

Contenido

CAPÍTULO 1 El papel de la estadística en la ingeniería 1

- 1-1 El método de la ingeniería y el pensamiento estadístico 1
 - 1-1.1 La ingeniería y la solución de problemas 1
 - 1-1.2 El pensamiento estadístico 9
- 1-2 Recolección de datos de ingeniería 11
- 1-3 Modelos mecanicista y empírico 13
- 1-4 Diseño de investigaciones experimentales 16
- 1-5 Observación de procesos en el tiempo 20
- Ejercicios complementarios 24
- Ejercicios para desarrollar el intelecto 25

CAPÍTULO 2 Resumen y presentación de datos 26

- 2-1 La importancia del resumen y la presentación de datos 26
- 2-2 Diagramas de tallo y hoja 27
- 2-3 Distribuciones de frecuencia e histogramas 32
- 2-4 Gráficas de caja 37
- 2-5 Gráficas de series de tiempo 40
- Ejercicios complementarios 44
- Ejercicios para desarrollar el intelecto 48

CAPÍTULO 3 Probabilidad 49

- 3-1 Espacios muestrales y eventos 49
 - 3-1.1 Introducción 49
 - 3-1.2 Espacios muestrales 52
 - 3-1.3 Eventos 54

- 3-2 Interpretación de la probabilidad 62
 - 3-2.1 Introducción 62
 - 3-2.2 Axiomas de probabilidad 66
- 3-3 Reglas de adición 68
- 3-4 Probabilidad condicional 74
- 3-5 Reglas de multiplicación y de probabilidad total 79
 - 3-5.1 Regla de multiplicación 79
 - 3-5.2 Regla de probabilidad total 79
- 3-6 Independencia 83
- 3-7 Teorema de Bayes 89
- 3-8 Variables aleatorias 91
- Ejercicios complementarios 93
- Ejercicios para desarrollar el intelecto 96

CAPÍTULO 4 Variables aleatorias discretas y distribuciones de probabilidad 97

- 4-1 Variables aleatorias discretas 97
- 4-2 Distribuciones de probabilidad y funciones de masa de probabilidad 99
- 4-3 Funciones de distribución acumulada 103
- 4-4 Media y varianza de una variable aleatoria discreta 106
- 4-5 Distribución discreta uniforme 110
- 4-6 Distribución binomial 112
- 4-7 Distribuciones geométrica y binomial negativa 121
 - 4-7.1 Distribución geométrica 121
 - 4-7.2 Distribución binomial negativa 124
- 4-8 Distribución hipergeométrica 129
- 4-9 Distribución de Poisson 135
- Ejercicios complementarios 141
- Ejercicios para desarrollar el intelecto 143

CAPÍTULO 5 Variables aleatorias continuas y distribuciones de probabilidad 144

- 5-1 Variables aleatorias continuas 144
- 5-2 Distribuciones de probabilidad y funciones de densidad de probabilidad 145
- 5-3 Funciones de distribución acumulada 149
- 5-4 Media y varianza de una variable aleatoria continua 153
- 5-5 Distribución continua uniforme 155
- 5-6 Distribución normal 157
- 5-7 Gráficas de probabilidad 170
- 5-8 Aproximación normal a la distribución binomial y de Poisson 174
- 5-9 Distribución exponencial 179
- 5-10 Distribuciones de Erlang y gamma 187
 - 5-10.1 Distribución de Erlang 187
 - 5-10.2 Distribución gamma 189
- 5-11 Distribución de Weibull 193
- Ejercicios complementarios 195
- Ejercicios para desarrollar el intelecto 197

CAPÍTULO 6 Distribución de probabilidad conjunta 199

- 6-1 Dos variables aleatorias discretas 200
 - 6-1.1 Distribuciones de probabilidad conjunta 200
 - 6-1.2 Distribuciones de probabilidad marginal 202
 - 6-1.3 Distribuciones de probabilidad condicional 205
 - 6-1.4 Independencia 207
- 6-2 Variables aleatorias discretas múltiples 211
 - 6-2.1 Distribuciones de probabilidad conjunta 211
 - 6-2.2 Distribución de probabilidad multinomial 214
- 6-3 Dos variables aleatorias continuas 218
 - 6-3.1 Distribuciones de probabilidad conjunta 218
 - 6-3.2 Distribuciones de probabilidad marginal 222
 - 6-3.3 Distribuciones de probabilidad condicional 224
 - 6-3.4 Independencia 228

- 6-4 Variables aleatorias continuas múltiples 231
- 6-5 Covarianza y correlación 237
- 6-6 Distribución normal de dos variables 245
- 6-7 Combinaciones lineales de variables aleatorias 249
- 6-8 Desigualdad de Chebyshev 254
- Ejercicios complementarios 256
- Ejercicios para desarrollar el intelecto 259

CAPÍTULO 7 Estimación de parámetros 260

- 7-1 Inferencia estadística 260
- 7-2 Muestreo aleatorio 261
- 7-3 Propiedades de los estimadores 265
 - 7-3.1 Estimadores insesgados 265
 - 7-3.2 Varianza de un estimador puntual 267
 - 7-3.3 Error estándar: reporte de una estimación puntual 268
 - 7-3.4 Estimación *bootstrap* (cargador inicial) del error estándar 270
 - 7-3.5 Error cuadrado medio de un estimador 271
- 7-4 Método de máxima verosimilitud 274
- 7-5 Distribuciones de muestreo 281
- 7-6 Distribuciones de muestreo de medias 282
- 7-7 Introducción a los intervalos de confianza 289
- Ejercicios complementarios 291
- Ejercicios para desarrollar el intelecto 292

CAPÍTULO 8 Inferencia estadística para una sola muestra 294

- 8-1 Prueba de hipótesis 295
 - 8-1.1 Hipótesis estadísticas 295
 - 8-1.2 Pruebas de hipótesis estadísticas 296
 - 8-1.3 Hipótesis de una y dos colas 304
 - 8-1.4 Procedimiento general de las pruebas de hipótesis 307

8-2	Inferencia sobre la media de una población, varianza conocida	309
8-2.1	Pruebas de hipótesis sobre la media	309
8-2.2	Valores P en las pruebas de hipótesis	312
8-2.3	Error tipo II y elección del tamaño de la muestra	313
8-2.4	Prueba para muestras grandes	318
8-2.5	Algunos comentarios prácticos sobre las pruebas de hipótesis	318
8-2.6	Intervalo de confianza para la media	319
8-2.7	Método general para deducir un intervalo de confianza	324
8-2.8	Intervalos de confianza <i>bootstrap</i> (cargador inicial)	325
8-3	Inferencia sobre la media de una población, varianza desconocida	328
8-3.1	Pruebas de hipótesis sobre la media	329
8-3.2	Valor P para una prueba t	334
8-3.3	Solución de computadora	334
8-3.4	Elección del tamaño de la muestra	335
8-3.5	Intervalo de confianza para la media	336
8-4	Inferencia sobre la varianza de una población normal	340
8-4.1	Pruebas de hipótesis sobre la varianza de una población normal	340
8-4.2	Error β y elección del tamaño de la muestra	344
8-4.3	Intervalo de confianza sobre la varianza de una población normal	345
8-5	Inferencia sobre una proporción de una población	347
8-5.1	Pruebas de hipótesis sobre una proporción binomial	348
8-5.2	Error tipo II y elección del tamaño de la muestra	349
8-5.3	Intervalo de confianza para una proporción binomial	351
8-6	Tabla de resumen para procedimientos de inferencia para una sola muestra	356
8-7	Prueba de la bondad del ajuste	356
8-8	Pruebas de tablas de contingencia	361

Ejercicios complementarios	365
Ejercicios para desarrollar el intelecto	371

CAPÍTULO 9 Inferencia estadística para dos muestras 375

9-1	Introducción	376
9-2	Inferencia para la diferencia en medias, varianzas conocidas	376
9-2.1	Pruebas de hipótesis para la diferencia en medias, varianzas conocidas	377
9-2.2	Elección del tamaño de la muestra	379
9-2.3	Identificación de causa y efecto	382
9-2.4	Intervalo de confianza para una diferencia en medias, varianzas conocidas	382
9-3	Inferencia para la diferencia en medias de dos distribuciones normales, varianzas desconocidas	388
9-3.1	Pruebas de hipótesis para la diferencia en medias, varianzas desconocidas	388
9-3.2	Elección del tamaño de la muestra	394
9-3.3	Intervalo de confianza para la diferencia en medias	395
9-3.4	Solución de computadora	397
9-4	Prueba t pareada	402
9-5	Inferencia sobre las varianzas de dos poblaciones normales	410
9-5.1	Pruebas de hipótesis sobre el cociente de dos varianzas	410
9-5.2	Error β y elección del tamaño de la muestra	414
9-5.3	Intervalo de confianza sobre el cociente de dos varianzas	415
9-6	Inferencia sobre proporciones de dos poblaciones	417
9-6.1	Prueba de una muestra grande para $H_0: p_1 = p_2$	417
9-6.2	Error β y elección del tamaño de la muestra	419
9-6.3	Intervalo de confianza para $p_1 - p_2$	421
9-7	Tabla de resumen para procedimientos de inferencia para dos muestras	423
Ejercicios complementarios	423	
Ejercicios para desarrollar el intelecto	429	

CAPÍTULO 10 Regresión lineal simple y correlación 430

- 10-1 Modelos empíricos 431
- 10-2 Regresión lineal simple 434
- 10-3 Propiedades de los estimadores de mínimos cuadrados y la estimación de σ^2 444
- 10-4 Abusos comunes de la regresión 446
- 10-5 Pruebas de hipótesis en la regresión lineal simple 447
 - 10-5.1 Uso de las pruebas t 447
 - 10-5.2 Enfoque del análisis de varianza para probar la significación de una regresión 450
- 10-6 Intervalos de confianza 454
 - 10-6.1 Intervalos de confianza para la pendiente y la ordenada al origen 454
 - 10-6.2 Intervalo de confianza para la respuesta media 455
- 10-7 Predicción de nuevas observaciones 458
- 10-8 Evaluando la adecuación del modelo de regresión 461
 - 10-8.1 Análisis de residuales 461
 - 10-8.2 Coeficiente de determinación (R^2) 464
 - 10-8.3 Prueba de falta de ajuste 465
- 10-9 Transformaciones a una línea recta 471
- 10-10 Correlación 472
- Ejercicios complementarios 478
- Ejercicios para desarrollar el intelecto 481

CAPÍTULO 11 Regresión lineal múltiple 483

- 11-1 Modelo de regresión lineal múltiple 484
- 11-2 Estimación de los parámetros por mínimos cuadrados 488
- 11-3 Enfoque matricial de la regresión lineal múltiple 491
- 11-4 Propiedades de los estimadores de mínimos cuadrados y estimación de σ^2 504
- 11-5 Pruebas de hipótesis en la regresión lineal múltiple 506

- 11-5.1 Prueba para la significación de una regresión 506
- 11-5.2 Pruebas para los coeficientes de regresión individuales y para subconjuntos de coeficientes 509
- 11-6 Intervalos de confianza en la regresión lineal múltiple 515
 - 11-6.1 Intervalos de confianza para los coeficientes individuales de una regresión 515
 - 11-6.2 Intervalo de confianza para la respuesta media 516
- 11-7 Predicción de nuevas observaciones 518
- 11-8 Medidas de la adecuación del modelo 521
 - 11-8.1 Coeficiente de determinación múltiple (R^2) 521
 - 11-8.2 Análisis de residuales 522
 - 11-8.3 Observaciones influyentes 526
- 11-9 Modelos de regresión polinomial 530
- 11-10 Variables indicadoras 533
- 11-11 Selección de variables en regresiones múltiples 539
 - 11-11.1 Problema de la construcción del modelo 539
 - 11-11.2 Procedimientos computacionales para la selección de variables 539
 - 11-11.3 Salida de computadora de una regresión por pasos 549
- 11-12 Colinealidad múltiple 554
- Ejercicios complementarios 556
- Ejercicios para desarrollar el intelecto 560

CAPÍTULO 12 Diseño y análisis de experimentos con un solo factor: el análisis de varianza 561

- 12-1 Estrategia de experimentación 562
- 12-2 Experimento con un solo factor completamente aleatorizado 563
 - 12-2.1 Un ejemplo 563
 - 12-2.2 El análisis de varianza 564
 - 12-2.3 Salida de computadora 573
 - 12-2.4 Análisis de residuales y verificación del modelo 576

12-3 Pruebas sobre medias de tratamientos individuales 581
 12-3.1 Comparación gráfica de medias 581
 12-3.2 Contrastes ortogonales 583
 12-3.3 Método de la diferencia significativa mínima de Fisher 586
 12-4 Modelo de efectos aleatorios 589
 12-5 Diseño de bloques completos aleatorizados 595
 12-5.1 Diseño y análisis estadístico 595
 12-5.2 Pruebas sobre medias de tratamientos individuales 602
 12-5.3 Análisis de residuales y verificación del modelo 604
 12-5.4 Diseño de bloques completos aleatorizados con factores aleatorios 605
 12-6 Determinación del tamaño de la muestra en experimentos con un solo factor 609
 12-6.1 Caso con efectos fijos 609
 12-6.2 Caso con efectos aleatorios 610
 Ejercicios complementarios 612
 Ejercicios para desarrollar el intelecto 615

CAPÍTULO 13 Diseño de experimentos con varios factores 617

13-1 Introducción 618
 13-2 Algunas aplicaciones de las técnicas de diseño experimental 618
 13-3 Experimentos factoriales 621
 13-4 Experimentos factoriales con dos factores 627
 13-4.1 Análisis estadístico del modelo con efectos fijos 627
 13-4.2 Verificación de la adecuación del modelo 635
 13-4.3 Salida de computadora 635
 13-4.4 Una observación por celda 636
 13-4.5 Factores aleatorios 638
 13-5 Experimentos factoriales generales 641
 13-6 Diseño factorial 2^k 647

13-6.1 Diseño 2^2 648
 13-6.2 Diseño 2^k para $k \geq 3$ factores 655
 13-6.3 Una sola réplica del diseño 2^k 666
 13-6.4 Adición de los puntos centrales a un diseño 2^k 671
 13-7 Formación de bloques y confusión en el diseño 2^k 677
 13-8 Réplica fraccionada del diseño 2^k 684
 13-8.1 Media fracción del diseño 2^k 684
 13-8.2 Fracciones menores: el factorial fraccionado 2^{k-p} 693
 13-9 Métodos y diseño de superficies de respuesta 705
 13-9.1 Método del ascenso más pronunciado 707
 13-9.2 Análisis de una superficie de respuesta de segundo orden 711
 Ejercicios complementarios 720
 Ejercicios para desarrollar el intelecto 725

CAPÍTULO 14 Estadística no paramétrica 726

14-1 Introducción 726
 14-2 Prueba de signos 727
 14-2.1 Descripción de la prueba 727
 14-2.2 Prueba de signos para muestras pareadas 732
 14-2.3 Error tipo II para la prueba de signos 734
 14-2.4 Comparación con la prueba t 735
 14-3 Prueba de rangos con signo de Wilcoxon 738
 14-3.1 Descripción de la prueba 738
 14-3.2 Aproximación para muestras grandes 740
 14-3.3 Observaciones pareadas 740
 14-3.4 Comparación con la prueba t 742
 14-4 Prueba de la suma de rangos de Wilcoxon 743
 14-4.1 Descripción de la prueba 743
 14-4.2 Aproximación con muestras grandes 746
 14-4.3 Comparación con la prueba t 746

14-5 Métodos no paramétricos en el análisis de varianza 747
 14-5.1 Prueba de Kruskal-Wallis 747
 14-5.2 Transformación de rangos 750
 Ejercicios complementarios 752
 Ejercicios para desarrollar el intelecto 753

CAPÍTULO 15 Control estadístico de la calidad 754

15-1 La estadística y el mejoramiento de la calidad 755
 15-2 Control estadístico de la calidad 756
 15-3 Control estadístico de procesos 756
 15-4 Introducción a las cartas de control 757
 15-4.1 Principios básicos 757
 15-4.2 Diseño de una carta de control 762
 15-4.3 Subgrupos racionales 763
 15-4.4 Análisis de patrones en cartas de control 765
 15-5 Cartas de control \bar{X} y R 768
 15-6 Cartas de control para mediciones individuales 776
 15-7 Capacidad de un proceso 781
 15-8 Cartas de control de atributos 787
 15-8.1 Carta P (carta de control de proporciones) 787

15-8.2 Carta U (carta de control de defectos por unidad) 790
 15-9 Desempeño de las cartas de control 794
 15-10 Carta de control de suma acumulada 797
 15-11 Otras herramientas del control estadístico de procesos para resolver problemas 806
 15-12 Implementación del control estadístico de procesos 809
 Ejercicios complementarios 811
 Ejercicios para desarrollar el intelecto 815

APÉNDICES 819

A Tablas y cartas estadísticas A-1
 B Material técnico complementario B-1
 I Técnicas de conteo B-1
 II Función generadora de momentos B-7
 III Funciones de variables aleatorias B-15
 IV Desarrollo de las distribuciones t y F B-24
 V Enfoque bayesiano de la estimación B-28
 VI Pruebas del cociente de verosimilitud B-32
 VII Factores aleatorios en experimentos factoriales B-35
 C Bibliografía C-1
 D Respuestas de ejercicios seleccionados D-1

ÍNDICE I-1