

# Contenido

MENSAJE DEL EDITOR	v
WEB DE APOYO	vi
PRÓLOGO	ix
EL AUTOR	xi
RESUMEN DE CONTENIDO	xiii
CONTENIDO	xv
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN A LA HIDRÁULICA DEL FLUJO EN TUBERÍAS</b>	<b>1</b>
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 DEFINICIÓN DE FLUJO Y TIPOS DE FLUJO	2
1.3 FLUJO UNIFORME EN TUBERÍAS	3
1.4 RESISTENCIA AL FLUJO EN CONDUCTOS CIRCULARES	5
1.4.1 EXPERIMENTO DE REYNOLDS	5
1.4.2 NÚMERO DE REYNOLDS	7
1.4.3 PÉRDIDAS DE ENERGÍA POR FRICCIÓN: EXPERIMENTOS PRELIMINARES	10
1.4.4 AUMENTO DE LA VISCOSIDAD EN FLUJO TURBULENTO	12
1.4.5 INTERACCIÓN FLUJO-PARED SÓLIDA	18
1.4.6 DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS EN TUBERÍAS CIRCULARES	20
1.4.7 DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES (TUBERÍAS CIRCULARES)	22
1.4.8 PERFILES DE VELOCIDAD	32
1.5 ECUACIONES PARA EL DISEÑO DE TUBERÍAS CIRCULARES	36
1.5.1 FLUJO LAMINAR	37
1.5.2 FLUJO TURBULENTO	44
1.5.3 LA ECUACIÓN DE DARCY-WEISBACH	45
1.5.4 ECUACIONES DE FRICCIÓN PARA TUBERÍAS REALES	54
RESUMEN	73
CONCEPTOS IMPORTANTES	76
PROBLEMAS	78
<b>CAPÍTULO 2. TUBERÍAS SIMPLES. CAPACIDAD, DISEÑO Y CALIBRACIÓN</b>	<b>83</b>
2.1 INTRODUCCIÓN	83
2.2 TIPOS DE PROBLEMAS EN HIDRÁULICA DE DUCTOS A PRESIÓN	86
2.2.1 COMPROBACIÓN DE DISEÑO	86
2.2.2 CÁLCULO DE LA POTENCIA REQUERIDA	87
2.2.3 DISEÑO DE LA TUBERÍA	87
2.2.4 CALIBRACIÓN DE LA TUBERÍA	87
2.3 ECUACIONES PARA EL CÁLCULO DE TUBERÍAS SIMPLES	88
2.3.1 COMPROBACIÓN DE DISEÑO	90
2.3.2 CÁLCULO DE POTENCIA REQUERIDA	94
2.3.3 DISEÑO DE TUBERÍAS SIMPLES	107
2.3.4 DISEÑO DE TUBERÍAS SIMPLES CON ALTAS PÉRDIDAS MENORES	112
2.3.5 CALIBRACIÓN DE TUBERÍAS SIMPLES	127

CONCEPTOS IMPORTANTES	132
PROBLEMAS	133
ANEXOS	140
TABLAS	141
BIBLIOGRAFÍA	145
<b>CAPÍTULO 3. ECUACIONES EMPÍRICAS PARA LA FRICCIÓN EN TUBERÍAS</b>	<b>147</b>
3.1 INTRODUCCIÓN	147
3.2 ECUACIONES EMPÍRICAS PARA CALCULAR EL FACTOR DE FRICCIÓN $f$ DE DARCY EN RÉGIMEN TURBULENTO	148
3.2.1 ECUACIÓN DE MOODY	148
3.2.2 ECUACIÓN DE WOOD	149
3.2.3 ECUACIÓN DE BARR	150
3.2.4 ECUACIÓN DE SWAMEE-JAIN	151
3.3 LA ECUACIÓN DE HAZEN-WILLIAMS	153
3.4 COMPARACIÓN ENTRE LAS ECUACIONES DE HAZEN-WILLIAMS Y DE DARCY-WEISBACH	170
CONCEPTOS IMPORTANTES	178
PROBLEMAS	179
ANEXOS	184
BIBLIOGRAFÍA	185
<b>CAPÍTULO 4. BOMBAS EN TUBERÍAS SIMPLES</b>	<b>187</b>
4.1 INTRODUCCIÓN	187
4.2 BOMBAS EN SISTEMAS DE TUBERÍAS	188
4.3 LÍNEA DE GRADIENTE HIDRÁULICO EN SISTEMAS BOMBA-TUBERÍA	191
4.4 CURVAS EN SISTEMA BOMBA-TUBERÍA	193
4.4.1 CURVAS DE LA BOMBA	193
4.4.2 CURVAS DEL SISTEMA	196
4.4.3 PUNTO DE OPERACIÓN DE LA BOMBA	197
4.5 LIMITACIONES EN LA ALTURA DE SUCCIÓN	198
4.6 BOMBAS EN SISTEMAS DE TUBERÍAS	202
4.7 BOMBAS EN TUBERÍAS SIMPLES	205
CONCEPTOS IMPORTANTES	216
PROBLEMAS	217
BIBLIOGRAFÍA	226
<b>CAPÍTULO 5. TUBERÍAS EN SERIE Y TUBERÍAS EN PARALELO</b>	<b>227</b>
5.1 INTRODUCCIÓN	227
5.2 TUBERÍAS EN SERIE	228
5.2.1 COMPROBACIÓN DE DISEÑO DE TUBERÍAS EN SERIE	231
5.2.2 CÁLCULO DE POTENCIA PARA TUBERÍAS EN SERIE	239
5.2.3 DISEÑO DE TUBERÍAS EN SERIE	244
5.2.4 CAMBIO DE UNA TUBERÍA SIMPLE POR DOS TUBERÍAS EN SERIE	254
5.3 TUBERÍAS CON PÉRDIDA UNIFORME DE CAUDAL	264
5.4 TUBERÍAS EN PARALELO	272
5.4.1 COMPROBACIÓN DE DISEÑO DE TUBERÍAS EN PARALELO	274
5.4.2 CÁLCULO DE POTENCIA PARA TUBERÍAS EN PARALELO	278
5.4.3 DISEÑO DE TUBERÍAS EN PARALELO	286
CONCEPTOS IMPORTANTES	293
PROBLEMAS	294
BIBLIOGRAFÍA	300

<b>CAPÍTULO 6. ANÁLISIS DE REDES DE TUBERÍAS: REDES ABIERTAS</b>	<b>301</b>
6.1 INTRODUCCIÓN	301
6.2 ANÁLISIS DE REDES ABIERTAS: BALANCE DE CANTIDAD	304
6.3 COMPROBACIÓN DE DISEÑO EN REDES ABIERTAS	306
6.4 CÁLCULO DE POTENCIA EN REDES ABIERTAS	314
6.5 DISEÑO DE REDES ABIERTAS	314
6.6 DISEÑO DE REDES DE TUBERÍAS: COSTOS DE INFRAESTRUCTURA	325
6.7 BOMBAS EN REDES ABIERTAS	331
CONCEPTOS IMPORTANTES	337
PROBLEMAS	338
BIBLIOGRAFÍA	343
<b>CAPÍTULO 7. ANÁLISIS DE REDES DE TUBERÍAS: REDES CERRADAS</b>	<b>345</b>
7.1 INTRODUCCIÓN	345
7.2 PRIMERA PARTE: ANÁLISIS DE REDES CERRADAS	348
7.2.1 PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DE ANÁLISIS DE REDES CERRADAS	348
7.2.2 MÉTODO DE HARDY-CROSS CON CORRECCIÓN DE CAUDALES	352
7.2.3 MÉTODO DE HARDY-CROSS CON CORRECCIÓN DE ALTURAS PIEZOMÉTRICAS	355
7.2.4 MÉTODO DE NEWTON-RAPHSON	379
7.2.5 MÉTODO DE LA TEORÍA LINEAL	400
7.2.6 MÉTODO DEL GRADIENTE	415
7.3 SEGUNDA PARTE: MODELACIÓN HIDRÁULICA DE ACCESORIOS	443
7.3.1 EMISORES EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE	444
7.3.2 VÁLVULAS REDUCTORAS DE PRESIÓN (VRP) EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE	470
CONCEPTOS IMPORTANTES	488
PROBLEMAS	490
BIBLIOGRAFÍA	496
<b>CAPÍTULO 8. HIDRÁULICA AVANZADA DE REDES DE DISTRIBUCIÓN</b>	<b>499</b>
8.1 INTRODUCCIÓN	499
8.2 DISEÑO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN	500
8.2.1 EL PROBLEMA DE DISEÑO DE RDAP	500
8.2.2 CAUDALES Y PRESIONES DE DISEÑO	503
8.2.3 DISEÑO TRADICIONAL DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE	504
8.2.4 DISEÑO MODERNO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN	506
8.2.5 EL FUTURO DEL DISEÑO DE RDAP: FUTURAS FUNCIONES OBJETIVO	520
8.3 CALIBRACIÓN DE REDES DE DISTRIBUCIÓN	520
8.3.1 OBJETIVO DE LA CALIBRACIÓN	521
8.3.2 MEDICIONES REQUERIDAS PARA EL PROCESO DE CALIBRACIÓN	528
8.3.3 METODOLOGÍA PARA LA CALIBRACIÓN DE UNA RDAP	530
8.4 PROGRAMAS COMERCIALES PARA LA MODELACIÓN DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE	533
8.4.1 WATERCAD V8 XM	533
8.4.2 WATERGEMS V8 XM	538
8.4.3 PIPE 2000	541
8.4.4 EPANET	545
8.4.5 GISRED 2.0	548
8.5 PROGRAMA REDES	552
8.5.1 INTRODUCCIÓN	552
8.5.2 CARACTERÍSTICAS COMPUTACIONALES	552

8.5.3	CARACTERÍSTICAS DEL PROGRAMA	552
8.5.4	CAPACIDADES DEL PROGRAMA	556
	CONCEPTOS IMPORTANTES	577
	PROBLEMAS	578
	BIBLIOGRAFÍA	587
<b>CAPÍTULO 9. SISTEMA DE RIEGO LOCALIZADO DE ALTA FRECUENCIA (RLAF)</b>		<b>591</b>
9.1	INTRODUCCIÓN	591
9.2	DESCRIPCIÓN DE UN RLAF	592
9.2.1	ESQUEMA DE UNA INSTALACIÓN DE RLAF	593
9.2.2	ESQUEMA DE UNA ESTACIÓN DE RIEGO	595
9.3	EMISORES FINALES	597
9.3.1	PRESIONES EN LOS EMISORES FINALES	598
9.3.2	CAUDALES EN LOS EMISORES FINALES	598
9.3.3	RÉGIMEN HIDRÁULICO DE LOS EMISORES FINALES	598
9.3.4	RELACIÓN ALTURA-CAUDAL EN LOS EMISORES FINALES	600
9.3.5	TOLERANCIA A LA PRESIÓN DE LOS EMISORES FINALES	601
9.3.6	SENSIBILIDAD A LAS OBTURACIONES EN LOS EMISORES FINALES	603
9.3.7	SENSIBILIDAD DE LOS EMISORES FINALES A LA TEMPERATURA	603
9.4	CLASIFICACIÓN Y TIPOS DE EMISORES FINALES	604
9.4.1	EMISORES DE BAJO CAUDAL	605
9.4.2	EMISORES DE ALTO CAUDAL	613
9.5	UNIFORMIDAD DEL RIEGO	614
9.5.1	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	614
9.5.2	FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	618
9.6	DISEÑO HIDRÁULICO DE SISTEMAS DE RLAF	623
9.6.1	SECUENCIA DEL DISEÑO HIDRÁULICO	623
9.6.2	CÁLCULO DEL CAUDAL POR PLANTA Y EL CAUDAL TOTAL	625
9.6.3	CÁLCULO DE LA TOLERANCIA DE CAUDALES	627
9.6.4	CÁLCULO DE LA TOLERANCIA DE PRESIONES	627
9.6.5	CÁLCULO HIDRÁULICO DE LOS SUBMÓDULOS: CÁLCULO DE MÚLTIPLES Y LATERALES DE RIEGO	630
9.6.6	CÁLCULO DE TUBERÍAS PRIMARIAS Y SECUNDARIAS	634
9.7	EL PROGRAMA RIEGOS	636
9.7.1	PRIMERA PARTE DEL PROGRAMA RIEGOS: CÁLCULO HIDRÁULICO DE UN SUBMÓDULO DE RIEGO	636
9.7.2	SEGUNDA PARTE DEL PROGRAMA RIEGOS: CÁLCULO Y DISEÑO DE LAS TUBERÍAS PRIMARIA Y SECUNDARIAS Y DE LA BOMBA	644
	CONCEPTOS IMPORTANTES	650
	PROBLEMAS	651
	BIBLIOGRAFÍA	657
	<b>APÉNDICE</b>	<b>658</b>
	<b>ÍNDICE</b>	<b>667</b>