

# 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 <i>bootstrap</i> (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

<b>8-2</b>	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
<b>8-3</b>	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
<b>8-4</b>	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 $\beta$ y elección del tamaño de la muestra	344
8-4.3	Intervalo de confianza sobre la varianza de una población normal	345
<b>8-5</b>	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
<b>8-6</b>	Tabla de resumen para procedimientos de inferencia para una sola muestra	356
<b>8-7</b>	Prueba de la bondad del ajuste	356
<b>8-8</b>	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 $\beta$ 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 $\beta$ 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  $\sigma^2$  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
- 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 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  $\sigma^2$  504
- 11-5 Pruebas de hipótesis en la regresión lineal múltiple 506

## 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**