

INDICE DE MATERIAS

1. DESARROLLO Y TENDENCIAS DE LA INGENIERIA SANITARIA	1
1.1. Recogida	1
1.1.1. Antecedentes	2
1.1.2. Tendencias y desarrollos recientes	3
1.2. Tratamiento	4
1.2.1. Antecedentes	4
1.2.2. Ultimas tendencias y desarrollo	7
1.3. Evacuación	9
1.3.1. Antecedentes	9
1.3.2. Modernos desarrollos y tendencias	10
1.3.3. Evacuación de fangos y contaminantes con- centrados	11
Bibliografía	11
2. DETERMINACION DE CAUDALES DE AGUAS RESIDUALES ..	13
2.1. Planes generales de saneamiento	13
2.1.1. Crecimiento de la comunidad	14
2.1.2. Instalaciones de saneamiento existentes	14
2.1.3. Criterios de proyecto	15
2.1.4. Instalaciones de saneamiento recomendadas..	15
2.1.5. Programa de ejecución	16
2.2. Estudio de población	16
2.2.1. Fuentes de información	16
2.2.2. Densidad y distribución de población	16
2.2.3. Previsiones de población	17
2.3. Consumo de agua	25
2.3.1. Consumo de agua en Estados Unidos	25
2.3.2. Consumo de agua en las ciudades	27
2.3.3. Consumo de agua en distintos tipos de estable- cimientos	28
2.3.4. Fluctuaciones en el consumo de agua	32
2.3.5. Proporción del agua de abastecimiento muni- cipal que llega a las alcantarillas	33

2.4.	Caudales de aguas residuales	34
2.4.1.	Procedencia de las aguas residuales	34
2.4.2.	Variaciones en el caudal de aguas residuales	36
2.5.	Aguas pluviales	41
2.6.	Infiltración de agua subterránea	41
2.6.1.	Infiltración en las alcantarillas	42
2.6.2.	Tolerancias de infiltración a efectos del proyecto	44
2.6.3.	Medidas de la infiltración y pérdidas	45
Problemas	.....	45
Bibliografía	.....	47
3. HIDRAULICA DE LAS ALCANTARILLAS	.....	49
3.1.	Fundamentos de mecánica de los fluidos	49
3.1.1.	Definición de términos	49
3.1.2.	Ecuación de continuidad	51
3.1.3.	La ecuación de la energía	53
3.1.4.	Ecuación de la cantidad de movimiento	55
3.2.	Ecuaciones del flujo	57
3.2.1.	Fórmulas de Chezy y Darcy-Weisbach	58
3.2.2.	La ecuación de Manning	59
3.2.3.	Fórmula de Kutter	63
3.2.4.	Fórmula de Hazen-Williams	64
3.2.5.	Ecuaciones de flujo laminar	64
3.3.	Flujo en tuberías y canales	65
3.3.1.	Flujo en tuberías con sección llena	65
3.3.2.	Flujo en secciones parcialmente llenas	70
3.3.3.	Diferentes secciones de alcantarillas	72
3.3.4.	Flujo en canales	74
3.4.	Flujo no uniforme	75
3.4.1.	Ecuación general para el flujo no uniforme ...	75
3.4.2.	Transiciones y confluencias	83
3.4.3.	Elevación lateral de la superficie del agua en las curvas	85
3.5.	Otras pérdidas de energía no originadas por rozamiento	86
3.5.1.	Energía cinética; altura dinámica	86
3.5.2.	Embocaduras	87
3.5.3.	Contracción brusca	87
3.5.4.	Ensanchamiento brusco	88
3.5.5.	Válvulas	88
3.5.6.	Curvas	88
3.6.	Métodos para medir el caudal de agua	89
3.6.1.	Orificios	90
3.6.2.	Vertederos	91
3.6.3.	Tubo de Venturi	94
3.6.4.	Toberas	97
3.6.5.	Canal de aforo Parshall	98
3.6.6.	Canales de aforo Palmer-Bowlus	98

3.6.7.	Aberturas de contracción	99
3.6.8.	Tubo California	100
3.6.9.	Cálculo basado en las medidas de calado y pendiente	101
3.6.10.	Trazadores químicos y radiactivos	101
3.6.11.	Medidores magnéticos de caudal	102
3.6.12.	Molinetes	104
3.6.13.	Tubos de Pitot	104
3.6.14.	Medidas por flotación	105
3.6.15.	Trazadores con colorantes	105
3.6.16.	Métodos eléctricos	106
Problemas	.....	106
Bibliografía	.....	107
4. PROYECTO DE ALCANTARILLAS	.....	109
4.1.	Alcantarillas para aguas residuales	109
4.1.1.	Informaciones básicas y preliminares	110
4.1.2.	Consideraciones en torno al proyecto. Justificación de soluciones	112
4.1.3.	Proyecto de una red de alcantarillado para aguas residuales	118
4.1.4.	Preparación del pliego de condiciones, prescripciones técnicas y planos de contrata	122
4.2.	Alcantarillas pluviales o unitarias	123
4.2.1.	Planos de situación y perfiles longitudinales ..	124
4.2.2.	Caudal de aguas pluviales	124
4.2.3.	Proyecto de alcantarillas unitarias o pluviales.	126
4.2.4.	Condiciones de bajo caudal en las alcantarillas unitarias	129
Problemas	.....	132
Bibliografía	.....	133
5. INSTALACIONES COMPLEMENTARIAS Y ESTRUCTURAS ESPECIALES DE LAS ALCANTARILLAS	.....	135
5.1.	Pozos de registro	136
5.1.1.	Pozos de registro con caída incorporada	139
5.1.2.	Pates o peldaños de los pozos de registro	139
5.1.3.	Marcos y tapas de pozos de registro	139
5.2.	Imbornales	143
5.2.1.	Piezas fundidas para imbornales	146
5.2.2.	Tipos de imbornales	147
5.2.3.	Hidráulica de los imbornales	149
5.3.	Sumideros	156
5.4.	Dispositivo de limpieza por descarga de agua	158

5.5.	Conexiones a los edificios	158
5.6.	Estructuras especiales	159
5.7.	Confluencias	161
5.8.	Sifones invertidos	161
5.9.	Dispositivos reguladores	167
5.10.	Aliviaderos	168
5.10.1.	Vertederos laterales	169
5.10.2.	Vertederos laterales con deflectores	177
5.10.3.	Vertederos transversales	178
5.10.4.	Vertederos de salto	179
5.10.5.	Sifones aliviadero	179
5.10.6.	Estructura de derivación de orificio fijo	181
5.11.	Salidas	183
5.12.	Compuertas de mareas	183
5.13.	Ventilación y renovación del aire	183
Problemas	.....	186
Bibliografía	.....	186
6. BOMBAS Y ESTACIONES DE BOMBEO	.....	189
6.1.	Bombas	189
6.1.1.	Bombas centrífugas	190
6.1.2.	Bombas de desplazamiento positivo	193
6.1.3.	Características operativas de las bombas	194
6.1.4.	Construcción de bombas	197
6.1.5.	Bombas especiales	198
6.2.	Accionamientos de bombas	200
6.2.1.	Motores eléctricos	201
6.2.2.	Motores de combustión interna	203
6.3.	Elección de bombas para aguas residuales	203
6.3.1.	Determinación del caudal de proyecto	203
6.3.2.	Consideraciones generales en la elección de bombas	204
6.3.3.	Análisis del sistema	205
6.4.	Estaciones de bombeo	209
6.4.1.	Tipos de estaciones de bombeo	211
6.4.2.	Detalles del proyecto de una estación de bombeo	216
6.4.3.	Detalles del proyecto de la tubería de impulsión	227
Problemas	.....	234
Bibliografía	.....	235
7. CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES	.....	237
7.1.	Análisis de aguas residuales	237
7.1.1.	Expresión de los resultados analíticos	239
7.1.2.	Composición	239

7.1.3.	Variaciones de caudal e intensidad de agua residual	242
7.2.	Características físicas: Definición y aplicación	243
7.2.1.	Sólidos totales	244
7.2.2.	Temperatura	246
7.2.3.	Color	247
7.2.4.	Olores	247
7.3.	Características químicas: Definición y aplicación	248
7.3.1.	Materia orgánica	248
7.3.2.	Medidas del contenido orgánico	252
7.3.3.	Materia inorgánica	266
7.3.4.	Gases	272
7.4.	Características biológicas: Definición y aplicación	274
7.4.1.	Microorganismos	274
7.4.2.	Organismos coliformes	276
7.4.3.	Ensayos biológicos	279
Problemas	.....	281
Bibliografía	.....	283
8. OPERACIONES FISICAS UNITARIAS	.....	285
8.1.	Desbaste	286
8.1.1.	Rejas	287
8.1.2.	Tamices	289
8.2.	Mezclado	290
8.2.1.	Tipos de mezcladores	290
8.2.2.	Teoría	291
8.2.3.	Análisis	293
8.3.	Floculación	294
8.4.	Sedimentación	295
8.4.1.	Sedimentación tipo 1	296
8.4.2.	Sedimentación tipo 2	302
8.4.3.	Sedimentación zonal y por compresión	304
8.4.4.	Velocidad de arrastre	309
8.5.	Flotación	310
8.5.1.	Tipos de sistemas	318
8.5.2.	Aditivos químicos	312
8.5.3.	Análisis	313
8.6.	Elutriación	316
8.6.1.	Tanque único	317
8.6.2.	Tanques múltiples	317
8.7.	Filtración por vacío	318
8.7.1.	Teoría	320
8.7.2.	Análisis	323
8.8.	Transmisión térmica	323
8.8.1.	Teoría	324
8.8.2.	Análisis	328
8.9.	Secado	332
8.9.1.	Teoría	332

8.9.2. Secado instantáneo	333
8.9.3. Secaderos rotativos	333
8.9.4. Incinerador	335
Problemas	337
Bibliografía	339
9. PROCESOS QUIMICOS UNITARIOS	341
9.1. Cinética de reacción	341
9.1.1. Orden de reacción	342
9.1.2. Efecto de la temperatura	343
9.2. Precipitación química	345
9.2.1. Productos químicos	345
9.2.2. Reacciones químicas (simplificadas)	346
9.2.3. Reacciones (simplificadas) para la eliminación del fosfato	350
9.2.4. Acción de los precipitantes químicos	352
9.3. Transferencia de gases	357
9.3.1. Teoría	357
9.3.2. Análisis	361
9.4. Adsorción	363
9.4.1. Teoría	364
9.4.2. Análisis	367
9.5. Desinfección	371
9.5.1. Agentes y medios	371
9.5.2. Factores que influyen en la acción de los des- infectantes	373
9.5.3. Desinfección con cloro	378
9.6. Combustión	382
9.6.1. Combustión seca	382
9.6.2. Proceso de oxidación por vía húmeda	386
Problemas	387
Bibliografía	389
10. PROCESOS BIOLÓGICOS UNITARIOS	391
10.1. Algunos fundamentos de microbiología	392
10.1.1. Conceptos básicos	392
10.1.2. Microorganismos importantes	394
10.1.3. Fisiología de la célula	400
10.1.4. Ciclos aerobio y anaerobio	404
10.2. Crecimiento bacteriano	407
10.2.1. Características generales del crecimiento	407
10.2.2. Cinética del crecimiento biológico	410
10.2.3. Aplicación de la cinética a los sistemas de tra- tamiento	414
10.3. Procesos de tratamiento biológico	429
10.3.1. Tratamiento aerobio de aguas residuales	429

10.3.2.	Tratamiento anaerobio de aguas residuales ..	437
10.3.3.	Tratamiento residual aerobio-anaerobio	440
Problemas	.....	441
Bibliografía	.....	442
11. PROYECTO DE INSTALACIONES PARA TRATAMIENTO FISICO Y QUIMICO DE AGUAS RESIDUALES	.....	445
11.1.	Rejas, tamices y trituradores	446
11.1.1.	Rejas	446
11.1.2.	Tamices	452
11.1.3.	Cantidad de basuras	453
11.1.4.	Eliminación de las basuras	453
11.1.5.	Trituradores	454
11.2.	Desarenadores	456
11.2.1.	Tipos de desarenadores	457
11.2.2.	Cantidades de arena	466
11.2.3.	Eliminación de la arena	466
11.3.	Pretratamiento	467
11.3.1.	Tanques separadores de grasas	468
11.3.2.	Colectores de grasas	468
11.3.3.	Preaireación	468
11.3.4.	Floculación	469
11.4.	Tanques de sedimentación primaria	470
11.4.1.	Bases de proyecto	471
11.4.2.	Tipo, tamaño y forma de los tanques	473
11.4.3.	Cantidades de fango	476
11.5.	Otras unidades y operaciones para la separación de sólidos	479
11.5.1.	Flotación	479
11.5.2.	Tanques Imhoff y fosas sépticas	480
11.6.	Tratamiento químico	483
11.6.1.	Primeros procesos de tratamiento químico ...	484
11.6.2.	Aplicaciones recientes del tratamiento químico.	485
11.6.3.	Cantidad de fango	488
11.6.4.	Eliminación del fango	489
11.7.	Bombeo de fangos y espumas	490
11.7.1.	Bombas	490
11.7.2.	Determinación de la pérdida de carga	492
11.7.3.	Aplicación de bombas a los diversos tipos de fango	495
11.8.	Cloración	496
11.8.1.	Aplicación	496
11.8.2.	Compuestos del cloro	498
11.8.3.	Equipo de cloración y control de la dosificación.	500
11.8.4.	Tanques de cloración	503
11.9.	Control del olor	504
Problemas	.....	505
Bibliografía	.....	506

12. PROYECTO DE INSTALACIONES PARA EL TRATAMIENTO BIOLÓGICO DEL AGUA RESIDUAL	507
12.1. El proceso de fangos activados	507
12.1.1. Consideraciones sobre el diseño del proceso ...	509
12.1.2. Tipos de procesos y modificaciones	523
12.1.3. Diseño de instalaciones de aireación por difusión	533
12.1.4. Diseño de aireadores mecánicos	544
12.1.5. Diseño de aparatos y de depósitos de aireación.	548
12.1.6. Diseño de instalaciones para la separación de sólidos	553
12.1.7. Dificultades operacionales	561
12.2. Filtros percoladores	564
12.2.1. Clasificación de filtros	564
12.2.2. Consideraciones sobre el diseño del proceso ..	565
12.2.3. Diseño de las instalaciones	569
12.3. Lagunas aireadas	574
12.3.1. Tipos de lagunas aireadas	574
12.3.2. Consideraciones sobre el diseño del proceso ...	575
12.4. Estanques de estabilización	582
12.4.1. Clasificación de los estanques	583
12.4.2. Aplicación	586
12.4.3. Consideraciones sobre el diseño del proceso ...	587
12.4.4. Diseño de las instalaciones	598
Problemas	601
Bibliografía	603
13. DISEÑO DE INSTALACIONES PARA EL TRATAMIENTO Y EVACUACION DEL FANGO	607
13.1. Diagramas de proceso de tratamiento del fango	608
13.2. Procedencia, cantidad y características del fango	608
13.2.1. Procedencia	608
13.2.2. Cantidad	612
13.2.3. Características	617
13.3. Concentración del fango	619
13.3.1. Concentración por separado	619
13.3.2. Reducción de volumen	620
13.3.3. Proyecto de espesadores	621
13.4. Digestión anaerobia del fango	624
13.4.1. Descripción del proceso	625
13.4.2. Proyecto del proceso	629
13.4.3. Producción, recogida y utilización del gas	638
13.4.4. Variaciones del proceso	640
13.5. Digestión aerobia	641
13.5.1. Descripción del proceso	642
13.5.2. Proyecto del proceso	643
13.6. Acondicionamiento del fango	646
13.6.1. Elutriación	646
13.6.2. Acondicionamiento químico	647

13.6.3.	Tratamiento térmico	649
13.6.4.	Otros procesos	650
13.7.	Deshidratación y secado del fango	650
13.7.1.	Deshidratación	650
13.7.2.	Secado térmico	657
13.8.2.	Oxidación por vía húmeda	660
13.9.	Evacuación final de fangos y cenizas	660
13.9.1.	Evacuación sobre el terreno	661
13.9.2.	Vertido al mar	663
Problemas	.....	663
Bibliografía	.....	665
14. TRATAMIENTO AVANZADO DE AGUAS RESIDUALES	.....	667
14.1.	Efectos de los elementos químicos presentes en el agua residual	667
14.2.	Procesos y operaciones unitarias	669
14.2.1.	Clasificación	669
14.2.2.	Selección del proceso	669
14.3.	Operaciones físicas unitarias	672
14.3.1.	Separación del amoníaco por arrastre de aire.	672
14.3.2.	Filtración	678
14.3.3.	Otras operaciones	686
14.4.	Procesos químicos unitarios	688
14.4.1.	Adsorción por carbón	688
14.4.2.	Precipitación química	689
14.4.3.	Precipitación química en el tratamiento biológico	689
14.4.4.	Intercambio iónico	690
14.4.5.	Otros procesos	694
14.5.	Procesos biológicos unitarios	696
14.5.1.	Asimilación bacteriana	696
14.5.2.	Cultivo de algas	698
14.5.3.	Nitrificación-desnitrificación	698
14.6.	Evacuación final de contaminantes	705
Problemas	.....	706
Bibliografía	.....	707
15. CONTROL DE LA POLUCION DEL AGUA Y EVAPORACION DE EFLUENTES	.....	711
15.1.	Control de la polución del agua	712
15.1.1.	Normas sobre aguas receptoras	712
15.1.2.	Normas sobre efluentes	712
15.1.3.	Establecimiento de normas	713
15.2.	Eliminación del efluente por dilución	714
15.2.1.	Vertido a los lagos	715
15.2.3.	Vertido en ríos	718

	15.2.3. Vertido en estuarios	726
	15.2.4. Vertido al mar	730
15.3.	Métodos de evacuación del efluente al terreno	740
	15.3.1. Aspersión	740
	15.3.2. Estanques de evaporación	740
15.4.	Reutilización directa e indirecta del agua residual	741
	15.4.1. Reutilización municipal	742
	15.4.2. Reutilización industrial	743
	15.4.3. Reutilización agrícola	743
	15.4.4. Reutilización en zonas de recreo	743
	15.4.5. Recarga de acuíferos	744
Problemas		744
Bibliografía		745
16. ESTUDIO SOBRE TRATABILIDAD DEL AGUA RESIDUAL		747
16.1.	Fases previas	748
	16.1.1. Identificación del problema	748
	16.1.2. Análisis de requisitos	748
16.2.	Examen del agua residual	749
	16.2.1. Caracterización del agua residual del vertido ..	749
	16.2.2. Observaciones «in situ»	754
	16.2.3. Análisis y modificación del proceso	754
16.3.	Análisis de los posibles tratamientos	755
	16.3.1. Exploración preliminar	755
	16.3.2. Exploración profunda	757
16.4.	Valoración en laboratorio	758
	16.4.1. Fangos activados	758
	16.4.2. Tratamiento anaerobio	763
	16.4.3. Adsorción con carbón	766
	16.4.4. Flotación con aire disuelto	769
16.5.	Selección y diseño de instalaciones de tratamiento	771
Problemas		772
Bibliografía		773
APENDICES		777
A.	Tablas de factores de conversión	777
B.	Propiedades físicas del agua	785
C.	Solubilidad del oxígeno disuelto	786
D.	Número más probable de coliformes por mililitro de muestra	787
E.	Criterios de calidad del agua de la Ohio River Valley Water Sanitation Commission	790
F.	Programa sugerido para en curso a ingenieros postgraduados	793
G.	Programa sugerido para un curso a estudiantes de ingeniería	794
H.	Algunos términos usuales	795
INDICE ALFABETICO		797