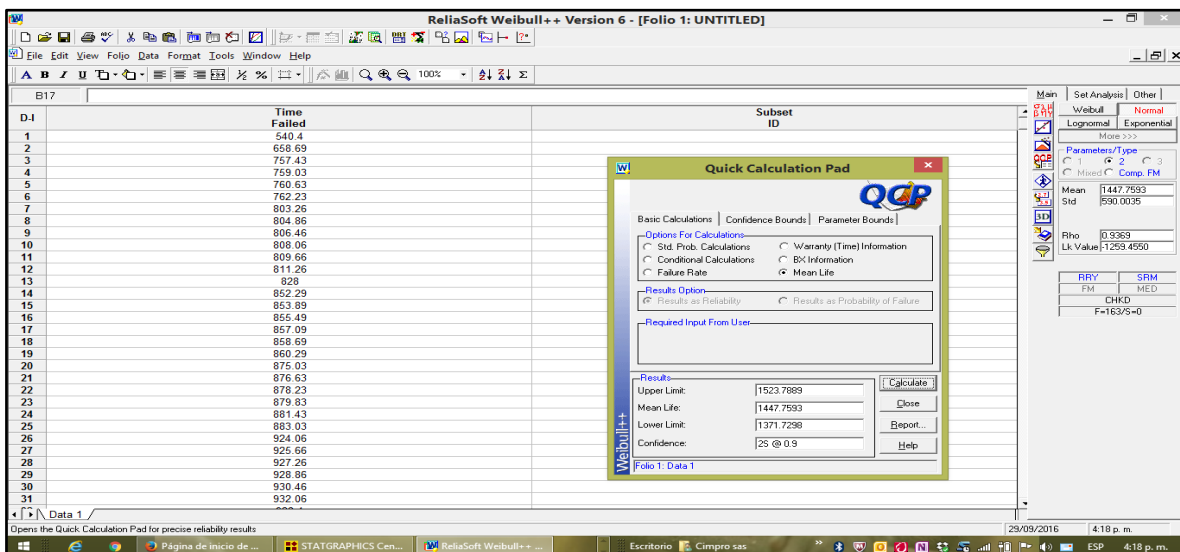
Ilustración 41 - Cálculos LEDs con LogNormal



Los valores obtenidos con LogNormal muestran un valor medio de 7.2127 que al elevar exponencial a este valor, nos da un valor de 1356.55 horas y una desviación de 0.3703; para una vida media de los bobillos LEDs con función LogNormal de 1452.8276 horas que es bastante similar a la que otorga la función de distribución de Weibull de 1446 horas, lo que las hace muy similares.

Ahora se realizan los cálculos con la función de densidad o de distribución normal, para ello se utiliza el software Weibull de esta metodología.

Ilustración 42 - Cálculos LEDs con Normal en software Weibull



Con la función de distribución normal da una vida media de 1447.7593, muy similar a los valores encontrados con Weibull de 1446 y de LogNormal de 1452.8276 horas.

### 3.3.1.3 Curvas de parámetros de Incandescentes.

A continuación se presentan los diferentes parámetros y sus curvas de criterios de confiabilidad de los datos de tiempos TTF *Time To Failure*.

### 3.3.1.3.1 Con distribución Weibull

Ilustración 43 - Alineación de Weibull con Distribución Weibull

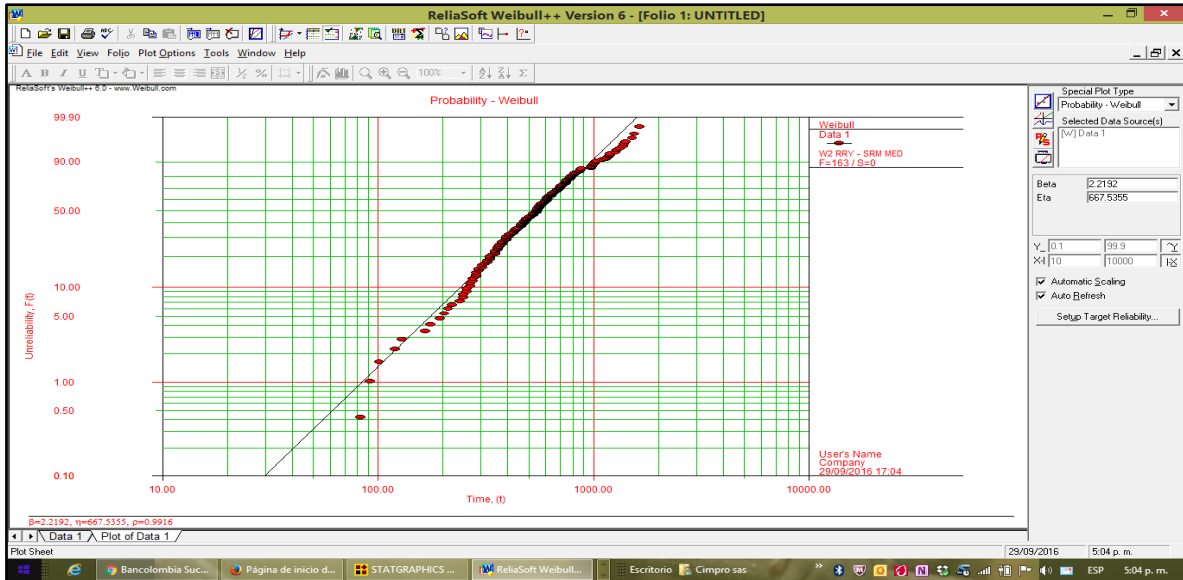


Ilustración 44 - Curva de Supervivencia o Reliability de Incandescentes Weibull con Weibull

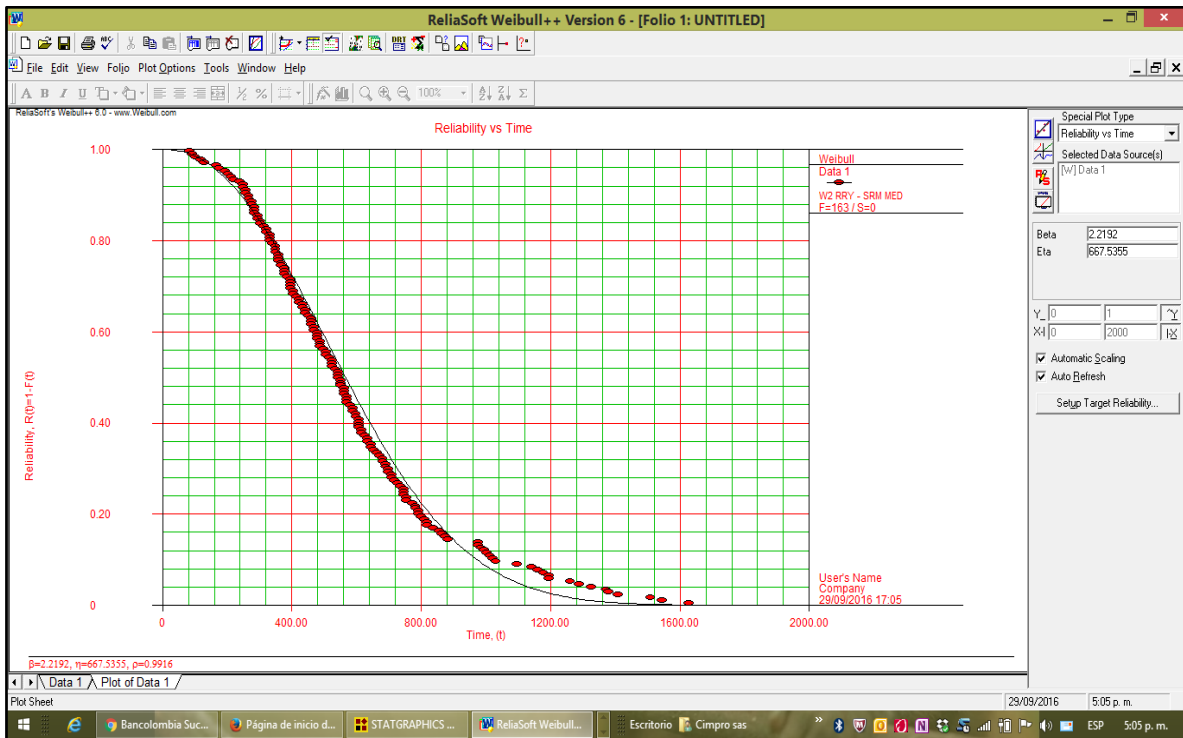


Ilustración 45 - Curva de No Confiabilidad Weibull Incandescentes con Distribución Weibull

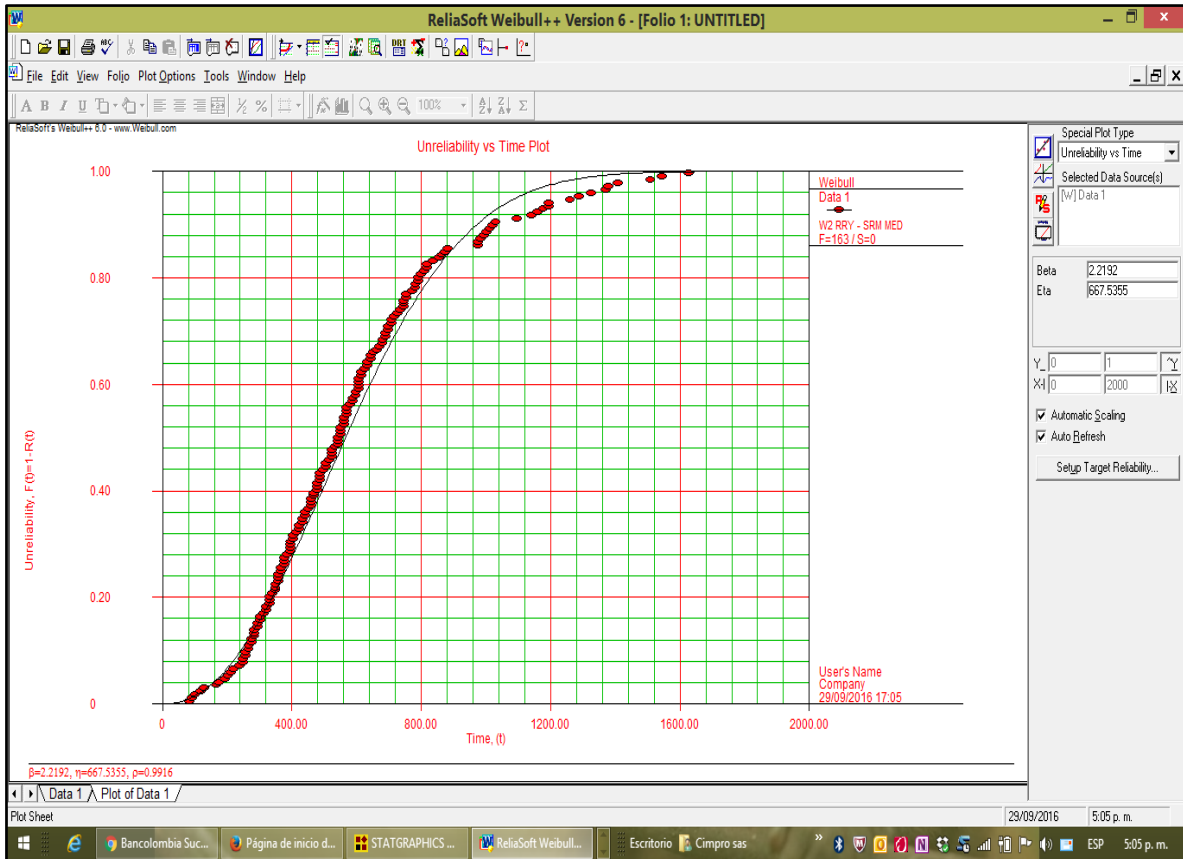


Ilustración 46 - Curva de Tasa de Fallas Hazard Time - Weibull Incandescentes con Weibull

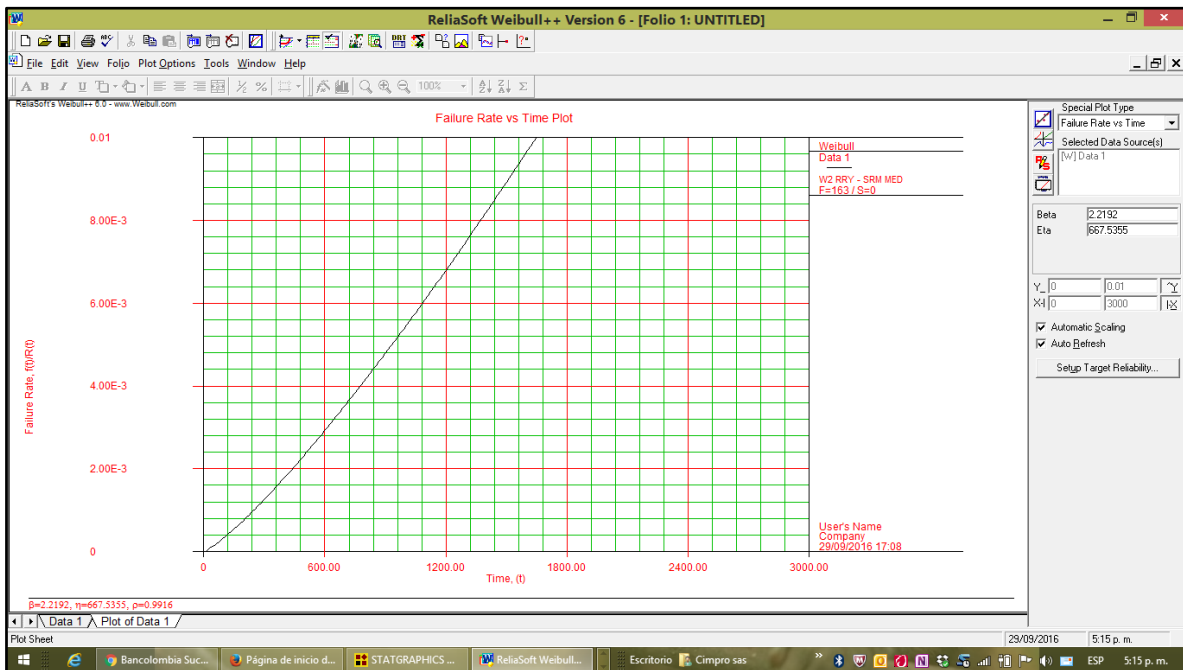
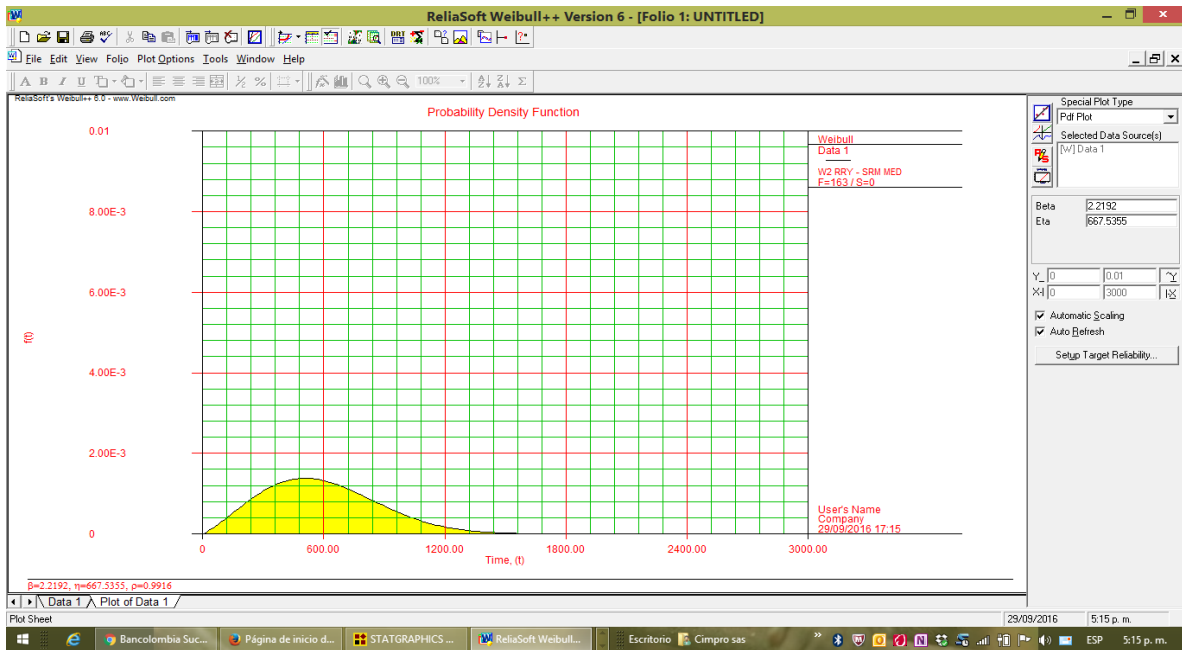


Ilustración 47 - Curva de Función de Densidad Weibull de Incandescentes con Weibull



En ambas figuras de las dos últimas curvas se verifica que los Bombillos Incandescentes son de la Zona 3 de la Bañera o Curva de Davies, con Distribución Weibull.

### 3.3.1.3.2 Con distribución LogNormal

Ilustración 48 - Alineación de Weibull con Distribución LogNormal

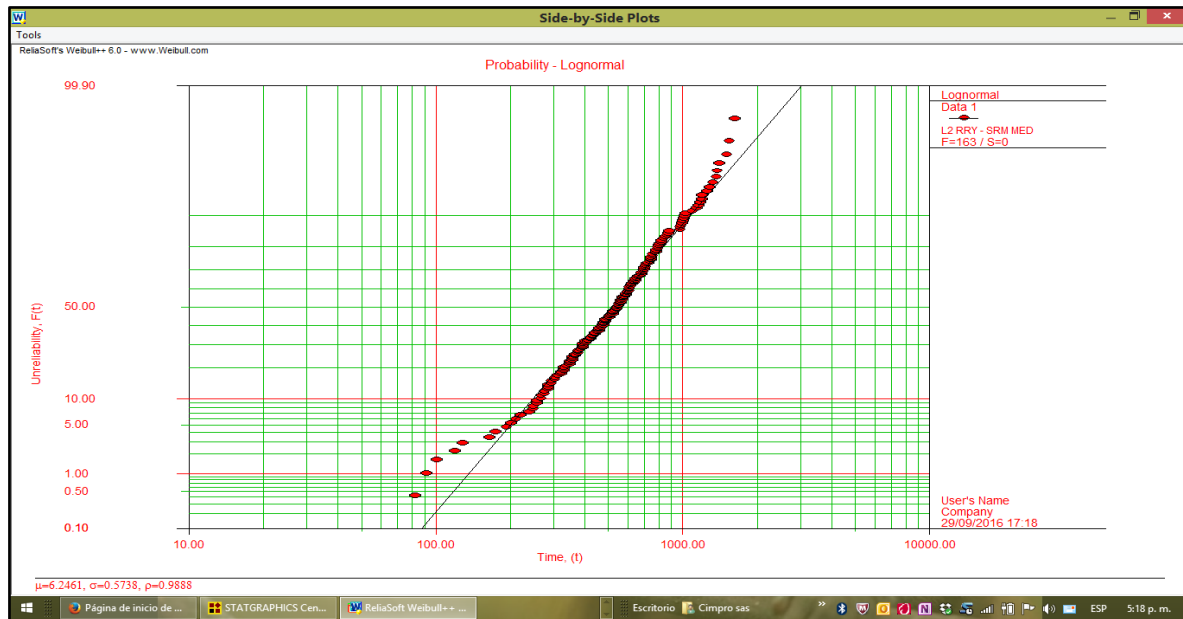


Ilustración 49 - Curva de Supervivencia o Reliability de Incandescentes Weibull con LogNormal

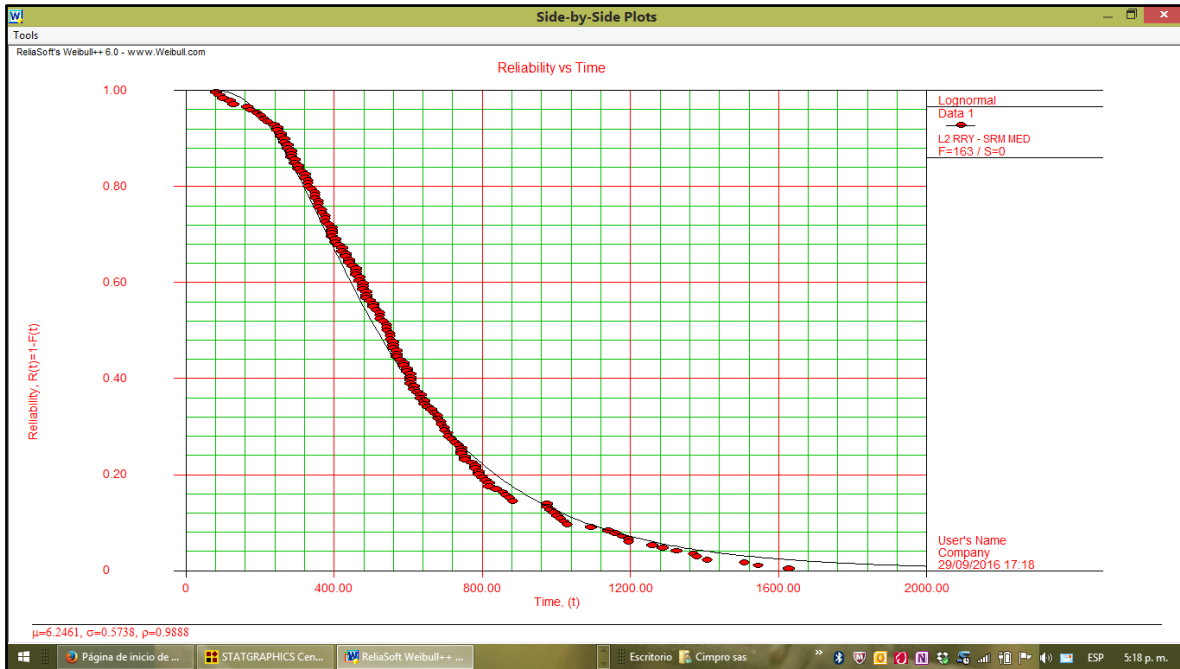


Ilustración 50 - Curva de No Confiabilidad Weibull Incandescentes con Distribución LogNormal

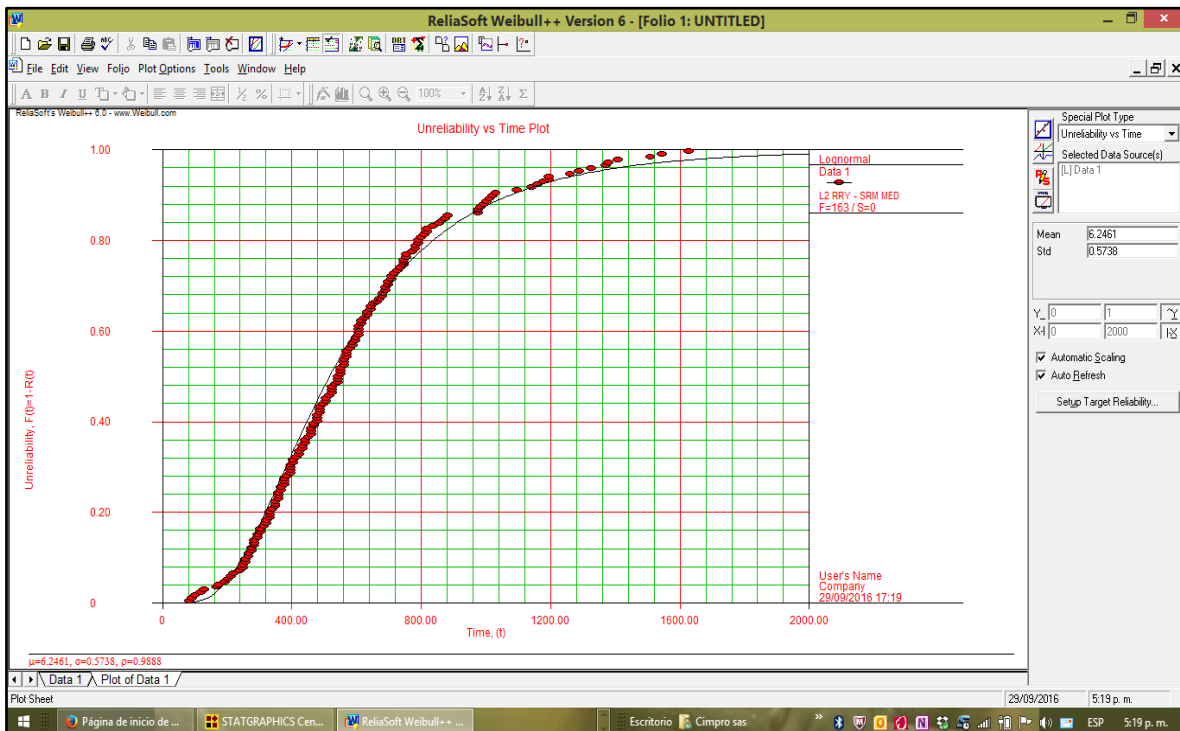


Ilustración 51 - Curva de Tasa de Fallas Hazard Time - Weibull Incandescentes con LogNormal

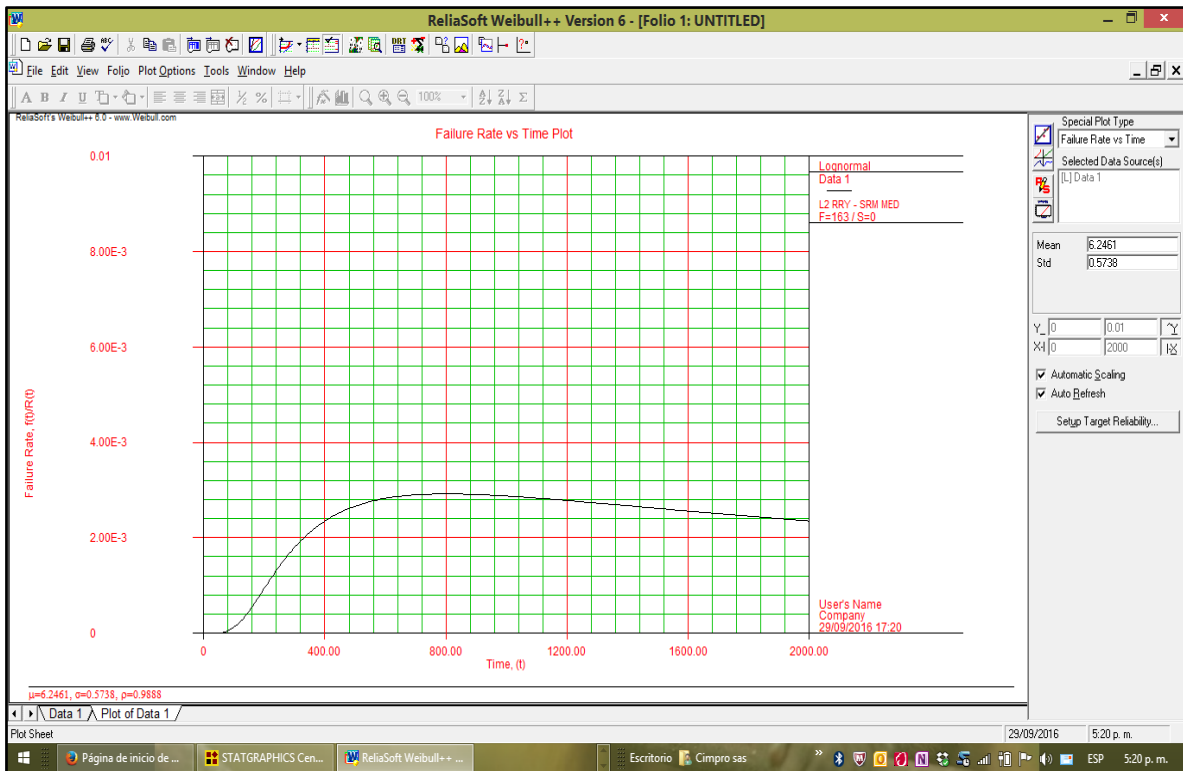
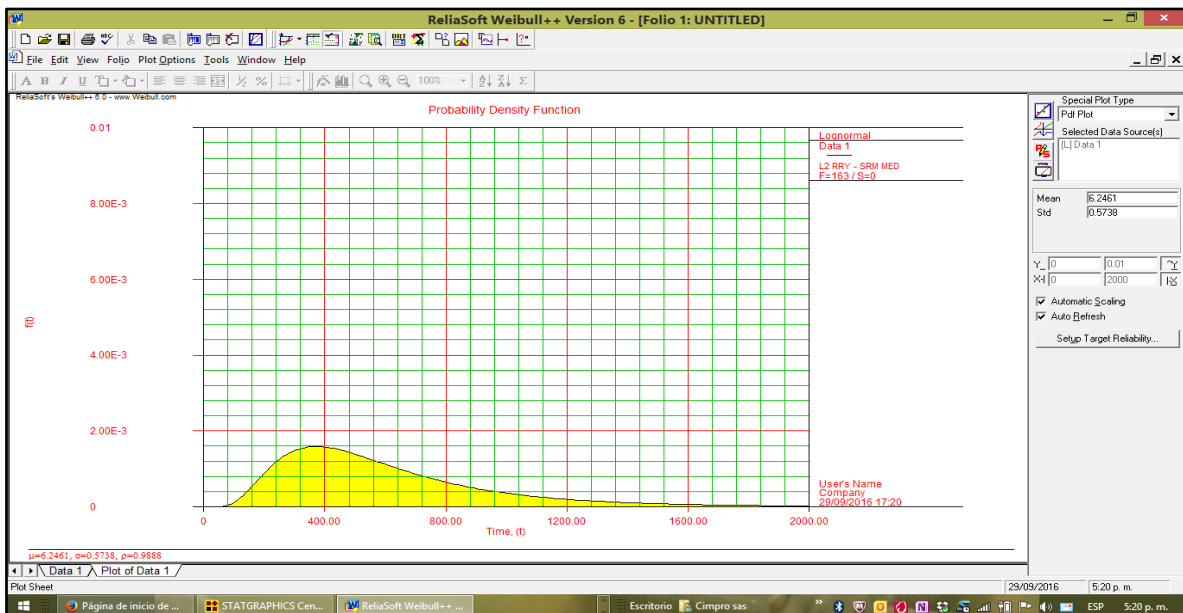


Ilustración 52 - Curva de Función de Densidad Weibull de Incandescentes con LogNormal



En ambas figuras de las dos últimas curvas se verifica que los Bombillos son de la Zona 3 de la Bañera o Curva de Davies, con Distribución LogNormal.

### 3.3.1.3.3 Con distribución Normal

Ilustración 53 - Alineación de Weibull con Distribución Normal

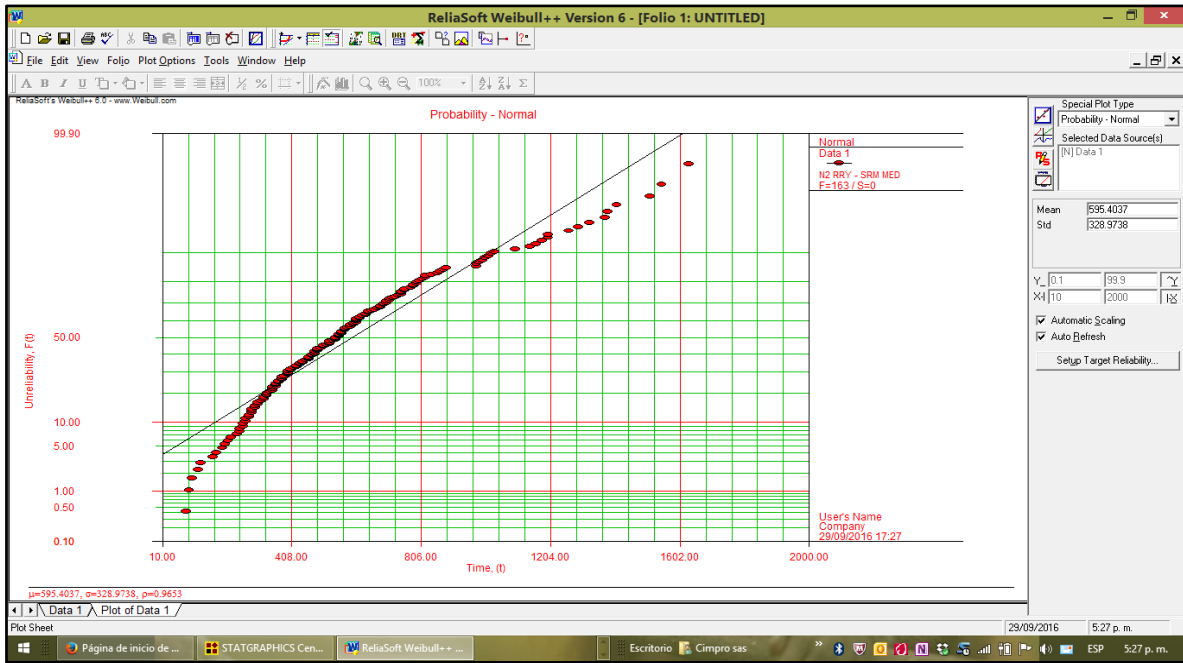


Ilustración 54 - Curva de Supervivencia o Reliability de Incandescentes Weibull con Normal

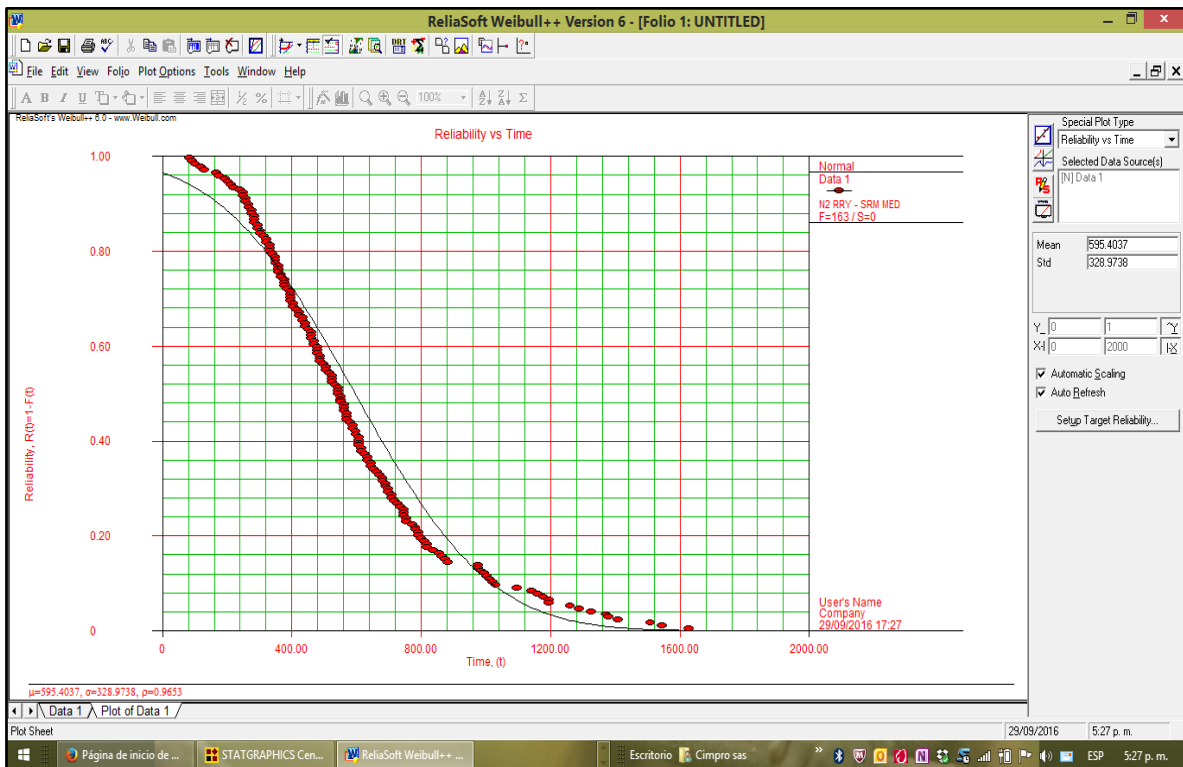


Ilustración 55 - Curva de No Confiabilidad Weibull Incandescentes con Distribución Normal

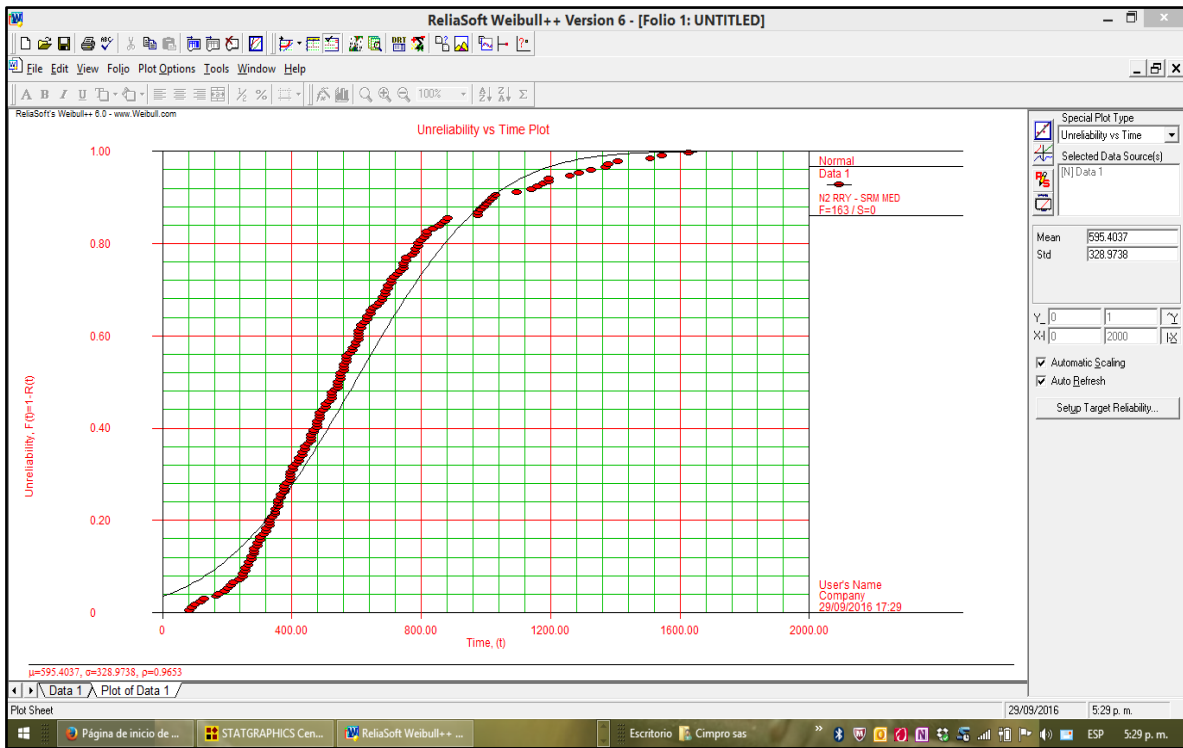


Ilustración 56 - Curva de Tasa de Fallas Hazard Time - Weibull Incandescentes con Normal

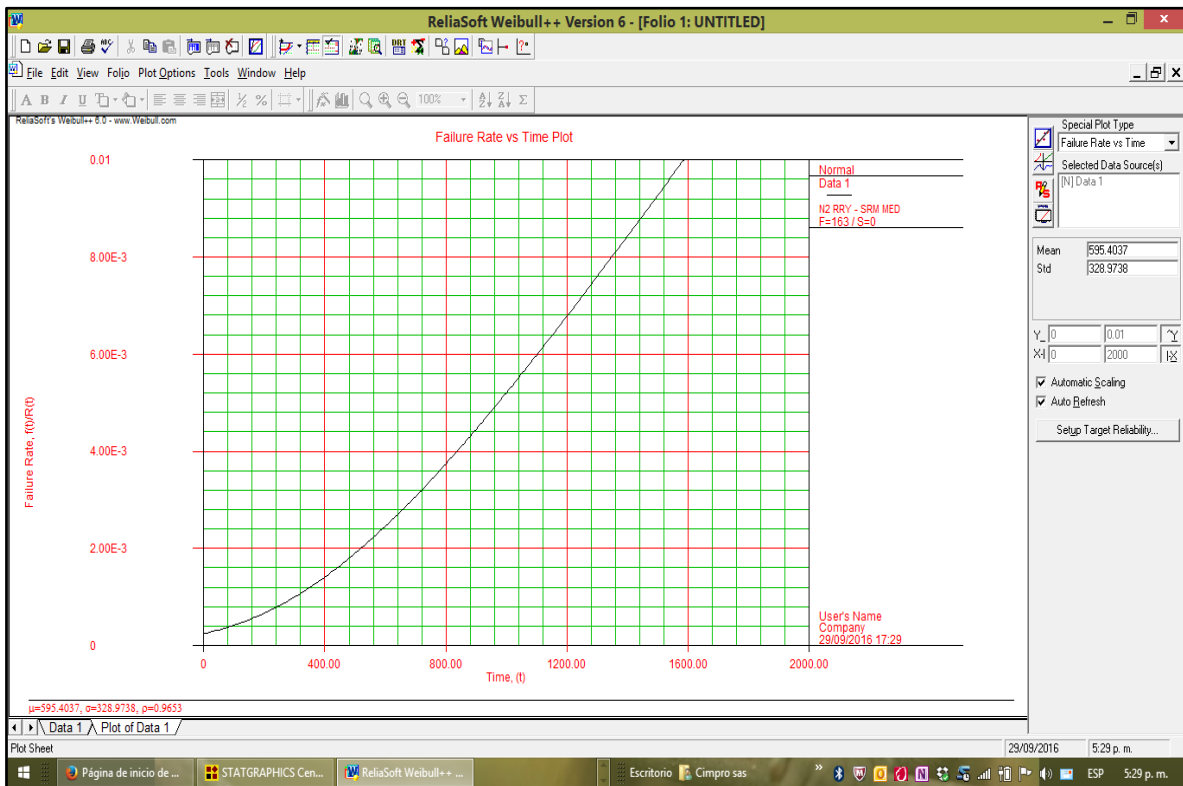
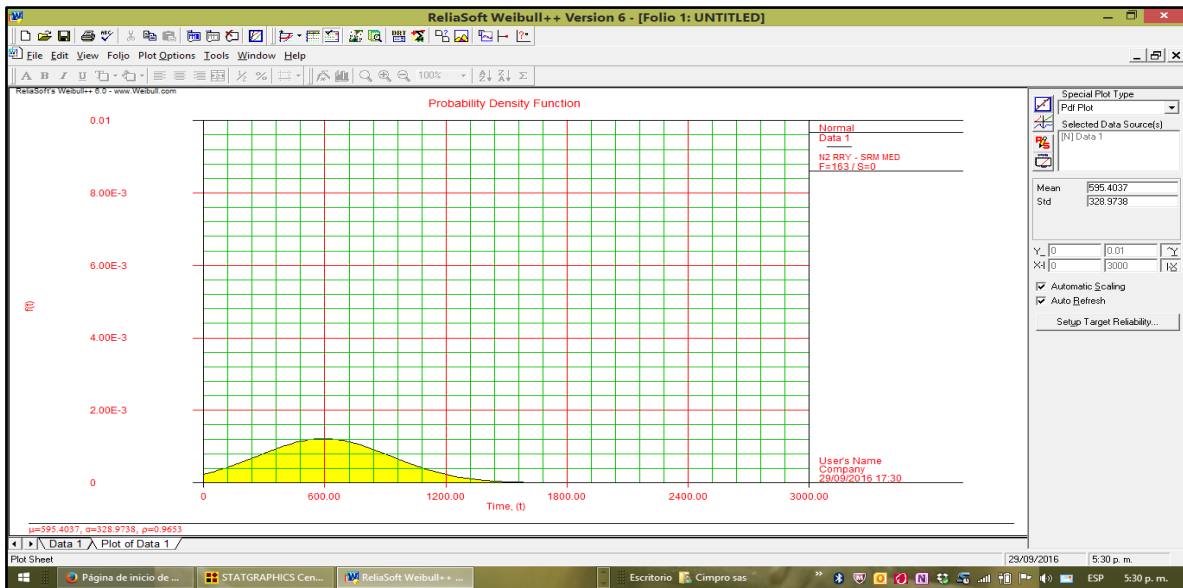


Ilustración 57 - Curva de Función de Densidad Weibull de Incandescentes con Normal



En ambas figuras de las dos últimas curvas se verifica que los Bombillos son de la Zona 3 de la Bañera o Curva de Davies, con Distribución Normal.

Con las distribuciones Weibull, LogNormal y Normal se garantiza que las bombillas son de la zona 3 de la Bañera o Zona de Envejecimiento.

### 3.3.1.4 Curvas de parámetros de LEDs.

A continuación se presentan los diferentes parámetros y sus curvas de criterios de confiabilidad de los datos de tiempos TTF *Time To Failure*.

#### 3.3.1.4.1 Con distribución Weibull

Ilustración 58 - Alineación de Weibull con Distribución Weibull

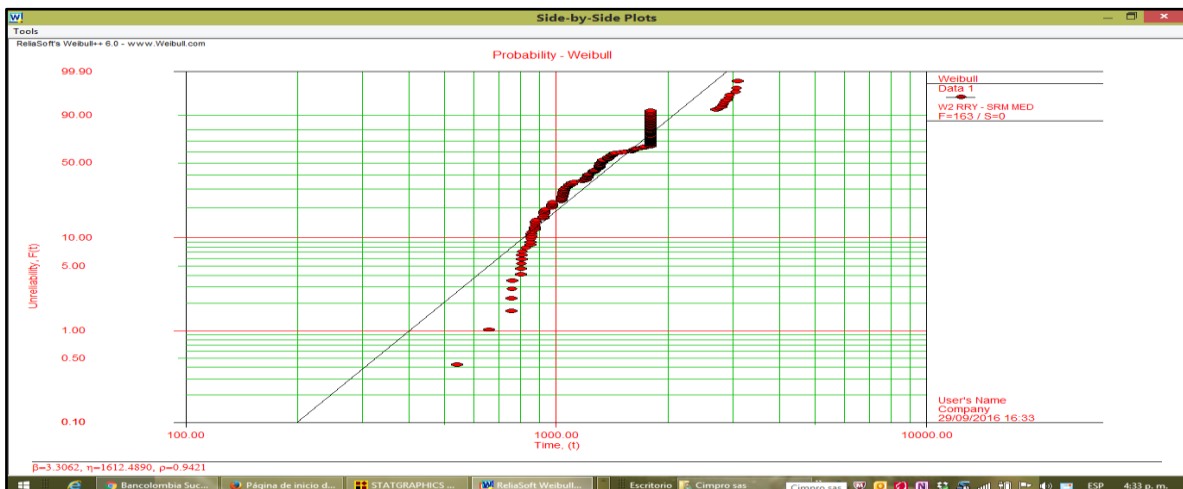


Ilustración 59 - Curva de Supervivencia o Reliability de LEDs Weibull con Distribución Weibull

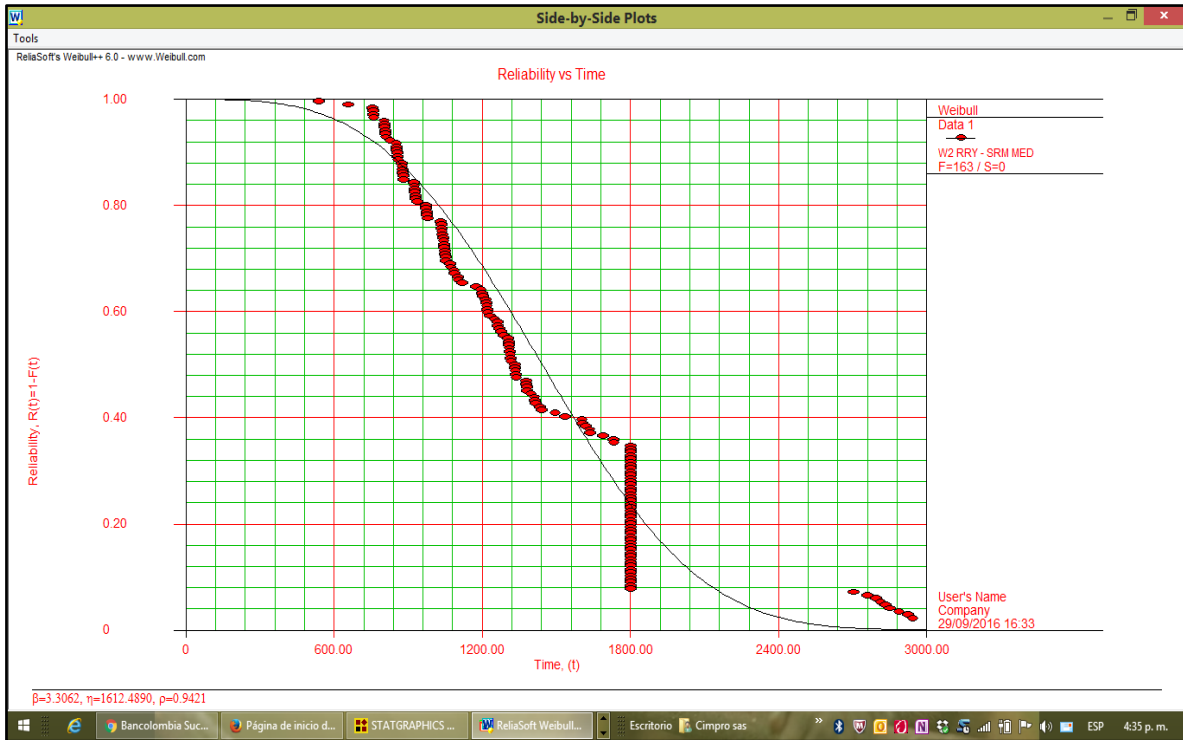


Ilustración 60 - Curva de No Confiabilidad Weibull LEDs con Distribución Weibull

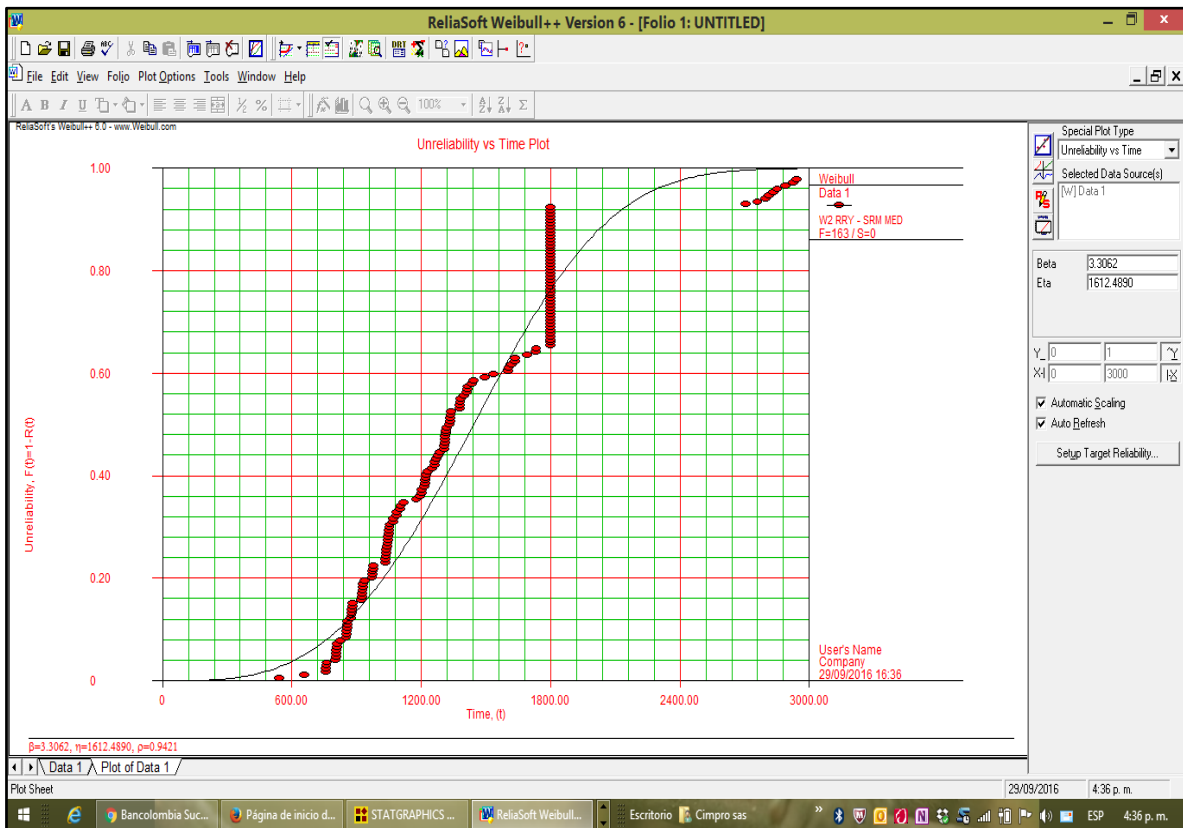


Ilustración 61 - Curva de Tasa de Fallas Hazard Time - Weibull LEDs con Distribución Weibull

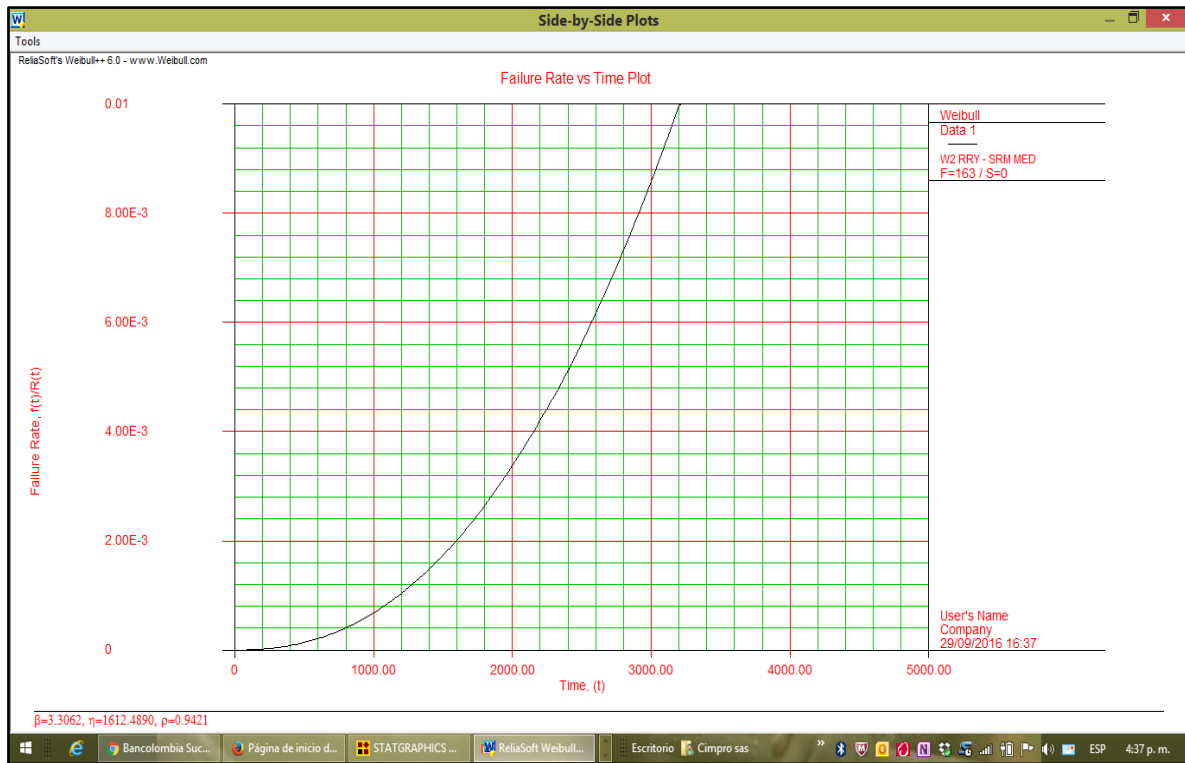
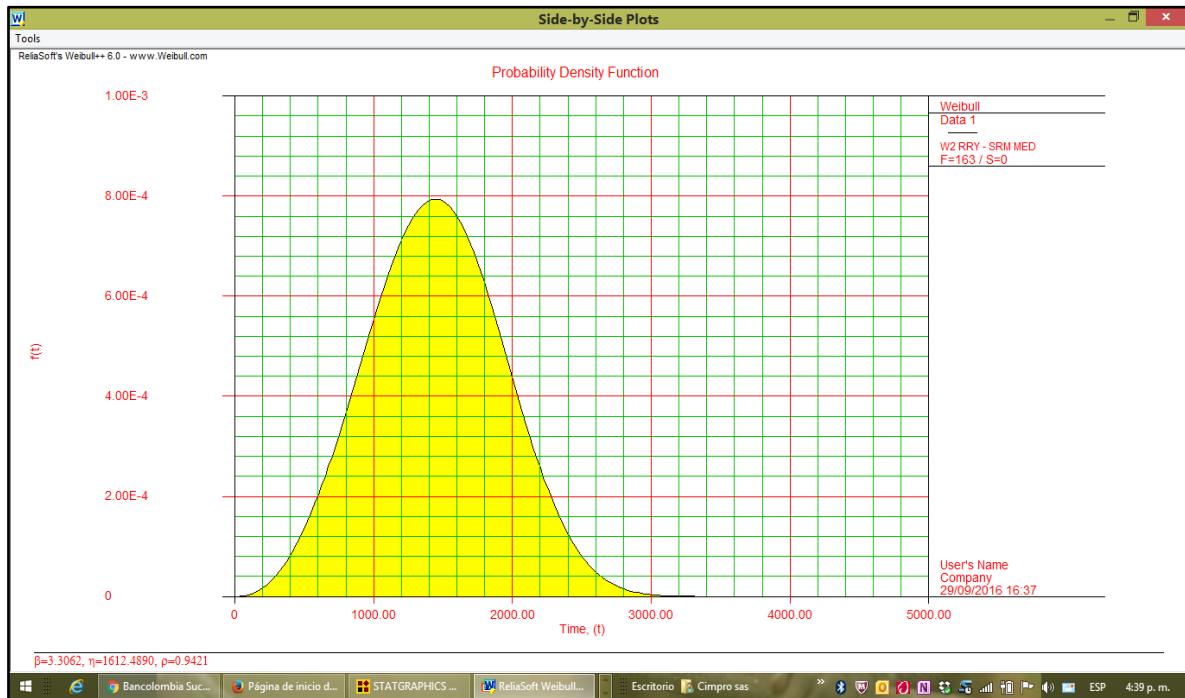


Ilustración 62 - Curva de Función de Densidad Weibull de LEDs con Distribución Weibull



En ambas figuras de las dos últimas curvas se verifica que los Bombillos son de la Zona 3 de la Bañera o Curva de Davies, con Distribución Weibull.

### 3.3.1.4.2 Con distribución LogNormal

Ilustración 63 - Alineación de Weibull con Distribución LogNormal

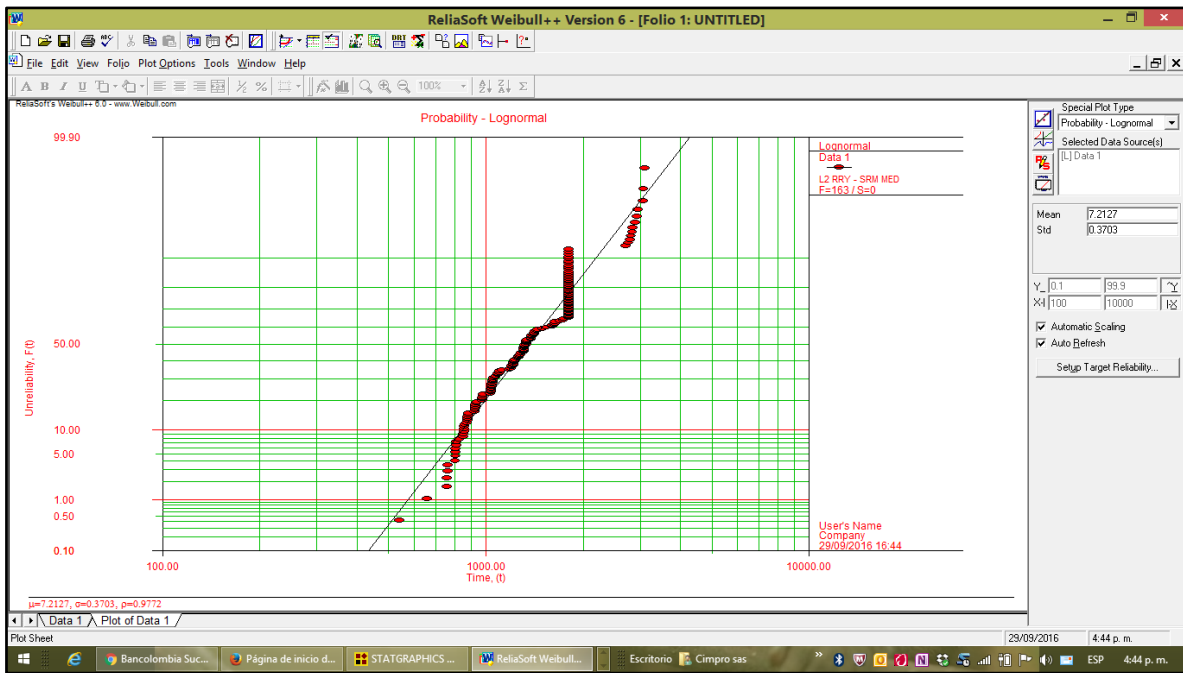


Ilustración 64 - Curva de Supervivencia o Reliability de LEDs Weibull con Distribución LogNormal

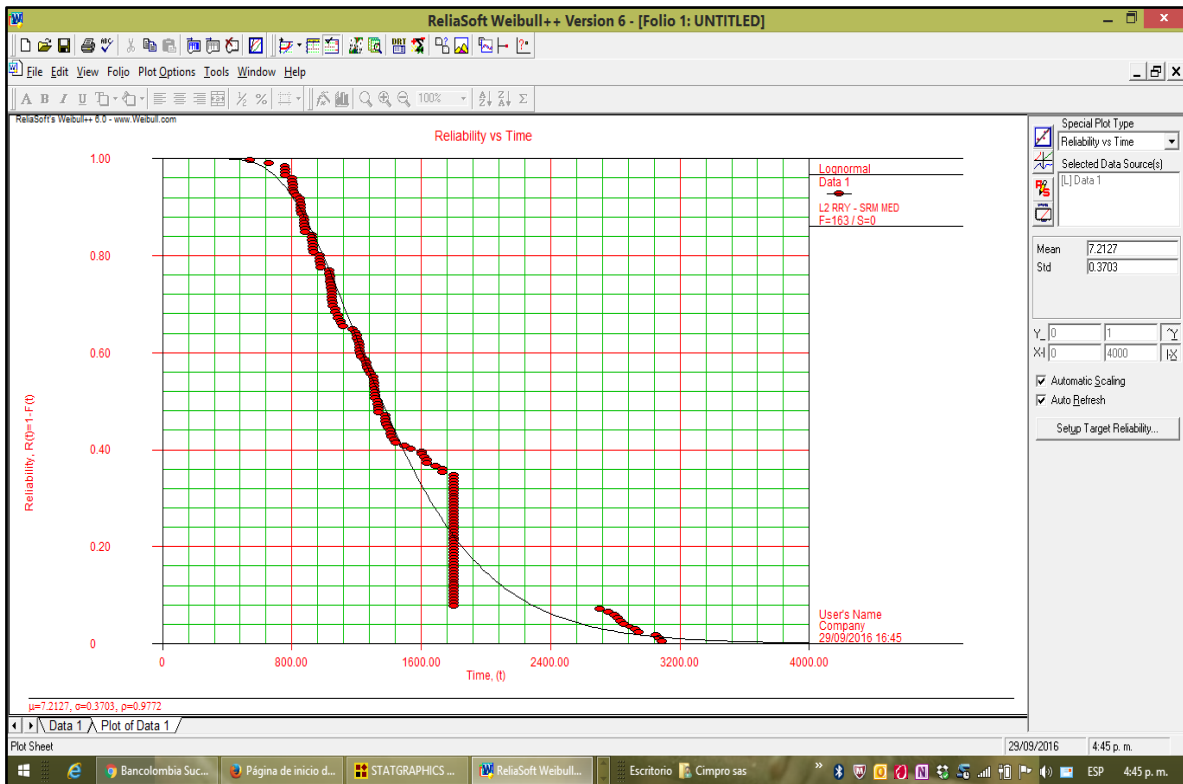


Ilustración 65 - Curva de No Confiabilidad Weibull LEDs con Distribución LogNormal

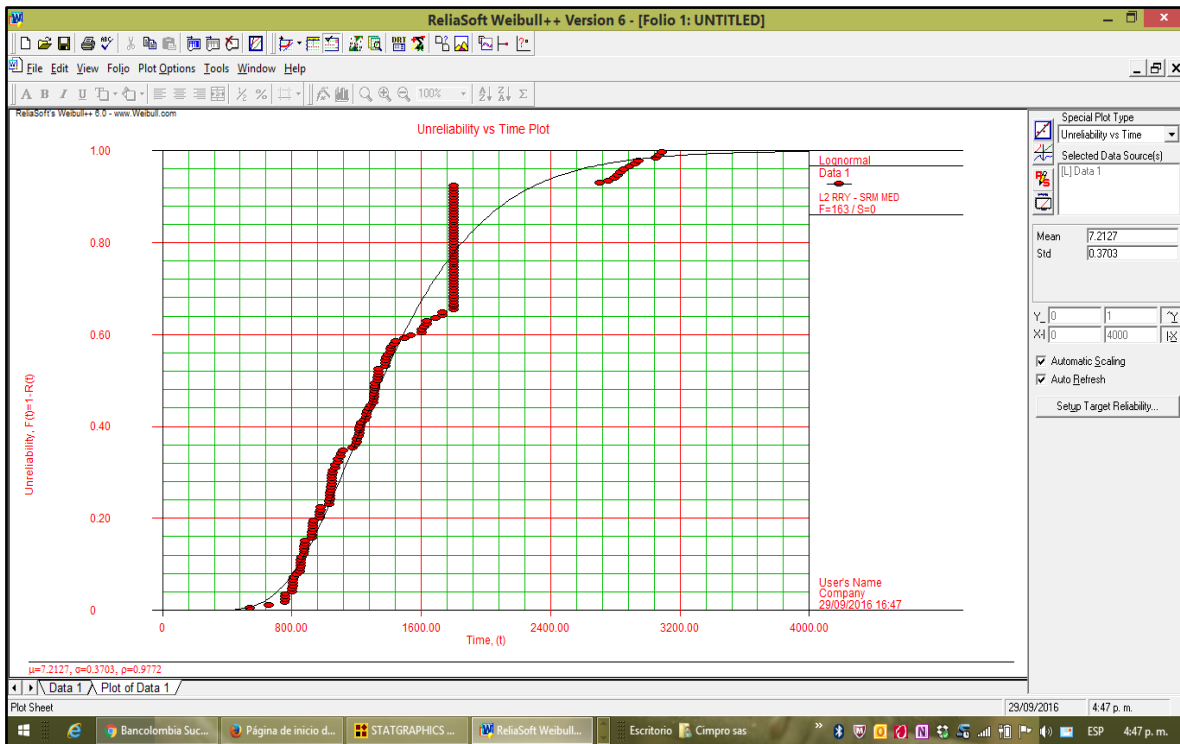


Ilustración 66 - Curva de Tasa de Fallas Hazard Time - Weibull LEDs con Distribución LogNormal

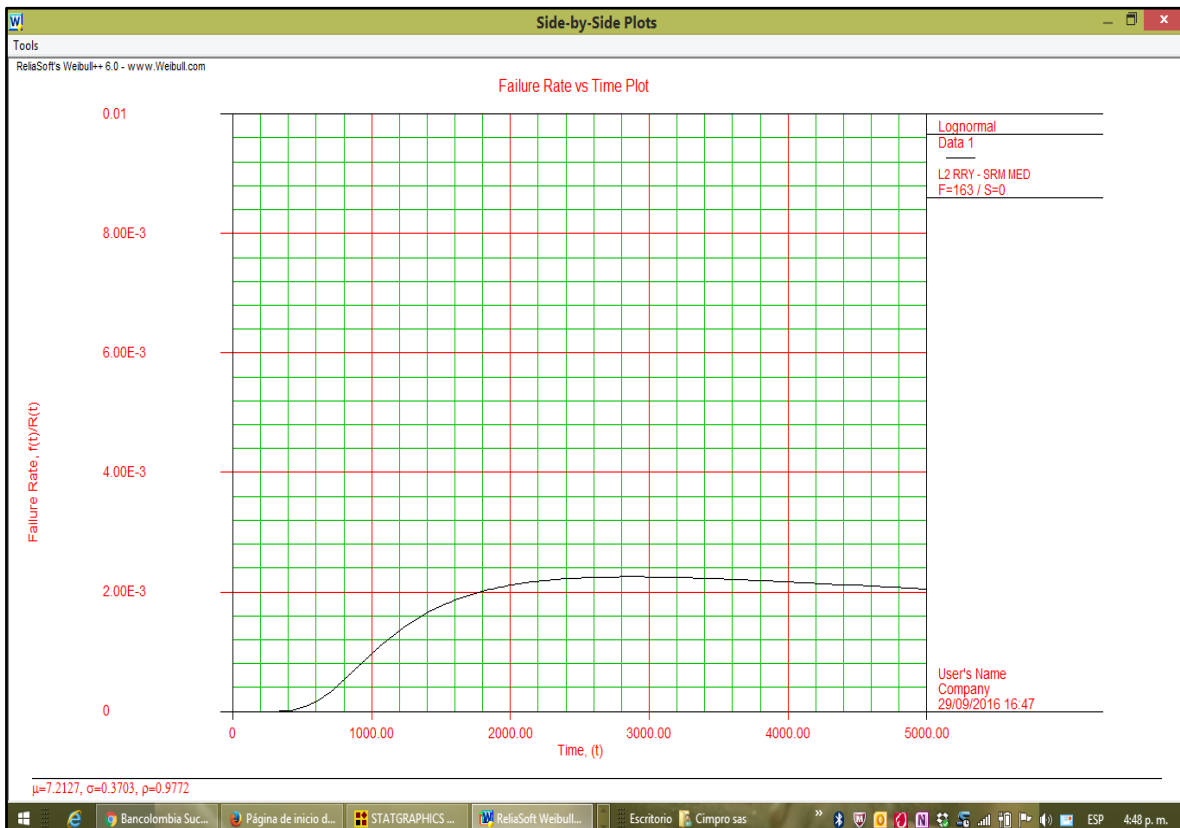
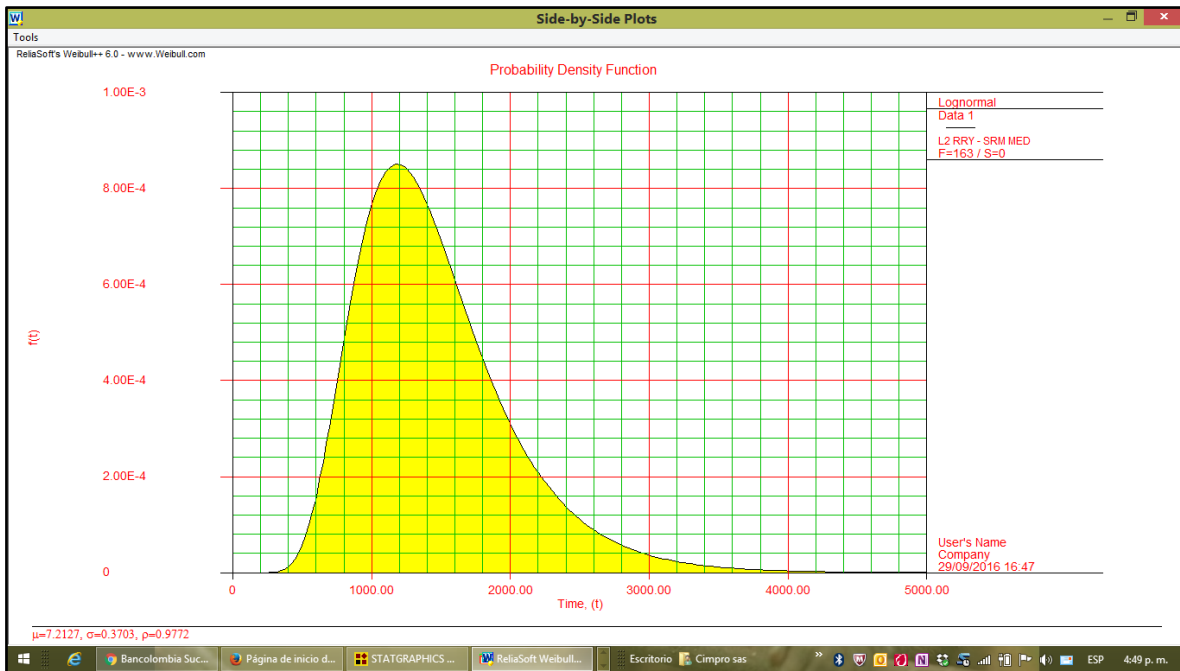


Ilustración 67 - Curva de Función de Densidad Weibull de LEDs con Distribución LogNormal



En ambas figuras de las dos últimas curvas se verifica que los Bombillos son de la Zona 3 de la Bañera o Curva de Davies, con Distribución LogNormal.

### 3.3.1.4.3 Con distribución Normal

Ilustración 68 - Alineación de Weibull con Distribución Normal

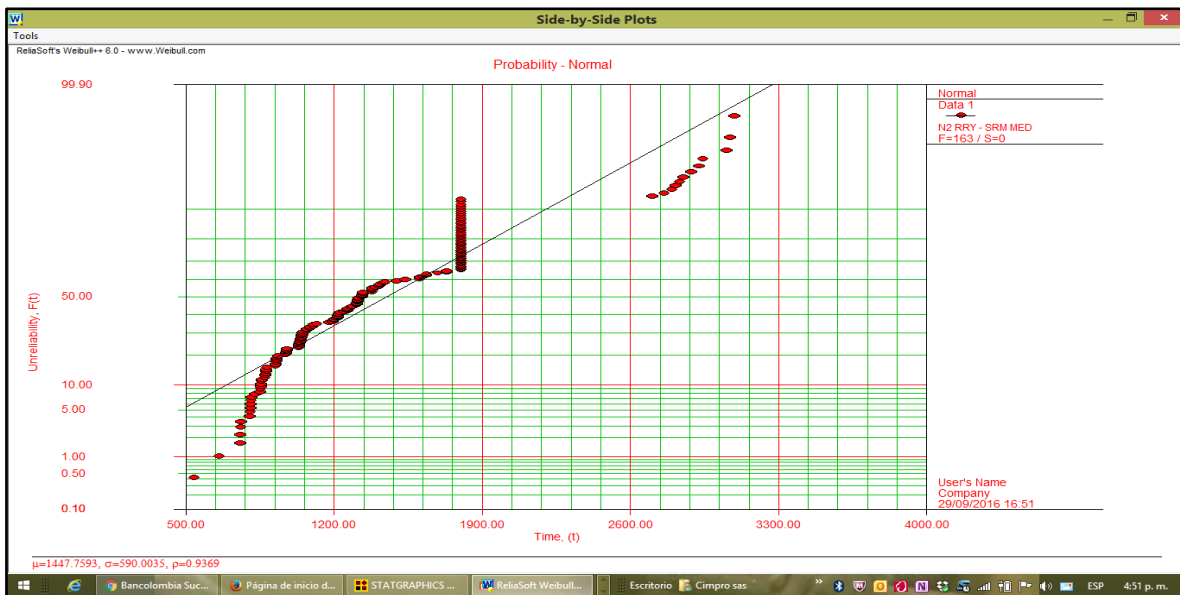


Ilustración 69 - Curva de Supervivencia o Reliability de LEDs Weibull con Distribución Normal



Ilustración 70 - Curva de No Confiabilidad Weibull LEDs con Distribución Normal

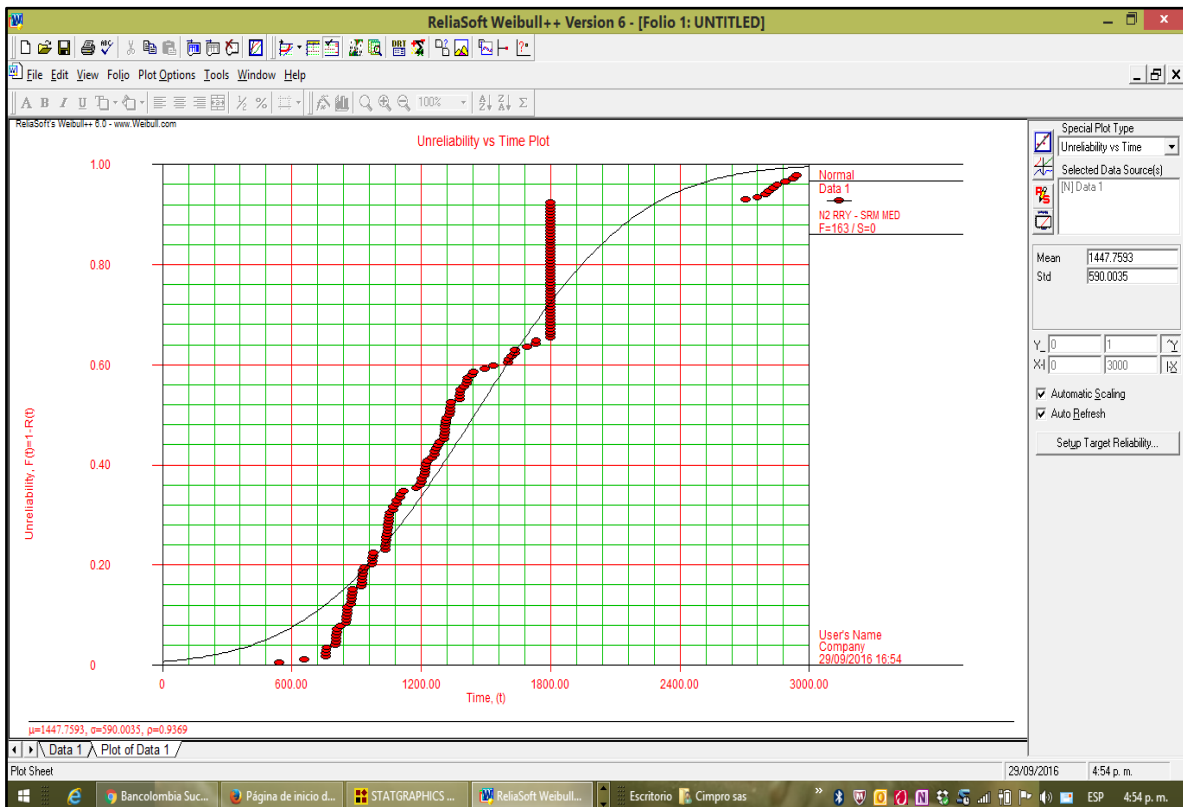


Ilustración 71 - Curva de Tasa de Fallas Hazard Time - Weibull LEDs con Distribución Normal

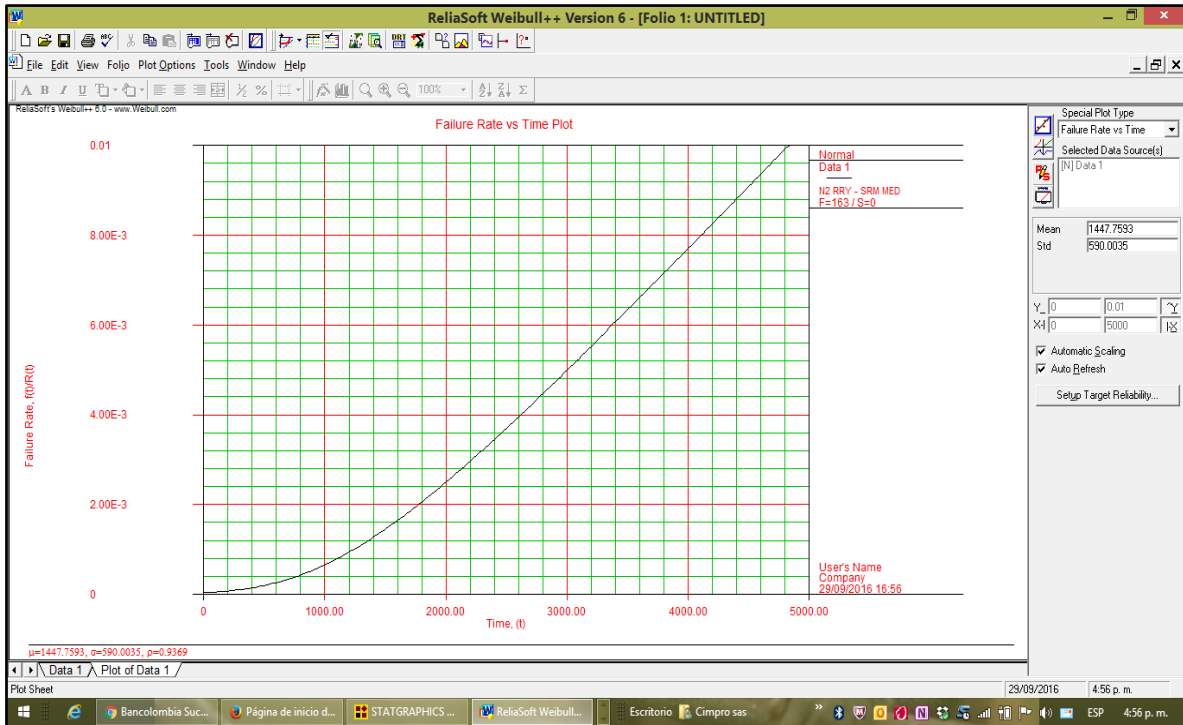
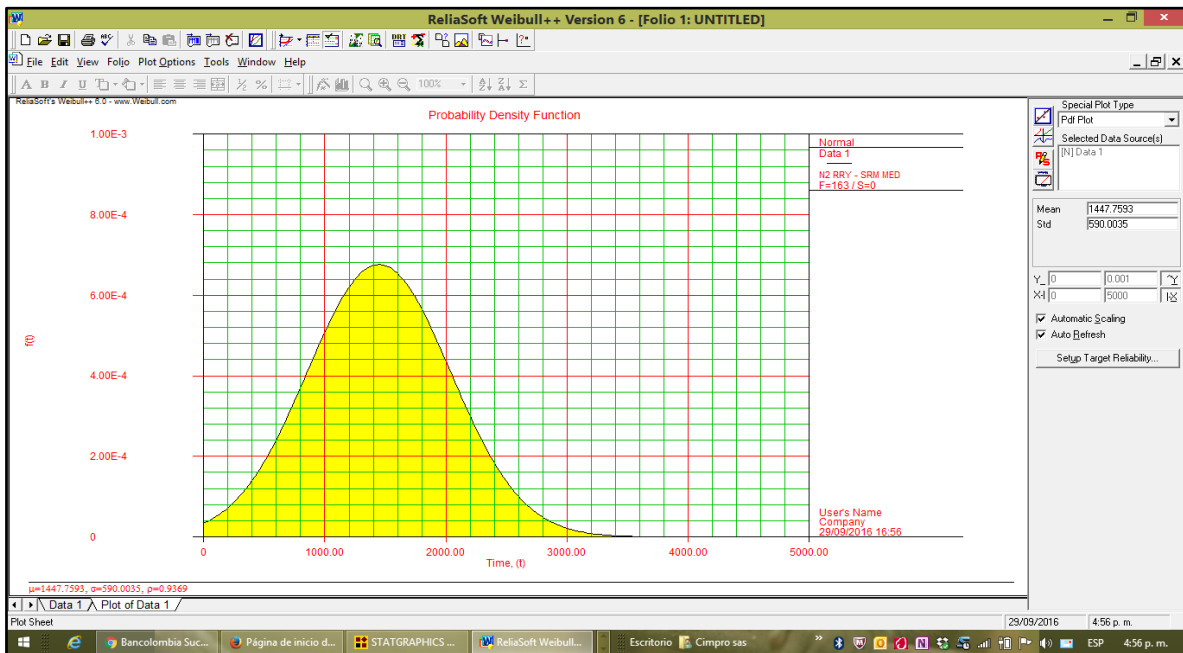


Ilustración 72 - Curva de Función de Densidad Weibull de LEDs con Distribución Normal



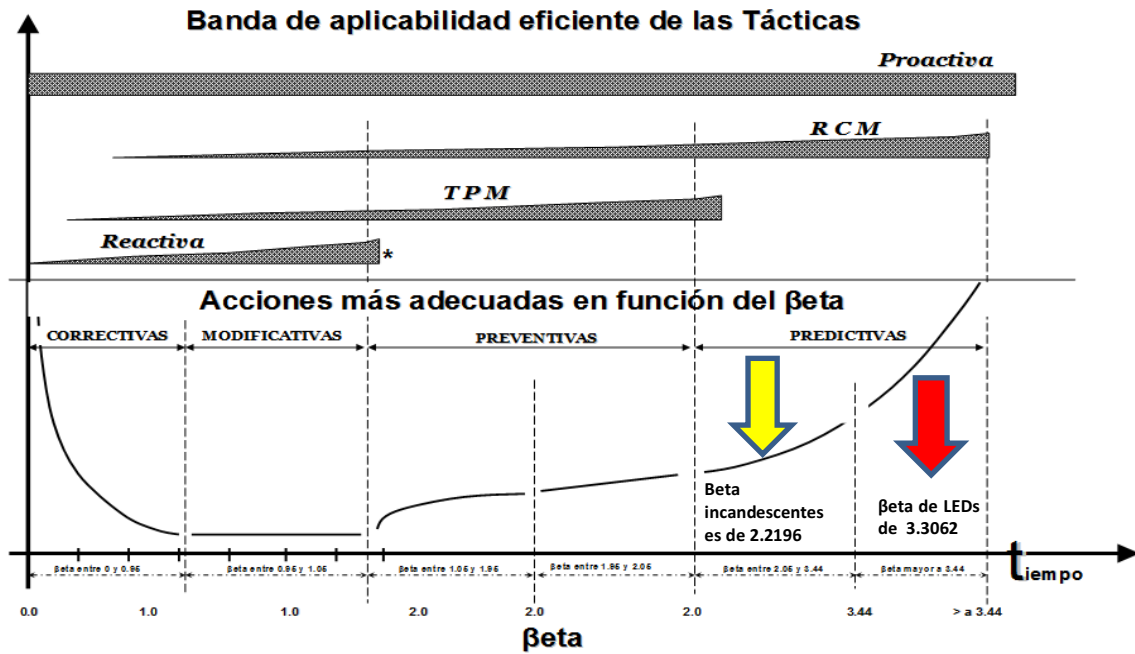
En ambas figuras de las dos últimas curvas se verifica que los Bombillos son de la Zona 3 de la Bañera o Curva de Davies, con Distribución Normal.

Con las distribuciones Weibull, LogNormal y Normal se garantiza que las bombillas son de la zona 3 de la Bañera o Zona de Envejecimiento.

Esta aseveración se cumple tanto para Bombillas Incandescentes como para LEDs.

Ilustración 73 - Curva de Davies, énfasis en  $\beta$ etas superiores a 3.44

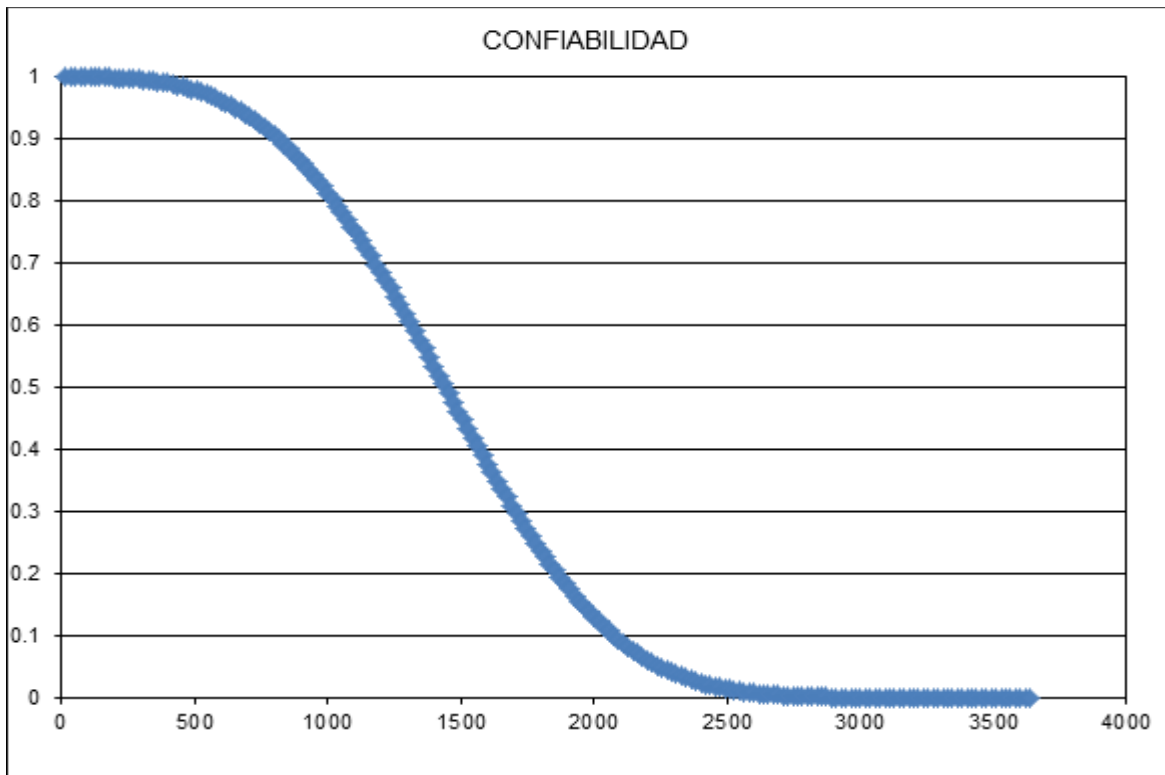
$\lambda(t)$  Tasa de fallas en Weibull



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

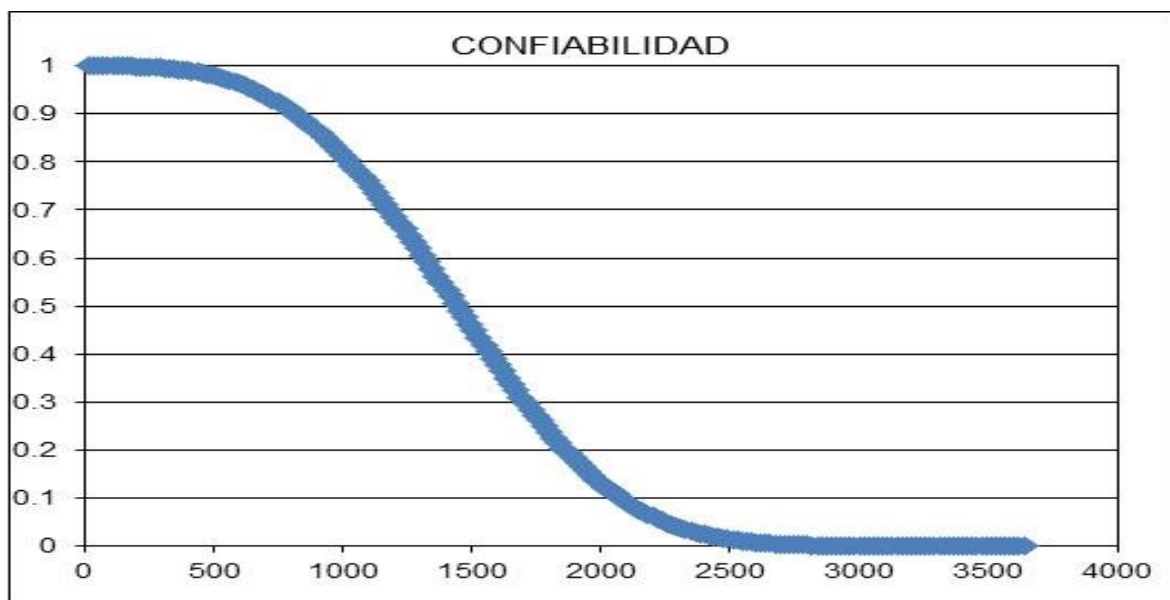
### 3.3.1.5 Cálculos con paquete CMD

Ilustración 74 - Curva Supervivencia Weibull de Incandescentes con CMD



Los resultados arrojan un valor  $\beta$  de 2.2164, un Eta de 667.6259 y una vida media MTTF de 591.2829 horas muy similar al paquete informático anterior Weibull que entrega los resultados de un  $\beta$  de 2.2192 y un Eta de 667.5355 horas con una vida media de 591.2055.

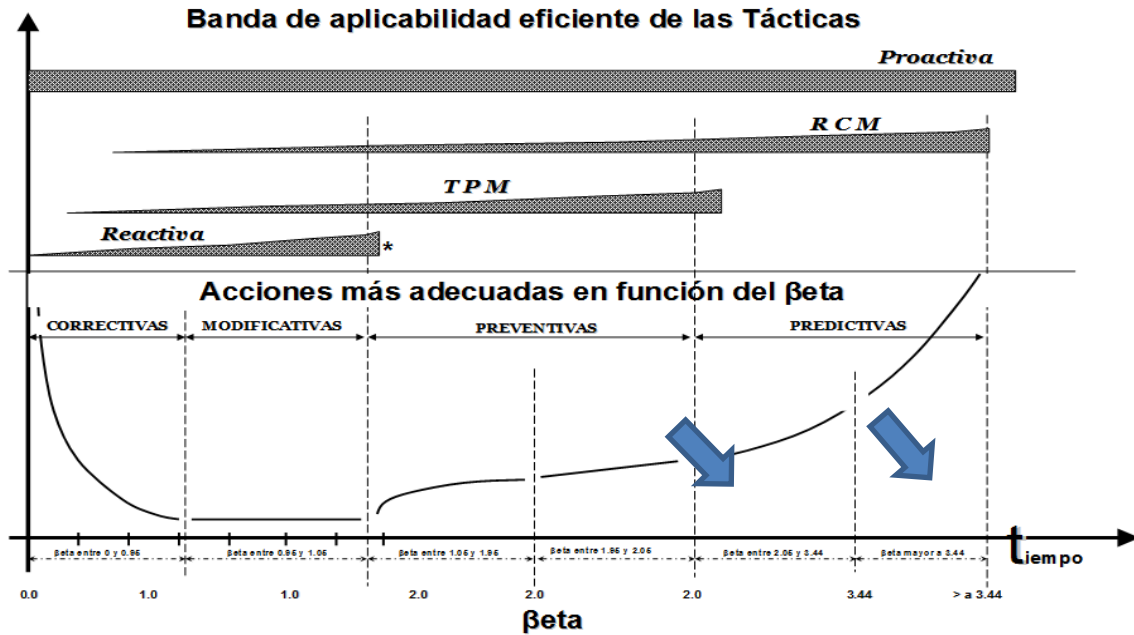
Ilustración 75 - Curva Supervivencia Weibull de LEDs con CMD



Los resultados arrojan un valor  $\beta$  de 3.3026, un  $\eta$  de 1612.5956 y una vida media MTTF de 1446.5793 horas muy similar al paquete informático anterior Weibull que entrega los resultados de un  $\beta$  de 3.3062 y un  $\eta$  de 1612.4890 horas con una vida media de 1446.5623.

**Ilustración 76 - Bañera, en ambos casos da superior a Beta 2 de distribución normal**

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

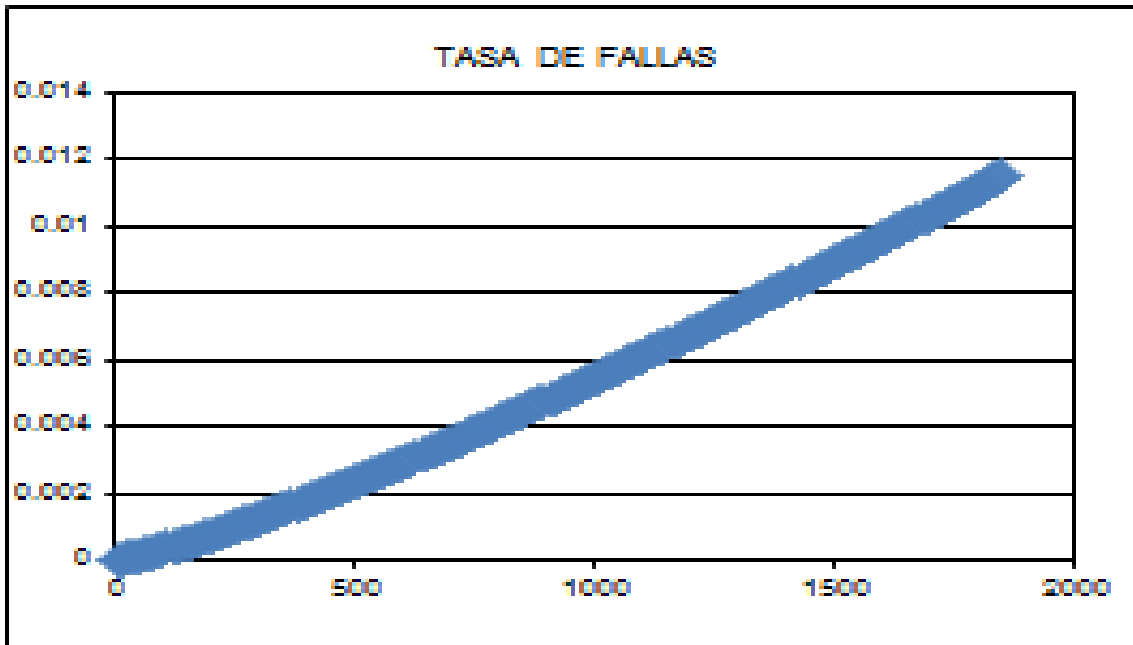


\* Denota que la línea a medida que se vuelve más gruesa la aplicación de la táctica es más eficiente y a que se acomoda más a las características de las fallas y de su tasa.

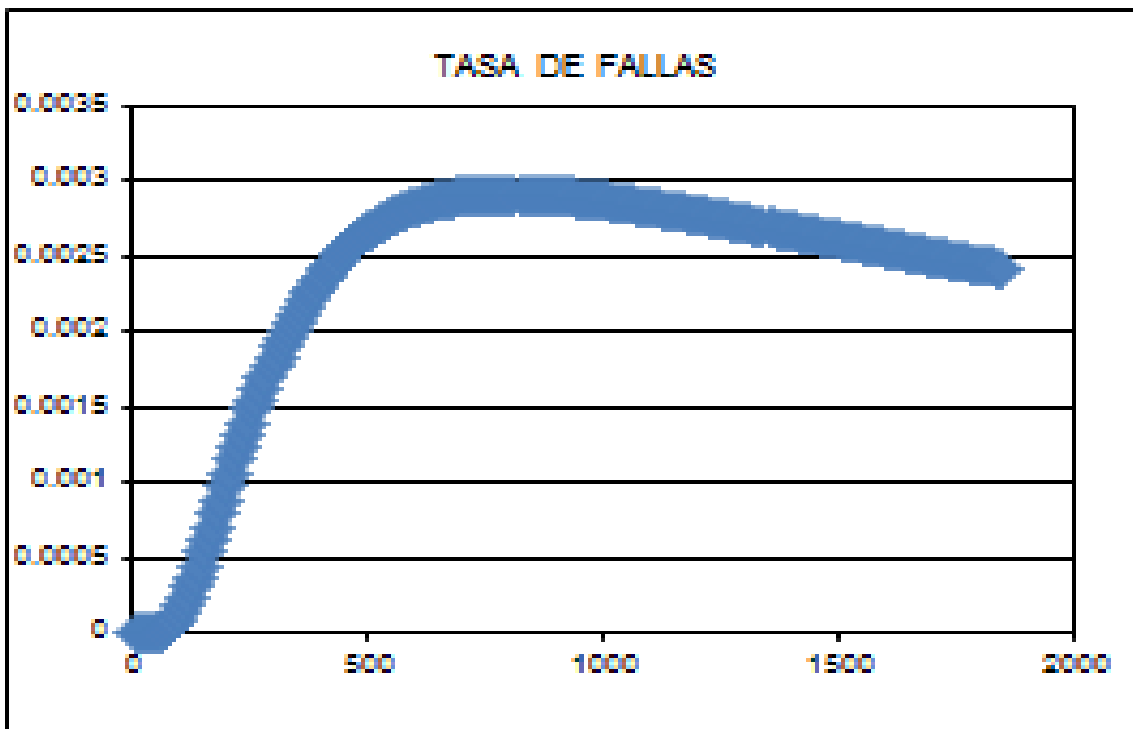
### 3.3.1.6 Cálculos de Curvas de Tasa de Fallas con diferentes distribuciones

Ilustración 77 - Curvas de Tasa de Fallas que tienen las Bombillas con diferentes distribuciones

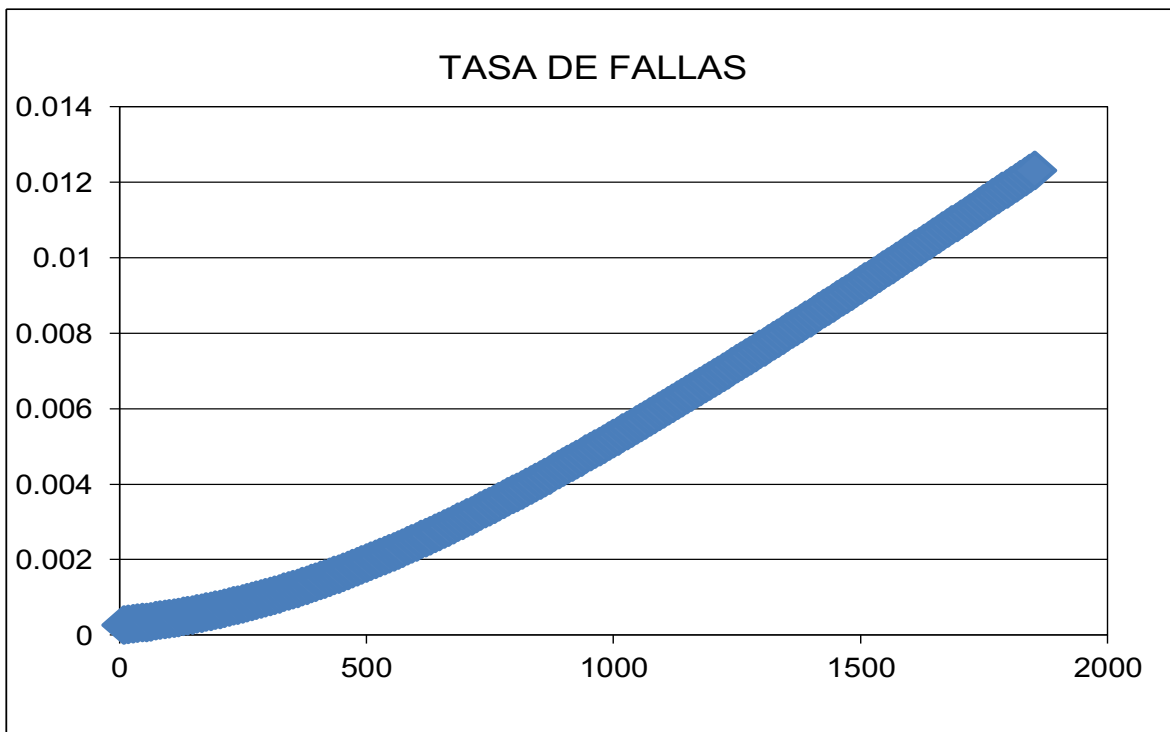
1 - Incandescentes Weibull



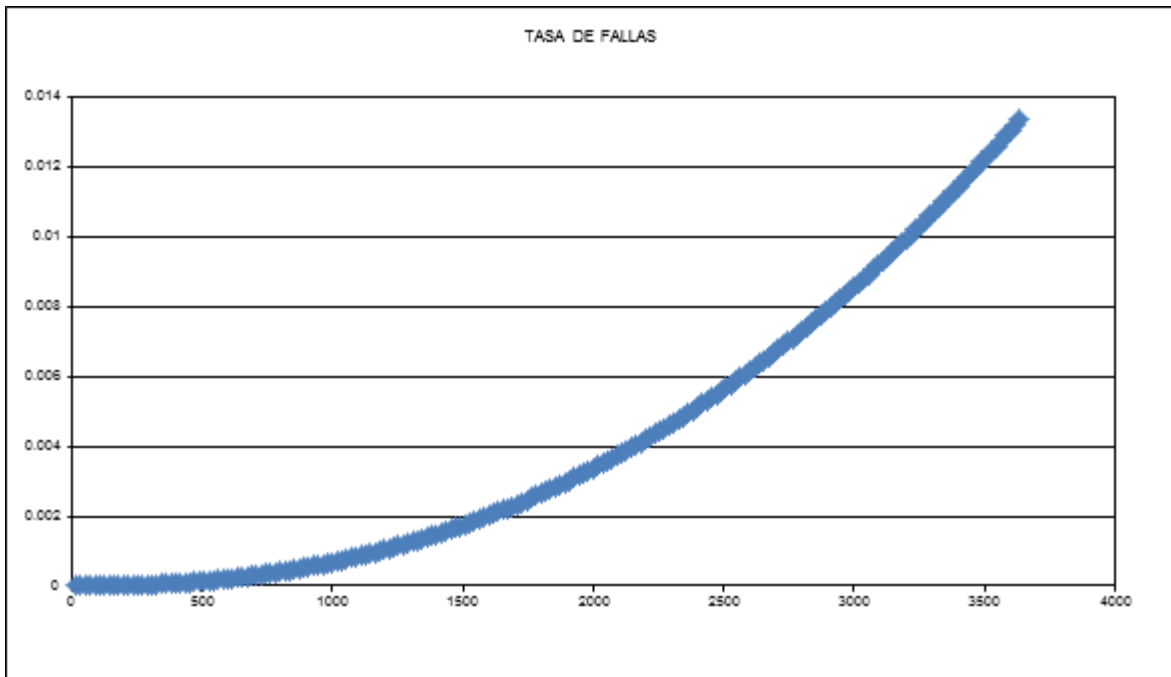
2 - Incandescentes LogNormal



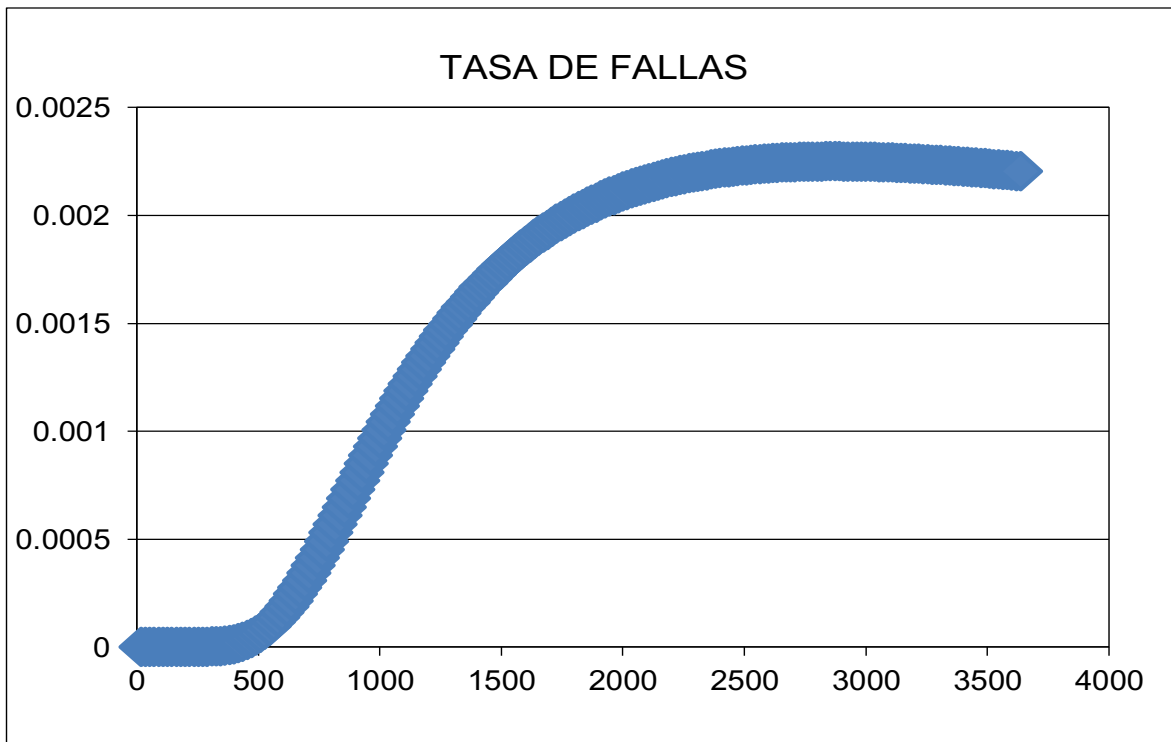
### 3 - Incandescentes Normal



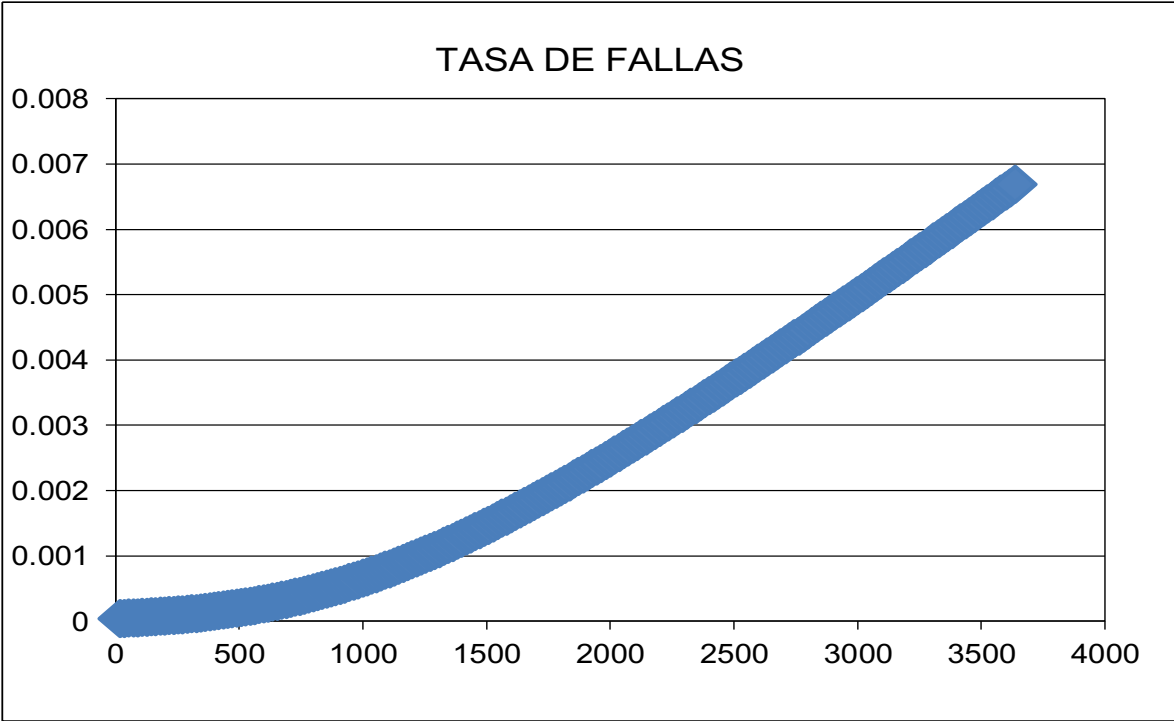
#### 4 - LEDs Weibull



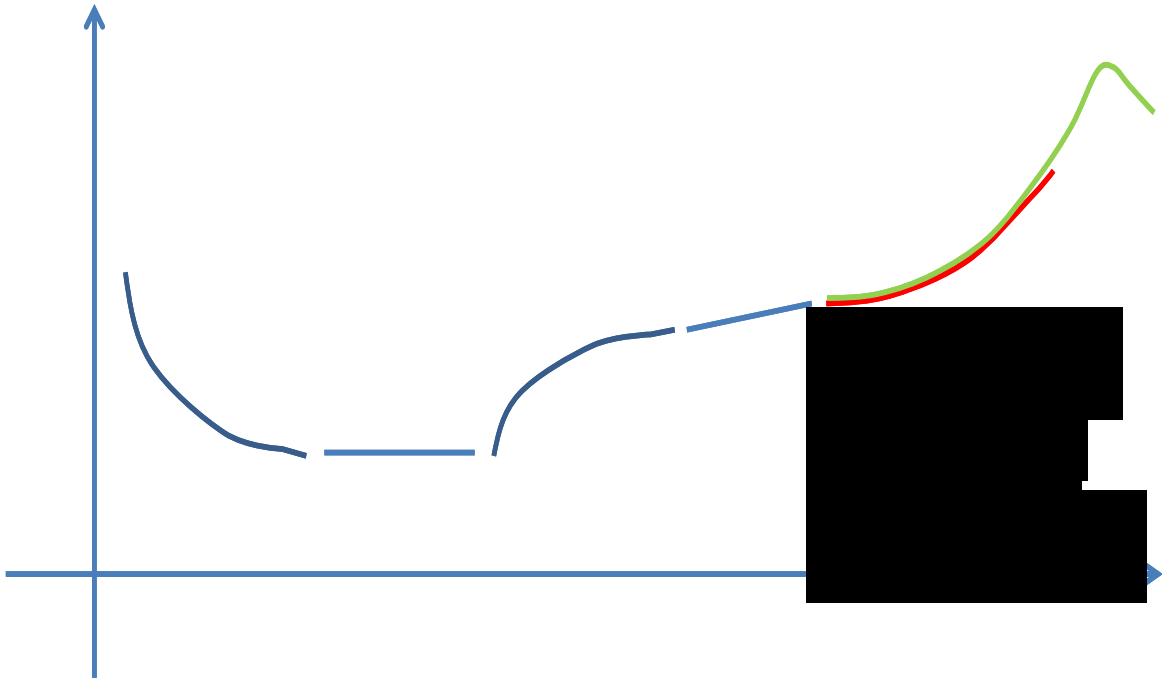
#### 5 - LEDs LogNormal



6 – LEDs Normal



Todas



De esta forma queda totalmente satisfecha y demostrada a tesis de que las curvas que se forman alrededor del estudio del MTTF (*Mean Time To Failure*) se ubican en la Zona tres de la Fase Tres de Weibull, donde lo que se aplica es neta fatiga por envejecimiento.

### **3.3.2 Conclusiones del capítulo tres**

Se garantiza a toda costa que los cálculos aseveran que los valores del Beta en ambos casos de Incandescentes y LEDs se ubican en la Zona de Envejecimiento o Fatiga de la Curva de Davies.

Al igual el análisis muestra que la curva de Tasa de Fallas en los dos casos se comporta en curvas pertenecientes a la Zona 3 de Envejecimiento, es por ello que se puede aseverar de esta forma que los bombillos tanto Incandescentes como LED pertenecen a la Zona de Vejez o de fatiga por excesos de uso, tal cual versa la hipótesis de este proyecto, con diferentes distribuciones.

## **4 PLANES CMD**

### **4.1 OBJETIVO**

Analizar estratégicamente la fiabilidad de las bombillas, mediante la construcción de sus funciones de distribución que simulen la vida útil de los bombillos de frenado, con el fin de predecir su fase útil esperada. Nivel 4 - Analizar

### **4.2 INTRODUCCIÓN AL CAPÍTULO CUATRO**

Esta última sección del proyecto presenta cálculos a futuro reciente de los bombillos tanto Incandescentes y LEDs que fallan acordes a los pronósticos logrados mediante cálculos futurísticos con series temporales, en él se aportan datos suficientes para dichos cálculos, los cuales pretenden desarrollar el comportamiento futuro, a la vez que propone y 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 de la Bañera.

### **4.3 DESARROLLO**

El cuarto capítulo, consta de varias partes, una primera parte dedicada a las series temporales, otra parte que se desarrolla en los cálculos futurísticos en sí y una última parte de análisis correspondiente a los valores futuros.

### **4.4 Series Temporales & Pronósticos**

Las series temporales son una de las varias metodologías que se usan para predecir el comportamiento futuro de diferentes variables, por medio los pronósticos de indicadores CMD de corto plazo, usan la metodología de series temporales usando modelos clásicos o modernos. El método series temporales, se fundamenta en el método científico y utiliza varios softwares, entre ellos PROM (propiedad y desarrollo del asesor Alberto Mora), Statgraphics Centurion (de EAFIT), Forecast Pro XE, Minitab, etcétera.; con sus diferentes Modelos AR.I.MA. y Clásicos (Regresión, Brown, Holt y Winter).

**Ilustración 78 - Fundamentación científica de las series temporales**

METODOLOGÍA UNIVERSAL DE PRONÓSTICOS	MÉTODO CIENTÍFICO
<p><b>Paso 1- Análisis previo de la serie de demanda</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.1 Síntesis descriptiva</li> <li>1.2 Calidad y cantidad de datos</li> <li>1.3 Cumplimiento de estabilidad del entorno</li> <li>1.4 Análisis previo de la serie completa                             <ol style="list-style-type: none"> <li>1.4.1 Estructura Vertical, determinación de Nivel</li> <li>1.4.2 Estructura Horizontal, análisis de Ruido o Aleatoriedad</li> <li>1.4.3 Estructura Tendencial, estimación de forma lineal y/o no lineal</li> <li>1.4.4 Estructura Estacional y/o Cíclica</li> </ol> </li> <li>1.5 Valoración de datos irregulares</li> <li>1.6 Encuentro de fenómenos exógenos</li> <li>1.7 Determinación del patrón estructural gráfico y numérico</li> <li>1.8 Resultado del análisis integral previo</li> </ol>	<p><b>Paso 1 – Observación y análisis de la demanda o fenómeno</b></p>
<p><b>Paso 2 – Postulación de los modelos – Construcción de la hipótesis, con relación a los modelos - Cruce entre análisis y características de modelos clásicos y/o modernos</b></p>	<p><b>Paso 2 – Postulación – Lanzamiento de Hipótesis</b></p>
<p><b>Paso 3 – Validación de la Hipótesis</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>3.1 Doble recorte de la serie</li> <li>3.2 Corrida de todos los modelos con primer recorte</li> <li>3.3 Selección de los tres mejores modelos acertados con la realidad</li> <li>3.4 Aplicación de los tres mejores clásicos o modernos al segundo recorte</li> <li>3.5 Selección del mejor modelo</li> <li>3.6 Cálculo de pronósticos de demanda con el mejor modelo y sus parámetros</li> <li>3.7 Comparación de la realidad y el pronóstico calculado en periodo anterior</li> <li>3.8 Estimación del Goodness of Fit o Bondad de Ajuste</li> <li>3.9 Consenso con ventas, comercialización, inventarios, mercadeo, etc.</li> <li>3.10 Estrategias y acciones de mercadeo, producción, inventarios, etc. en función del área temática del pronóstico.</li> </ol>	<p><b>Paso 3 – Validación real de la Hipótesis Conversión de Hipótesis en tesis</b></p>
<p><b>Paso 4 – Nuevo cálculo de pronóstico de demanda en próximo periodo</b></p>	

## METODOLOGÍA UNIVERSAL DE PRONÓSTICOS – Modelos ST con Box Jenkins y Clásicos

### Paso 1- Análisis previo de la serie de demanda

- 1.1 Síntesis descriptiva
- 1.2 Calidad y cantidad de datos
- 1.3 Cumplimiento de estabilidad del entorno
- 1.4 Análisis previo de la serie completa
  - 1.4.1 Estructura Vertical, determinación de Nivel
  - 1.4.2 Estructura Horizontal, análisis de Ruido o Aleatoriedad
  - 1.4.3 Estructura Tendencial, estimación de forma lineal y/o no lineal
  - 1.4.4 Estructura Estacional y/o Cíclica
- 1.5 Valoración de datos irregulares
- 1.6 Encuentro de fenómenos exógenos
- 1.7 Determinación del patrón estructural gráfico y numérico
- 1.8 Resultado del análisis integral previo

Método Científico – Paso 1  
– Observar y analizar

### Paso 2 – Postulación de los modelos – Construcción de la hipótesis, con relación a los modelos - Cruce entre análisis y características de modelos clásicos y/o modernos

Método Científico – Paso 2  
– Postular Hipótesis

### Paso 3 – Validación de la Hipótesis

- 3.1 Doble recorte de la serie
- 3.2 Corrida de todos los modelos con primer recorte
- 3.3 Selección de los tres mejores modelos acertados con la realidad
- 3.4 Aplicación de los tres mejores clásicos o modernos al segundo recorte
- 3.5 Selección del mejor modelo
- 3.6 Cálculo de pronósticos de demanda con el mejor modelo y sus parámetros
- 3.7 Comparación de la realidad y el pronóstico calculado en periodo anterior
- 3.8 Estimación del Goodness of Fit o Bondad de Ajuste
- 3.9 Consenso con ventas, comercialización, inventarios, mercadeo, etc.
- 3.10 Estrategias y acciones de mercadeo, producción, inventarios, etc. en función del área temática del pronóstico.

Método Científico – Paso 3  
– Verificar - Tesis

### Paso 4 – Nuevo cálculo de pronóstico de demanda en próximo periodo

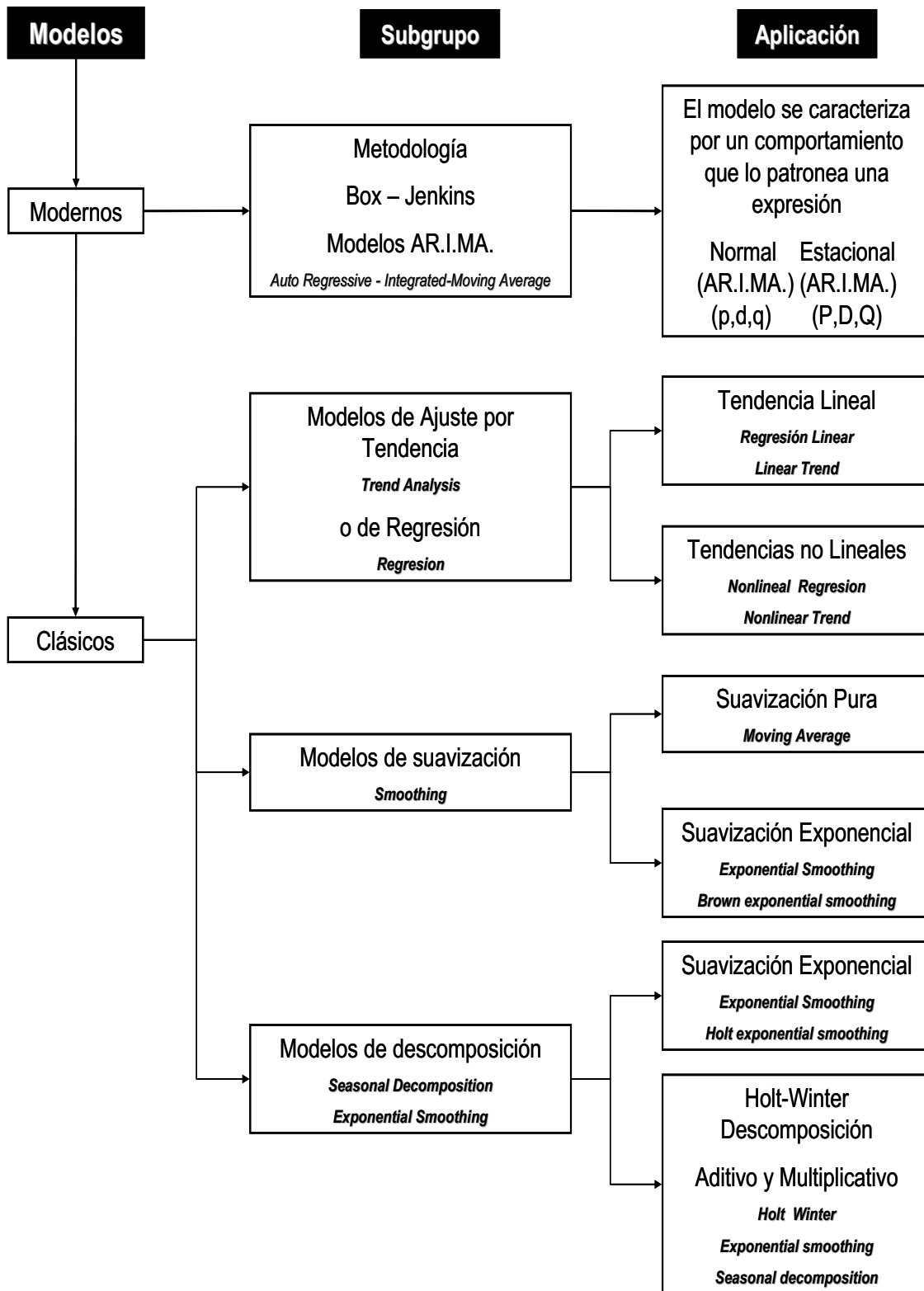
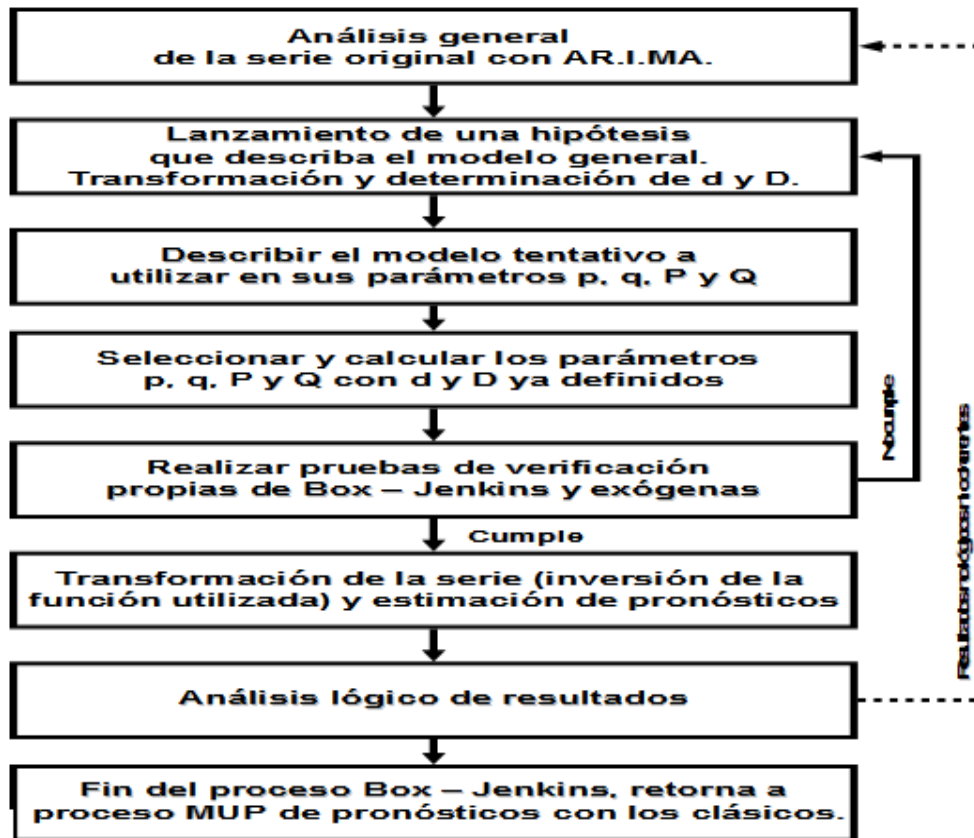
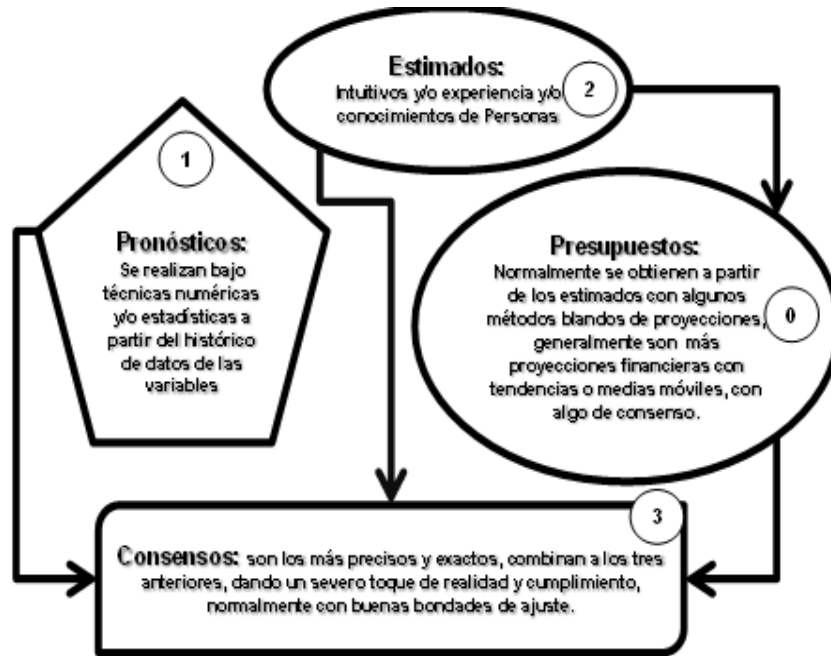
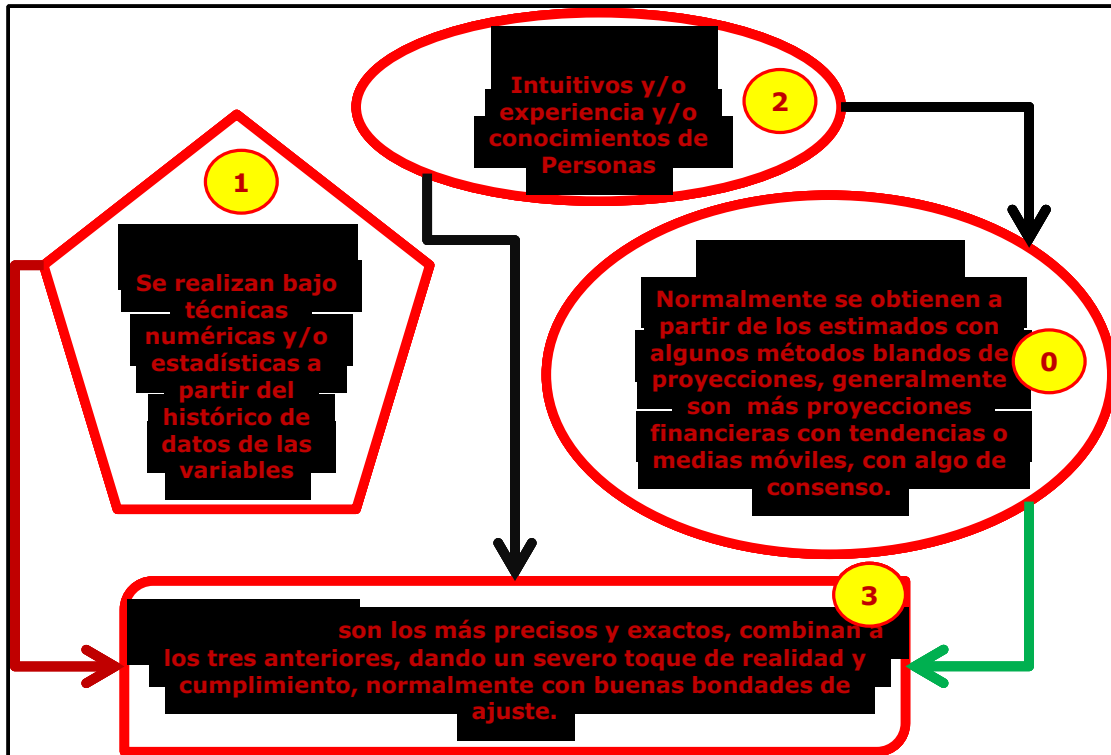


Ilustración 35. Continuación.



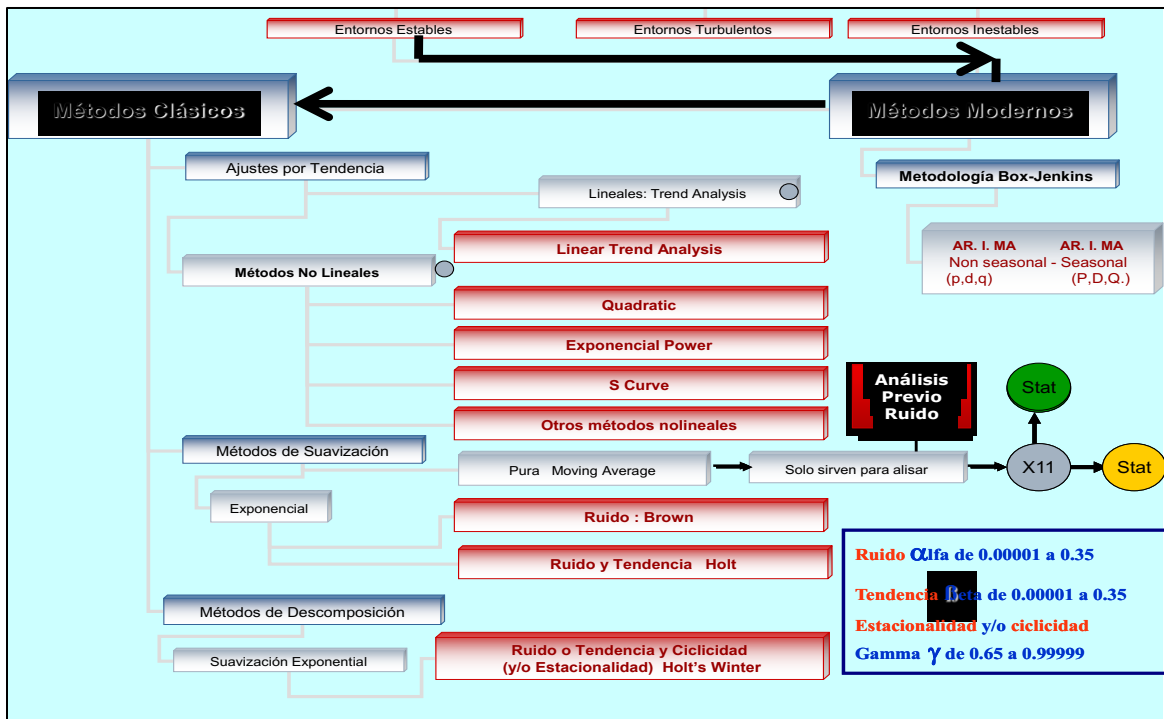
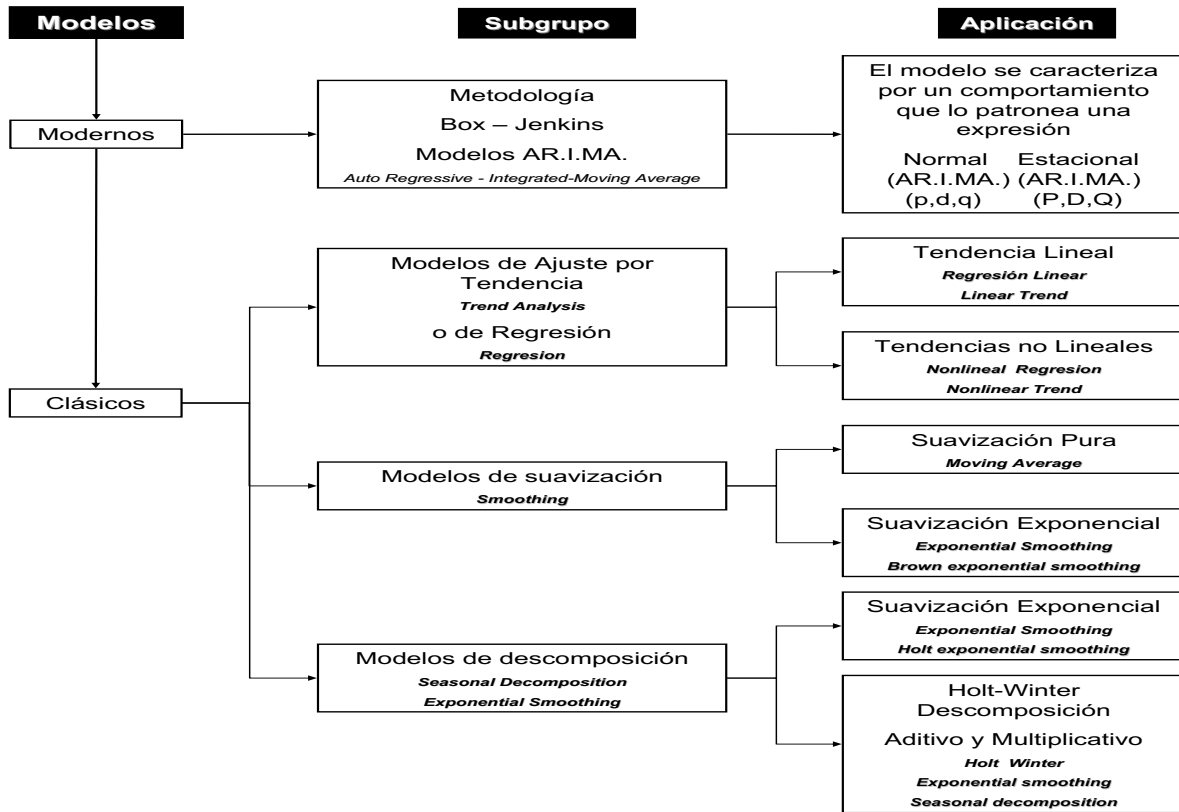
(Mora, 2012) (Mora, 2014).



(Mora, 2015) (Mora, 2012)

Los Modelos AR.I.MAS. requieren de la metodología especial Box – Jenkins para poder operar y encontrar los pronósticos futuros.

Ilustración 79 - Modelos Clásicos y AR.I.MA de series temporales



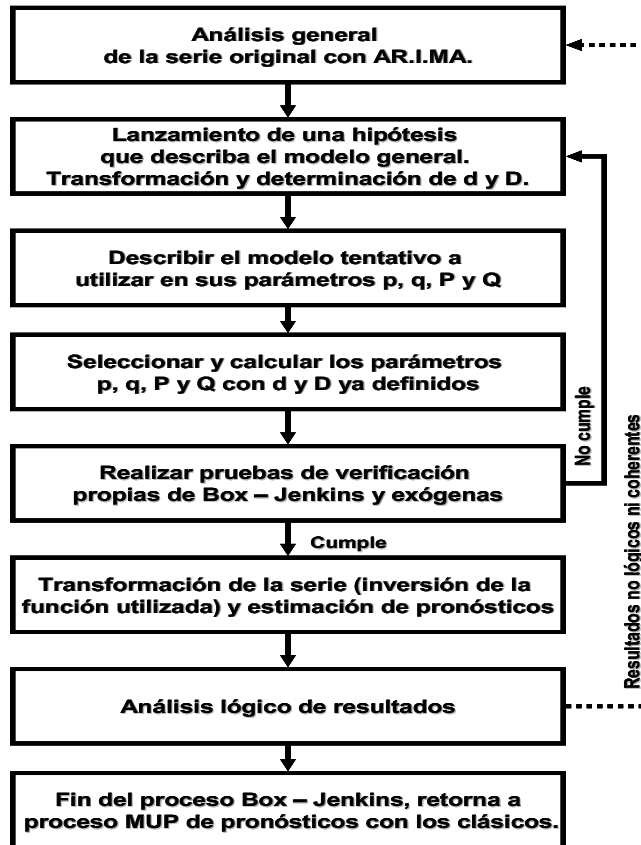


Ilustración 80 - Datos limpios de LEDs e Incandescentes

	LED	Incandescentes		LED	Incandescentes		LED	Incandescentes		LED	Incandescentes
1	540.40	82.80	42	1040.06	368.00	83	1334.23	552.00	124	1801.54	745.20
2	658.69	92.00	43	1043.26	377.20	84	1335.83	552.00	125	1801.54	754.40
3	757.43	101.20	44	1044.86	377.20	85	1337.43	552.00	126	1801.54	754.40
4	759.03	119.60	45	1046.46	377.20	86	1339.03	561.20	127	1801.54	772.80
5	760.63	128.80	46	1048.06	386.40	87	1380.00	561.20	128	1801.54	782.00
6	762.23	165.60	47	1049.66	395.60	88	1380.06	561.20	129	1801.54	782.00
7	803.26	174.80	48	1051.26	395.60	89	1381.66	570.40	130	1801.54	791.20
8	804.86	193.20	49	1052.86	395.60	90	1383.26	570.40	131	1801.54	791.20
9	806.46	202.40	50	1054.46	395.60	91	1398.40	570.40	132	1801.54	800.40
10	808.06	211.60	51	1070.80	404.80	92	1412.74	579.60	133	1801.54	809.60
11	809.66	220.80	52	1072.40	404.80	93	1414.34	588.80	134	1801.54	818.80
12	811.26	239.20	53	1087.14	414.00	94	1416.80	588.80	135	1801.54	818.80
13	828.00	248.40	54	1088.74	423.20	95	1435.20	598.00	136	1801.54	837.20
14	852.29	248.40	55	1103.49	423.20	96	1442.23	598.00	137	1801.54	855.60
15	853.89	257.60	56	1105.09	432.40	97	1496.40	607.20	138	1801.54	864.80
16	855.49	257.60	57	1119.83	432.40	98	1537.43	607.20	139	1801.54	874.00
17	857.09	266.80	58	1177.60	441.60	99	1604.74	607.20	140	1801.54	883.20
18	858.69	266.80	59	1196.00	441.60	100	1606.34	607.20	141	1801.54	975.20
19	860.29	276.00	60	1201.89	450.80	101	1621.09	616.40	142	1801.54	975.20
20	875.03	276.00	61	1203.49	460.00	102	1635.83	616.40	143	1801.54	984.40
21	876.63	285.20	62	1214.40	460.00	103	1637.43	625.60	144	1801.54	993.60
22	878.23	285.20	63	1218.23	460.00	104	1691.60	634.80	145	1801.54	1002.80
23	879.83	285.20	64	1219.83	469.20	105	1732.63	634.80	146	1801.54	1012.00
24	881.43	294.40	65	1221.43	469.20	106	1734.23	644.00	147	1801.54	1021.20
25	883.03	294.40	66	1223.03	478.40	107	1801.54	644.00	148	1801.54	1030.40
26	924.06	303.60	67	1232.80	478.40	108	1801.54	653.20	149	1801.54	1094.80
27	925.66	303.60	68	1251.20	478.40	109	1801.54	662.40	150	1801.54	1140.80
28	927.26	312.80	69	1263.26	487.60	110	1801.54	671.60	151	1801.54	1159.20
29	928.86	322.00	70	1264.06	487.60	111	1801.54	680.80	152	2704.80	1177.60
30	930.46	322.00	71	1269.60	487.60	112	1801.54	680.80	153	2760.00	1196.00
31	932.06	331.20	72	1278.80	496.80	113	1801.54	690.00	154	2796.80	1196.00
32	938.40	331.20	73	1288.00	506.00	114	1801.54	690.00	155	2815.20	1260.40
33	973.09	331.20	74	1306.69	506.00	115	1801.54	699.20	156	2833.60	1288.00
34	974.69	340.40	75	1308.29	515.20	116	1801.54	699.20	157	2852.00	1324.80
35	976.29	349.60	76	1309.89	524.40	117	1801.54	708.40	158	2888.80	1370.80
36	977.89	349.60	77	1311.49	524.40	118	1801.54	708.40	159	2925.60	1380.00
37	979.49	349.60	78	1313.09	524.40	119	1801.54	717.60	160	2944.00	1407.60
38	1033.66	358.80	79	1314.69	533.60	120	1801.54	726.80	161	3054.40	1508.80
39	1035.26	358.80	80	1316.29	542.80	121	1801.54	736.00	162	3072.80	1545.60
40	1036.86	358.80	81	1317.89	542.80	122	1801.54	745.20	163	3091.20	1628.40
41	1038.46	368.00	82	1332.63	542.80	123	1801.54	745.20			

#### 4.4.1 Análisis estratégico de resultados integrales del MTTF

Los diferentes estudios se van presentando en el orden de las variables que se trabajan con datos históricos donde se calculan con base a sus parámetros Beta, Eta y tiempo de vida útil.

Por su proceso se establecen los parámetros básico de cálculos que después permiten los cálculos de predicciones de Beta y Eta tanto para Incandescentes como para LEDs, una vez están listos los procesos pronosticados se proceden a calcular los tiempos de vida útil y de esa forma se puede valorar la existencia o no de datos en la zona de envejecimiento de los datos futuros a ocurrir de vida útil con los valores del Beta, que al fin y al cabo es el parámetro más indicado con este parametrización, al igual se hace una comparación de la Tasa de Fallas al final de los datos pronosticados.

Ilustración 81 - Parámetros y cálculos MTTF para Incandescentes

Dato Número	Función Distribución	Tiempo	$\beta$ MTTF de Incandescentes Confiabilidad	$\eta$ - Eta de Confiabilidad MTTF	Alineación	Goodness of Fit	Cumple o no Bondad de Ajuste - Goodness of Fit	MTTF Calculado	Tiempo Confiabilidad Calculado MTTF
0		82.80							
1		92.00							
2	Weibull	101.20	9.61	96.18	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	91.34047239	91.34047239
3	Weibull	119.60	6.29	105.72	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	98.33417243	98.33417243
4	Weibull	128.80	5.57	113.03	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	104.4256022	104.4256022
5	Weibull	165.60	4.04	126.68	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	114.895569	114.895569
6	Weibull	174.80	3.64	137.14	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	123.6571232	123.6571232
7	Weibull	193.20	3.36	147.62	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	132.5441919	132.5441919
8	Weibull	202.40	3.22	156.83	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	140.5008823	140.5008823
9	Weibull	211.60	3.13	165.20	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	147.8012449	147.8012449
10	Weibull	220.80	3.07	172.98	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	154.6222224	154.6222224
11	Weibull	239.20	3.00	181.21	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	161.8053378	161.8053378
12	Weibull	248.40	2.94	189.00	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	168.6281408	168.6281408
13	Weibull	248.40	2.91	195.72	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	174.5513202	174.5513202
14	Weibull	257.60	2.89	202.20	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	180.280443	180.280443
15	Weibull	257.60	2.89	207.91	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	185.3525448	185.3525448
16	Weibull	266.80	2.88	213.52	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	190.3364425	190.3364425
17	Weibull	266.80	2.88	218.54	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	194.8178068	194.8178068
18	Weibull	276.00	2.88	223.54	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	199.2732491	199.2732491
19	Weibull	276.00	2.89	228.07	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	203.3289463	203.3289463
20	Weibull	285.20	2.89	232.62	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	207.3964325	207.3964325
21	Weibull	285.20	2.90	236.79	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	211.1357957	211.1357957
22	Weibull	285.20	2.91	240.62	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	214.5764256	214.5764256
23	Weibull	294.40	2.92	244.50	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	218.0652143	218.0652143
24	Weibull	294.40	2.93	248.10	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	221.3084386	221.3084386
25	Weibull	303.60	2.93	251.77	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	224.613812	224.613812
26	Weibull	303.60	2.94	255.21	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	227.7071247	227.7071247
27	Weibull	312.80	2.95	258.72	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	230.86954	230.86954
28	Weibull	322.00	2.96	262.32	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	234.1073264	234.1073264
29	Weibull	322.00	2.96	265.73	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	237.1641131	237.1641131
30	Weibull	331.20	2.97	269.21	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	240.2911281	240.2911281
31	Weibull	331.20	2.97	272.51	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	243.2531178	243.2531178
32	Weibull	331.20	2.98	275.63	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	246.0560392	246.0560392
33	Weibull	340.40	2.98	278.83	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	248.93029	248.93029
34	Weibull	349.6	2.99	282.12	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	251.8813517	251.8813517
35	Weibull	349.6	2.99	285.26	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	254.6968007	254.6968007
36	Weibull	349.6	3.00	288.24	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	257.3791796	257.3791796
37	Weibull	358.8	3.00	291.31	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	260.132388	260.132388
38	Weibull	358.8	3.00	294.25	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	262.766909	262.766909
39	Weibull	358.8	3.01	297.05	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	265.2852857	265.2852857
40	Weibull	368	3.01	299.94	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	267.8746408	267.8746408
41	Weibull	368	3.01	302.70	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	270.3605691	270.3605691
42	Weibull	377.2	3.02	305.55	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	272.9181055	272.9181055
Dato Número	Función Distribución	Tiempo	$\beta$ MTTF de Incandescentes Confiabilidad	$\eta$ - Eta de Confiabilidad MTTF	Alineación	Goodness of Fit	Cumple o no Bondad de Ajuste - Goodness of Fit	MTTF Calculado	Tiempo Confiabilidad Calculado MTTF

Dato Número	Función Distribución	Tiempo	$\beta$ MTTF de Incandescentes Confiabilidad	$\eta$ - Eta de Confiabilidad MTTF	Alineación	Goodness of Fit	Cumple o no Bondad de Ajuste - Goodness of Fit	MTTF Calculado	Tiempo Confiabilidad Calculado MTTF
42	Weibull	377.2	3.02	305.55	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	272.9181055	272.9181055
43	Weibull	377.2	3.02	308.30	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	275.3794458	275.3794458
44	Weibull	377.2	3.02	310.93	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	277.7453708	277.7453708
45	Weibull	386.4	3.02	313.65	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	280.1807701	280.1807701
46	Weibull	395.60	3.03	316.45	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	282.6894608	282.6894608
47	Weibull	395.60	3.03	319.16	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	285.1141095	285.1141095
48	Weibull	395.60	3.03	321.77	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	287.4540722	287.4540722
49	Weibull	395.60	3.03	324.29	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	289.7117283	289.7117283
50	Weibull	404.80	3.03	326.88	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	292.0353478	292.0353478
51	Weibull	404.80	3.03	329.39	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	294.2850799	294.2850799
52	Weibull	414.00	3.03	331.98	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	296.6009527	296.6009527
53	Weibull	423.20	3.03	334.65	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	298.9855193	298.9855193
54	Weibull	423.20	3.03	337.24	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	301.3015179	301.3015179
55	Weibull	432.40	3.03	339.91	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	303.6813491	303.6813491
56	Weibull	432.40	3.03	342.50	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	305.9943761	305.9943761
57	Weibull	441.60	3.03	345.17	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	308.3689513	308.3689513
58	Weibull	441.60	3.03	347.76	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	310.6789987	310.6789987
59	Weibull	450.80	3.03	350.43	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	313.0486775	313.0486775
60	Weibull	460.00	3.02	353.17	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	315.4795968	315.4795968
61	Weibull	460.00	3.02	355.84	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	317.8490541	317.8490541
62	Weibull	460.00	3.02	358.44	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	320.155714	320.155714
63	Weibull	469.20	3.01	361.10	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	322.5175316	322.5175316
64	Weibull	469.20	3.01	363.70	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	324.8206782	324.8206782
65	Weibull	478.40	3.01	366.36	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	327.1780763	327.1780763
66	Weibull	478.40	3.00	368.95	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	329.4789966	329.4789966
67	Weibull	478.40	3.00	371.48	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	331.7226887	331.7226887
68	Weibull	487.60	3.00	374.07	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	334.0181193	334.0181193
69	Weibull	487.60	2.99	376.60	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	336.2604269	336.2604269
70	Weibull	487.60	2.99	379.07	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	338.4490007	338.4490007
71	Weibull	496.80	2.99	381.60	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	340.6878155	340.6878155
72	Weibull	506.00	2.98	384.19	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	342.9790734	342.9790734
73	Weibull	506.00	2.98	386.72	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	345.2217072	345.2217072
74	Weibull	515.20	2.97	389.31	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	347.5138665	347.5138665
75	Weibull	524.40	2.97	391.97	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	349.8567966	349.8567966
76	Weibull	524.40	2.96	394.57	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	352.1526693	352.1526693
77	Weibull	524.40	2.96	397.11	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	354.4000671	354.4000671
78	Weibull	533.60	2.95	399.71	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	356.6935194	356.6935194
79	Weibull	542.80	2.95	402.37	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	359.034674	359.034674
80	Weibull	542.80	2.94	404.97	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	361.330969	361.330969
81	Weibull	542.80	2.94	407.52	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	363.5811165	363.5811165
82	Weibull	552.00	2.93	410.12	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	365.8749308	365.8749308
83	Weibull	552.00	2.93	412.68	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	368.1252467	368.1252467
84	Weibull	552.00	2.92	415.18	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	370.3312778	370.3312778
85	Weibull	561.20	2.92	417.73	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	372.5794915	372.5794915
86	Weibull	561.20	2.91	420.23	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	374.7863247	374.7863247
87	Weibull	561.20	2.91	422.68	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	376.9510414	376.9510414
88	Weibull	570.40	2.90	425.19	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	379.1568392	379.1568392
89	Weibull	570.40	2.90	427.64	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	381.3233721	381.3233721
90	Weibull	570.40	2.90	430.05	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	383.4489952	383.4489952
91	Weibull	579.60	2.89	432.51	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	385.6165464	385.6165464
92	Weibull	588.80	2.89	435.01	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	387.8251361	387.8251361
93	Weibull	588.80	2.88	437.48	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	389.9973847	389.9973847
94	Weibull	598.00	2.88	439.99	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	392.2095637	392.2095637
95	Weibull	598.00	2.87	442.46	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	394.3858848	394.3858848
96	Weibull	607.20	2.87	444.98	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	396.6011718	396.6011718
97	Weibull	607.20	2.86	447.45	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	398.7813032	398.7813032
98	Weibull	607.20	2.86	449.89	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	400.9252806	400.9252806
99	Weibull	607.20	2.85	452.28	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	403.0331748	403.0331748
100	Weibull	616.40	2.85	454.71	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	405.1777202	405.1777202
101	Weibull	616.40	2.85	457.11	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	407.2888334	407.2888334
102	Weibull	625.60	2.84	459.55	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	409.4366761	409.4366761
103	Weibull	634.80	2.84	462.03	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	411.6225996	411.6225996
104	Weibull	634.80	2.83	464.48	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	413.7768952	413.7768952
105	Weibull	644.00	2.83	466.97	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	415.9673547	415.9673547
106	Weibull	644.00	2.82	469.42	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	418.1264119	418.1264119
107	Weibull	653.20	2.82	471.92	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	420.3207432	420.3207432
108	Weibull	662.40	2.81	474.46	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	422.5514019	422.5514019
109	Weibull	671.60	2.81	477.04	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	424.8184549	424.8184549
110	Weibull	680.80	2.80	479.67	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	427.1216388	427.1216388
Dato Número	Función Distribución	Tiempo	$\beta$ MTTF de Incandescentes Confiabilidad	$\eta$ - Eta de Confiabilidad MTTF	Alineación	Goodness of Fit	Cumple o no Bondad de Ajuste - Goodness of Fit	MTTF Calculado	Tiempo Confiabilidad Calculado MTTF

Dato Número	Función Distribución	Tiempo	$\beta$ MTTF de Incandescentes Confiabilidad	$\eta$ - Eta de Confiabilidad MTTF	Alineación	Goodness of Fit	Cumple o no Bondad de Ajuste - Goodness of Fit	MTTF Calculado	Tiempo Confiabilidad Calculado MTTF
110	Weibull	680.80	2.80	479.67	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	427.1216388	427.1216388
111	Weibull	680.80	2.79	482.26	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	429.3947667	429.3947667
112	Weibull	690.00	2.79	484.89	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	431.7013675	431.7013675
113	Weibull	690.00	2.78	487.48	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	433.9776055	433.9776055
114	Weibull	699.20	2.78	490.12	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	436.2861491	436.2861491
115	Weibull	699.20	2.77	492.71	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	438.5645546	438.5645546
116	Weibull	708.40	2.76	495.35	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	440.874405	440.874405
117	Weibull	708.40	2.76	497.95	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	443.1544919	443.1544919
118	Weibull	717.60	2.75	500.59	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	445.4652941	445.4652941
119	Weibull	726.80	2.75	503.26	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	447.8077266	447.8077266
120	Weibull	736.00	2.74	505.97	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	450.1818577	450.1818577
121	Weibull	745.20	2.73	508.72	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	452.5874767	452.5874767
122	Weibull	745.20	2.73	511.44	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	454.9646259	454.9646259
123	Weibull	745.20	2.72	514.12	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	457.3119972	457.3119972
124	Weibull	754.40	2.71	516.83	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	459.6876158	459.6876158
125	Weibull	754.40	2.71	519.51	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	462.0345564	462.0345564
126	Weibull	772.80	2.70	522.29	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	464.4668174	464.4668174
127	Weibull	782.00	2.69	525.11	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	466.9293016	466.9293016
128	Weibull	782.00	2.69	527.89	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	469.3644325	469.3644325
129	Weibull	791.20	2.68	530.71	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	471.826859	471.826859
130	Weibull	791.20	2.67	533.49	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	474.2614467	474.2614467
131	Weibull	800.40	2.67	536.31	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	476.7223043	476.7223043
132	Weibull	809.60	2.66	539.15	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	479.2101492	479.2101492
133	Weibull	818.80	2.65	542.03	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	481.7250084	481.7250084
134	Weibull	818.80	2.64	544.88	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	484.2128049	484.2128049
135	Weibull	837.20	2.64	547.81	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	486.7792403	486.7792403
136	Weibull	855.60	2.63	550.85	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	489.426009	489.426009
137	Weibull	864.80	2.62	553.91	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	492.1002637	492.1002637
138	Weibull	874.00	2.61	557.00	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	494.8005451	494.8005451
139	Weibull	883.20	2.60	560.13	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	497.5260379	497.5260379
140	Weibull	975.20	2.59	563.83	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	500.7433991	500.7433991
141	Weibull	975.20	2.58	567.52	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	503.9430855	503.9430855
142	Weibull	984.40	2.56	571.23	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	507.1679776	507.1679776
143	Weibull	993.60	2.55	574.97	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	510.4156788	510.4156788
144	Weibull	1002.80	2.54	578.73	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	513.6846172	513.6846172
145	Weibull	1012.00	2.53	582.51	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	516.9736602	516.9736602
146	Weibull	1021.20	2.51	586.31	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	520.2819271	520.2819271
147	Weibull	1030.40	2.50	590.14	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	523.6086949	523.6086949
148	Weibull	1094.80	2.49	594.32	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	527.2449387	527.2449387
149	Weibull	1140.80	2.47	598.76	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	531.0969758	531.0969758
150	Weibull	1159.20	2.45	603.27	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	535.0186912	535.0186912
151	Weibull	1177.60	2.44	607.85	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	539.0058628	539.0058628
152	Weibull	1196.00	2.42	612.51	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	543.0561019	543.0561019
153	Weibull	1196.00	2.40	617.12	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	547.0748206	547.0748206
154	Weibull	1260.40	2.38	622.07	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	551.3813249	551.3813249
155	Weibull	1288.00	2.36	627.13	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	555.7954052	555.7954052
156	Weibull	1324.80	2.35	632.36	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	560.3584457	560.3584457
157	Weibull	1370.80	2.33	637.80	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	565.112783	565.112783
158	Weibull	1380.00	2.31	643.25	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	569.8804435	569.8804435
159	Weibull	1407.60	2.29	648.80	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	574.74471	574.74471
160	Weibull	1508.80	2.26	654.85	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	580.0481206	580.0481206
161	Weibull	1545.60	2.24	661.05	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	585.4932708	585.4932708
162	Weibull	1628.40	2.22	667.63	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	591.2829152	591.2829152
Dato Número	Función Distribución	Tiempo	$\beta$ MTTF de Incandescentes Confiabilidad	$\eta$ - Eta de Confiabilidad MTTF	Alineación	Goodness of Fit	Cumple o no Bondad de Ajuste - Goodness of Fit	MTTF Calculado	Tiempo Confiabilidad Calculado MTTF

Ilustración 82 - Parámetros y cálculos MTTF para LEDs

Dato Número	Función Distribución	Tiempo	$\beta$ MTTF de LEDs Confiabilidad	$\eta$ - Eta de Confiabilidad MTTF	Alineación	Goodness of Fit	Cumple o no Bondad de Ajuste - Goodness of Fit	MTTF Calculado	Tiempo Confiabilidad Calculado MTTF
0		540.40							
1		658.69							
2	Weibull	757.43	5.69	700.23	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	647.7149408	647.7149408
3	Weibull	759.03	6.05	727.85	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	675.5530041	675.5530041
4	Weibull	760.63	6.44	743.90	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	692.82928	692.82928
5	Weibull	762.23	6.82	754.39	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	704.7110757	704.7110757
6	Weibull	803.26	7.16	767.28	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	718.6083258	718.6083258
7	Weibull	804.86	7.44	777.33	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	729.4243959	729.4243959
8	Weibull	806.46	7.69	785.25	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	738.088032	738.088032
9	Weibull	808.06	7.93	791.66	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	745.2139231	745.2139231
10	Weibull	809.66	8.15	796.95	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	751.2071258	751.2071258
11	Weibull	811.26	8.37	801.41	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	756.3431043	756.3431043
12	Weibull	828.00	8.60	806.22	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	761.8593306	761.8593306
13	Weibull	852.29	8.79	812.13	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	768.2291361	768.2291361
14	Weibull	853.89	8.94	817.49	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	773.9157989	773.9157989
15	Weibull	855.49	9.08	822.30	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	779.0202508	779.0202508
16	Weibull	857.09	9.22	826.64	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	783.6350759	783.6350759
17	Weibull	858.69	9.34	830.58	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	787.8366471	787.8366471
18	Weibull	860.29	9.46	834.16	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	791.6870969	791.6870969
19	Weibull	875.03	9.58	838.09	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	795.8402854	795.8402854
20	Weibull	876.63	9.68	841.76	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	799.6925536	799.6925536
21	Weibull	878.23	9.78	845.17	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	803.277076	803.277076
22	Weibull	879.83	9.87	848.35	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	806.6256064	806.6256064
23	Weibull	881.43	9.96	851.32	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	809.7658731	809.7658731
24	Weibull	883.03	10.05	854.11	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	812.721733	812.721733
25	Weibull	924.06	10.08	858.41	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	816.9313473	816.9313473
26	Weibull	925.66	10.10	862.53	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	820.9183071	820.9183071
27	Weibull	927.26	10.11	866.45	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	824.6926837	824.6926837
28	Weibull	928.86	10.13	870.17	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	828.271545	828.271545
29	Weibull	930.46	10.14	873.69	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	831.671928	831.671928
30	Weibull	932.06	10.16	877.03	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	834.9095898	834.9095898
31	Weibull	938.40	10.17	880.38	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	838.1376984	838.1376984
32	Weibull	973.09	10.11	884.83	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	842.1778363	842.1778363
33	Weibull	974.69	10.05	889.11	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	846.0457693	846.0457693
34	Weibull	976.286	10.00	893.19	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	849.7482356	849.7482356
35	Weibull	977.886	9.96	897.10	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	853.2960911	853.2960911
36	Weibull	979.486	9.92	900.83	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	856.700342	856.700342
37	Weibull	1033.66	9.76	906.29	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	861.3058045	861.3058045
38	Weibull	1035.26	9.61	911.55	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	865.7357452	865.7357452
39	Weibull	1036.86	9.49	916.56	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	869.9941742	869.9941742
40	Weibull	1038.46	9.38	921.36	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	874.0905321	874.0905321
41	Weibull	1040.06	9.28	925.94	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	878.034866	878.034866
42	Weibull	1043.26	9.19	930.38	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	881.8725409	881.8725409
Dato Número	Función Distribución	Tiempo	$\beta$ MTTF de LEDs Confiabilidad	$\eta$ - Eta de Confiabilidad MTTF	Alineación	Goodness of Fit	Cumple o no Bondad de Ajuste - Goodness of Fit	MTTF Calculado	Tiempo Confiabilidad Calculado MTTF

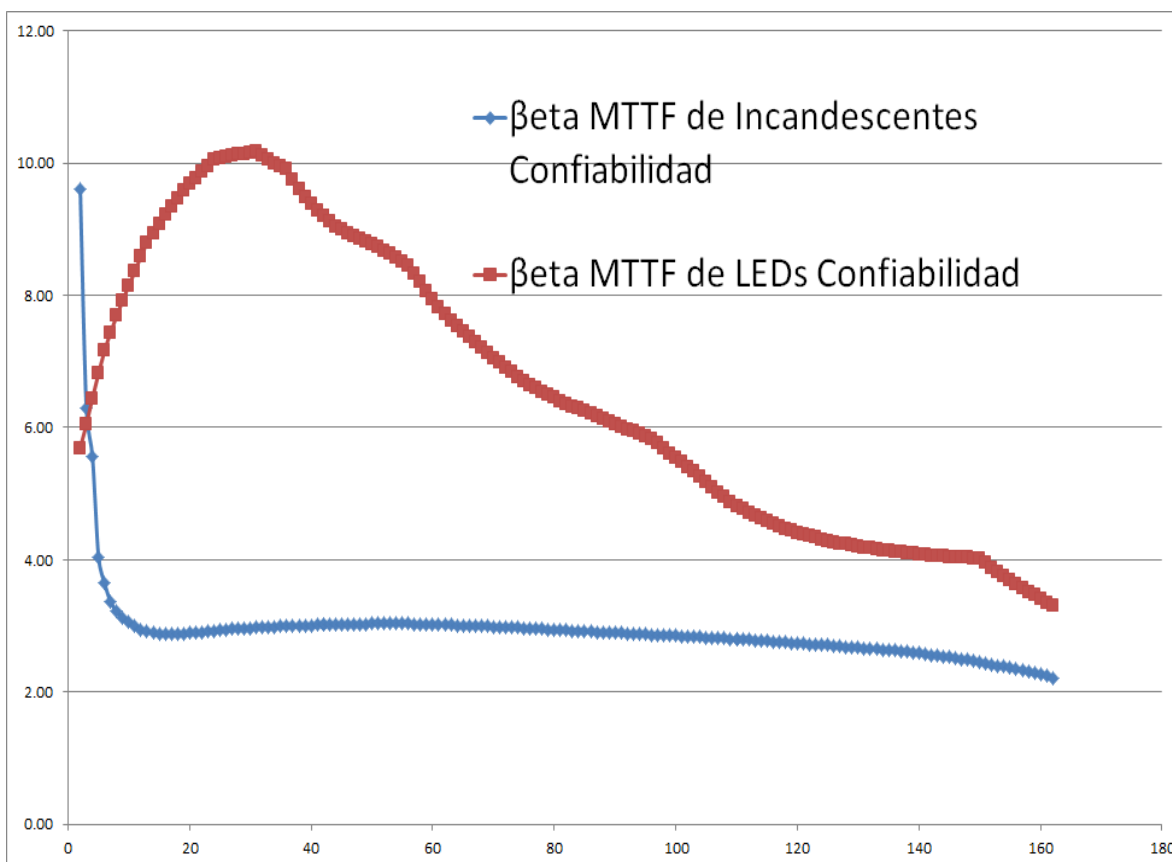
Dato Número	Función Distribución	Tiempo	$\beta$ MTTF de LEDs Confiabilidad	$\eta$ - Eta de Confiabilidad MTTF	Alineación	Goodness of Fit	Cumple o no Bondad de Ajuste - Goodness of Fit	MTTF Calculado	Tiempo Confiabilidad Calculado MTTF
42	Weibull	1043.26	9.19	930.38	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	881.8725409	881.8725409
43	Weibull	1044.86	9.11	934.64	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	885.5758928	885.5758928
44	Weibull	1046.46	9.05	938.73	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	889.1532078	889.1532078
45	Weibull	1048.06	8.99	942.66	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	892.6123076	892.6123076
46	Weibull	1049.66	8.94	946.44	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	895.9604505	895.9604505
47	Weibull	1051.26	8.89	950.09	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	899.2043471	899.2043471
48	Weibull	1052.86	8.85	953.61	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	902.3501967	902.3501967
49	Weibull	1054.46	8.82	957.02	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	905.403728	905.403728
50	Weibull	1070.80	8.77	960.66	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	908.6419628	908.6419628
51	Weibull	1072.40	8.73	964.21	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	911.7922421	911.7922421
52	Weibull	1087.14	8.68	967.96	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	915.0912943	915.0912943
53	Weibull	1088.74	8.63	971.61	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	918.3041352	918.3041352
54	Weibull	1103.49	8.57	975.46	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	921.6592765	921.6592765
55	Weibull	1105.09	8.52	979.20	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	924.9296747	924.9296747
56	Weibull	1119.83	8.46	983.14	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	928.3361309	928.3361309
57	Weibull	1177.60	8.33	988.34	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	932.5922581	932.5922581
58	Weibull	1196.00	8.20	993.83	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	937.025577	937.025577
59	Weibull	1201.89	8.06	999.27	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	941.419427	941.419427
60	Weibull	1203.49	7.95	1004.54	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	945.7035397	945.7035397
61	Weibull	1214.40	7.83	1009.87	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	950.0265063	950.0265063
62	Weibull	1218.23	7.72	1015.08	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	954.2779732	954.2779732
63	Weibull	1219.83	7.62	1020.14	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	958.4262878	958.4262878
64	Weibull	1221.43	7.53	1025.05	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	962.4751409	962.4751409
65	Weibull	1223.03	7.45	1029.81	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	966.4284682	966.4284682
66	Weibull	1232.80	7.37	1034.61	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	970.4066099	970.4066099
67	Weibull	1251.20	7.29	1039.61	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	974.5315945	974.5315945
68	Weibull	1263.26	7.21	1044.70	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	978.7118711	978.7118711
69	Weibull	1264.06	7.13	1049.64	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	982.7908302	982.7908302
70	Weibull	1269.60	7.05	1054.52	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	986.8342923	986.8342923
71	Weibull	1278.80	6.98	1059.42	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	990.8920817	990.8920817
72	Weibull	1288.00	6.91	1064.34	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	994.9642697	994.9642697
73	Weibull	1306.69	6.84	1069.46	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	999.1729185	999.1729185
74	Weibull	1308.29	6.77	1074.45	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1003.297563	1003.297563
75	Weibull	1309.89	6.70	1079.32	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1007.339116	1007.339116
76	Weibull	1311.49	6.64	1084.07	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1011.299823	1011.299823
77	Weibull	1313.09	6.59	1088.71	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1015.182238	1015.182238
78	Weibull	1314.69	6.54	1093.24	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1018.988975	1018.988975
79	Weibull	1316.29	6.49	1097.67	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1022.722624	1022.722624
80	Weibull	1317.89	6.45	1102.00	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1026.385706	1026.385706
81	Weibull	1332.63	6.40	1106.43	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1030.130204	1030.130204
82	Weibull	1334.23	6.36	1110.77	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1033.808173	1033.808173
83	Weibull	1335.83	6.32	1115.03	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1037.420531	1037.420531
84	Weibull	1337.43	6.29	1119.19	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1040.969027	1040.969027
85	Weibull	1339.03	6.25	1123.27	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1044.45557	1044.45557
86	Weibull	1380.00	6.21	1127.84	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1048.302907	1048.302907
87	Weibull	1380.06	6.17	1132.31	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1052.074387	1052.074387
88	Weibull	1381.66	6.13	1136.70	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1055.784421	1055.784421
89	Weibull	1383.26	6.09	1141.01	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1059.433709	1059.433709
90	Weibull	1398.40	6.06	1145.42	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1063.161604	1063.161604
91	Weibull	1412.74	6.02	1149.92	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1066.960024	1066.960024
92	Weibull	1414.34	5.98	1154.35	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1070.700166	1070.700166
93	Weibull	1416.80	5.94	1158.72	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1074.390436	1074.390436
94	Weibull	1435.20	5.90	1163.22	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1078.187316	1078.187316
95	Weibull	1442.23	5.87	1167.73	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1081.980395	1081.980395
96	Weibull	1496.40	5.82	1172.85	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1086.2236	1086.2236
97	Weibull	1537.43	5.76	1178.45	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1090.790063	1090.790063
98	Weibull	1604.74	5.68	1184.89	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1095.928417	1095.928417
99	Weibull	1606.34	5.61	1191.22	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1100.999131	1100.999131
100	Weibull	1621.09	5.54	1197.62	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1106.121008	1106.121008
101	Weibull	1635.83	5.47	1204.09	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1111.291314	1111.291314
102	Weibull	1637.43	5.41	1210.43	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1116.386217	1116.386217
103	Weibull	1691.60	5.33	1217.36	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1121.886971	1121.886971
104	Weibull	1732.63	5.25	1224.69	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1127.671066	1127.671066
105	Weibull	1734.23	5.18	1231.89	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1133.37547	1133.37547
106	Weibull	1801.54	5.09	1239.81	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1139.585285	1139.585285
107	Weibull	1801.54	5.02	1247.57	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1145.697305	1145.697305
108	Weibull	1801.54	4.95	1255.15	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1151.70797	1151.70797
109	Weibull	1801.54	4.88	1262.57	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1157.617494	1157.617494
110	Weibull	1801.54	4.82	1269.83	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1163.427181	1163.427181
Dato Número	Función Distribución	Tiempo	$\beta$ MTTF de LEDs Confiabilidad	$\eta$ - Eta de Confiabilidad MTTF	Alineación	Goodness of Fit	Cumple o no Bondad de Ajuste - Goodness of Fit	MTTF Calculado	Tiempo Confiabilidad Calculado MTTF

Dato Número	Función Distribución	Tiempo	$\beta$ MTTF de LEDs Confiabilidad	$\eta$ - Eta de Confiabilidad MTTF	Alineación	Goodness of Fit	Cumple o no Bondad de Ajuste - Goodness of Fit	MTTF Calculado	Tiempo Confiabilidad Calculado MTTF
110	Weibull	1801.54	4.82	1269.83	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1163.427181	1163.427181
111	Weibull	1801.54	4.76	1276.93	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1169.138799	1169.138799
112	Weibull	1801.54	4.71	1283.87	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1174.754331	1174.754331
113	Weibull	1801.54	4.66	1290.67	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1180.275862	1180.275862
114	Weibull	1801.54	4.62	1297.33	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1185.705516	1185.705516
115	Weibull	1801.54	4.58	1303.85	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1191.045421	1191.045421
116	Weibull	1801.54	4.54	1310.24	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1196.297687	1196.297687
117	Weibull	1801.54	4.50	1316.51	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1201.46439	1201.46439
118	Weibull	1801.54	4.47	1322.65	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1206.547567	1206.547567
119	Weibull	1801.54	4.44	1328.67	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1211.549207	1211.549207
120	Weibull	1801.54	4.41	1334.58	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1216.47125	1216.47125
121	Weibull	1801.54	4.38	1340.38	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1221.315584	1221.315584
122	Weibull	1801.54	4.36	1346.07	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1226.084047	1226.084047
123	Weibull	1801.54	4.33	1351.65	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1230.778421	1230.778421
124	Weibull	1801.54	4.31	1357.14	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1235.400441	1235.400441
125	Weibull	1801.54	4.29	1362.53	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1239.951786	1239.951786
126	Weibull	1801.54	4.27	1367.82	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1244.434089	1244.434089
127	Weibull	1801.54	4.25	1373.03	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1248.848934	1248.848934
128	Weibull	1801.54	4.23	1378.14	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1253.197855	1253.197855
129	Weibull	1801.54	4.22	1383.17	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1257.482342	1257.482342
130	Weibull	1801.54	4.20	1388.11	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1261.703841	1261.703841
131	Weibull	1801.54	4.19	1392.97	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1265.863754	1265.863754
132	Weibull	1801.54	4.17	1397.75	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1269.963441	1269.963441
133	Weibull	1801.54	4.16	1402.45	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1274.004223	1274.004223
134	Weibull	1801.54	4.15	1407.08	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1277.987381	1277.987381
135	Weibull	1801.54	4.13	1411.64	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1281.914159	1281.914159
136	Weibull	1801.54	4.12	1416.12	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1285.785763	1285.785763
137	Weibull	1801.54	4.11	1420.53	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1289.603368	1289.603368
138	Weibull	1801.54	4.10	1424.88	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1293.368111	1293.368111
139	Weibull	1801.54	4.09	1429.16	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1297.0811	1297.0811
140	Weibull	1801.54	4.08	1433.37	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1300.743409	1300.743409
141	Weibull	1801.54	4.08	1437.52	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1304.356082	1304.356082
142	Weibull	1801.54	4.07	1441.61	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1307.920136	1307.920136
143	Weibull	1801.54	4.06	1445.64	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1311.436558	1311.436558
144	Weibull	1801.54	4.05	1449.61	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1314.906307	1314.906307
145	Weibull	1801.54	4.05	1453.52	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1318.330318	1318.330318
146	Weibull	1801.54	4.04	1457.38	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1321.709498	1321.709498
147	Weibull	1801.54	4.03	1461.18	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1325.044733	1325.044733
148	Weibull	1801.54	4.03	1464.92	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1328.336883	1328.336883
149	Weibull	1801.54	4.02	1468.62	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1331.586784	1331.586784
150	Weibull	1801.54	4.02	1472.26	Benard	Kolmogórov - Smirnov	NO	1334.795252	1334.795252
151	Weibull	2704.80	3.95	1483.09	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1343.341638	1343.341638
152	Weibull	2760.00	3.88	1494.39	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1352.228775	1352.228775
153	Weibull	2796.80	3.81	1505.91	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1361.28848	1361.28848
154	Weibull	2815.20	3.75	1517.44	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1370.388677	1370.388677
155	Weibull	2833.60	3.69	1528.96	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1379.517621	1379.517621
156	Weibull	2852.00	3.63	1540.46	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1388.668487	1388.668487
157	Weibull	2888.80	3.57	1552.09	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1397.943327	1397.943327
158	Weibull	2925.60	3.51	1563.84	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1407.338664	1407.338664
159	Weibull	2944.00	3.46	1575.55	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1416.746405	1416.746405
160	Weibull	3054.40	3.40	1587.94	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1426.681178	1426.681178
161	Weibull	3072.80	3.35	1600.29	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1436.627383	1436.627383
162	Weibull	3091.20	3.30	1612.60	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1446.578734	1446.578734
Dato Número	Función Distribución	Tiempo	$\beta$ MTTF de LEDs Confiabilidad	$\eta$ - Eta de Confiabilidad MTTF	Alineación	Goodness of Fit	Cumple o no Bondad de Ajuste - Goodness of Fit	MTTF Calculado	Tiempo Confiabilidad Calculado MTTF

#### 4.4.1.1 $\beta$ eta

Se puede apreciar en la siguiente ilustración la estabilidad del Beta superior a 2 en ambos casos, aunque en el caso de los LEDs tiende cierta tendencia a la baja, en general es estable, por el lado de los incandescentes se nota una tendencia más suave a la baja, pero en todos los casos se encuentra por encima de dos, lo cual asevera el comportamiento al envejecimiento o fatiga en las bombillas de ambos tipos.

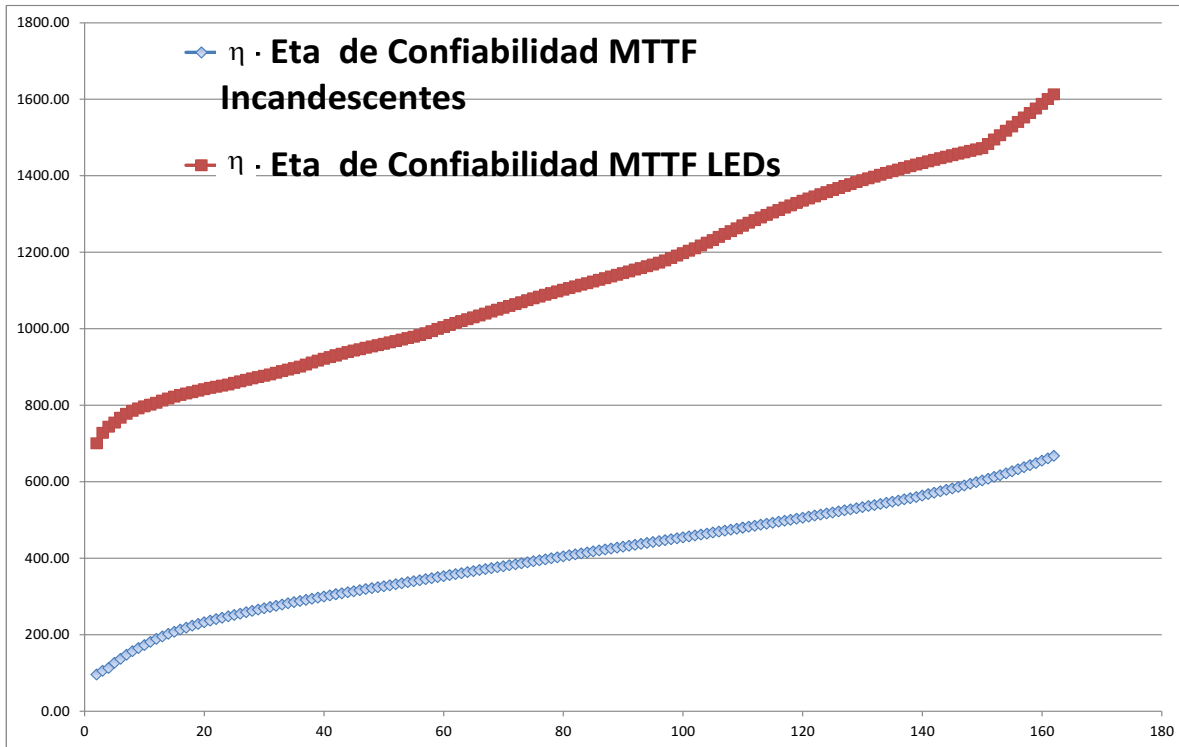
**Ilustración 83 -  $\beta$ etas Incandescentes y LEDs con sus datos**



#### 4.4.1.2 $\eta$ etas

Este parámetro de factor de escala implica al área de Producción así como el  $\beta$ eta manifiesta la labor de mantenimiento, es por ello que se analiza por separado, el factor de escala  $\eta$ , se asocia a la capacidad de tiraje largo de operación, es decir la capacidad de la máquina de trabajar sin fallas en operación normal, en el caso particular tiende a la suba lo que está bien, se manifiesta como una tendencia futura a aumentar la vida media de las bombillas.

**Ilustración 84 - Etas  $\eta$  altos y sus datos históricos**



#### 4.4.1.3 Pronósticos

Ahora el procedimiento obliga a generar los pronósticos de  $\eta$  y Beta, con los cuales se hallará el pronósticos de la vida media útil de los bombillos que continúan al futuro en cuanto a su duración, tanto para Incandescentes como para LEDs.

**Ecuación 9 - MTTF en función de  $\beta$  y  $\eta$  por Weibull**

$$\text{Valor del MTTF} = \eta * \Gamma \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right)$$

Entonces se trata de pronosticar tanto los Betas como los Betas y con ellos se puede conocer los tiempos medios útiles e vida de las bombillas tanto LEDs como Incandescentes.

El proceso de pronósticos de las cuatro variables  $\eta$  y Beta tanto para incandescentes como para LEDs, se realiza con la metodología series temporales

#### 4.4.1.4 Tiempos útiles pronosticados

El proceso se lleva a cabo con los siguientes datos.

Ilustración 85 - Betas y Etas a pronosticar con LEDs e Incandescentes

Dato Número	$\beta$ eta MTTF de Incandescentes Confiabilidad	$\eta$ - Eta de Confiabilidad MTTF Incandescentes	$\beta$ eta MTTF de LEDs Confiabilidad	$\eta$ - Eta de Confiabilidad MTTF LEDs
0				
1				
2	9.61	96.18	5.69	700.23
3	6.29	105.72	6.05	727.85
4	5.57	113.03	6.44	743.90
5	4.04	126.68	6.82	754.39
6	3.64	137.14	7.16	767.28
7	3.36	147.62	7.44	777.33
8	3.22	156.83	7.69	785.25
9	3.13	165.20	7.93	791.66
10	3.07	172.98	8.15	796.95
11	3.00	181.21	8.37	801.41
12	2.94	189.00	8.60	806.22
13	2.91	195.72	8.79	812.13
14	2.89	202.20	8.94	817.49
15	2.89	207.91	9.08	822.30
16	2.88	213.52	9.22	826.64
17	2.88	218.54	9.34	830.58
18	2.88	223.54	9.46	834.16
19	2.89	228.07	9.58	838.09
20	2.89	232.62	9.68	841.76
21	2.90	236.79	9.78	845.17
22	2.91	240.62	9.87	848.35
23	2.92	244.50	9.96	851.32
24	2.93	248.10	10.05	854.11
25	2.93	251.77	10.08	858.41
26	2.94	255.21	10.10	862.53
27	2.95	258.72	10.11	866.45
28	2.96	262.32	10.13	870.17
29	2.96	265.73	10.14	873.69
30	2.97	269.21	10.16	877.03
31	2.97	272.51	10.17	880.38
32	2.98	275.63	10.11	884.83
33	2.98	278.83	10.05	889.11
34	2.99	282.12	10.00	893.19
35	2.99	285.26	9.96	897.10
36	3.00	288.24	9.92	900.83
37	3.00	291.31	9.76	906.29
38	3.00	294.25	9.61	911.55
39	3.01	297.05	9.49	916.56
40	3.01	299.94	9.38	921.36
41	3.01	302.70	9.28	925.94
42	3.02	305.55	9.19	930.38
42	3.02	305.55	9.19	930.38
43	3.02	308.30	9.11	934.64
44	3.02	310.93	9.05	938.73
45	3.02	313.65	8.99	942.66
46	3.03	316.45	8.94	946.44
47	3.03	319.16	8.89	950.09
48	3.03	321.77	8.85	953.61
49	3.03	324.29	8.82	957.02
50	3.03	326.88	8.77	960.66

Dato Número	$\beta$ eta MTTF de Incandescentes Confiabilidad	$\eta$ - Eta de Confiabilidad MTTF Incandescentes	$\beta$ eta MTTF de LEDs Confiabilidad	$\eta$ - Eta de Confiabilidad MTTF LEDs
51	3.03	329.39	8.73	964.21
52	3.03	331.98	8.68	967.96
53	3.03	334.65	8.63	971.61
54	3.03	337.24	8.57	975.46
55	3.03	339.91	8.52	979.20
56	3.03	342.50	8.46	983.14
57	3.03	345.17	8.33	988.34
58	3.03	347.76	8.20	993.83
59	3.03	350.43	8.06	999.27
60	3.02	353.17	7.95	1004.54
61	3.02	355.84	7.83	1009.87
62	3.02	358.44	7.72	1015.08
63	3.01	361.10	7.62	1020.14
64	3.01	363.70	7.53	1025.05
65	3.01	366.36	7.45	1029.81
66	3.00	368.95	7.37	1034.61
67	3.00	371.48	7.29	1039.61
68	3.00	374.07	7.21	1044.70
69	2.99	376.60	7.13	1049.64
70	2.99	379.07	7.05	1054.52
71	2.99	381.60	6.98	1059.42
72	2.98	384.19	6.91	1064.34
73	2.98	386.72	6.84	1069.46
74	2.97	389.31	6.77	1074.45
75	2.97	391.97	6.70	1079.32
76	2.96	394.57	6.64	1084.07
77	2.96	397.11	6.59	1088.71
78	2.95	399.71	6.54	1093.24
79	2.95	402.37	6.49	1097.67
80	2.94	404.97	6.45	1102.00
81	2.94	407.52	6.40	1106.43
82	2.93	410.12	6.36	1110.77
83	2.93	412.68	6.32	1115.03
84	2.92	415.18	6.29	1119.19
85	2.92	417.73	6.25	1123.27
86	2.91	420.23	6.21	1127.84
87	2.91	422.68	6.17	1132.31
88	2.90	425.19	6.13	1136.70
89	2.90	427.64	6.09	1141.01
90	2.90	430.05	6.06	1145.42
91	2.89	432.51	6.02	1149.92
92	2.89	435.01	5.98	1154.35
93	2.88	437.48	5.94	1158.72
94	2.88	439.99	5.90	1163.22
95	2.87	442.46	5.87	1167.73
96	2.87	444.98	5.82	1172.85
97	2.86	447.45	5.76	1178.45
98	2.86	449.89	5.68	1184.89
99	2.85	452.28	5.61	1191.22
100	2.85	454.71	5.54	1197.62

Dato Número	$\beta$ MTTF de Incandescentes Confiabilidad	$\eta$ - Eta de Confiabilidad MTTF Incandescentes	$\beta$ MTTF de LEDs Confiabilidad	$\eta$ - Eta de Confiabilidad MTTF LEDs
101	2.85	457.11	5.47	1204.09
102	2.84	459.55	5.41	1210.43
103	2.84	462.03	5.33	1217.36
104	2.83	464.48	5.25	1224.69
105	2.83	466.97	5.18	1231.89
106	2.82	469.42	5.09	1239.81
107	2.82	471.92	5.02	1247.57
108	2.81	474.46	4.95	1255.15
109	2.81	477.04	4.88	1262.57
110	2.80	479.67	4.82	1269.83
110	2.80	479.67	4.82	1269.83
111	2.79	482.26	4.76	1276.93
112	2.79	484.89	4.71	1283.87
113	2.78	487.48	4.66	1290.67
114	2.78	490.12	4.62	1297.33
115	2.77	492.71	4.58	1303.85
116	2.76	495.35	4.54	1310.24
117	2.76	497.95	4.50	1316.51
118	2.75	500.59	4.47	1322.65
119	2.75	503.26	4.44	1328.67
120	2.74	505.97	4.41	1334.58
121	2.73	508.72	4.38	1340.38
122	2.73	511.44	4.36	1346.07
123	2.72	514.12	4.33	1351.65
124	2.71	516.83	4.31	1357.14
125	2.71	519.51	4.29	1362.53
126	2.70	522.29	4.27	1367.82
127	2.69	525.11	4.25	1373.03
128	2.69	527.89	4.23	1378.14
129	2.68	530.71	4.22	1383.17
130	2.67	533.49	4.20	1388.11
131	2.67	536.31	4.19	1392.97
132	2.66	539.15	4.17	1397.75
133	2.65	542.03	4.16	1402.45
134	2.64	544.88	4.15	1407.08
135	2.64	547.81	4.13	1411.64
136	2.63	550.85	4.12	1416.12
137	2.62	553.91	4.11	1420.53
138	2.61	557.00	4.10	1424.88
139	2.60	560.13	4.09	1429.16
140	2.59	563.83	4.08	1433.37
141	2.58	567.52	4.08	1437.52
142	2.56	571.23	4.07	1441.61
143	2.55	574.97	4.06	1445.64
144	2.54	578.73	4.05	1449.61
145	2.53	582.51	4.05	1453.52
146	2.51	586.31	4.04	1457.38
147	2.50	590.14	4.03	1461.18
148	2.49	594.32	4.03	1464.92
149	2.47	598.76	4.02	1468.62
150	2.45	603.27	4.02	1472.26

Dato Número	$\beta$ eta MTTF de Incandescentes Confiabilidad	$\eta$ - Eta de Confiabilidad MTTF Incandescentes	$\beta$ eta MTTF de LEDs Confiabilidad	$\eta$ - Eta de Confiabilidad MTTF LEDs
152	2.42	612.51	3.88	1494.39
153	2.40	617.12	3.81	1505.91
154	2.38	622.07	3.75	1517.44
155	2.36	627.13	3.69	1528.96
156	2.35	632.36	3.63	1540.46
157	2.33	637.80	3.57	1552.09
158	2.31	643.25	3.51	1563.84
159	2.29	648.80	3.46	1575.55
160	2.26	654.85	3.40	1587.94
161	2.24	661.05	3.35	1600.29
162	2.22	667.63	3.30	1612.60
Dato Número	$\beta$ eta MTTF de Incandescentes Confiabilidad	$\eta$ - Eta de Confiabilidad MTTF Incandescentes	$\beta$ eta MTTF de LEDs Confiabilidad	$\eta$ - Eta de Confiabilidad MTTF LEDs

Ilustración 86 - Pronósticos de Beta y Eta de Incandescentes y LEDs

<b>Pronósticos</b>				
Dato Pronóstico No.	$\beta$ eta MTTF de Incandescentes Confiabilidad	$\eta$ - Eta de Confiabilidad MTTF Incandescentes	$\beta$ eta MTTF de LEDs Confiabilidad	$\eta$ - Eta de Confiabilidad MTTF LEDs
163	2.22	673.93	3.25	1625.19
164	2.22	680.18	3.20	1655.49
165	2.23	686.41	3.15	1675.15
166	2.23	692.57	3.09	1694.48
167	2.23	698.85	3.04	1713.53
168	2.23	704.56	3.00	1731.87
169	2.19	712.49	2.94	1754.34
170	2.21	718.59	2.88	1773.89
171	2.22	724.60	2.83	1793.33
172	2.22	730.96	2.78	1813.16
173	2.22	737.31	2.73	1832.90
174	2.22	743.67	2.67	1853.38

Ilustración 87 - Pronósticos e históricos de Betas Incandescentes y LEDs

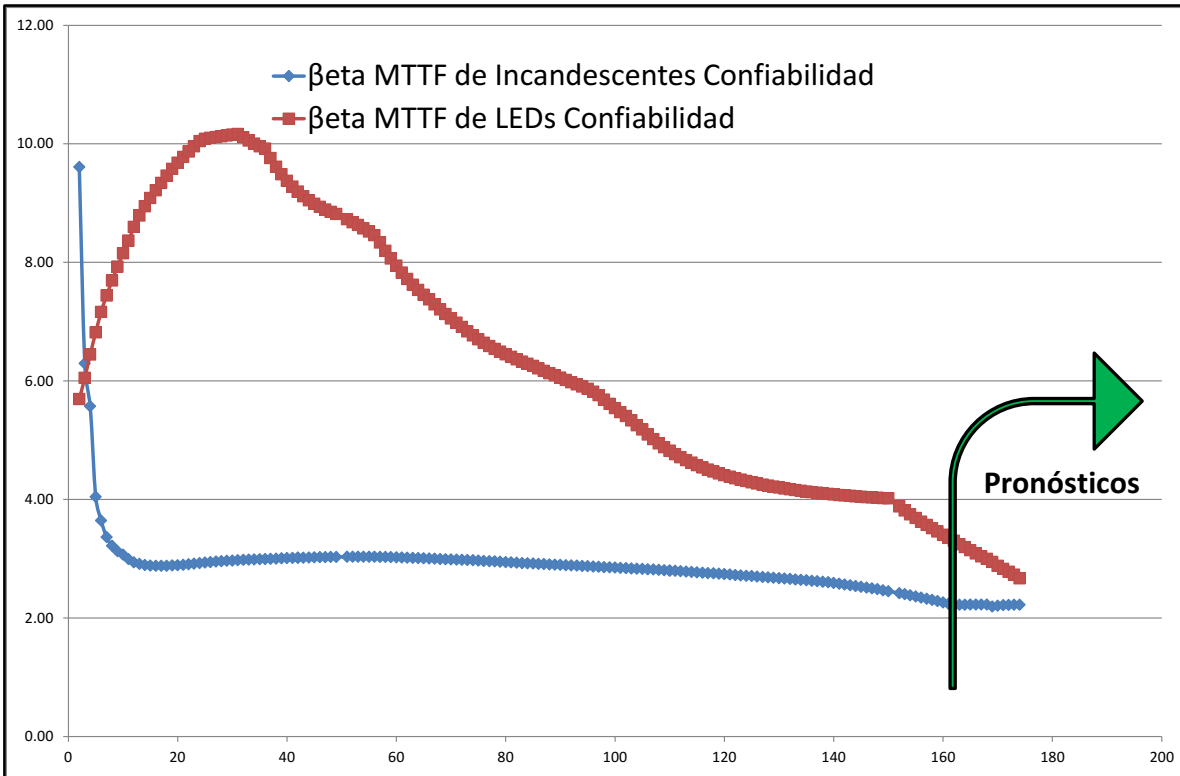


Ilustración 88 - Pronósticos e históricos de Betas Incandescentes y LEDs

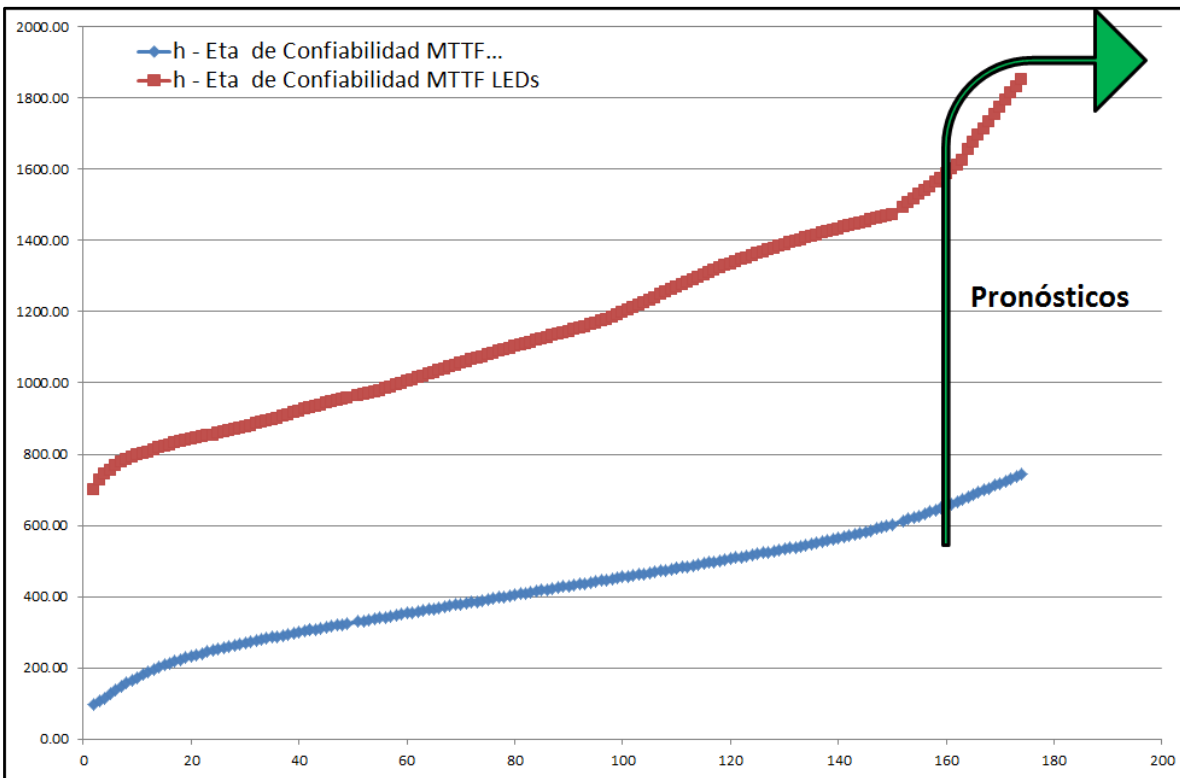


Ilustración 89 - Cálculos de Tiempos Útiles de MTTF en LEDs e Incandescentes

<b>PRONÓSTICOS</b>						
<b>Dato Número</b>	<b>βeta MTTF de Incandescentes Confiabilidad</b>	<b>η - Eta de Confiabilidad MTTF Incandescentes</b>	<b>Tiempo Útil MTTF de Incandescentes Confiabilidad</b>	<b>βeta MTTF de LEDs Confiabilidad</b>	<b>η - Eta de Confiabilidad MTTF LEDs</b>	<b>Tiempo Útil MTTF de LEDs Confiabilidad</b>
163	2.22	673.93	596.88	3.25	1625.19	1456.62
164	2.22	680.18	602.41	3.20	1655.49	1482.67
165	2.23	686.41	607.93	3.15	1675.15	1499.12
166	2.23	692.57	613.39	3.09	1694.48	1515.10
167	2.23	698.85	618.96	3.04	1713.53	1531.08
168	2.23	704.56	624.01	3.00	1731.87	1546.47
169	2.19	712.49	630.99	2.94	1754.34	1565.33
170	2.21	718.59	636.41	2.88	1773.89	1581.33
171	2.22	724.60	641.74	2.83	1793.33	1597.51
172	2.22	730.96	647.38	2.78	1813.16	1614.08
173	2.22	737.31	653.01	2.73	1832.90	1630.63
174	2.22	743.67	658.64	2.67	1853.38	1647.54

Ilustración 90 - Datos Históricos Incandescentes

Dato Número	Función Distribución	Tiempo	$\beta$ eta MTTF de Incandescentes Confiabilidad	$\eta$ - Eta de Confiabilidad MTTF	Alineación	Goodness of Fit	Cumple o no Bondad de Ajuste - Goodness of Fit	MTTF Calculado	Tiempo Confiabilidad Calculado MTTF
110	Weibull	680.80	2.80	479.67	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	427.1216388	427.1216388
111	Weibull	680.80	2.79	482.26	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	429.3947667	429.3947667
112	Weibull	690.00	2.79	484.89	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	431.7013675	431.7013675
113	Weibull	690.00	2.78	487.48	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	433.9776055	433.9776055
114	Weibull	699.20	2.78	490.12	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	436.2861491	436.2861491
115	Weibull	699.20	2.77	492.71	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	438.5645546	438.5645546
116	Weibull	708.40	2.76	495.35	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	440.874405	440.874405
117	Weibull	708.40	2.76	497.95	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	443.1544919	443.1544919
118	Weibull	717.60	2.75	500.59	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	445.4652941	445.4652941
119	Weibull	726.80	2.75	503.26	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	447.8077266	447.8077266
120	Weibull	736.00	2.74	505.97	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	450.1818577	450.1818577
121	Weibull	745.20	2.73	508.72	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	452.5874767	452.5874767
122	Weibull	745.20	2.73	511.44	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	454.9646259	454.9646259
123	Weibull	745.20	2.72	514.12	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	457.3119972	457.3119972
124	Weibull	754.40	2.71	516.83	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	459.6876158	459.6876158
125	Weibull	754.40	2.71	519.51	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	462.0345564	462.0345564
126	Weibull	772.80	2.70	522.29	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	464.4668174	464.4668174
127	Weibull	782.00	2.69	525.11	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	466.9293016	466.9293016
128	Weibull	782.00	2.69	527.89	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	469.3644325	469.3644325
129	Weibull	791.20	2.68	530.71	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	471.826859	471.826859
130	Weibull	791.20	2.67	533.49	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	474.2614467	474.2614467
131	Weibull	800.40	2.67	536.31	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	476.7223043	476.7223043
132	Weibull	809.60	2.66	539.15	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	479.2101492	479.2101492
133	Weibull	818.80	2.65	542.03	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	481.7250084	481.7250084
134	Weibull	818.80	2.64	544.88	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	484.2128049	484.2128049
135	Weibull	837.20	2.64	547.81	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	486.7792403	486.7792403
136	Weibull	855.60	2.63	550.85	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	489.426009	489.426009
137	Weibull	864.80	2.62	553.91	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	492.1002637	492.1002637
138	Weibull	874.00	2.61	557.00	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	494.8005451	494.8005451
139	Weibull	883.20	2.60	560.13	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	497.5260379	497.5260379
140	Weibull	975.20	2.59	563.83	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	500.7433991	500.7433991
141	Weibull	975.20	2.58	567.52	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	503.9430855	503.9430855
142	Weibull	984.40	2.56	571.23	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	507.1679776	507.1679776
143	Weibull	993.60	2.55	574.97	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	510.4156788	510.4156788
144	Weibull	1002.80	2.54	578.73	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	513.6846172	513.6846172
145	Weibull	1012.00	2.53	582.51	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	516.9736602	516.9736602
146	Weibull	1021.20	2.51	586.31	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	520.2819271	520.2819271
147	Weibull	1030.40	2.50	590.14	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	523.6086949	523.6086949
148	Weibull	1094.80	2.49	594.32	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	527.2449387	527.2449387
149	Weibull	1140.80	2.47	598.76	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	531.0969758	531.0969758
150	Weibull	1159.20	2.45	603.27	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	535.0186912	535.0186912
151	Weibull	1177.60	2.44	607.85	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	539.0058628	539.0058628
152	Weibull	1196.00	2.42	612.51	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	543.0561019	543.0561019
153	Weibull	1196.00	2.40	617.12	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	547.0748206	547.0748206
154	Weibull	1260.40	2.38	622.07	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	551.3813249	551.3813249
155	Weibull	1288.00	2.36	627.13	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	555.7954052	555.7954052
156	Weibull	1324.80	2.35	632.36	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	560.3584457	560.3584457
157	Weibull	1370.80	2.33	637.80	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	565.112783	565.112783
158	Weibull	1380.00	2.31	643.25	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	569.8804435	569.8804435
159	Weibull	1407.60	2.29	648.80	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	574.74471	574.74471
160	Weibull	1508.80	2.26	654.85	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	580.0481206	580.0481206
161	Weibull	1545.60	2.24	661.05	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	585.4932708	585.4932708
162	Weibull	1628.40	2.22	667.63	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	591.2829152	591.2829152
Dato Número	Función Distribución	Tiempo	$\beta$ eta MTTF de Incandescentes Confiabilidad	$\eta$ - Eta de Confiabilidad MTTF	Alineación	Goodness of Fit	Cumple o no Bondad de Ajuste - Goodness of Fit	MTTF Calculado	Tiempo Confiabilidad Calculado MTTF

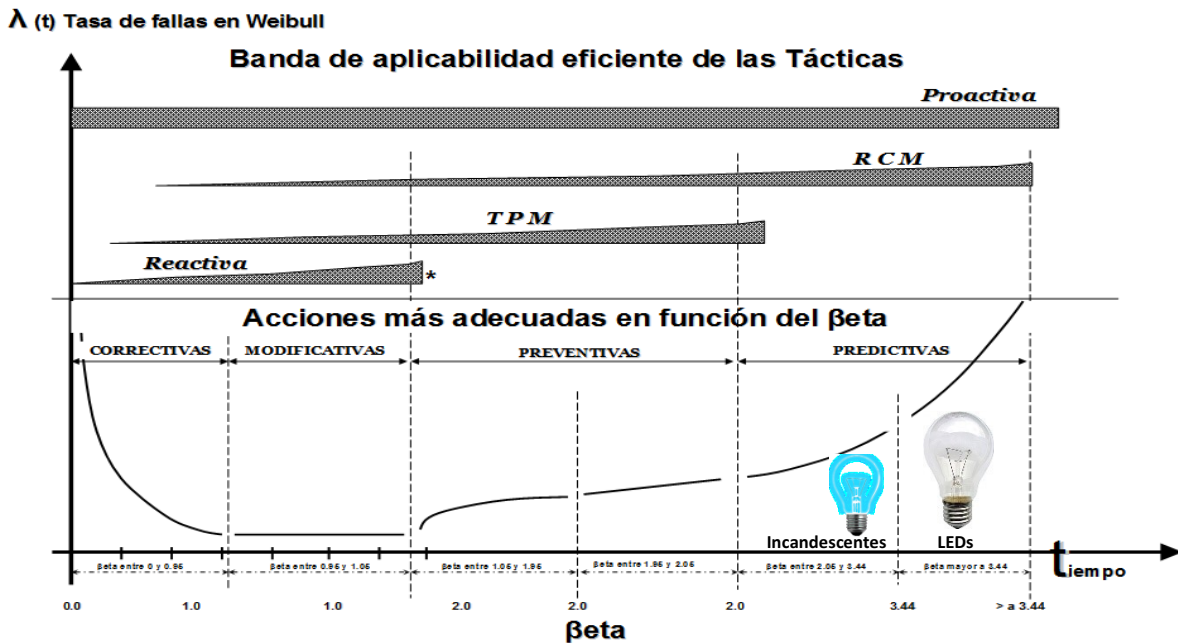
Ilustración 91 - Datos Históricos LEDs

Dato Número	Función Distribución	Tiempo	$\beta$ MTTF de LEDs Confiabilidad	$\eta$ - Eta de Confiabilidad MTTF	Alineación	Goodness of Fit	Cumple o no Bondad de Ajuste - Goodness of Fit	MTTF Calculado	Tiempo Confiabilidad Calculado MTTF
110	Weibull	1801.54	4.82	1269.83	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1163.427181	1163.427181
111	Weibull	1801.54	4.76	1276.93	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1169.138799	1169.138799
112	Weibull	1801.54	4.71	1283.87	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1174.754331	1174.754331
113	Weibull	1801.54	4.66	1290.67	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1180.275862	1180.275862
114	Weibull	1801.54	4.62	1297.33	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1185.705516	1185.705516
115	Weibull	1801.54	4.58	1303.85	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1191.045421	1191.045421
116	Weibull	1801.54	4.54	1310.24	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1196.297687	1196.297687
117	Weibull	1801.54	4.50	1316.51	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1201.46439	1201.46439
118	Weibull	1801.54	4.47	1322.65	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1206.547567	1206.547567
119	Weibull	1801.54	4.44	1328.67	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1211.549207	1211.549207
120	Weibull	1801.54	4.41	1334.58	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1216.47125	1216.47125
121	Weibull	1801.54	4.38	1340.38	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1221.315584	1221.315584
122	Weibull	1801.54	4.36	1346.07	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1226.084047	1226.084047
123	Weibull	1801.54	4.33	1351.65	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1230.778421	1230.778421
124	Weibull	1801.54	4.31	1357.14	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1235.400441	1235.400441
125	Weibull	1801.54	4.29	1362.53	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1239.951786	1239.951786
126	Weibull	1801.54	4.27	1367.82	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1244.434089	1244.434089
127	Weibull	1801.54	4.25	1373.03	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1248.848934	1248.848934
128	Weibull	1801.54	4.23	1378.14	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1253.197855	1253.197855
129	Weibull	1801.54	4.22	1383.17	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1257.482342	1257.482342
130	Weibull	1801.54	4.20	1388.11	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1261.703841	1261.703841
131	Weibull	1801.54	4.19	1392.97	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1265.863754	1265.863754
132	Weibull	1801.54	4.17	1397.75	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1269.963441	1269.963441
133	Weibull	1801.54	4.16	1402.45	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1274.004223	1274.004223
134	Weibull	1801.54	4.15	1407.08	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1277.987381	1277.987381
135	Weibull	1801.54	4.13	1411.64	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1281.914159	1281.914159
136	Weibull	1801.54	4.12	1416.12	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1285.785763	1285.785763
137	Weibull	1801.54	4.11	1420.53	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1289.603368	1289.603368
138	Weibull	1801.54	4.10	1424.88	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1293.368111	1293.368111
139	Weibull	1801.54	4.09	1429.16	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1297.0811	1297.0811
140	Weibull	1801.54	4.08	1433.37	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1300.743409	1300.743409
141	Weibull	1801.54	4.08	1437.52	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1304.356082	1304.356082
142	Weibull	1801.54	4.07	1441.61	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1307.920136	1307.920136
143	Weibull	1801.54	4.06	1445.64	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1311.436558	1311.436558
144	Weibull	1801.54	4.05	1449.61	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1314.906307	1314.906307
145	Weibull	1801.54	4.05	1453.52	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1318.330318	1318.330318
146	Weibull	1801.54	4.04	1457.38	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1321.709498	1321.709498
147	Weibull	1801.54	4.03	1461.18	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1325.044733	1325.044733
148	Weibull	1801.54	4.03	1464.92	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1328.336883	1328.336883
149	Weibull	1801.54	4.02	1468.62	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1331.586784	1331.586784
150	Weibull	1801.54	4.02	1472.26	Benard	Kolmogórov - Smirnov	NO	1334.795252	1334.795252
151	Weibull	2704.80	3.95	1483.09	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1343.341638	1343.341638
152	Weibull	2760.00	3.88	1494.39	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1352.228775	1352.228775
153	Weibull	2796.80	3.81	1505.91	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1361.28848	1361.28848
154	Weibull	2815.20	3.75	1517.44	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1370.388677	1370.388677
155	Weibull	2833.60	3.69	1528.96	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1379.517621	1379.517621
156	Weibull	2852.00	3.63	1540.46	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1388.668487	1388.668487
157	Weibull	2888.80	3.57	1552.09	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1397.943327	1397.943327
158	Weibull	2925.60	3.51	1563.84	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1407.338664	1407.338664
159	Weibull	2944.00	3.46	1575.55	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1416.746405	1416.746405
160	Weibull	3054.40	3.40	1587.94	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1426.681178	1426.681178
161	Weibull	3072.80	3.35	1600.29	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1436.627383	1436.627383
162	Weibull	3091.20	3.30	1612.60	Benard	Kolmogórov - Smirnov	OK	1446.578734	1446.578734
Dato Número	Función Distribución	Tiempo	$\beta$ MTTF de LEDs Confiabilidad	$\eta$ - Eta de Confiabilidad MTTF	Alineación	Goodness of Fit	Cumple o no Bondad de Ajuste - Goodness of Fit	MTTF Calculado	Tiempo Confiabilidad Calculado MTTF

El análisis de los resultados pronosticados, ratifica valores de MTTF cercanos a los históricos, es decir en el caso de Incandescentes los pronósticos señalan valores cercanos al rango entre 596 y 658 horas medias de vida útil, frente a los valores históricos de 595 en historia.. or otro lado los LEDs pronosticados avanzan desde 1456 hasta 1647, con valores históricos cercanos a los 1446 horas.

En todo caso el valor del  $\beta$  se encuentra en sitios donde se asevera que la tercera fase de envejecimiento es donde se encuentra los valores de LEDs y de Incandescentes, lo que asevera nuevamente que a pesar de ser pronosticado0os los valores de Beta se concentran en la Fase III de Envejecimiento y Fatiga.

Ilustración 92 - Beta Curva de Davies



# PRONÓSTICOS

Dato Número	$\beta$ eta MTTF de Incandescentes Confiabilidad	$\eta$ - Eta de Confiabilidad MTTF Incandescentes	Tiempo Útil MTTF de Incandescentes Confiabilidad	$\beta$ eta MTTF de LEDs Confiabilidad	$\eta$ - Eta de Confiabilidad MTTF LEDs	Tiempo Útil MTTF de LEDs Confiabilidad
163	2.22	673.93	596.88	3.25	1625.19	1456.62
164	2.22	680.18	602.41	3.20	1655.49	1482.67
165	2.23	686.41	607.93	3.15	1675.15	1499.12
166	2.23	692.57	613.39	3.09	1694.48	1515.10
167	2.23	698.85	618.96	3.04	1713.53	1531.08
168	2.23	704.56	624.01	3.00	1731.87	1546.47
169	2.19	712.49	630.99	2.94	1754.34	1565.33
170	2.21	718.59	636.41	2.88	1773.89	1581.33
171	2.22	724.60	641.74	2.83	1793.33	1597.51
172	2.22	730.96	647.38	2.78	1813.16	1614.08
173	2.22	737.31	653.01	2.73	1832.90	1630.63
174	2.22	743.67	658.64	2.67	1853.38	1647.54

#### **4.4.2 Conclusiones del capítulo cuatro**

La principal condición de este capítulo cuarto es la ratificación de la demostración de la Hipótesis por diferentes distribuciones, entre ellas Weibull, LogNormal y Normal, para demostrar que la vida útil de las Bombillas Incandescentes y LEDs se encuentran en la Fase III de la curva de la bañera o de Davies, en la Zona de fatiga y de Envejecimiento, es decir las Bobillas fallan por viejas.

Si bien la tendencia a la baja de los alore de Beta es una realidad también es cierto que estos valores permanecerán mucho rato por encima del dos en su valor  $\beta$ eta.

## 5 CONCLUSIONES

### 5.1 OBJETIVO

Concluir los principales resultados obtenidos después de las mediciones, cálculos y análisis realizados.

### 5.2 RESULTADOS

La principal conclusión del proyecto es que se logra demostrar con suficiencia de varias formas y con muchos cálculos el comportamiento de la curva de fallas de bombillas o de su tasa de MTTF, es decir la vida útil del elemento bombillo sea LED o Incandescente, que pertenece a la tercera sección de la curva de la Bañera, donde se asevera que su conducta a la falla o terminación de su vida útil es por fatiga o envejecimiento.

Ilustración 93 - Bombillas Incandescentes con Beta cercano a 2.22

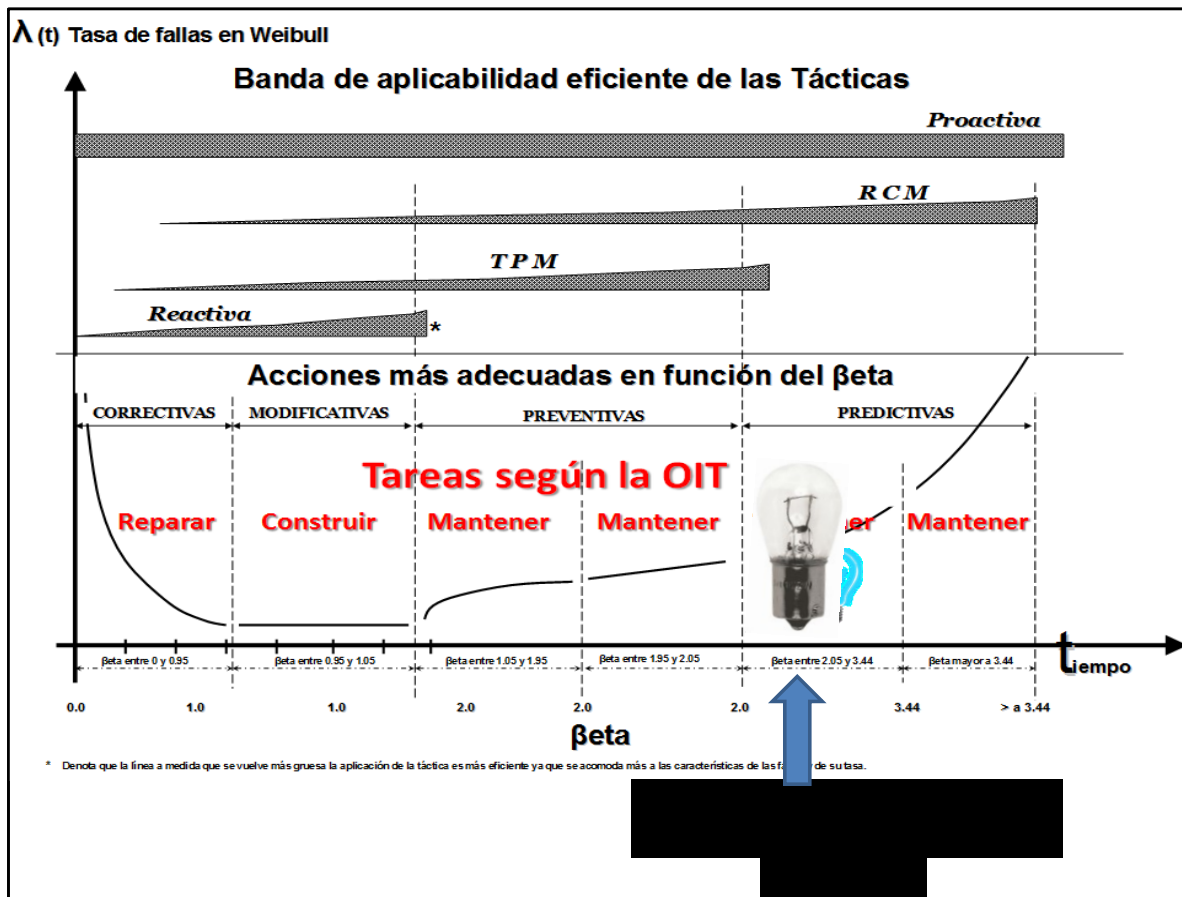
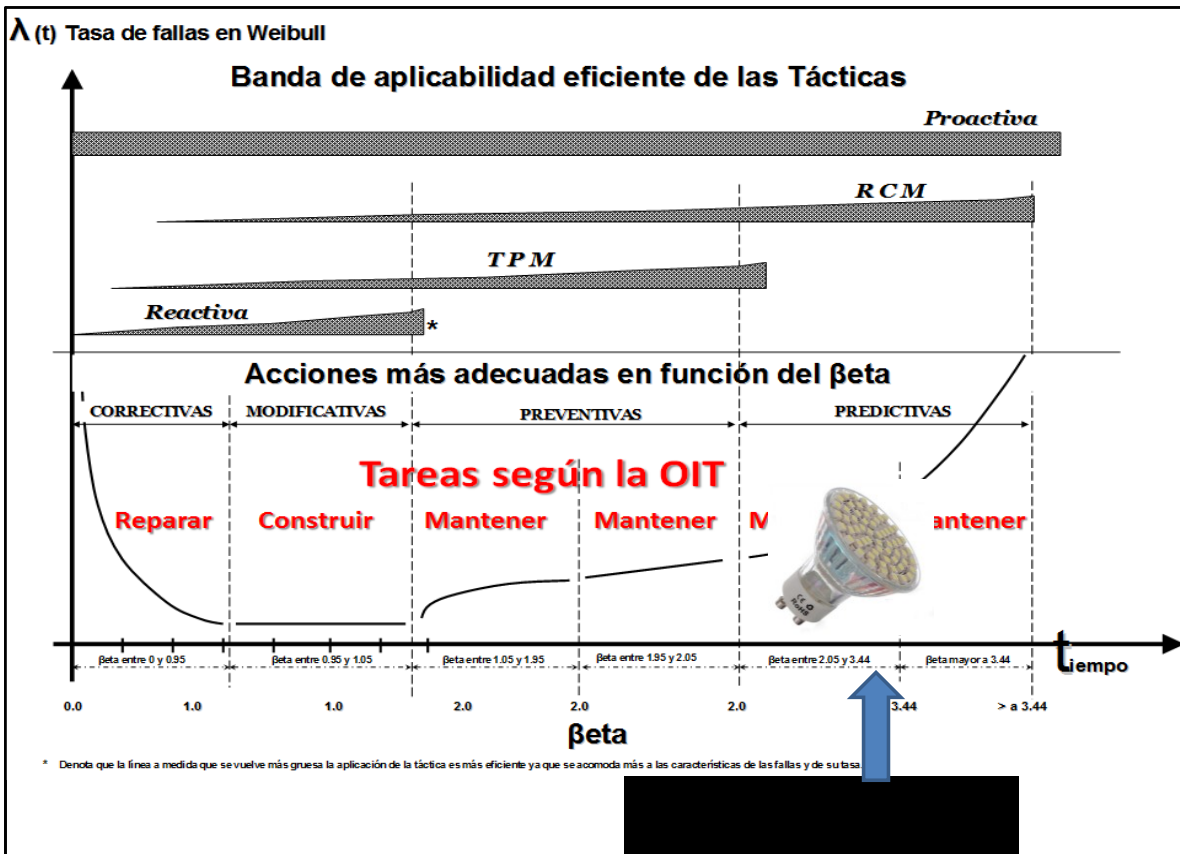


Ilustración 94 - Bombillas LEDs con Beta cercano a 2.22



### 5.2.1.1 Tasa de densidad de probabilidad de fallas

Ilustración 95 - Función de densidad Incandescentes fallas bajo distribución normal con Normal

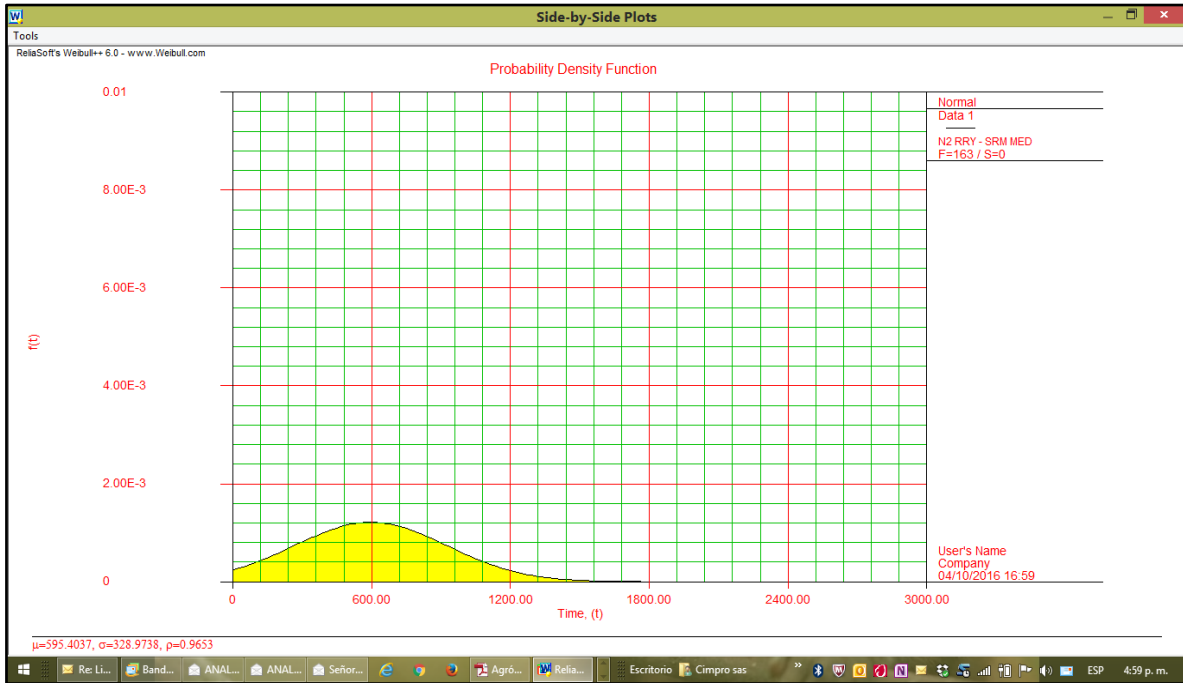


Ilustración 96 - Función de densidad Incandescentes fallas bajo distribución Weibull y Normal

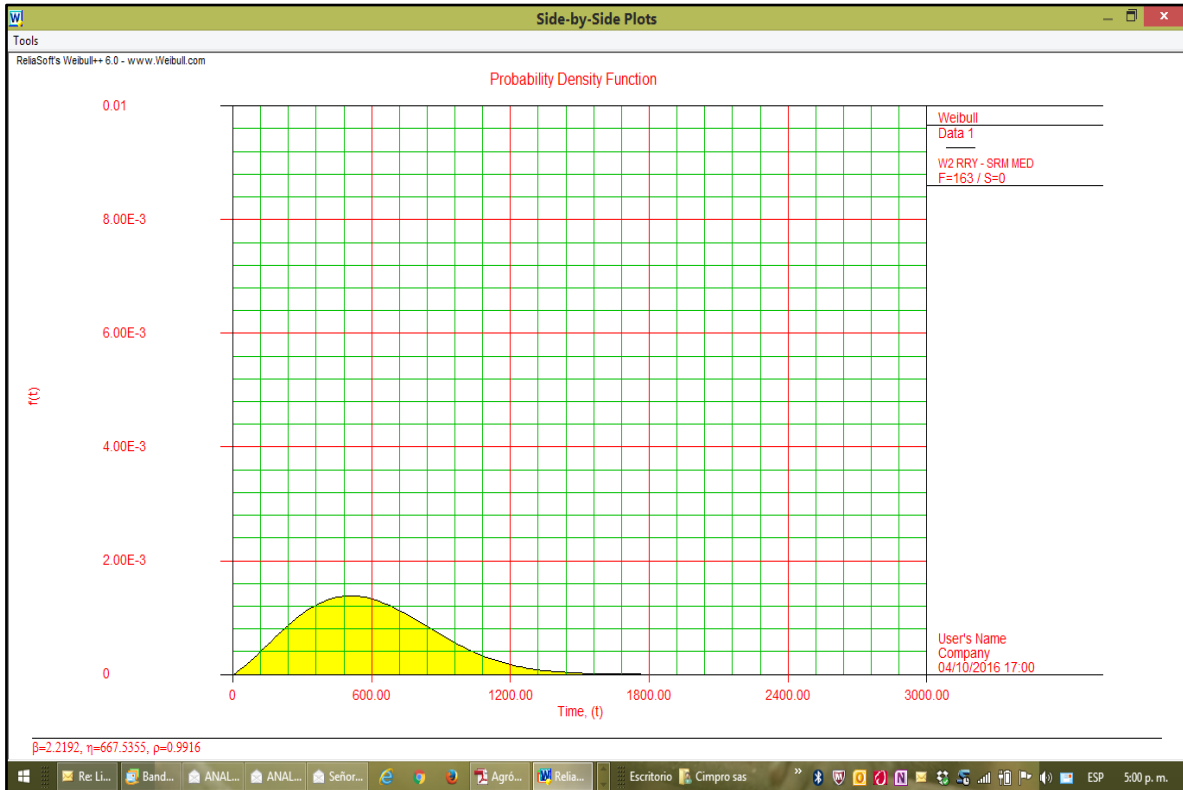


Ilustración 97 - Función de densidad LEDs fallas bajo distribución normal con Normal

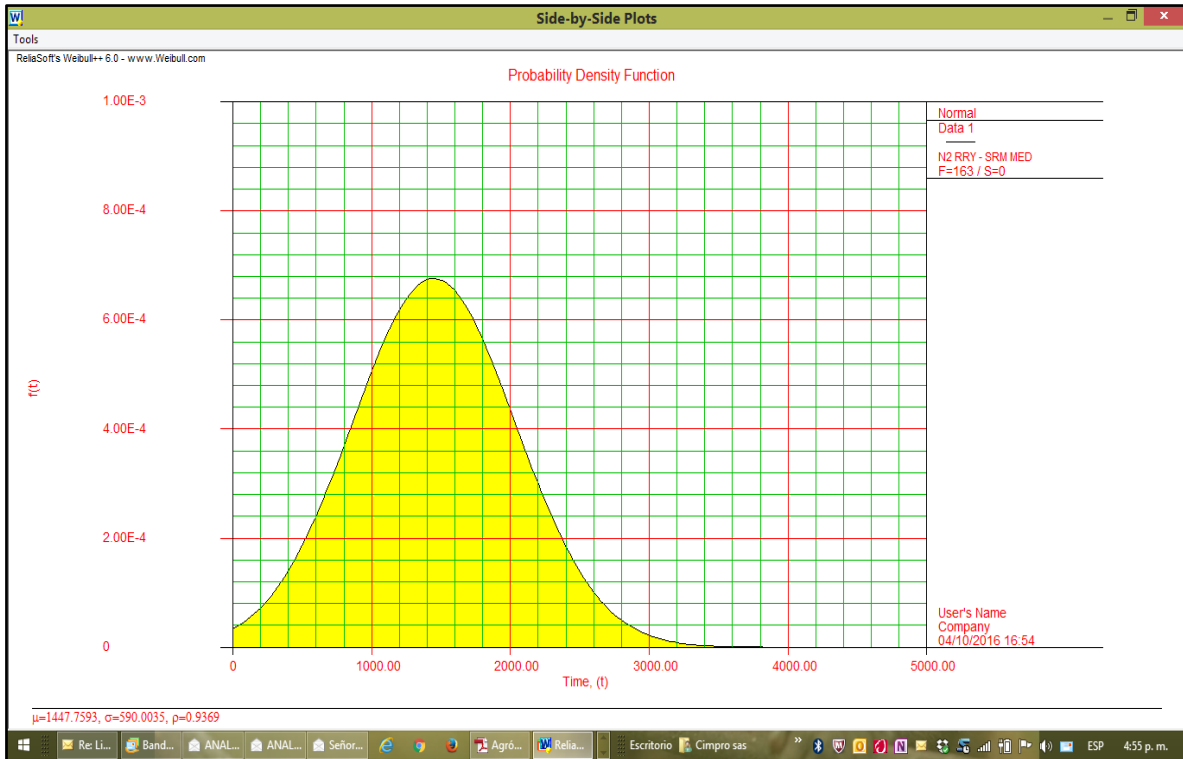
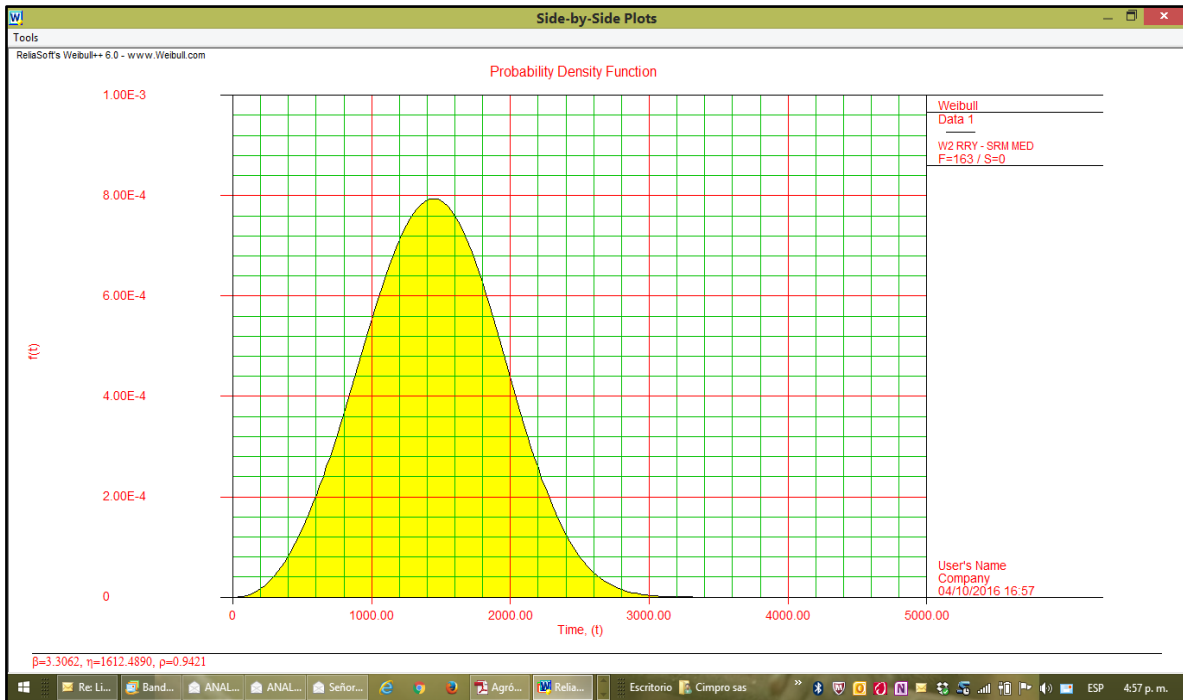


Ilustración 98 - Función de densidad LEDs de tasa de fallas bajo distribución Weibull y Normal



(Weibull, 2016)

### **5.2.2 Conclusiones del capítulo quinto**

En conclusión se demuestra que la hipótesis de que las Bombillas Incandescentes y LEDs siguen una distribución Normal al final de su vida útil, en la tercera zona de la Curva de la Bañera o de Davies, donde la distribución de fallas se comporta bajo una distribución normal.

En los cuatro casos de la Tasa de Densidad de fallas, se asemeja y trabaja con un comportamiento de distribución normal, lo que acaba de aseverar en toda su dimensión que se está ante un comportamiento de fatiga o de envejecimiento en la Curva de Davies o de la Bañera.

## BIBLIOGRAFIA

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

**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.

**Bajaría, 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.

**Ballou, Ronald H. 2003.** *Business Logistics - Ssupply Chain Management*. Quinta. s.l. : Prentice Hall, 2003. Fecha agosto 21 de 2003. ISBN 978-0130661845.

**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.

**Bazovsky, Igor. 2004.** *Reliability Theory and Practice*. s.l. : Edit. Dover Publications Incorporated, 2004. pág. 304 . ISBN: 0486438678..

**Benítez, Luis Eduardo - Hernández. 2008.** Lectura de revisión de este libro Mantenimiento Industrial Efectivo. Bogotá, Cundinamarca, Colombia : Universidad nacional de Colombia, 23 de Diciembre de 2008. El Dr. Luis Eduardo Benítez H., es en la actualidad el decano de la Facultad de Ingeniería Mecánica. Email lbenitez@unal.edu.co.

—. **2007.** Opiniones y conceptos especiales sobre mantenimiento avanzado. [entrev.] Autor Luis Alberto Mora Gutiérrez. *IPEMAN - Perú - Director del programa de Ingeniería Mecánica de la Universidad nacional de Colombia, en Bogotá*. Entrevista en Congreso de Mantenimiento en Lima Perú - IPEMAN, Lima : Personal - IPEMAN, 20 de Julio de 2007. Email lbenitez@unal.edu.co.

**Bertalanffy1, Ludwing von. 1994.** *Teoría General de los Sistemas - Fondo de Cultura Económica Ltda*. Bogotá : Fondo de Cultura Económica, 1994. pág. 311. ISBN: 950-557-096-1.

**Blanchard, Benjamín S, Verma, Dinesh y Peterson, Elmer. 1994.** *Series Nuevas dimensiones en Ingeniería - Maintainability: a key to effective serviceability and maintenance management*. s.l. : Edit. Wiley Interscience - Wiley, John & Sons, Incorporated, 1994. pág. 560. ISBN: 0486438678.

**Blanchard, Benjamín S. 1995.** *Ingeniería Logística – Traducido de Logistics Engineering and Maintenance – ISDEFE*. Madrid : ISDEFE© - Monografías.com, 1995. pág. 153. ISBN: 84-89338-06X.

**Bloom, Benjamin. 1971.** *Taxonomía de los objetivos de la educación*. [trad.] Marcelo Perez Rivas. 1971.

*Coefficient alpha and the internal structure of tests*. **Cronbach, Lee J. 1951.** USA : s.n., 1951, Psychometrika . 0033-3123.

**Commons Wikipedia.** Wikipedia. [En línea] [Citado el: 1 de 10 de 2015.] [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Weibull\\_PDF.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Weibull_PDF.svg).

**Company, Ramón - Pascual. 1990.** *Previsión tecnológica de la demanda.* Barcelona : Colección PRODUCTICA - Boixerau Marcombo S.A. Editores, 1990. pág. 150.

**De Bono, Edward. 2003.** *Seis sombreros para pensar.* Buenos Aires : Ediciones Granica S.A., 2003. pág. 173. ISBN: 950-641-061-5.

**2015.** deconceptos. [En línea] 30 de 07 de 2015. [Citado el: 30 de 07 de 2015.] <http://deconceptos.com/tecnologia/herramienta>.

**Díaz, Matalobos - Ángel. 1992.** *Confiabilidad en mantenimiento.* Caracas : Ediciones IESA, C.A., 1992. pág. 110. ISBN: 980-271-068-2.

**Dounce, Enrique - Villanueva. 1998.** *La Productividad en el Mantenimiento Industrial.* Segunda. Cd. de México : Compañía Editorial Continental, SA de CV., 1998. pág. 350. ISBN 968-26-1089-3.

**Ebeling, Charles E. 2005.** *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering.* [ed.] Inc. Waveland Press. New York City : McGraw-Hill Science - Engineering - Math, 2005. pág. 576. ISBN: 1577663861.

**ESReDa-Industrial. 1998.** *Industrial Application of Strutral 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.

*Estadística aplicada a los Sistemas & Confiabilidad en los Sistemas.* **Forcadas, Jorge - Feliu. 1983.** 4, Medellín : Revista SAI - Revista SAI Sociedad Antioqueña de Ingenieros y Arquitectos – En: Revista SAI. No.4 Vol.1 – Medellín – Colombia - 1983, 1983, Vol. 1, pág. 41.

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

**Gagne@, Robert y Bloom, Benjamin. 2008.** Taxonimia de los Objetivos educaciones y formativos de los seres humanos. *Modelos de procesamiento de la infomacion de los humanos.* [En línea] 21 de Septiembre de 2008. [Citado el: 21 de Septiembre de 2008.] <http://www.scribd.com/doc/408060/Robert-Gagne>.

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

**Halpern, Siegmund. 1978.** *The Assurance Sciences: An Introduction to Quality Control and Reliability.* New Jersey City : Editorial Prentice Hall, Inc Professional Technical, 1978. ISBN: 0130496014.

**Hecht, Myron y Jady, Handal. 2001.** *An Analytical Model for Predicting The Impact of Maintenance Resource Allocation on National Airspace System Availability.* Beverly Hills : s.n., 2001. págs. 46 - 52.

**<http://www.mailxmail.com>. 2016.** Mailxmail. [En línea] 2016. [Citado el: 13 de Enero de 2016.] <http://www.mailxmail.com/curso-turbinas-vapor-sellos-carbon/sello-seco-turbina-vapor>.

**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.

*Inventarios Cero - MTS MTO MTF.* **Mora, Alberto - Gutiérrez. 2013.** Lima - Perú : IPEMAN, 2013. Congreso XII Internacional Ingeniería de Mantenimiento IPEMAN. Lima - Perú - Octubre 17 al 19 -.

**iRCM Software, iRCM. 2016.** Software iRCM de RCM. 30 de 07 de 2016.

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

**Kelly, Anthony y Harris, M. J. 1998.** *Gestión del Mantenimientolindustrial.* [ed.] S.A. Gráficas Mar-Car. Madrid : Fundación REPSOL Publicaciones e Impreso en Gráficas del Mar – Traducido por Gerardo Álvarez Cuervo y equipo de trabajo, 1998. pág. 218. ISBN: 84-923506-0-1 – T.

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

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

**Leemis, Lawrence M. 1995.** *Reliability: Probabilistic Models and Statistical Methods.* New Jersey City : Editorial Prentice Hall International Series in Industrial and Systems Engineering, 1995. ISBN: 0-13-720517-1.

**Lewis, Elmer E. 1995.** *Introduction to Reliability Engineering.* Segunda. s.l. : Editorial John Wiley & Sons, Inc, 1995. pág. 435. ISBN: 0471018333.

*Maintenance management – an AHP application for centralization/decentralization.* **HajShirmohammad, Ali y Wedley, William C. 2004.** ISSN 1355-2511, Bradford - England : Emerald Group Publishing Limited, 2004, Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 10, pág. 16 a 25.

**Modarres, Mohammed. 1993.** *What Every Engineer Should Know About Reliability and Risk Analysis.* New York City : Editorial Marcel Dekker, 1993. pág. 351. ISBN: 082478958X.

**Monografias.com. 2016.** [www.monografias.com](http://www.monografias.com). [En línea] 2016. [Citado el: 08 de 03 de 2016.] <http://www.monografias.com/trabajos82/generadores-sincronos/generadores-sincronos2.shtml>.

**Mora Gutierrez, Luis Alberto. 2007.** *Mantenimiento Estratégico Empresarial: Enfoque sistémico kantiano.* 2007.

**Mora, Alberto - Gutiérrez. 2016.** *Inventarios Cero.* Bogotá : Alfa Omega Editores Internacionales, 2016. ISBN 978-958-778-069-7.

—. **2007b.** *Mantenimiento Estratégico Empresarial.* Primera. Medellín : Fondo Editorial FONEFIT, 2007b. pág. 345. ISBN 978-958-8281-46-9.

—. **2009.** *Mantenimiento Estratégico Para Empresas Industriales o de Servicios.* Envigado : AMG, 2009. pág. 305.

—. **2009.** *Mantenimiento Industrial Efectivo.* s.l. : Editorial COLDI Limitada, 2009.

—. **2012.** *Pronósticos de Demanda e Inventarios - Métodos Futurísticos.* [ed.] Alberto Mora Gutiérrez. Tercera. Medellín : AMG, 2012. pág. 306. Vol. Uno. ISBN 978-958-44-0233-2.

—. **2012.** *Pronósticos de Demanda e Inventarios - Métodos Futurísticos.* [ed.] Alberto Mora Gutiérrez. Tercera. Medellín : AMG, 2012. pág. 306. Vol. Uno. ISBN 978-958-44-0233-2.

—. **2015.** *Stock Cero.* Primera. Medellín : CFIMPRO SAS, 2015. pág. 250. ISBN 978-958-583-61-0-5.

—. **2014.** *Stock Cero.* [ed.] CIMPRO SAS. Primera. Medellín : CIMPRO SAS, 2014. pág. 255. ISBN 978-958-583-61-0-5.

**Mora, Luis Alberto - Gutierrez. 2012.** *Mantenimiento Industrial Efectivo.* Envigado : Coldi Ltda, 2012. 978-958-98902-0-2.

**Nachlas, Joel. 1995.** *Fiabilidad.* Madrid : ISDEFE, 1995. ISBN: 84-89338-07-8.

**Nakajima, Seiichi, y otros. 1991.** *Introducción al TPM Programa Para El Desarrollo.* [trad.] Traducido por Antonio Cuesta Alvarez. Madrid : Editorial Fundación REPSOL Publicaciones e Impreso en Gráficas del Mar, 1991. ISBN: 84-87022-81-2.

**Navarro Elola, Luis, Pastor Tejedor, Ana Clara y Mugaburu Lacabrera, Jaime. 1997.** *Gestión integral de mantenimiento.* 1997.

**Navarro, Luis - Elola, Pastor, Ana Clara - Tejedor y Mugaburu, Jaime Miguel - Lacabrera. 1997.** *Gestión integral de mantenimiento.* [ed.] Marcombo Boixareu Editores. Barcelona : Marcombo Boixareu Editores, 1997. pág. 112. ISBN 84-267-1121-9.

**Newbrough, E.T. y Ramond, Ramond - Personal de. 1982.** *Administración del Mantenimiento Industrial.* Sexta. Mexico Df : Diana, 1982. pág. 414. Título en inglés Effective Maintenance Management. ISBN 968-13-0666-x.

**NS@. 2005.** Nist/Sematech - E-Handbook os Statistical Methods. [En línea] September de 2005. [Citado el: 29 de Abril de 2003.] [Http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/](http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/).

**O'Connor, Patrick D.T. 2002.** *Practical Reliability Engineering.* Cuarta. Stevenage : Wiley - Jhon Wiley & Son, 2002. pág. 540. ISBN: 0-470-84463-9.

**Offshore (and Onshore) equipment REliability DATabase. 2002.** *4th Handbook issued.* 2002.

**Prieto, Laura Patricia Pinto. 2015.** <http://slideplayer.es/>. [En línea] 30 de 08 de 2015. [Citado el: 25 de 08 de 2015.] <http://slideplayer.es/slide/141086/>.

*Pronósticos de demanda e Inventarios - Métodos Futurísticos.* **Mora, Alberto - Gutiérrez. 2007c.** [ed.] Ultragráficas Ediciones. Medellín : AMG, Diciembre de 2007c. ISBN: 978-958-44-0233-2 .

**Ramakumar, Ramachandra. 1996.** *Engineering Reliability. Fundamentals and Applications.* New Jersey City : Editorial Prentice-Hall Professional Technical, 1996. pág. 482. ISBN: 0132767597.

*RCM and TPM complementary rather than conflicting techniques.* **Geraghty, Tony.** 1996. USA : s.n., Junio de 1996, Journal, Vol. 63. ISSN 0141-8602.

**Rey, Sacristán Francisco.** 1996. *Hacia la excelencia en Mantenimiento.* [ed.] S.L. Tgp Hoshin. Madrid : Tgp Hoshin, S.L., 1996. pág. 411. ISBN 84-87022-21-9.

—. 2003. *TPM - Mantenimiento Total de la Producción.* [ed.] Fundación Confemetal. Madrid : Fundación Confemetal, 2003. pág. 311. 9788495428493.

**Routio, Pentti.** 1998. *Arteologia . Analisis cuantitativo .* [En línea] 15 de diciembre de 1998. [Citado el: 30 de septiembre de 2016.] file:///E:/Arteolog%C3%ADa/280.htm.

**Ruiz, Bolivar, Carlos.** 2010. *fiabilidad y validez.* España : s.n., 2010. 0214-7823.

**Santesmases, Miguel - Mestre.** 2003. *DYANE 2 Diseño y análisis de encuestas en investigación social y de mercados.* Madrid – España : Ediciones Pirámide – Grupo Editorial Anaya, 2003. pág. 29. ISBN: 84-368-1557-2.

—. 2009. *DYANE V- Diseño y análisis de encuestas en investigación social y de mercados.* [ed.] Level S.A. Universidad Autónoma de Manizales. Madrid : Ediciones Pirámide, 2009. pág. 554. El programa trae CD con programa, libro original comprado, por Autor Alberto Mora G.. ISBN 978-84-368-2296-0.

**Sotskov, B.** 1972. *Fundamentos de la Teoría del Cálculo de la Fiabilidad de Elementos y Dispositivos de Automatización y Técnica del Cálculo.* Moscú : Editorial MIR, 1972. pág. 264.

**SQL.** 1998. *RS300.* s.l. : 4, 1998.

**Statgraphics.** 2016. *Statgraphics.* Medellín, Antioquia, Colombia : s.n., 2016.

**Torres, Mariela y Paz, Karim.** [http://www.tec.url.edu.gt/boletin/URL\\_02\\_BAS02.pdf](http://www.tec.url.edu.gt/boletin/URL_02_BAS02.pdf). [En línea] [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).

*Trends and Perspectives in industrial Maintenance Management.* **Thorsteinsson, Uffe, Luxhoj, James T. y Riis, Jens O.** 1997. 6, Dearborn - Michigan - USA : Universidad de Michigan, 1997, Journal of Manufacturing Systems, Vol. 16. [http://www.elsevier.com/wps/find/journaleditorialboard.cws\\_home/405902/editorialboard#editorialboard](http://www.elsevier.com/wps/find/journaleditorialboard.cws_home/405902/editorialboard#editorialboard). ISSN 0278-6125 .

**Unidad de Planeación Minero Energética.** 2011. *INFORME SECTORIAL SOBRE LA EVOLUCIÓN DE LA.* 2011.

**Universidad Caese.** 2016. Wikispaces classroom. [En línea] 23 de 09 de 2016. [Citado el: 11 de 09 de 2015.] <http://so2-caece.wikispaces.com/M%C3%B3dulo+8.+Tolerancia+a+Fallos+y+Seguridad..>

**Vallejo, Jaramillo Juan Santiago y Mora Gutiérrez, Luis Alberto (Director).** 2004. *Desarrollo, validación, contraste y pronóstico del cálculo CMD - Trabajo de fin de carrera de Ingeniería Mecánica.* Medellín : Universidad EAFIT, 2004.

**VANGUARDIA LIBERAL.** 2015. Utilidades de refinería de Barranca fueron de \$ 819.000 millones. 19 de 8 de 2015.

**Watt@, James. 2008.** James Watt - Wikipedia. *Wikipedia Commons*. [En línea] Citado por Bautista, 2008. [Citado el: 1 de Octubre de 2008.] [http://es.wikipedia.org/wiki/James\\_Watt](http://es.wikipedia.org/wiki/James_Watt).

**Weibull. 2016.** Software Weibull. 2016.

**Weiss, W. H. 1998 .** *Make computerized maintenance management systems pay off – Journal Review Hydrocarbon processing*. USA : s.n., 1998 .

**White, E. N. 1975.** *Terotechnology - Physical Asset Management*. [ed.] Manchester. Inglaterra : s.n., 1975. Libro en Biblioteca de la Universidad EAFIT.

**Whorf, B. L. 1952.** *Collected Papers on Metalinguistic – Foreign Service Institute – Department of State*. Washington – USA : Referenciado por Bertalanffy,1994, 1952.

—. **1953.** *Language, Thought and reality: selected writings of B.L. Whorf – John Carroll, Ed. John Wiley & Sons*. Nueva York – USA : Referenciado por Bertalanffy,1994, 1953.

**Williamson, Robert M. 2008.** Focus On Results and Change the Culture Along the Way. *Maintenance World*. [En línea] Libre, 2008. [Citado el: 20 de Octubre de 2008.] President of Strategic Work Systems - Email robertmw2@cs.com. <http://www.maintenanceworld.com/Articles/williamsonr/focuson.html>.

**Wilson, Paul F, Dell, Larry D y Anderson, Gaylor F. 1993.** *Root Cause Analysis: A Tool for Total Quality Management - American Society for Quality - AAQ*. Milwaukee : s.n., 1993. pág. 216. ISBN: 0-87389-163-5, ISBN-13: 978-0873891639 .

**Wireman, T. 1994.** *Computerized Maintenance Management System*. s.l.: Editorial Industrial Press, 1994. ISBN: 0831130547.

**Wireman, Terry. 2004.** *Total Preventive Maintenance*. Nueva York : s.n., 2004. ISBN: 0831131721.

—. **2001.** *Word class maintenance management*. País Estados Unidos de América : Industrial Press, Inc., 2001. ISBN 0-8311-3025-3.

**Woodcroft, Bennet. 1851.** *The Pneumatics of Hero of Alexandria*. . Londres : Taylor Walton and Maberly, 1851. Citado por Bautista.

**Wrennall, William y Quaterman, Lee. 1994.** - *Handbook of commercial and industrial facilities management*. New York : Editorial Mac Graw-Hill, 1994. ISBN: 0070719357.

**Wright@. 2008.** Ciencia y Cultura. *El primer vuelo de los hermanos Wright*. [En línea] Libre, 2008. [Citado el: 16 de Octubre de 2008.] <http://cultura.terra.es/cac/articulo/html/cac2537.htm>.

**Yamashina, Hajime. 1995.** *Japanese manufacturing strategy and the role of total productive maintenance TPM - Journal of Quality in Maintenance Engineering*. West Yorkshire : s.n., 1995. Vol. Volumen 1. ISSN: 1355-2511.