

## CONTENIDO

<b>CAPÍTULO 1. HIDROLOGÍA</b>	<b>19</b>
1.1 Definición	21
1.2 Ciclo hidrológico	21
1.2.1 Definiciones	21
1.2.2 Esquema del ciclo hidrológico	22
1.3 Distribución del agua total en la Tierra de acuerdo con su naturaleza	25
1.4 Ecuación fundamental de la hidrología	25
1.5 Historia de la hidrología	26
1.6 Aplicaciones de la hidrología	26
1.7 Varios	29
<b>CAPÍTULO 2. CUENCAS HIDROGRÁFICAS</b>	<b>31</b>
2.1 Generalidades	33
2.2 Regiones hidrológicas	33
2.2.1 Hoya hidrográfica	33
2.2.2 Divisorias	35
2.2.3 Clasificación de los cursos de agua	36
2.3 Características físicas de una hoya hidrográfica	37
2.3.1 Área de drenaje (A)	37
2.3.2 Forma de la hoya	37
2.3.2.1 Índice de Gravelius o coeficiente de compacidad ( $K_c$ )	37
2.3.2.2 Factor de forma ( $K_f$ )	38
2.3.3 Sistema de drenaje	38
2.3.3.1 Orden de las corrientes de agua	38
2.3.3.2 Densidad de drenaje ( $D_d$ )	39
2.3.3.3 Extensión media de la escorrentía superficial	39
2.3.3.4 Sinuosidad de las corrientes de agua	40
2.3.4 Características del relieve de una hoya	40
2.3.4.1 Pendiente de la hoya	40
2.3.4.2 Curva hipsométrica	44
2.3.4.3 Elevación media de la hoya	46
2.3.4.4 Pendiente de la corriente principal	47
2.3.4.5 Rectángulo equivalente	50

2.3.5	Suelos	53
2.3.6	Hoyas representativa y experimental	54
2.3.6.1	Hoya representativa	54
2.3.6.2	Hoya experimental	55
<b>CAPÍTULO 3. PRECIPITACIÓN</b>		<b>57</b>
<b>3.1</b>	<b>Generalidades</b>	<b>59</b>
<b>3.2</b>	<b>Factores climáticos</b>	<b>59</b>
3.2.1	Atmósfera	59
3.2.2	Circulación general de la atmósfera y vientos	60
3.2.3	Humedad atmosférica	63
3.2.3.1	Distribución geográfica de la humedad	70
3.2.3.2	Variación de la humedad en el tiempo	70
3.2.4	Temperatura y transporte de energía en la atmósfera	70
3.2.4.1	Distribución vertical de la temperatura	73
3.2.4.2	Distribución geográfica de la temperatura	77
3.2.4.3	Variación de la temperatura con el tiempo	78
3.2.5	Viento	79
<b>3.3</b>	<b>Precipitación, formación y tipos</b>	<b>79</b>
3.3.1	Formación de las precipitaciones	79
3.3.2	Tipos de precipitaciones	80
3.3.2.1	Precipitaciones convectivas	80
3.3.2.2	Precipitaciones orográficas	81
3.3.2.3	Precipitación por convergencia	81
3.3.3	Distribución geográfica de la precipitación	82
<b>3.4</b>	<b>Medidas pluviométricas</b>	<b>83</b>
3.4.1	Datos faltantes	84
3.4.2	Análisis de dobles masas	84
<b>3.5</b>	<b>Análisis estadístico de datos hidrológicos</b>	<b>87</b>
3.5.1	Presentación y análisis de datos	87
3.5.2	Distribuciones de probabilidad de interés en hidrología	89
3.5.2.1	Normal o Gauss	89
3.5.2.2	Log-normal	94
3.5.2.3	Gumbel o de valores extremos	97
3.5.2.4	Log-Gumbel	101
3.5.2.5	Distribución log-Pearson tipo III	103
3.5.2.6	Distribución Pearson tipo III	103
3.5.3	Frecuencia de lluvias	104
3.5.3.1	Frecuencia de lluvias totales anuales	104
3.5.3.2	Frecuencia de lluvias máximas anuales	104
3.5.4	Frecuencia de ocurrencia y riesgo	104
<b>3.6</b>	<b>Variación de la precipitación</b>	<b>106</b>
3.6.1	Variación geográfica	106
3.6.2	Variación temporal	106
<b>3.7</b>	<b>Precipitación media sobre una hoya</b>	<b>106</b>
3.7.1	Método aritmético	106
3.7.2	Método de polígonos de Thiessen	106
3.7.3	Método de isoyetas	107

<b>3.8</b>	<b>Análisis de lluvias intensas</b>	<b>108</b>
3.8.1	Variación de la intensidad con la duración	108
3.8.2	Variación de la intensidad con la frecuencia	108
3.8.2.1	Series anuales y series parciales	108
3.8.2.2	Relación intensidad-frecuencia	109
3.8.3	Relación intensidad-duración-frecuencia	110
3.8.4	Estudio de intensidades	114
3.8.4.1	Hietogramas	114
3.8.4.2	Estudio de intensidades de lluvia en una cuenca	115
<b>ANEXO CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE FRECUENCIAS HIDROLÓGICAS</b>		<b>117</b>
I	Introducción	119
II	Distribución normal	120
III	Distribución logarítmico-normal (log-normal)	121
IV	Distribución Pearson tipo III	121
V	Distribución log-Pearson tipo III	123
VI	Distribución Gumbel	126
<b>CAPÍTULO 4. INFILTRACIÓN</b>		<b>129</b>
4.1	<b>Generalidades</b>	<b>131</b>
4.2	<b>Distribución de la precipitación en el suelo</b>	<b>131</b>
4.3	<b>Parámetros característicos de la infiltración</b>	<b>134</b>
4.3.1	Capacidad de infiltración o tasa de infiltración	134
4.3.2	Velocidad de infiltración	134
4.4	<b>Métodos de medición de la capacidad de infiltración</b>	<b>135</b>
4.4.1	Infiltrómetros	135
4.4.2	Medida de la capacidad de infiltración en una hoyo por medio de la separación de las componentes del hidrograma	137
4.5	<b>Factores que intervienen en la capacidad de infiltración</b>	<b>137</b>
4.6	<b>Ecuación de la curva de capacidad de infiltración contra tiempo</b>	<b>139</b>
4.7	<b>Índice <math>\phi</math> de infiltración</b>	<b>140</b>
4.8	<b>Método del SCS para abstracciones</b>	<b>141</b>
4.8.1	Introducción	141
4.8.2	Estimación del número de curva de escorrentía, CN	143
4.8.2.1	Introducción	143
4.8.2.2	Clasificación hidrológica de los suelos	144
4.8.2.3	Uso y tratamiento del suelo	145
4.8.2.4	Condición hidrológica	145
4.8.2.5	Condición de humedad antecedente	146
4.8.2.6	Determinación del número de curva de escorrentía	146
4.8.3	Determinación del número de curva de escorrentía para datos medidos	150
4.8.4	Evaluación del método del número de curva de escorrentía	151

<b>CAPÍTULO 5. EVAPORACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN</b>	<b>153</b>
<b>5.1 Introducción</b>	<b>155</b>
<b>5.2 Definición y factores físicos</b>	<b>155</b>
5.2.1 Definición	155
5.2.2 Interpretación del fenómeno	156
5.2.3 Explicación del fenómeno	156
5.2.4 Condiciones básicas para la ocurrencia del mecanismo de vaporación	157
<b>5.3 Influencias meteorológicas</b>	<b>158</b>
5.3.1 Temperatura de la superficie	158
5.3.2 Temperatura y humedad del aire	159
5.3.3 Viento	159
5.3.4 Otros	159
<b>5.4 Definiciones básicas</b>	<b>159</b>
5.4.1 Evaporación potencial	159
5.4.2 Transpiración	159
5.4.3 Evapotranspiración	160
5.4.3.1 Evapotranspiración potencial	160
5.4.3.2 Evapotranspiración real	160
<b>5.5 Fórmula general de evaporación</b>	<b>160</b>
<b>5.6 Determinación de evaporación y evapotranspiración</b>	<b>161</b>
5.6.1 Métodos de estimación	161
5.6.1.1 Método aerodinámico	161
5.6.1.2 Método de balance energético	162
5.6.1.3 Método de Penman	164
5.6.1.4 Método de Thorntwaite	176
5.6.1.5 Método de Blaney y Criddle	176
5.6.1.6 Fórmula de Turc	180
5.6.1.7 Método de Christiansen	181
5.6.1.8 Método de Hargreaves	182
5.6.2 Métodos de medida	186
5.6.2.1 Aparatos	186
5.6.2.2 Método de balance hídrico	187
<b>CAPÍTULO 6. ESCORRENTÍA SUPERFICIAL</b>	<b>189</b>
<b>6.1 Generalidades</b>	<b>191</b>
6.1.1 Factores que influyen en la escorrentía superficial	191
6.1.1.1 Factores climáticos	192
6.1.1.2 Factores fisiográficos	192
6.1.1.3 Factores humanos	192
6.1.2 Variables que caracterizan la escorrentía superficial	193
6.1.2.1 Caudal, Q	193
6.1.2.2 Coeficiente de escorrentía superficial, C	193
6.1.2.3 Tiempo de concentración, tc	194
6.1.2.4 Período de retorno, T	194
6.1.2.5 Nivel de agua, h	194

<b>6.2</b>	<b>Hidrogramas</b>	<b>194</b>
6.2.1	Análisis de hidrogramas de creciente	195
6.2.2	Separación de las componentes del hidrograma	199
6.2.2.1	Forma del hidrograma de agua subterránea	199
6.2.2.2	Métodos más utilizados para la separación de las componentes del hidrograma	200
6.2.2.3	Determinación del punto E de inicio de la curva de agotamiento	202
6.2.3	Curva de agotamiento de agua de un acuífero	206
6.2.4	Clasificación de crecientes	206
<b>6.3</b>	<b>Medidas de caudales</b>	<b>207</b>
6.3.1	Vertederos	207
6.3.2	Molinetes	209
6.3.3	Curva de calibración de caudales líquidos	210
6.3.4	Establecimiento de estaciones hidrométricas	212
<b>6.4</b>	<b>Estimación de la esorrentía superficial a través de los datos de lluvia</b>	<b>212</b>
6.4.1	Fórmula racional	212
6.4.2	Fórmulas empíricas	214
6.4.3	Hidrograma unitario de una hoya	215
6.4.3.1	Definición	215
6.4.3.2	Generalidades	215
6.4.3.2.1	Teoría clásica de linealidad	215
6.4.3.2.2	Hidrogramas unitarios producidos por una lluvia neta de 1 mm de altura	218
6.4.3.3	Duración de la lluvia neta	220
6.4.3.4	Tiempo de retardo de la hoya	220
6.4.3.5	Duración crítica de la lluvia neta adoptada en la definición del hidrograma unitario	220
6.4.3.6	Curvas S y la transformación de hidrogramas	221
6.4.3.6.1	Definición	221
6.4.3.6.2	Procedimiento	222
6.4.3.6.3	Determinación de la duración crítica de la lluvia neta por medio de la utilización de las curvas S	224
6.4.3.7	Ejemplos de cálculos analíticos de curvas S	224
6.4.3.7.1	Caso en que la duración de la lluvia neta $t_1$ es igual al intervalo de tiempo $\Delta t$ para descripción del hidrograma unitario (caso 1)	225
6.4.3.7.2	Caso en que la duración de la lluvia neta $t_1$ es diferente y mayor del intervalo de tiempo $\Delta t$ para descripción del hidrograma unitario (caso 2)	226
6.4.3.8	Ejemplos de cálculos analíticos de hidrogramas unitarios	229
6.4.3.8.1	Ejemplo 1	229
6.4.3.8.2	Ejemplo 2	231
6.4.3.9	Hidrogramas unitarios sintéticos	233

<b>CAPÍTULO 7. ESTIMACIÓN DE CRECIENTES</b>	<b>245</b>
<b>7.1 Crecientes e inundaciones</b>	<b>247</b>
7.1.1 Cálculo de una creciente	247
7.1.2 Pronóstico de crecientes	247
<b>7.2 Período de retorno, T</b>	<b>248</b>
<b>7.3. Análisis de la naturaleza de los datos de caudal</b>	<b>250</b>
7.3.1 Diversos métodos de distribución de caudales máximos	251
7.3.2 Método de Fuller	251
<b>7.4. Métodos de pronóstico de crecientes basados en datos de lluvia</b>	<b>253</b>
7.4.1 Hidrograma unitario	253
7.4.2 Fórmula racional	253
7.4.2.1 General	253
7.4.2.2 Lluvia total crítica media sobre una hoya	254
7.4.2.3 Métodos para el cálculo del tiempo de concentración	256
<b>7.5 Fórmulas empíricas para cálculo de caudales de creciente</b>	<b>259</b>
7.5.1 Fórmula de Burkli - Ziegler	260
7.5.2 Fórmula de Kresnik	260
7.5.3 Fórmula de Creager	260
7.5.4 Fórmula de Baird y McIlwrsith	261
<b>7.6 Control de las crecientes e inundaciones</b>	<b>261</b>
7.6.1 Introducción	261
7.6.2 Causas de las crecientes	261
7.6.3 Métodos de combate contra las crecientes	262
7.6.3.1 Construcción de embalses	262
7.6.3.2 Mejoramiento de canales	262
7.6.3.3 Desviación hacia otra hoya	263
7.6.4 Legislación adecuada en el control de crecientes	263
7.6.5 Sistema de alarma en el control de crecientes	263
<b>CAPÍTULO 8. PROPAGACIÓN DE CRECIENTES</b>	<b>265</b>
<b>8.1 Generalidades</b>	<b>267</b>
<b>8.2 Propagación de crecientes a través de embalses</b>	<b>267</b>
8.2.1 Consideraciones teóricas	267
8.2.2 Consideraciones prácticas	272
8.2.2.1 Análisis teórico	272
8.2.2.2 Análisis práctico	275
8.2.2.3 Rebosadero con compuertas	278
<b>8.3 Propagación de crecientes en ríos y canales</b>	<b>279</b>
8.3.1 Consideraciones teóricas	279
8.3.2 Método de Muskingum	280
8.3.2.1 Descripción	280
8.3.2.2 Formulación de la forma de trabajo de la ecuación de tránsito de Muskingum	283
8.3.2.3 Estimaciones de k y X	285
8.3.2.4 Guías generales	289
8.3.2.5 Ejemplo de procedimiento de cálculo-método de Muskingum	292

<b>CAPÍTULO 9. RÉGIMEN DE CORRIENTES DE AGUA</b>	<b>295</b>
<b>9.1 Generalidades</b>	<b>297</b>
9.1.1 Factores geológicos	298
9.1.2 Factores pluviométricos	298
9.1.3 Otros factores	299
9.1.3.1 Humedad del suelo	299
9.1.3.2 Temperatura	299
9.1.3.3 Topografía	299
9.1.3.4 Tipo de vegetación	299
9.1.3.5 Forma de la hoya	299
9.1.3.6 Dirección de la lluvia asociada a la forma de la hoya, cadenas de montañas, vientos predominantes, etc.	299
<b>9.2 Diagrama de frecuencias</b>	<b>299</b>
<b>9.3 Curva de duración o permanencia de caudales</b>	<b>302</b>
9.3.1 Definición	302
9.3.2 Utilización de curvas de duración de caudales para deducción de características de cuencas hidrográficas	303
9.3.3 Extensión de curva de duración de caudales de período de registro corto a período de registro largo	305
9.3.4 Determinación de una curva de duración de caudales en una hoya hidrográfica en caso de inexistencia de datos de caudal	306
<b>9.4 Curva de utilización</b>	<b>307</b>
<b>9.5 Caudales y volúmenes perdidos y deficitarios</b>	<b>308</b>
9.5.1 Caudal y volumen perdido promedio	309
9.5.2 Caudal y volumen deficitario promedio	309
9.5.3 Relaciones caudal derivable contra caudal medio utilizable, caudal medio perdido y caudal medio deficitario	310
<b>CAPÍTULO 10. REGULACIÓN DE CAUDALES Y CONTROL DE SEQUÍAS</b>	<b>313</b>
<b>10.1 Generalidades</b>	<b>315</b>
<b>10.2 Cálculo del volumen de un embalse para atender a una ley de regulación</b>	<b>316</b>
10.2.1 Método analítico	316
10.2.2 Diagrama de masas	318
<b>10.3. Volúmenes actuales de embalse</b>	<b>321</b>
10.3.1 Método analítico	321
10.3.2 Diagrama de masas	321
<b>10.4 Regulación máxima</b>	<b>324</b>
<b>10.5 Control de sequías</b>	<b>325</b>
<b>CAPÍTULO 11. GENERACIÓN SINTÉTICA DE CAUDALES</b>	<b>329</b>
<b>11.1. Generalidades</b>	<b>331</b>
<b>11.2. Procedimiento de Monte-Carlo</b>	<b>331</b>
<b>11.3. Fenómeno de persistencia</b>	<b>333</b>
<b>11.4. Modelo de Thomas-Fiering</b>	<b>335</b>
<b>11.5. Otros modelos</b>	<b>336</b>

<b>11.6. Generación de números aleatorios</b>	<b>337</b>
11.6.1 Números distribuidos uniformemente	337
11.6.2 Números normalmente distribuidos	337
<b>11.7 Ejemplo de generación sintética de caudales anuales</b>	<b>338</b>
<hr/>	
<b>CAPÍTULO 12. TRANSPORTE DE SEDIMENTOS</b>	<b>341</b>
<b>12.1 Introducción</b>	<b>343</b>
<b>12.2 Hidráulica de canales erosionables</b>	<b>343</b>
<b>12.3 Transporte sólido</b>	<b>345</b>
12.3.1 Transporte de sedimentos en suspensión	346
12.3.2 Transporte de sedimentos de fondo	349
12.3.3 Clasificación del transporte de sedimentos según mecanismo y según origen	349
12.3.4 Tasa de abastecimiento de sedimento y capacidad de flujo para transportarlo	350
12.3.5 Fórmulas de transporte de material de fondo	352
12.3.6 Fórmula de Laursen para transporte total	357
12.3.7 Conclusiones	358
<b>12.4 Medidas de concentración de sedimentos</b>	<b>360</b>
12.4.1 Muestreadores de sedimentos en suspensión	360
12.4.2 Muestreadores de sedimento depositado en el lecho de los ríos	360
12.4.3 Medida de la carga total de sedimento por eliminación del sedimento del lecho	360
<b>12.5 Colmatación de embalses</b>	<b>360</b>
<hr/>	
<b>CAPÍTULO 13. AGUAS SUBTERRÁNEAS</b>	<b>365</b>
<b>13.1 Generalidades</b>	<b>367</b>
<b>13.2 Modos de ocurrencia de aguas subterráneas</b>	<b>368</b>
13.2.1 Acuífero freático	368
13.2.2 Acuífero artesiano	368
<b>13.3 Coeficientes que definen un acuífero</b>	<b>369</b>
13.3.1 Coeficiente de transmisibilidad (T)	370
13.3.2 Coeficiente de almacenamiento (S)	370
<b>13.4 Determinación de los coeficientes de Almacenamiento (S) y transmisibilidad (T)</b>	<b>371</b>
13.4.1 Lineamientos teóricos	371
13.4.2 Ejemplo	373
<hr/>	
<b>CAPÍTULO 14. HIDROMETRÍA E INSTRUMENTACIÓN</b>	<b>379</b>
<hr/>	
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>383</b>