

INDICE

Prólogo	19
Dedicatoria	21
Capítulo I. Conceptos Básicos	23
Capítulo II. Probabilidad y Estadística Descriptiva	33
2.1. Introducción	35
2.2. Definiciones de probabilidad	35
2.2.1. Definición “frecuentista o clásica”	36
2.2.1.1. Concepto “Resultados igualmente probables”	37
2.2.1.2. Concepto frecuentista empírico de probabilidad	40
2.2.2. Definición “subjetivista” o “Bayesiana”	43
2.2.3.1. Introducción	44
2.2.3.2. Independencia y dependencia probabilística	47
2.2.3.3. Axiomas y leyes de probabilidad	48
2.3. Estadística descriptiva	51
2.3.1. Variable Random, aleatoria o distribuida	51
2.3.2. Distribuciones de probabilidad	53
2.3.2.1. Distribuciones empíricas o histogramas	55
2.3.2.1.1. Histogramas de frecuencias	55
2.3.2.1.2. Histograma acumulado directo	58
2.3.2.1.3. Histograma acumulado inverso	59
2.3.2.2. Distribuciones paramétricas de probabilidad	60
2.3.2.2.1. Definición	60
2.3.2.2.2. Distribuciones de probabilidad – Variables discretas	61
2.3.2.2.2.1. Función de probabilidad, distribución de frecuencias de densidad o función de densidad de probabilidades “ $f(X)$ ”	61
2.3.2.2.2.2. Función de distribución, distribución acumulada o función de densidad acumulada “ $F(X)$ ”	61
2.3.2.2.2.3. Función de distribución, distribución acumulada o función de densidad acumulada inversa “ $C(X)$ ”	62
2.3.2.2.3. Distribuciones de probabilidad – Variables continuas	63
2.3.2.2.3.1. Función de probabilidad, distribución de densidad o función de densidad de probabilidades “ $f(X)$ ”	63
2.3.2.2.3.2. Función de distribución, distribución acumulada o función de densidad acumulada “ $F(X)$ ”	65
2.3.2.2.3.3. Función de distribución, distribución acumulada o función de densidad acumulada inversa “ $C(X)$ ”	66
2.3.2.2.4. Principales características de una distribución de probabilidad	69
2.3.2.2.4.1. Medidas de posición o tendencia central (media, moda y mediana)	70
2.3.2.2.4.1.1. Media, esperanza matemática o valor esperado	70
2.3.2.2.4.1.2. Moda	71
2.3.2.2.4.1.3. Mediana	72
2.3.2.2.4.2. Medidas de dispersión	73
2.3.2.2.4.2.1. Varianza y desviación estándar	75
2.3.2.2.4.2.2. Coeficiente de variación	79
2.3.2.2.4.2.3. Percentiles	79
2.3.2.2.4.2.4. Intervalo de confianza	79

2.3.2.2.5. Distribuciones para variables aleatorias continuas	81
2.3.2.2.5.1. Distribuciones para variables aleatorias discretas	97
2.3.3. Caracterización probabilística de variables random	100
2.3.3.1. Caracterización probabilística de variables con información de campo	102
2.3.3.2. Pruebas de bondad de ajuste	104
2.3.3.2.1. Prueba de CHI – Cuadrado (X^2)	104
2.3.3.2.1.2. Cálculo del valor crítico para la prueba de CHI – Cuadrado	105
2.3.3.2.2. Prueba de Kolmogorov – Smirnov	107
2.3.3.2.2.1. Cálculo del valor o estadística del test de Kolmogorov – Smirnov	107
2.3.3.2.2.2. Cálculo del valor crítico para las pruebas Kolmogorov – Smirnov	108
2.3.3.2.3. Prueba de Anderson – Darling	114
Capítulo III. Gerencia de la Incertidumbre	117
3.1. Introducción	119
3.2. Incertidumbre: Concepto y fuentes	12
3.3. Decisiones que involucran incertidumbre	124
3.4. Gerencia de la incertidumbre	126
3.4.1. Cuantificación de la incertidumbre	126
3.4.1.1. Cualificación y caracterización probabilística de las variables de entrada	130
3.4.1.2. Propagación de la incertidumbre	136
3.4.1.2.1. Método de los momentos	137
3.4.1.2.2. Método de simulación de Montecarlo	143
3.4.1.2.2.1. Generación aleatoria de números desde una distribución de probabilidad o “Sampling”	147
3.4.1.2.2.2. Correlación probabilística o interdependencia	158
3.4.1.2.2.2.2. Factores o coeficientes de correlación “ R_{xy} ”	162
3.4.1.2.2.2.2.1. Coeficientes de correlación ordinaria o coeficiente de Pearson	163
3.4.1.2.2.2.2.2. Coeficiente de correlación por ranking o coeficiente de Spearman	165
3.4.1.2.2.2.3. Incorporación de las correlaciones probabilísticas en la simulación de Montecarlo	170
3.4.1.2.2.2.4. Reglas de oro para la simulación de Montecarlo	175
3.4.2. Análisis del impacto de la incertidumbre	176
3.4.2.1. Análisis de sensibilidad	176
3.4.2.1.1. Contribución a la varianza	177
3.4.2.1.2. Diagrama de tornado	179
3.4.2.1.2.1. Diagrama de tornado clásico o de “una variable a la vez”	179
3.4.2.1.2.2. Diagramas de tornado de coeficientes de correlación	180
3.4.3. Reducción de la incertidumbre	182
Capítulo IV. Ingeniería de Confiabilidad	185
4.1. Ingeniería de confiabilidad	187
4.2. Confiabilidad C(T): conceptos y relación con análisis de riesgo	187
4.3. Confiabilidad basada en el análisis probabilístico del tiempo para la falla o historial de fallas (Statistical based reliability analysis)	189
4.3.1. Confiabilidad de activos no reparables	190

4.3.1.1. Activos no reparables	190
4.3.1.2. Conceptos básicos	191
4.3.1.2.1. La función confiabilidad (C(T))	191
4.3.1.2.2. Tiempo promedio para fallar (TPPF)	193
4.3.1.2.3. La función de velocidad de incremento de peligro (H(T)) o tasa de fallas	193
4.3.1.3. Estimación de la confiabilidad	197
4.3.1.3.1. Estimación de confiabilidad de activos no reparables con estadística no paramétrica	197
4.3.1.3.2. Estimación de confiabilidad de activos no reparables con estadística no paramétrica	217
4.3.2. Confiabilidad de activos reparables	218
4.3.2.1. Variables probabilísticas de interés en análisis de confiabilidad de activos reparables	218
4.3.2.2. Modelos probabilísticas para la estimación o predicción del número de fallas ($N(T_{[M]})$) en un período de operación $T_{[M]}$ para sistemas reparables	222
4.3.2.2.1. Proceso ordinario de restauración (POR)	223
4.3.2.2.2. Proceso no homogéneo de Poisson (PNHP)	227
4.3.2.2.2.1. Simulación de Montecarlo para el proceso no homogéneo de Poisson (PNHP)	229
4.3.2.2.3. Proceso generalizado de restauración (PGR)	230
4.3.2.3. Disponibilidad	231
4.4. Confiabilidad basada en el análisis probabilístico del deterioro o física de la falla (physics based reliability analysis)	232
4.4.1. Análisis carga – Resistencia con simulación de Montecarlo	236
4.5. Confiabilidad de sistemas	251
4.5.1. Aspectos teóricos	251
4.5.2. Modelos para estimación de confiabilidad a nivel de sistemas	252
4.5.2.1. Diagramas de bloques de confiabilidad (DBC)	252
4.5.2.2. Análisis de árboles de fallas (AAF)	258
4.5.2.2.1. Componentes de un árbol de falla – descripción y simbología	259
4.5.2.2.2. Álgebra Booleana	261
4.5.2.2.3. Desarrollo de un árbol de falla	261
4.5.2.3. Análisis de Markov	269
4.5.2.3.1. Desarrollo de modelos de Markov	269
4.5.2.3.1.1. Desarrollo del diagrama de análisis de modo y efecto de falla (AMEF)	269
4.5.2.3.1.2. Clasificación de la falla de acuerdo a su efecto	270
4.5.2.3.1.3. Desarrollo inicial del diagrama de Markov	270
4.5.2.3.1.4. Simplificación del diagrama de Markov	270
4.5.2.3.2. Técnicas de estimación de parámetros de confiabilidad basadas en modelos de Markov	282
4.5.2.3.2.1. Cálculo de disponibilidad	285
4.5.2.3.2.2. Cálculo de confiabilidad	288
4.5.3. Análisis de causa común de falla	298
4.5.3.1. Modelo factor B	300
4.5.4. Análisis de importancia de componentes	304
4.5.5. Metodología de análisis de confiabilidad a nivel de sistema	305

Capitulo V. Evaluación Probabilística del Riesgo	309
5.1. Introducción	311
5.2. Riesgo. Concepto básicos	311
5.3. Análisis de riesgo	315
5.4. Dimensionamiento del riesgo	316
5.4.1. Técnicas cualitativas	317
5.4.2. Técnicas semi cuantitativas	318
5.4.3. Técnica cuantitativas	321
5.4.3.1. Probabilidades	322
5.4.3.1.1. Data histórica	323
5.4.3.1.2. Condición de estado	323
5.4.3.2. Consecuencias	324
5.5. Gerencia del riesgo	327
5.5.1. Modelos pasa – no pasa	329
5.5.1.1. Modelo pasa – no pasa tradicional	329
5.5.1.2. Modelo pasa – no pasa probabilístico basado en riesgo	330
5.5.2. Modelos de jerarquización	335
5.5.2.1. Modelos matriciales	335
5.5.2.1.1. Matriz de jerarquización de proyectos	335
5.5.3. Modelos de optimización	338
5.5.3.1. Análisis Costo – Riesgo – Beneficio	338
5.6. Comunicación del riesgo	340
Bibliografía	345