

Instituto Tecnológico de Morelia

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
PROGRAMA DE GRADUADOS E INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA ELÉCTRICA

SOLUCIÓN ANALÍTICA DE LA ECUACIÓN DE KIJIMA DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO IMPERFECTO APLICADO A SISTEMAS ELÉCTRICOS

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

Maestro en Ciencias en Ingeniería Eléctrica

PRESENTA:

José Said Reyes Bautista

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Serguei Maximov

2018



Resumen

En los últimos años con el aumento en la demanda del servicio de energía eléctrica y ante una creciente competencia en el mercado eléctrico, han surgido nuevas presiones sobre las compañías eléctricas para que cumplan con las nuevas exigencias. Esto ha provocado que la eficiencia en el servicio se haya convertido en algo prioritario y la confiabilidad del sistema se haya ligado directamente con la rentabilidad. Debido a esto, el mantenimiento adecuado aplicado a equipos eléctricos ha tomado cada vez mayor importancia. Las acciones de mantenimiento afectan claramente la confiabilidad del sistema, un mantenimiento excesivo producirá un sistema altamente confiable a un costo muy alto mientras que el caso contrario ocurrirá si se aplica un nulo mantenimiento. Por esta razón es necesario implementar estrategias de mantenimiento que usen de manera eficiente los recursos del sistema. Esta investigación se centra en la optimización de las políticas de mantenimiento correctivo y reemplazo. Por lo tanto, se requiere del desarrollo de modelos de confiabilidad que representen fielmente el envejecimiento y las fallas del sistema.

El modelo de mantenimiento de Kijima, basado en la edad virtual de los componentes de sistemas reparables, es uno de los modelos más importantes en la teoría de la confiabilidad. Sin embargo, debido a la complejidad de la ecuación integral impropia resultante, aún no ha sido posible obtener una expresión adecuada para calcular la tasa

de riesgo para una amplia clase de distribuciones. Previamente, una solución asintótica de la ecuación de Kijima se ha obtenido solo para un número reducido de funciones de distribución, que no son apropiadas para describir el envejecimiento del sistema. En esta tesis de investigación, la ecuación de Kijima se resuelve de manera asintótica para las distribuciones de tipo Weibull para un valor arbitrario del grado de reparación $0 < a < 1$, obteniendo buenos resultados al comparar esta solución aproximada con la solución de la ecuación original del modelo de Kijima para la distribución de Weibull. En base en esta solución, el período óptimo de reemplazo del equipo y el respectivo costo de reparación óptimo se estiman minimizando la tasa de costo. Se presentan varios ejemplos numéricos para mostrar la eficacia de la solución asintótica obtenida.

Índice general

Resumen	II
Abstract	IV
Índice general	VI
Índice de figuras	X
Índice de tablas	XII
Nomenclatura	XIII
1. Introducción	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Estado del arte	2
1.3. Objetivo general	10
1.4. Objetivos particulares	10
1.5. Justificación	10
1.6. Estructura de la tesis	11
2. Conceptos básicos	13
2.1. Introducción	13

2.2.	Teoría de confiabilidad	14
2.2.1.	Función de distribución acumulativa	14
2.2.2.	Función de densidad	15
2.2.3.	Función de supervivencia	15
2.2.4.	Función de riesgo	15
2.3.	Momentos estadísticos	17
2.3.1.	Esperanza matemática	17
2.3.2.	Varianza	18
2.3.3.	Desviación estándar	18
2.4.	Función de distribución de Weibull	18
2.5.	Conclusiones	21
3.	Estimación de parámetros estadísticos	22
3.1.	Introducción	22
3.2.	Estimación de Máxima Probabilidad	23
3.3.	Método perturbativo para estimación de máxima probabilidad de los parámetros de distribución de Weibull	24
3.3.1.	Método perturbativo para la estimación del parámetro de forma	29
3.4.	Conclusiones	34
4.	Modelo de mantenimiento correctivo	35
4.1.	Introducción	35
4.2.	Modelo de mantenimiento correctivo de Kijima	36
4.3.	Estimación de la probabilidad de falla del equipo con grado de reparación constante	39
4.4.	Tasa de riesgo y estimación de número de fallas	42
4.5.	Modelo de tasa de falla para mantenimiento correctivo	47

4.6. Solución asintótica	49
4.7. Estimación del término residual de la solución en la ecuación de Kijima	52
4.8. Una solución asintótica mejorada	60
4.9. Optimización de mantenimiento correctivo	61
4.10. Conclusiones	63
5. Casos de estudio	65
5.1. Introducción	65
5.2. Solución asintótica de la ecuación de Kijima	70
5.2.1. Caso 1	71
5.2.2. Caso 2	72
5.2.3. Caso 3	73
5.2.4. Caso 4	74
5.2.5. Caso 5	75
5.3. Solución asintótica mejorada de la ecuación de Kijima	76
5.3.1. Caso 6	76
5.3.2. Caso 7	78
5.3.3. Caso 8	79
5.3.4. Caso 9	80
5.3.5. Caso 10	81
5.4. Optimización de mantenimiento correctivo	82
5.4.1. Caso 11	83
5.4.2. Caso 12	85
5.4.3. Caso 13	87
5.4.4. Caso 14	90
5.5. Conclusiones	93

6. Conclusiones, aportaciones y trabajos futuros	94
6.1. Conclusiones	94
6.2. Aportaciones	95
6.3. Trabajos Futuros	96
A. Desarrollos matemáticos complementarios	97
A.1. Función gamma	97
A.2. Estimación de la función gamma incompleta	99
Referencias	101