

Contenido

1 INTRODUCCIÓN Y ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA	1
1-1 Panorama de la estadística y la probabilidad	1
1-1.1 ¿Qué es la estadística?	1
1-1.2 El papel de la estadística en la ingeniería y en la ciencia	2
1-1.3 Las computadoras y la estadística	4
1-2 Presentación gráfica de los datos	4
1-2.1 Diagrama de puntos y diagrama tallo y hoja	4
1-2.2 Distribución de frecuencias e histograma	8
1-3 Medidas de localización	16
1-3.1 Media	16
1-3.2 Mediana	18
1-3.3 Moda	19
1-3.4 Percentiles y cuartiles	20
1-4 Medidas de variabilidad	23
1-4.1 Rango de la muestra y rango intercuartílico	24
1-4.2 Varianza muestral y desviación estándar muestral	24
1-4.3 Coeficiente de variación	28
1-4.4 Diagramas de caja	29
1-4.5 Salida generada por la computadora para el resumen de estadísticas	31
1-5 Gráficas de series de tiempo	33
Ejercicios complementarios	41
Ejercicios de comprensión	44
2 PROBABILIDAD	46
2-1 Espacios muestrales y eventos	46
2-1.1 Introducción	46
2-1.2 Experimentos aleatorios	49
2-1.3 Eventos	52
2-2 Interpretaciones de la probabilidad	61
2-2.1 Introducción	61
2-2.2 Axiomas de probabilidad	65
2-3 Reglas de adición	69
2-4 Probabilidad condicional	76
2-4.1 Introducción	76
2-4.2 Definición de probabilidad condicional	78
2-5 Reglas de multiplicación	82
2-5.1 Regla de multiplicación	82
2-5.2 Regla de probabilidad total	82
2-6 Independencia	86
2-7 Teorema de Bayes	91
Ejercicios complementarios	93
Ejercicios de comprensión	97

**3 VARIABLES ALEATORIAS
Y DISTRIBUCIONES
DE PROBABILIDAD
DISCRETAS 99**

- 3-1 Variables aleatorias discretas 99
- 3-2 Distribuciones y funciones de probabilidad 102
- 3-3 Funciones de distribución acumulada 108
- 3-4 Valor esperado de una variable aleatoria discreta 112
- 3-5 Distribución uniforme discreta 119
- 3-6 Distribución binomial 122
- 3-7 Distribuciones geométrica y binomial negativa 131
 - 3-7.1 Distribución geométrica 131
 - 3-7.2 Distribución binomial negativa 134
- 3-8 Distribución hipergeométrica 139
- 3-9 Distribución Poisson 146
- Ejercicios complementarios 153
- Ejercicios de comprensión 156

**4 VARIABLES ALEATORIAS
CONTINUAS Y
DISTRIBUCIONES DE
PROBABILIDAD 157**

- 4-1 Variables aleatorias continuas 157

- 4-2 Distribuciones de probabilidad y funciones de densidad de probabilidad 159
- 4-3 Funciones de distribución acumulada 164
- 4-4 Valor esperado de una variable aleatoria continua 168
- 4-5 Distribución uniforme continua 170
- 4-6 Distribución normal 173
- 4-7 Aproximación normal a las distribuciones binomial y Poisson 189
- 4-8 Distribución exponencial 195
- 4-9 Distribuciones Erlang y gamma 204
 - 4-9.1 Distribución Erlang 204
 - 4-9.2 Distribución gamma 206
- 4-10 Distribución Weibull 210
- Ejercicios complementarios 213
- Ejercicios de comprensión 215

**5 DISTRIBUCIONES DE
PROBABILIDAD
CONJUNTA 217**

- 5-1 Dos variables aleatorias discretas 218
 - 5-1.1 Distribuciones de probabilidad conjunta 218
 - 5-1.2 Distribuciones de probabilidad marginal 220
 - 5-1.3 Distribuciones de probabilidad condicional 222
 - 5-1.4 Independencia 225

- 5-2 Múltiples variables aleatorias discretas 230
 - 5-2.1 Distribuciones de probabilidad conjunta 230
 - 5-2.2 Distribución de probabilidad multinomial 233
- 5-3 Dos variables aleatorias continuas 238
 - 5-3.1 Distribuciones de probabilidad conjunta 238
 - 5-3.2 Distribuciones de probabilidad marginal 241
 - 5-3.3 Distribuciones de probabilidad condicional 243
 - 5-3.4 Independencia 248
- 5-4 Múltiples variables aleatorias continuas 251
- 5-5 Covarianza, correlación y la distribución normal bivariada 257
 - 5-5.1 Covarianza y correlación 257
 - 5-5.2 Distribución normal bivariada 265
- 5-6 Combinaciones lineales de variables aleatorias 270
- 5-7 Desigualdad de Chebychev 275

Ejercicios complementarios 277

Ejercicios de comprensión 281

6 ESTIMACIÓN PUNTUAL 283

- 6-1 Inferencia estadística 283
- 6-2 Muestreo aleatorio 284
- 6-3 Propiedades de los estimadores 288
 - 6-3.1 Estimadores insesgados 288
 - 6-3.2 Varianza y error cuadrático medio de un estimador puntual 290

- 6-4 Método de máxima verosimilitud 293
- 6-5 Distribuciones de muestreo 300
- 6-6 Distribución de muestreo para medias 301
- 6-7 Distribución ji-cuadrada 308
- 6-8 Distribución t 312
- 6-9 Distribución F 315
- Ejercicios complementarios 319
- Ejercicios de comprensión 320

7 ESTIMACIÓN DE INTERVALOS 323

- 7-1 Intervalos de confianza 323
- 7-2 Intervalo de confianza para la media, varianza conocida 325
- 7-3 Intervalo de confianza para la diferencia de dos medias, varianzas conocidas 330
- 7-4 Intervalo de confianza para la media de una distribución normal, varianza desconocida 335
- 7-5 Intervalo de confianza para la diferencia de medias de dos distribuciones normales, varianzas desconocidas 338
- 7-6 Intervalo de confianza de $\mu_1 - \mu_2$ para observaciones pareadas 343
- 7-7 Intervalo de confianza para la varianza de una distribución normal 349

7-8 Intervalo de confianza para el cociente de varianzas de dos distribuciones normales 351	8-2.6 Algunos comentarios prácticos sobre la prueba de hipótesis 394
7-9 Intervalo de confianza para una proporción 354	8-3 Prueba de hipótesis sobre la igualdad de dos medias, varianzas conocidas 396
7-10 Intervalo de confianza para la diferencia de dos proporciones 358	8-3.1 Desarrollo del procedimiento de prueba 396
7-11 Tabla resumen de procedimientos para obtener intervalos de confianza 361	8-3.2 Selección del tamaño de la muestra 398
7-12 Intervalos de tolerancia 361	8-3.3 Identificación causa-efecto 400
Ejercicios complementarios 364	8-4 Pruebas de hipótesis sobre la media de una distribución normal, varianza desconocida 404
Ejercicios de comprensión 367	8-4.1 Desarrollo del procedimiento de prueba 404
8 PRUEBA DE HIPÓTESIS 370	8-4.2 Valor P de una prueba t 407
8-1 Introducción 370	8-4.3 Solución por computadora 408
8-1.1 Hipótesis estadísticas 370	8-4.4 Selección del tamaño de la muestra 409
8-1.2 Prueba de una hipótesis estadística 372	8-5 Pruebas de hipótesis sobre las medias de dos distribuciones normales, varianzas desconocidas 410
8-1.3 Hipótesis unilaterales y bilaterales 380	8-5.1 Caso 1: $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma^2$ 411
8-1.4 Procedimiento general para la prueba de hipótesis 382	8-5.2 Caso 2: $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ 413
8-2 Pruebas de hipótesis sobre la media, varianza conocida 385	8-5.3 Solución por computadora 415
8-2.1 Desarrollo del procedimiento de prueba 385	8-5.4 Selección del tamaño de la muestra 416
8-2.2 Uso de valores P en la prueba de hipótesis 388	8-6 Prueba t pareada 417
8-2.3 Error tipo II y selección del tamaño de la muestra 389	8-7 Pruebas de hipótesis sobre la varianza 427
8-2.4 Relación entre pruebas de hipótesis e intervalos de confianza 393	8-7.1 Procedimientos de prueba para una población normal 427
8-2.5 Prueba para muestras grandes con varianza desconocida 393	8-7.2 Valor de β y selección del tamaño de la muestra 429
	8-7.3 Procedimiento de prueba para muestras grandes 430
	8-8 Pruebas para la igualdad de dos varianzas 431
	8-8.1 Procedimiento de prueba para poblaciones normales 431

- 8-8.2 Valor de β y selección del tamaño de la muestra 433
- 8-8.3 Procedimiento de prueba para muestras grandes 434
- 8-9 Pruebas de hipótesis sobre una proporción 436
 - 8-9.1 Desarrollo del procedimiento de prueba 436
 - 8-9.2 Valor de β y selección del tamaño de la muestra 438
- 8-10 Pruebas de hipótesis sobre dos proporciones 440
 - 8-10.1 Prueba de muestra grande para $H_0: p_1 = p_2$ 440
 - 8-10.2 Valor de β y selección del tamaño de la muestra 441
- 8-11 Prueba de bondad del ajuste 444
 - 8-11.1 Prueba ji-cuadrada de bondad del ajuste 444
 - 8-11.2 Gráfica de probabilidad 449
- 8-12 Pruebas con tablas de contingencia 456
- 8-13 Tabla resumen de procedimientos para la prueba de hipótesis 461
- Ejercicios complementarios 461
- Ejercicios de comprensión 469
- 9-4 Abusos comunes de la regresión 489
- 9-5 Prueba de hipótesis en la regresión lineal simple 490
 - 9-5.1 Uso de pruebas t 490
 - 9-5.2 Enfoque del análisis de varianza para la prueba de significancia de la regresión 493
- 9-6 Intervalos de confianza 498
 - 9-6.1 Intervalos de confianza para la pendiente y la ordenada al origen 498
 - 9-6.2 Intervalo de confianza para la respuesta media 499
- 9-7 Predicción de nuevas observaciones 501
- 9-8 Evaluación de la adecuación del modelo de regresión 506
 - 9-8.1 Análisis residual 506
 - 9-8.2 Coeficiente de determinación (R^2) 508
 - 9-8.3 Prueba de falta de ajuste 510
- 9-9 Transformaciones que llevan a una línea recta 516
- 9-10 Correlación 517
- Ejercicios complementarios 525
- Ejercicios de comprensión 529
- 9 REGRESIÓN LINEAL SIMPLE Y CORRELACIÓN 471**
- 9-1 Modelos de regresión 471
- 9-2 Regresión lineal simple 474
- 9-3 Propiedades de los estimadores de mínimos cuadrados y estimación de σ^2 486
- 10 REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE 531**
- 10-1 Modelo de regresión lineal múltiple 531
- 10-2 Estimación de los parámetros por mínimos cuadrados 536

- 10-3 Enfoque matricial para la regresión lineal múltiple 539
- 10-4 Propiedades de los estimadores de mínimos cuadrados y estimación de σ^2 553
- 10-5 Prueba de hipótesis en la regresión lineal múltiple 555
 - 10-5.1 Prueba para la significancia de la regresión 556
 - 10-5.2 Pruebas sobre los coeficientes individuales de regresión y sobre subconjuntos de coeficientes 558
- 10-6 Intervalos de confianza en la regresión lineal múltiple 565
 - 10-6.1 Intervalos de confianza para los coeficientes de regresión 565
 - 10-6.2 Intervalo de confianza para la respuesta promedio 566
- 10-7 Predicción de nuevas observaciones 567
- 10-8 Medidas de adecuación del modelo 571
 - 10-8.1 Coeficiente de determinación múltiple 571
 - 10-8.2 Análisis residual 572
 - 10-8.3 Observaciones influyentes 576
- 10-9 Modelos de regresión polinomiales 581
- 10-10 Variables indicadoras 584
- 10-11 Selección de variables en la regresión múltiple 590
 - 10-11.1 El problema de construcción de modelos 590
 - 10-11.2 Procedimientos computacionales para la selección de variables 590
 - 10-11.3 Salida generada por la computadora para la regresión por pasos 601
- 10-12 Coeficientes de regresión estandarizados 607
- 10-13 Multicolinealidad y regresión de arista 611
- Ejercicios complementarios 617
- Ejercicios de comprensión 623
- 11 DISEÑO Y ANÁLISIS DE EXPERIMENTOS DE UN SOLO FACTOR: ANÁLISIS DE VARIANZA 625**
- 11-1 La estrategia de la experimentación 625
- 11-2 Experimento completamente aleatorizado de un solo factor 627
 - 11-2.1 Ejemplo 627
 - 11-2.2 Análisis de varianza 628
 - 11-2.3 Intervalos de confianza para las medias de los tratamientos 637
 - 11-2.4 Análisis residual y verificación del modelo 639
- 11-3 Pruebas sobre las medias de cada tratamiento 646
 - 11-3.1 Comparación gráfica de medias 646
 - 11-3.2 Contrastes ortogonales 647
 - 11-3.3 Prueba de rangos múltiples de Duncan 650
- 11-4 El modelo de efectos aleatorios 653
- 11-5 Diseño aleatorizado por bloques completos 660
 - 11-5.1 Diseño y análisis estadístico 660
 - 11-5.2 Pruebas sobre las medias de cada tratamiento 667
 - 11-5.3 Análisis residual y verificación del modelo 668

- 11-5.4 Diseño aleatorizado por bloques completos con factores aleatorios 671
- 11-6 Determinación del tamaño de la muestra en experimentos con un solo factor 674
- 11-6.1 Caso de efectos fijos 674
- 11-6.2 Caso de efectos aleatorios 676
- 11-7 Resultados generados por computadora 678
- Ejercicios complementarios 678
- Ejercicios de comprensión 683
- 12 DISEÑO DE EXPERIMENTOS CON VARIOS FACTORES 686**
- 12-1 Introducción 686
- 12-2 Algunas aplicaciones de las técnicas de diseño experimental 687
- 12-3 Experimentos factoriales 690
- 12-4 Experimentos factoriales con dos factores 696
- 12-4.1 Análisis estadístico del modelo de efectos fijos 697
- 12-4.2 Verificación de la adecuación del modelo 704
- 12-4.3 Salida generada por computadora 705
- 12-4.4 Una observación por celda 708
- 12-4.5 Factores aleatorios 710
- 12-5 Experimentos factoriales generales 714
- 12-6 Diseño factorial 2^k 720
- 12-6.1 Diseño 2^2 721
- 12-6.2 Diseño 2^k para $k \geq 3$ factores 728
- 12-6.3 Réplica única del diseño 2^k 738
- 12-6.4 Adición de puntos centrales al diseño 2^k 744
- 12-7 Formación de bloques y confusión en el diseño 2^k 751
- 12-8 Replicación fraccionaria del diseño 2^k 757
- 12-8.1 Fracción un medio del diseño 2^k 758
- 12-8.2 Fracciones más pequeñas: diseño factorial fraccionario 2^{k-p} 765
- 12-9 Métodos y diseños de superficie de respuesta 778
- 12-9.1 Método de ascenso por pasos 780
- 12-9.2 Análisis de una superficie de respuesta de segundo orden 782
- Ejercicios complementarios 793
- Ejercicios de comprensión 800
- 13 ESTADÍSTICAS NO PARAMÉTRICAS 802**
- 13-1 Introducción 802
- 13-2 Prueba del signo 803
- 13-2.1 Descripción de la prueba del signo 803
- 13-2.2 Prueba del signo para muestras pareadas 808
- 13-2.3 Error de tipo II para la prueba del signo 809
- 13-2.4 Comparación entre la prueba del signo y la prueba t 811
- 13-3 Prueba de rango con signo de Wilcoxon 814

13-3.1 Descripción de la prueba	815	14-6 Cartas de control para mediciones individuales	862
13-3.2 Aproximación para muestras grandes	816	14-7 Cartas de control de atributos	866
13-3.3 Observaciones pareadas	817	14-7.1 Carta p (carta de control para la fracción de artículos defectuosos o que no cumplen con las especificaciones)	866
13-3.4 Comparación con la prueba t	818	14-7.2 Carta C (carta de control de defectos)	869
13-4 Prueba de la suma de rangos de Wilcoxon	820	14-7.3 Carta U (carta de control de defectos por unidad)	871
13-4.1 Descripción de la prueba	820	14-8 Carta de control de suma acumulativa	875
13-4.2 Aproximación para muestras grandes	822	14-9 Otras herramientas CEP para la solución de problemas	884
13-4.3 Comparación con la prueba t	822	14-10 Implantación del CEP	887
13-5 Métodos no paramétricos en el análisis de varianza	824	Ejercicios complementarios	890
13-5.1 Prueba de Kruskal-Wallis	824	Ejercicios de comprensión	893
13-5.2 Transformación de rango	827		
Ejercicios complementarios	829		
Ejercicios de comprensión	830		

14 CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD 831

14-1 Estadística y mejora en la calidad	831
14-2 Control estadístico de la calidad	833
14-3 Control estadístico de procesos	833
14-4 Introducción a las cartas de control	834
14-4.1 Principios básicos	834
14-4.2 Selección de límites de control, tamaño de la muestra y frecuencia de muestreo	839
14-4.3 Subgrupos racionales	842
14-4.4 Análisis de patrones en cartas de control	844
14-5 Cartas de control \bar{X} y R	847

APÉNDICES

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-8
III. Funciones de variables aleatorias	B-16
IV. Desarrollo de las distribuciones t y F	B-25
V. Enfoque bayesiano de la estimación	B-28
VI. Pruebas del cociente de verosimilitud	B-33

VII. Factores aleatorios en experimentos factoriales	B-36	D. Respuestas a ejercicios seleccionados	D-1
C. Bibliografía	C-1	Índice	I-1