

CONTENIDO

Lista de Tablas	XVII
Lista de Figuras	XXI
Introducción	
<i>Freddy Hemán Corcho Romero</i>	
<i>José Ignacio Duque Serna</i>	XXXI
Presentación. Tercera edición	
<i>Marcela Morales Londoño</i>	XXXV
Capítulo 1. Criterios básicos para el diseño	1
1.1. Estadísticas de consumo de agua de la localidad en estudio	1
1.1.1 Factores que afectan el consumo	7
1.1.1.1 Tipo de comunidad	8
1.1.1.2 Factores económico-sociales	8
1.1.1.3 Factores meteorológicos	9
1.1.1.4 Tamaño de la comunidad	9
1.1.1.5 Calidad, cantidad y control	9
1.2 Consumo per cápita	9
1.3 Consumo medio	9
1.4 Consumo máximo diario	10
1.5 Consumo máximo horario	10
1.6 Período de diseño económico	10
1.6.1 Vida probable de las estructuras	11
1.6.2 Facilidad de ampliación de acuerdo con las condiciones locales	13
1.6.3 Rata de crecimiento de población de la localidad	13
1.6.4 Rata de interés de préstamos para la construcción	13
1.6.5 Posibles variaciones del poder adquisitivo de la moneda	13
1.6.6 Funcionamiento de las obras en los primeros años, cuando no están trabajando a capacidad plena	13
1.7 Estudio de población	13

1.7.1	Fuentes de información	14
1.7.2	Previsiones de población	15
1.7.3	Métodos gráficos	15
1.7.3.1	Método aritmético	16
1.7.3.2	Método geométrico (logarítmico, o de rata de crecimiento o porcentaje uniforme)	16
1.7.3.3	Curva de crecimiento	17
1.7.3.4	Método de la variación logarítmica	18
1.7.3.5	Método gráfico de tendencia	19
1.7.3.6	Método gráfico de comparación de poblaciones	19
1.7.3.7	Método de la rata de crecimiento a porcentaje decreciente	20
1.7.3.8	Métodos del porcentaje de saturación	20
1.7.3.9	Método de la tasa decreciente de crecimiento	21
1.7.4	Método matemático (logístico)	22
1.7.5	Método de proporción y correlación	23
1.7.6	Método de las componentes	23
Capítulo 2.	Obras de captación	
2.1	Generalidades	37
2.2	Criterios de localización para captaciones en ríos y manantiales	37
2.3	Criterios de localización para captaciones en embalses y lagos	39
2.3.1	Funciones de las obras de captación en embalses	40
2.4	Posición de las obras de captación en relación con los niveles del agua en el embalse	40
2.5	Tipos de obras de captación	41
2.5.1	Bocatoma o captación lateral	41
2.5.2	Captación por vertederos laterales	51
2.5.2.1	Consideraciones generales	51
2.5.2.2	Teoría de vertederos laterales	51
2.5.2.2.1	Para gasto creciente	51
2.5.2.2.2	Para gasto decreciente	60
2.5.3.	Tomas laterales	68
2.5.4	Captación con lecho filtrante	71
2.5.4.1	Componentes del sistema	73
2.5.4.1.1	Dique o presa	73
2.5.4.1.2	Sistemas de recolección	73
2.5.4.1.3	Empaque de grava	74
2.5.4.1.4	Decantador de flujo ascendente	75
2.5.4.1.5	Compuerta o válvula de lavado	75
2.5.4.1.6	Válvula de flotador	75
2.5.4.1.7	Sistema de desinfección	76
2.5.4.2	Ventajas de un sistema de captación a través de un lecho filtrante	76
2.5.4.3	Lavado del lecho filtrante	77

2.5.4.4	Esquemas propuestos para bocatomas de lecho filtrante	78
2.5.4.5	Procedimiento para el diseño de un sistema de captación con lecho filtrante	78
2.5.5	Captación sumergida tipo dique-toma	98
2.5.5.1	Bocatoma sumergida (caudales mayores)	104
2.5.5.1.1	Parámetros generales de diseño	109
2.5.5.2	Captación dique-toma (caudales moderados)	115
2.5.5.2.1	Procedimiento para el diseño hidráulico de un dique-toma (Caudales moderados)	116
2.5.5.3	Diseño estructural de un dique-toma	126
2.5.5.3.1	Diseño de la estabilidad	126
2.5.5.3.1.1	Fuerza actuantes	127
2.5.5.3.1.1	Posición de la resultante	129
2.5.5.3.1.2	Verificación del volcamiento	129
2.5.5.3.2	Diseño estructural	130
2.5.5.3.2.1	Diseño a flexión	136
2.5.5.3.2.2	Acero para efectos de retracción y fraguado	138
2.5.5.3.2.3	Refuerzo para la llave o dentellón	139
2.5.5.3.3	Anclaje a la ribera de la fuente	140
2.5.6	Bocatoma tubular basculante [10]	141
2.5.6.1	Componentes de una bocatoma tubular basculante	141
2.5.6.2	Diseño hidráulico inicial de la bocatoma tubular basculante*	143
2.5.6.3	Prueba de laboratorio en bocatoma tubular con modelo a escala	145
2.5.6.4	Conclusiones	147
2.5.7	Captación de aguas lluvias	154
2.5.7.1	Procedimiento para el diseño de cisternas para recolección de aguas lluvias	154
2.5.7.1.1	Procedimiento primer caso	154
2.5.7.1.2	Procedimiento segundo caso	156
Capítulo 3.	Línea de Aducción	179
Capítulo 4	Desarenadores	183
4.1	Zonas de un desarenador	192
4.1.1	Partícula crítica	192
4.1.2	Eficiencia teórica de un desarenador. Ejemplo de aplicación	194
4.1.3	Zona de lodos	195
4.1.4	Zona de salida	195
4.2	Dispositivos necesarios en un desarenador	195
4.2.1	Vertedero de excesos	195
4.2.2	Pantalla deflectora	195
4.2.3	Cortina para sólidos flotantes	196
4.2.4	Vertedero de salida	196

4.2.5	Válvula de compuerta a la entrada en la línea de aducción	196
4.2.6	Válvula de compuerta a la salida del desarenador en la línea de conducción	196
4.2.7	Tubería de rebose	196
4.2.8	Cámara de inspección	196
Capítulo 5.	Conducciones	213
5.1	Generalidades	213
5.2	Conductos cerrados a presión	213
5.2.1	Método científico	217
5.2.2	Método del factor de conducción K	228
5.2.3	Líneas de carga. Posición de las tuberías	239
5.2.3.1	Posición de las tuberías en relación con la línea de carga.	240
5.2.3.1.1	Primera posición	240
5.2.3.1.2	Segunda posición	241
5.2.3.1.3	Tercera posición	242
5.2.3.1.4	Cuarta posición	243
5.2.3.1.5	Quinta posición	243
5.2.3.1.6	Sexta posición	244
5.2.3.1.7	Séptima posición	244
5.2.4	Criterios de diseño	245
5.2.4.1	Carga estática disponible	245
5.2.4.2	Caudal de diseño	247
5.2.4.3	Diámetro	247
5.2.4.4	Clase de tubería para soportar las presiones hidrostáticas	249
5.3	Dispositivos en líneas de conducción	254
5.3.1	Tanques para quiebre de presión	256
5.3.2	Válvulas reguladoras de presión	259
5.3.2.1	Partes	259
5.3.2.1.1	Válvula propiamente dicha	259
5.3.2.1.2	Válvula piloto	259
5.3.2.1.3	Válvula de aguja	260
5.3.2.1.4	Accesorios opcionales	260
5.3.2.2	Funcionamiento	260
5.3.2.3	Diseño	260
5.3.2.3.1	Procedimiento de diseño	261
5.3.2.3.1.1	Verificación de la cavitación	261
5.3.2.3.1.2	Dimensionamiento de la válvula reguladora	264
5.3.2.3.1.3	Disposición de la estación reguladora	264
5.3.3	Válvulas de aire o ventosas	272
5.3.3.1	Partes y materiales	272
5.3.3.2	Razones para su instalación	273
5.3.3.3	Características de funcionamiento	273

5.3.3.4	Puntos estratégicos de instalación	273
5.3.3.5	Selección de las ventosas	274
5.3.3.5.1	Válvula de una cámara o sencilla	274
5.3.3.5.2	Válvulas de doble cámara o automáticas	275
5.3.3.6	Prevención de riesgos ocasionados por el aire durante el llenado de la tubería	276
5.3.3.6.1	Velocidad de llenado	277
5.3.3.6.2	Evacuación del aire	277
5.3.3.6.3	Algunos tipos de ventosa	277
5.3.4	Válvulas de purga	278
5.3.4.1	Válvula de compuerta sello elástico	279
5.3.4.1.1	Características generales	279
5.3.4.1.2	Partes y materiales	280
5.3.4.2	Válvulas de compuerta elástica	281
5.3.4.2.1	Características	281
5.3.4.2.2	Descripción de componentes	282
5.3.4.2.2.1	Cajas de sello	282
5.3.4.2.2.2	Vástago	282
5.3.4.2.2.3	Tapa	282
5.3.4.2.2.4	Sello de cuerpo	282
5.3.4.2.2.5	Guías de compuertas	282
5.3.4.2.2.6	Cuña elástica para válvula de paso libre	283
5.3.4.2.3	Dimensiones generales para válvulas de compuerta elástica	283
5.3.4.2.4	Operación de válvula de compuerta elástica	283
5.3.4.2.4.1	Abrir y cerrar la válvula	283
5.3.4.2.4.2	Precauciones de almacenamiento, transporte e instalación	284
5.3.4.2.5	Dimensiones generales para llaves de operación de válvulas	284
5.3.4.2.6	Prueba hidráulica	284
5.3.4.2.7	Ventajas de las válvulas de compuerta elástica. Comparación con las válvulas convencionales	285
5.3.5	Anclajes para tubería de conducción a presión	287
5.3.5.1	Empujes debidos a la presión estática	287
5.3.5.2	Esfuerzo debido a presión dinámica	288
5.3.6	Golpe de ariete	292
5.4	Canales abiertos	296
5.4.1	Clasificación	296
5.4.1.1	Prismáticos	296
5.4.1.2	Canal	296
5.4.1.3	Medidor de régimen crítico	297
5.4.1.4	Canal de pendiente fuerte	297
5.4.1.5	Disipadores	297
5.4.1.6	Alcantarilla	297
5.4.2	Elementos de la sección de un canal (Ver tabla 5.16)	297

5.4.2.1	Tirante del flujo	297
5.4.2.2	Nivel de agua	298
5.4.2.3	Ancho superficial, T	299
5.4.2.4	Área hidráulica, A	299
5.4.2.5	Perímetro mojado, P	299
5.4.2.6	Radio hidráulico, R	299
5.4.2.7	Tirante hidráulico D	299
5.4.3	Diseño de canales revestidos	311
5.4.3.1	Procedimiento para el diseño de canales revestidos	312
5.4.4	Canales no revestidos o erosionables	315
5.4.4.1	Tipos de secciones inestables	315
5.4.4.2	Análisis de las fuerzas en el fondo del canal	318
5.4.4.3	Análisis de las fuerzas en el talud del canal	319
5.4.4.4	Procedimiento de diseño de canales no revestidos método de la fuerza tractiva	321
Capítulo 6.	Tanques reguladores o de almacenamiento	351
6.1	Diseño de tanques reguladores	351
6.1.1	Capacidad	351
6.1.1.1	Compensación de las variaciones horarias	352
6.1.1.1.1	Alimentación por gravedad	352
6.1.1.1.2	Alimentación por bombeo	354
6.1.1.2	Reserva para emergencia por incendio	360
6.1.1.3	Provisión de reserva para cubrir interrupciones por daños en componentes del sistema	360
6.1.2	Localización de los tanques reguladores	360
6.1.3	Tipos de tanques según el soporte	362
6.1.4	Accesorios complementarios	362
6.1.4.1	Tubería de llegada al tanque	362
6.1.4.2	Tubería de salida	362
6.1.4.3	Tubería de lavado del tanque	365
6.1.4.4	Tubería de rebose	366
6.2	Análisis estructural de tanques de almacenamiento	367
6.2.1	Características de los tanques de almacenamiento	367
6.2.1.1	Tabla de bares	368
6.2.1.2	Teoría de cálculo	368
6.2.1.3	Influencia del módulo de Poisson	369
6.2.1.4	Manejo de las tablas	369
6.2.1.5	Diseño de las paredes	369
6.2.1.6	Diseño de la cubierta	370
6.2.1.7	Diseño de paredes sometidas a empuje de tierras	370
6.2.1.8	Análisis de cargas	370
6.2.1.8.1	Para las paredes	370

6.2.1.8.2	Para la cubierta	370
6.2.2	Tanques elevados, consideraciones de diseño	370
6.2.2.1	Losa de cubierta	370
6.2.2.1.1	Tipo de losa	370
6.2.2.1.2.	Diseño de losa de cubierta	371
6.2.2.2	Paredes de los tanques	371
6.2.2.3	Losa de fondo	372
6.2.3	Análisis y prediseño de vigas	373
6.2.4	Pórticos	373
6.2.4.1	Carga vertical	374
6.2.4.2	Cargas horizontales	374
6.2.5	Diseño de columnas	374
6.2.5.1	Procedimiento para el cálculo de columnas	374
6.2.6	Zapatas	375
6.2.7	Memoria de cálculos	375
6.2.7.1	Tanque enterrado (capacidad = 54m ³)	375
6.2.7.2	Tanque superficial (Capacidad 85 m ³)	378
6.2.7.3	Tanque elevado (Capacidad 10 m ³)	381
Capítulo 7.	Redes de distribución	409
7.1	Generalidades	409
7.2	Tipos de redes	411
7.2.1	Tipo ramificado	411
7.2.1.1	Procedimiento para elaborar la tabla de cálculo de red ramificada	413
7.2.2	Tipo mallado	416
7.3	Sistemas de gravedad	417
7.4	Sistemas de bombeo	417
7.4.1	Bombeo con almacenamiento	417
7.4.2	Bombeo sin almacenamiento	418
7.5	Métodos de solución de redes	418
7.5.1	Método de la superficie de energía	418
7.5.1.1	Cálculo de la red	419
7.5.2	Métodos sistematizados	436
7.5.2.1	Generalidades	436
7.5.2.2	Métodos de cálculos	436
7.5.2.2.1	Análisis de flujo en redes malladas	436
7.5.2.2.2	Flujo de agua en una red de tubería	437
7.5.2.2.3	Métodos de análisis propuestos	438
7.5.2.2.3.1	Métodos de cabezas balanceadas	438
7.5.2.2.3.1.1	Presentación del método	438
7.5.2.2.3.1.2	Demostración del método	439
7.5.2.2.3.2	Método de flujos balanceados	444
7.5.2.2.3.2.1	Presentación del método	444

7.5.2.3	Método de Newton - Raphson	450
7.5.2.4	Método de la teoría lineal	462
7.6	Domiciliarias	465
7.7	Medidores	467
7.8	Diafragmas	467
Capítulo 8.	Bombas y estaciones de bombeo	473
8.1	Introducción y clasificación de las bombas	473
8.1.1	Definición de bomba	473
8.1.2	Clasificación de las bombas	474
8.1.2.1	Dinámicas	474
8.1.2.2	De desplazamiento	474
8.1.3	Bombas rotodinámicas (centrífugas)	474
8.1.3.1	Clasificación de las bombas rotodinámicas	477
8.1.3.2	Elementos constitutivos de una bomba rotodinámica (centrífuga)	480
8.1.3.3	Teoría de bombas rotodinámicas	480
8.1.3.3.1	Ecuación fundamental de las bombas centrífugas (Ecuación de Euler) ...	481
8.1.3.3.2	Triángulo de velocidades	485
8.1.3.3.3	Altura útil o efectiva de una bomba (H_u)	487
8.1.3.3.4	Pérdidas de carga en bombas	488
8.1.3.3.5	Potencias de una bomba	489
8.1.3.3.5.1	Potencia de accionamiento, P_a	489
8.1.3.3.5.2	Potencia interna, P_i	490
8.1.3.3.5.3	Potencia útil, P_u	490
8.1.3.3.6	Eficiencias en bombas	490
8.1.3.3.6.1	Eficiencia hidráulica, η_h	490
8.1.3.3.6.2	Eficiencia volumétrica, η_v	490
8.1.3.3.6.3	Eficiencia interna, η_i	491
8.1.3.3.6.4	Eficiencia mecánica, η_m	491
8.1.3.3.6.5	Eficiencia total, η_{total}	491
8.1.3.3.6.6	Relación entre las eficiencias	491
8.1.3.3.7	Términos y criterios utilizados en bombeos	491
8.1.3.3.7.1	Altura estática total	491
8.1.3.3.7.2	Altura estática de descarga	491
8.1.3.3.7.3	Altura o columna de fricción	492
8.1.3.3.7.4	Altura o cabeza de velocidad	492
8.1.3.3.7.5	Altura estática de succión	492
8.1.3.3.7.6	Altura dinámica de succión	493
8.1.3.3.7.7	Altura dinámica de impulsión	493
8.1.3.3.7.8	Altura dinámica total	493
8.1.3.3.7.9	Presión de vapor	494
8.1.3.3.7.10	Cabeza neta positiva de succión disponible (NPSDd)	494
8.1.3.3.7.11	Cabeza neta positiva de succión requerida (NPSHR)	495

8.1.3.3.7.12	Cavitación	496
8.1.3.3.7.13	Altura de succión máxima de la bomba $H_s \max$	496
8.1.3.3.8	Comportamiento de las bombas centrífugas	497
8.1.3.3.9	Curvas características	499
8.1.3.3.9.1	Ensayo elemental de una bomba	499
8.1.3.3.9.2	Ensayo completo de una bomba	501
8.1.4	La estación de bombeo	504
8.1.4.1	Diseños recomendados de pozo y succión para una bomba	507
8.1.4.2	Para varias bombas	518
8.1.4.3	Para varias bombas en pozo seco	518
8.1.4.4	Otras recomendaciones	518
8.1.4.5	Salón de bombas	520
8.1.4.6	Golpe de ariete en la estación de bombeo	521
8.1.4.6.1	Consideraciones teóricas	521
8.1.4.6.2	Golpe de ariete sin incluir el efecto de inercia y con válvula de retención en la tubería	521
8.1.4.7	Operación de bombas en serie y en paralelo	521
8.1.4.7.1	Operación en paralelo	524
8.1.4.7.2	Operación en serie	526
Capítulo 9.	Agua subterránea y pozos	549
9.1	Hidrología básica. Introducción	549
9.2	Desarrollo de la hidrogeología	549
9.2.1	Los albores de la hidrología práctica	549
9.2.1.1	La hidrogeología en las antiguas Grecia y Roma	550
9.2.2	El reconocimiento de la hidrogeología científica	551
9.2.3	Modernización de la hidrogeología	551
9.3	Ciclo hidrológico	554
9.3.1	Magnitud de los recursos de agua subterránea	554
9.3.1.1	Ecuación general del ciclo hidrológico	556
9.3.2	Análisis de hidrogramas y su significado hidrológico	557
9.3.2.1	Componentes del hidrograma y constantes de recesión	557
9.3.2.2	Cálculo de la capacidad de almacenamiento del acuífero en la cuenca hidrogeológica	561
9.4	Ocurrencia del agua subterránea	562
9.4.1	Distribución vertical del agua subterránea	563
9.4.1.1	Acuíferos	564
9.4.1.2	Acuicierres (capas confinantes)	564
9.4.1.3	Acuifugas (capas confinantes)	564
9.4.2	Clase de acuíferos	565
9.4.2.1	Acuíferos libres	565
9.4.2.2	Acuíferos confinados	565
9.4.2.3	Acuíferos semiconfinados	566

9.4.3.	Clasificación de las rocas de acuerdo con las características de sus intersticios	566
9.4.4.	Factores regionales que controlan la presencia y distribución del agua subterránea	568
9.4.5	Manantiales	571
9.4.6	Fluctuaciones del nivel piezométrico	572
9.4.6.1	Variaciones seculares	573
9.4.6.2	Fluctuaciones periódicas	574
9.4.6.2.1	Lluvia	574
9.4.6.2.2	Evapotranspiración	574
9.4.6.2.3	Vientos	575
9.4.6.2.4	Mareas	575
9.4.6.3	Fluctuaciones ocasionales	577
9.4.6.4	Fluctuaciones artificiales	578
9.4.7	Compresibilidad y elasticidad de los acuíferos	578
9.5	Movimiento del agua subterránea	580
9.5.1	Flujo a escalas microscópica y macroscópica	580
9.5.2	Porosidad total y efectiva	582
9.5.3	Dirección y velocidad del agua subterránea	583
9.5.3.1	Determinación de la velocidad	585
9.5.3.2	Trazadores	585
9.5.4	Redes de flujo subterráneo	587
9.5.4.1	Construcción de redes de flujo	587
9.5.4.1.1	Piezométricos	587
9.5.4.2	Interpretación y aplicación de las redes de flujo	588
9.6	Características hidráulicas de los acuíferos	593
9.6.1	Porosidad	595
9.6.2	Rendimiento específico	595
9.6.3	Retención específica	595
9.6.4	Permeabilidad "K"	596
9.6.5	Conductividad hidráulica "K"	596
9.6.6	Transmisividad "T"	598
9.6.7	Coeficiente de almacenamiento "S"	598
9.7	Determinación de las características hidráulicas	599
9.8	Pozos	600
9.8.1	Tipos de pozos	600
9.8.2	Hidráulica de pozos	600
9.8.2.1	Flujo convergente	603
9.8.2.2	Flujo inicial desde el acuífero al pozo	606
9.8.2.4	Determinación de la permeabilidad del acuífero	614
9.8.2.5	Relación entre el diámetro del pozo y la descarga	618
9.8.2.7	Régimen de no equilibrio	620
9.8.3	Diseño de pozos	626

9.8.3.1	Profundidad del pozo	626
9.8.3.2	Tubería de ademe	627
9.8.3.3	Diámetro de la cámara de bombeo	627
9.8.3.4	Espesor de tuberías	627
9.8.3.5	Longitud de tubería productora	628
9.8.3.6	Aberturas del cedazo	629
9.8.3.7	Diseño del filtro de grava	631
9.8.4	Construcción de pozos	631
9.8.4.1	Tipos de pozos	632
9.8.4.1.1	Pozos excavados	632
9.8.4.1.2	Pozos hincados	632
9.8.4.1.3	Construcción de pozos perforados profundos	633
9.8.4.1.3.1	Método estándar	633
9.8.4.1.3.2	Método californiano	633
9.8.4.1.3.3	Método de rotación hidráulica	633
9.8.4.1.3.4	Método de inyección	635
9.8.4.1.3.5	Método de taladro tubular	635
9.8.5	Lavado de pozos	635
9.8.5.1	Lavado primario del pozo	636
9.8.5.2	Limpieza y agitación mecánica del pozo	636
9.8.5.3	Procedimiento de limpieza	636
9.8.6	Protección sanitaria	638
Bibliografía		639