

ELABORACIÓN DE ALGORITMOS PARA EL DESARROLLO DE
HERRAMIENTAS EN EL DISEÑO DE ACUEDUCTOS

DIEGO FERNANDO MOSQUERA BURBANO

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2010

ELABORACIÓN DE ALGORITMOS PARA EL DESARROLLO DE
HERRAMIENTAS EN EL DISEÑO DE ACUEDUCTOS

DIEGO FERNANDO MOSQUERA BURBANO

Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de Ingeniero Civil

Aesor
HERNAN JAVIER GÓMEZ ZAMBRANO
I.C., M.Sc.

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2010

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del jurado 1

Firma del jurado 2

San Juan de Pasto, 12 Octubre del 2010

Las ideas y conclusiones aportadas en el siguiente trabajo son responsabilidad exclusiva del autor.

Artículo 1^{ro} del acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1996 emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

DEDICATORIA

A Dios, por que el me permitió tener la visión y las facultades para desarrollar el proyecto.

A mis padres porque siempre me dieron su apoyo incondicional, al igual que mis hermanos.

Y en especial a todos aquellos que influyeron para ponerme en pie; a ellos dedico el esfuerzo de este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

A todas las personas que hicieron posible la realización de este trabajo con éxito y en especial a:

A la UNIVERSIDAD DE NARIÑO, a los profesores y directivos.

Al Ingeniero Hernán, asesor del proyecto, quien me brindo sus conocimiento y experiencia desde el inicio de este proyecto y a lo largo de él.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	
1. MARCO REFERENCIAL	46
1.1 MARCO TEÓRICO	46
1.1.1 Concepto de algoritmo	46
1.1.2 Diagramas de flujo (flows charts)	48
1.1.3 Pseudocódigo	51
1.1.4 El lenguaje unificado de modelado UML	52
1.1.5 Procedimiento general de diseño de los sistemas de acueducto	53
2. METODOLOGÍA	56
2.1 REVISIÓN Y ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE	56
2.2 REVISIÓN DEL PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO DEL ALGORITMO	56
2.3 DESCRIPCIÓN DEL MODELO A CREAR	57
2.4 ESTABLECIMIENTO DE LA INFORMACIÓN A USAR	57
2.5 DEFINICIÓN DE LA REPRESENTACIÓN Y PROCESO DEL ALGORITMO	57
3. FASE DE ANÁLISIS Y DISEÑO	59

3.1 FASE DE ANÁLISIS	63
3.2 FASE DE DISEÑO	64
4. DESARROLLO DEL PROYECTO	67
4.1 DETERMINACIÓN DE LA POBLACIÓN	67
4.1.1 Metodología para estudio de la población	67
4.1.1.1 Fundamento teórico	67
4.1.1.2 Especificaciones para cálculo de población	68
4.1.2 Algoritmo de proyección de población, ingreso de datos	69
4.1.2.1 Fundamento teórico	69
4.1.2.2 Metodología de diseño	69
4.1.2.3 Ejemplo de cálculo	70
4.1.2.4 Diagrama de flujo	70
4.1.2.5 Pseudocódigo	72
4.1.3 Elección de métodos a utilizar	72
4.1.3.1 Fundamento teórico	72
4.1.3.2 Metodología de diseño	72
4.1.3.3 Ejemplo de cálculo	73
4.1.3.4 Diagrama de flujo	73
4.1.3.5 Pseudocódigo	74
4.1.4 Método aritmético	75
4.1.4.1 Fundamento teórico	75
4.1.4.2 Metodología de diseño	75

4.1.4.3	Ejemplo de cálculo	76
4.1.4.4	Diagrama de flujo	78
4.1.4.5	Pseudocódigo	81
4.1.5	Método geométrico	81
4.1.5.1	Fundamento teórico	81
4.1.5.2	Metodología de diseño	82
4.1.5.3	Ejemplo de cálculo	82
4.1.5.4	Diagrama de flujo	87
4.1.5.5	Pseudocódigo	89
4.1.6	Método logarítmico	89
4.1.6.1	Fundamento teórico	89
4.1.6.2	Metodología de diseño	89
4.1.6.3	Ejemplo de cálculo	90
4.1.6.4	Diagrama de flujo	93
4.1.6.5	Pseudocódigo	95
4.1.7	Método de WAPPUS	95
4.1.7.1	Fundamento teórico	95
4.1.7.2	Metodología de diseño	96
4.1.7.3	Ejemplo de cálculo	96
4.1.7.4	Diagrama de flujo	101
4.1.7.5	Pseudocódigo	103
4.1.7.6	Pantalla de datos	104

4.1.8	Promedio de poblaciones proyectadas por los diferentes métodos e incremento por tamaño de población	106
4.1.8.1	Fundamento teórico	106
4.1.8.2	Metodología de diseño	106
4.1.8.3	Ejemplo de cálculo	107
4.1.8.4	Diagrama de flujo	110
4.1.8.5	Pseudocódigo	112
4.1.8.6	Pantalla de datos	112
4.2	CONSUMO	113
4.2.1	Determinación del nivel de complejidad	113
4.2.1.1	Fundamento teórico	113
4.2.1.2	Metodología de diseño	113
4.2.1.3	Ejemplo de cálculo	113
4.2.1.4	Diagrama de flujo	114
4.2.1.5	Pseudocódigo	116
4.2.2	Consumo de agua consumo domestico residencial	117
4.2.2.1	Fundamento teórico	117
4.2.2.2	Metodología de diseño	117
4.2.2.3	Ejemplo de cálculo	118
4.2.2.4	Diagrama de flujo	120
4.2.2.5	Pseudocódigo	122

4.2.3	Consumo comercial e industrial	123
4.2.3.1	Fundamento teórico	123
4.2.3.2	Metodología de diseño	124
4.2.3.3	Ejemplo de cálculo	125
4.2.3.4	Diagrama de flujo	126
4.2.3.5	Pseudocódigo	127
4.2.4	Consumo institucional y público	128
4.2.4.1	Fundamento teórico	128
4.2.4.2	Metodología de diseño	128
4.2.4.3	Ejemplo de cálculo	129
4.2.4.4	Diagrama de flujo	128
4.2.4.5	Pseudocódigo	131
4.2.5	Incremento de la dotación neta y determinación del consumo total	131
4.2.5.1	Fundamento teórico	131
4.2.5.2	Metodología de diseño	132
4.2.5.3	Ejemplo de cálculo	133
4.2.5.4	Diagrama de flujo	133
4.2.5.5	Pseudocódigo	135
4.2.6	Consumo total	136

4.2.6.1	Fundamento teórico	136
4.2.6.2	Metodología de diseño	136
4.2.6.3	Ejemplo de cálculo	137
4.2.6.4	Diagrama de flujo	140
4.2.6.5	Pseudocódigo	142
4.2.7	Determinación del caudal promedio del caudal máximo diario y del caudal máximo horario	143
4.2.7.1	Fundamento teórico	143
4.2.7.2	Metodología de diseño	143
4.2.7.3	Ejemplo de cálculo	146
4.2.7.4	Diagrama de flujo	150
4.2.7.5	Pseudocódigo	152
4.2.7.6	Pantalla de datos	153
4.3	OBRAS DE CAPTACIÓN	155
4.3.1	Periodo de diseño de la captación de agua superficial	155
4.3.1.1	Fundamento teórico	155
4.3.1.2	Metodología de diseño	155
4.3.1.3	Ejemplo de cálculo	156
4.3.1.4	Diagrama de flujo	156
4.3.1.5	Pseudocódigo	157
4.3.2	Caudal de diseño de bocatoma	158

4.3.2.1	Fundamento teórico	158
4.3.2.2	Metodología de diseño	158
4.3.2.3	Ejemplo de cálculo	159
4.3.2.4	Diagrama de flujo	160
4.3.2.5	Pseudocódigo	162
4.3.2.6	Pantalla de datos	162
4.3.3	Diseño de captación de fondo	163
4.3.3.1	Dimensionamiento de la captación de fondo	166
4.3.3.2	Cálculo estructural	255
4.3.3.3	Diseño estructural	270
4.3.3.4	Diseño a flexión	286
4.3.4	Acero de retracción y fraguado	311
4.4	BOMBAS	335
4.4.1	Bombas y estaciones de bombeo	335
4.4.1.1	Fundamento teórico	335
4.4.1.2	Especificaciones de diseño	341
4.4.1.3	Metodología de diseño	343
4.4.1.4	Ejemplo de cálculo	351
7.1.4.5	Diagrama de flujo	369
7.1.4.6	Pseudocódigo	383
7.1.4.7	Pantallas de datos	390
4.5	ADUCCIONES (TRANSPORTE DE AGUA)	401

4.5.1	Fundamento teórico	401
4.5.2	Especificaciones de diseño	401
4.5.3	Metodología de diseño	402
4.5.4	Ejemplo de cálculo	407
4.5.5	Diagrama de flujo	412
4.5.6	Pseudocódigo	419
4.5.7	Pantallas de datos	422
4.6	DESARENADOR	427
4.6.1	Fundamento teórico	427
4.6.2	Especificaciones de diseño	429
4.6.3	Metodología de diseño	430
4.6.4	Ejemplo de cálculo	441
4.6.5	Diagrama de flujo	452
4.6.6	Pseudocódigo	467
4.6.7	Pantallas de datos	475
4.7	CONDUCCIONES	485
4.7.1	Fundamento teórico	485
4.7.2	Especificaciones de diseño	489
4.7.3	Metodología de diseño	490
4.7.4	Ejemplo de cálculo	493

4.7.4.1	Ejemplo de diseño de la conducción: desarenador – tanque de almacenamiento	500
4.7.4.2	Presión de diseño	503
4.7.4.3	Cálculo de diámetro	503
4.7.4.4	Cálculo de las pérdidas de energía	505
4.7.4.5	Pérdidas totales	506
4.7.4.6	Comprobación del golpe de ariete	508
4.7.5	Diagrama de flujo	511
4.7.6	Pantallas de datos	539
4.8	RED DE DISTRIBUCIÓN	549
4.8.1	Fundamento teórico	549
4.8.2	Especificaciones de diseño	556
4.8.3	Metodología de diseño	559
4.8.4	Ejemplo de cálculo de redes de distribución	562
4.8.5	Diagrama de flujo	577
4.8.6	Pantallas de datos	593
5.	CONCLUSIONES	597
6.	RECOMENDACIONES	598
BIBLIOGRAFÍA		

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Descripción de la fase de análisis	63
Tabla 2. Métodos de cálculo permitidos según el nivel de complejidad del sistema	69
Tabla 3. Censos	70
Tabla 4. Años y población proyectada	77
Tabla 5. Proyección proyectada	86
Tabla 6. Años y población proyectada	92
Tabla 7. Años y población proyectada	100
Tabla 8. Años y métodos	107
Tabla 9. Tabla de proyección de población promedio e incrementos	110
Tabla 10. Tabla de Consumos residenciales típicos	117
Tabla 11. Tabla Rangos de valores de consumo residencial	117
Tabla 12. Proyección de la población	119
Tabla 13. Consumo residencial	119
Tabla 14. Tabla Consumos típicos de los sectores comercial, industrial y público	124
Tabla 15. Consumos comerciales e industriales	125
Tabla 16. Consumos institucionales públicos.	129
Tabla 17. Tabla Comparación de factores de mayoración k_2 , en Colombia y en África	144

Tabla 18. Datos a tener en cuenta	146
Tabla 19. Pendiente de la cara aguas arriba	228
Tabla 20. Dimensiones nominales de las barras de refuerzo. (Diámetros basados en milímetros)	287
Tabla 21. Dimensiones nominales de las barras de refuerzo. (Diámetros basados en octavos de pulgada).	288
Tabla 22. Periodo de diseño de las estaciones de bombeo	341
Tabla 23. Velocidad máxima en la tubería de succión	342
Tabla 24. Clases de tuberías según el material, diámetro y longitudes (presentación comercial usual)	343
Tabla 26. Pérdidas localizadas en longitudes equivalentes (en metros de tubería recta)	345
Tabla 27. Valor del coeficiente de rugosidad de Hazen William para distintos materiales.	348
Tabla 28. Curva característica de la bomba	357
Tabla 29. Curva característica de la bomba y operación del sistema=10"	360
Tabla 30. Los datos de la bomba	364
Tabla 31. Periodo de diseño de aducciones	401
Tabla 32. Coeficiente de rugosidad de Manning	402
Tabla 33. Relaciones hidráulicas para conductos circulares (n_o/n variable)	404
Tabla 34. Esfuerzos cortantes críticos dados en N/m^2	405
Tabla 35. Esfuerzos cortantes críticos para suelos cohesivos en N/m^2	406
Tabla 36. Clasificación del material en suspensión según su tamaño	428
Tabla 37. Viscosidad cinemática del agua	431

Tabla 38. Número de Hazen (V_s/V_o)	432
Tabla 39. Diámetro de la válvula de purga	485
Tabla 40. Periodo de diseño de las conducciones	489
Tabla 41. Coeficientes de pérdidas de algunos accesorios, con base a la velocidad mayor	491
Tabla 42. Selección de codo según la suma o diferencia de pendientes	491
Tabla 43. Relación de elasticidad del agua y del material de la tubería	492
Tabla 44. Perfil de la conducción	501
Tabla 45. Periodo de diseño de la red matriz o primaria	556
Tabla 46. Periodo de diseño de la red de distribución secundario a red local	557
Tabla 47. Demanda contra incendios	557
Tabla 48. Diámetros mínimos en la red de distribución (RAS-2000, Colombia)	558
Tabla 49. Presiones de servicio mínimas del acueducto, relativas al número de pisos de las edificaciones servidas	560
Tabla 50. Factores de longitudes equivalentes, F_i	562
Tabla 51. Distribución del caudal proporcional a la longitud	568
Tabla 52. Demanda en los nodos de la red	568
Tabla 51. Caudales en los tramos de la red principal	569
Tabla 54. Definición de diámetros en la red principal	569
Tabla 55. Calculo de las mallas por el método de Hardy-Cross	571
Tabla 56. Cálculo de las mallas por el método de longitudes equivalente	575

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ejemplo de diagrama de flujo de lámpara dañada	48
Figura 2. Diagramas UML	60
Figura 3. Diagrama de actividades	61
Figura 4. Diagrama de casos de uso	61
Figura 5. Interacción usuario - sistema	62
Figura 6. Diagrama UML, procesamiento de datos	64
Figura 7. Diagrama UML, almacenamiento de datos	65
Figura 8. Selección o evaluación	66
Figura 9. Diagrama de flujo para leer los datos de población y el año, de cada uno de los censos y almacenarlos en los vectores P() y T()	71
Figura 10. Diagrama de flujo para seleccionar que método o métodos de proyección se van a usa en el cálculo.	74
Figura 11. Promedio de la población	78
Figura 12. Diagrama de flujo para calcular la proyección de población por el método aritmético.	80
Figura 13. Promedio de la población	86
Figura 14. Diagrama de flujo para calcular la proyección de población por el método geométrico.	88
Figura 15. Promedio de la población	90
Figura 16. Diagrama de flujo para calcular la proyección de población por el método Logarítmico.	94

Figura 17. Promedio de la población	101
Figura 18. Diagrama de flujo para calcular la proyección de población por el método geométrico	102
Figura 19. Comparación gráfica de los resultados finales de proyección	103
Figura 20. Pantalla de entrada de datos para la proyección de población	105
Figura 21. Pantalla de salida de datos de proyección de población	105
Figura 22. Diagrama de flujo para calcular la proyección de población promedio	111
Figura 23. Pantalla de salida de datos en forma de tabla y forma gráfica	112
Figura 24. Determinación del nivel de complejidad	115
Figura 25. Consumo Doméstico o residencial	120
Figura 26. Consumo Doméstico o residencial	121
Figura 27. Consumo comercial e industrial	127
Figura 28. Consumo institucional y público	130
Figura 29. Incremento de la dotación neta	134
Figura 30. Consumo total	142
Figura 31. Determinación de: Q.promedio, Q.máximo diario y Q. máximo Horario	151
Figura 32. Consumo de la población	153
Figura 33. Consumo de la población	154
Figura 34. Consumo de la población	154
Figura 35. Captaciones periodo de diseño de la captación de agua Superficial	157
Figura 36. Caudal de diseño de bocatoma	161

Figura 37. Obras de captación	163
Figura 38. Bocatoma de fondo	166
Figura 39. Presa central	169
Figura 40. Diseño de captación de fondo diseño de la presa	170
Figura 41. Pantalla de datos del diseño de la captación de fondo	172
Figura 42. Diseño de rejilla y lámina perforada	185
Figura 43. Diseño de rejilla y lámina perforada	186
Figura 44. Diseño de rejilla y lámina perforada	187
Figura 45. Rejilla de captación	190
Figura 46. Lámina perforada	191
Figura 47. Pendiente de la lámina perforada	191
Figura 48. Obras de captación	192
Figura 49. Obras de captación	193
Figura 50. Obras de captación	194
Figura 51. Diseño de vertedero de crecientes	199
Figura 52. Vista frontal del vertedero	201
Figura 53. Vista en planta del vertedero con rejilla y planta	201
Figura 54. Pantalla de datos, diseño de vertedero de crecientes en caso de que $L_{vc} \leq 0$	202
Figura 55. Pantalla de datos, diseño de vertedero de crecientes en caso de que $L_{vc} \leq 0$	203
Figura 56. Pantalla de datos, diseño de vertedero de crecientes en caso de que $L_{vc} > 0$	203

Figura 57. Canal rectangular de aducción (vista frontal)	208
Figura 58. Canal rectangular de aducción	210
Figura 59. Corte canal rectangular de aducción (Aguas arriba)	212
Figura 60. Corte canal rectangular de aducción (aguas abajo)	212
Figura 61. Vista frontal muro anterior y posterior del canal rectangular de aducción	213
Figura 62. Pantalla obras de captación, canal rectangular de aducción	214
Figura 63. Diseño de la cámara de recolección y cálculo de la altura de los muros de contención	219
Figura 64. Vistas cámara de recolección	220
Figura 65. Pantalla de diseño de la cámara de recolección y cálculo de la altura de los muros de contención	221
Figura 66. Cálculo del caudal de excesos	225
Figura 67. Obras de captación	226
Figura 68. Perfil aliviadero	235
Figura 69. Diseño de perfil de aliviadero	237
Figura 70. Obras de captación	239
Figura 71. Diseño de pozo de amortiguación	245
Figura 72. Aliviadero	246
Figura 73. Obras de captación, diseño de pozo de amortiguación	247
Figura 74. Cálculo de cotas	252
Figura 75. Esquema bocatoma de fondo	253
Figura 76. Obras de captación, cálculo de cotas	254

Figura 77. Elementos estructurales	256
Figura 78. Cálculo estructural	265
Figura 79. Cálculo estructural	266
Figura 80. Cálculo estructural	268
Figura 81. Cálculo estructural	269
Figura 82. Cálculo estructural	269
Figura 83. Descomposición de la estructura de captación en partes para análisis	270
Figura 84. Subpresión (Puntos Críticos)	272
Figura 85. Estado de carga de el elemento	273
Figura 86. Estado de carga elemento 2	274
Figura 87. Estado de carga elemento 3	275
Figura 88. Diseño estructural	283
Figura 89. Diseño estructural elemento 1	283
Figura 90. Diseño estructural elemento 2	284
Figura 91. Diseño estructural elemento 3	284
Figura 92. Esquema de deformación de la estructura para determinar el refuerzo a flexión debido al empuje del agua	291
Figura 93. Diseño a flexión, elemento 1	300
Figura 94. Diseño a flexión, elemento 1	301
Figura 95. Diseño a flexión, elemento 1	302
Figura 96. Diseño a flexión, elemento 1	307
Figura 97. Diseño a flexión, elemento 1	307

Figura 98. Diseño a flexión, elemento 1	308
Figura 99. Diseño a flexión, elemento 1	308
Figura 100. Diseño a flexión, elemento 2	309
Figura 101. Diseño a flexión, elemento 2	309
Figura 102. Diseño a flexión, elemento 3	310
Figura 103. Diseño a flexión, elemento 3	310
Figura 104. Distribución del acero de retracción y fraguado en el elemento 1	312
Figura 105. Sección del elemento inclinado	313
Figura 106. Retracción y fraguado	324
Figura 107. Retracción y fraguado	325
Figura 108. Retracción y fraguado	326
Figura 109. Retracción y fraguado	327
Figura 110. Bocatoma de fondo	331
Figura 111. Acero de retracción y fraguado	332
Figura 112. Acero de retracción y fraguado	332
Figura 113. Acero de retracción y fraguado	333
Figura 114. Acero de retracción y fraguado	333
Figura 115. Acero de retracción y fraguado	334
Figura 116. Elementos de la estación de bombeo	336
Figura 117. Línea de energía en el esquema de bombeo con cabeza de succión negativa	338
Figura 118. Curva característica de la bomba	339

Figura 119. Curvas características de operación del sistema	340
Figura 120. Rango de operación de la estación de bombeo	340
Figura 121. Válvula de pie con coladera	351
Figura 122. Pantalla datos de salida	352
Figura 123. Curva característica de la bomba y operación del sistema. Diámetro de impulsión = 10"	361
Figura 124. Curva característica de la bomba y operación del Sistema = 8"y 10"	367
Figura 125. Bombas y estaciones de bombeo	373
Figura 126. Tubería de impulsión	374
Figura 127. Tubería de succión	375
Figura 128. Cálculo de la altura dinámica de elevación y pérdidas en la succión.	376
Figura 129. Cálculo de la altura dinámica de elevación y pérdidas en la succión.	377
Figura 130. Pérdidas de impulsión	378
Figura 131. Curva de la bomba	380
Figura 132. Curva de operación	381
Figura 133. Potencia de la bomba	382
Figura 134. Bombas y estaciones de bombeo	390
Figura 135. Bombas y estaciones de bombeo	391
Figura 136. Bombas y estaciones de bombeo	392
Figura 137. Bombas y estaciones de bombeo	393
Figura 138. Bombas y estaciones de bombeo	394

Figura 139. Bombas y estaciones de bombeo	394
Figura 140. Bombas y estaciones de bombeo	395
Figura 141. Bombas y estaciones de bombeo	396
Figura 142. Bombas y estaciones de bombeo	397
Figura 143. Bombas y estaciones de bombeo	398
Figura 144. Bombas y estaciones de bombeo	399
Figura 145. Bombas y estaciones de bombeo	400
Figura 146. Aducción bocatoma – desarenador	407
Figura 147. Perfil de la aducción bocatoma – desarenador. Resultados finales	412
Figura 148. Aducciones	414
Figura 149. Aducciones	415
Figura 150. Aducciones	416
Figura 151. Aducciones	417
Figura 152. Aducciones	418
Figura 153. Aducción	423
Figura 154. Aducción	424
Figura 155. Aducción	425
Figura 156. Aducción	425
Figura 157. Aducción	426
Figura 158. Aducción	426
Figura 159. Aducción	427

Figura 160. Esquema de zonas del desarenador	430
Figura 161. Vertedero de salida	445
Figura 162. Pendientes longitudinal y transversal del desarenador	446
Figura 163. Cámara de aquietamiento	447
Figura 164. Planta Desarenador	451
Figura 165. Perfil del desarenador	451
Figura 166. Periodo de diseño y determinación del diámetro en suspensión	455
Figura 167. Periodo de diseño y determinación del diámetro en suspensión	456
Figura 168. Dimensionamiento del desarenador	457
Figura 169. Dimensionamiento del desarenador	458
Figura 170. Dimensionamiento del desarenador	459
Figura 171. Dimensionamiento del desarenador	460
Figura 172. Cálculo de los elementos del desarenador	461
Figura 173. Cálculo de los elementos del desarenador	462
Figura 174. Perfil hidráulico	463
Figura 175. Perfil hidráulico	464
Figura 176. Periodo de diseño y determinación del diámetro en suspensión del desarenador	475
Figura 177. Dimensionamiento del desarenador	476
Figura 178. Dimensionamiento del desarenador	476
Figura 179. Dimensionamiento del desarenador	477
Figura 180. Dimensionamiento del desarenador	478

Figura 181. Dimensionamiento del desarenador	479
Figura 182. Dimensionamiento del desarenador	479
Figura 183. Cálculo de los elementos del desarenador	480
Figura 184. Resultados de los elementos del desarenador	481
Figura 185. Perfil hidráulico del desarenador	482
Figura 186. Perfil hidráulico del desarenador	482
Figura 187. Perfil hidráulico del desarenador	483
Figura 188. Perfil hidráulico del desarenador	484
Figura 189. Válvula de purga	486
Figura 190. Ubicación de la ventosa	487
Figura 191. Válvula de control	488
Figura 192. Válvula de compuerta y mariposa	488
Figura 193. Distribución de la presión por maniobra rápida	493
Figura 194. Distribución de la presión por maniobra lenta	493
Figura 195. Conducción desarenador – tanque de almacenamiento. Planta	502
Figura 196. Conducción desarenador – tanque de almacenamiento. Perfil	502
Figura 197. Periodo de diseño e ingreso de la conducción	514
Figura 198. Periodo de diseño e ingreso del perfil de la conducción	515
Figura 199. Periodo de diseño e ingreso del perfil de la conducción	516
Figura 200. Conducción: desarenador – tanque de almacenamiento	517
Figura 201. Conducción: desarenador – tanque de almacenamiento	519

Figura 202. Conducción: desarenador – tanque de almacenamiento	520
Figura 203. Conducción: desarenador – tanque de almacenamiento	521
Figura 204. Conducción: desarenador – tanque de almacenamiento	522
Figura 205. Conducción: desarenador – tanque de almacenamiento	523
Figura 206. Conducción: desarenador – tanque de almacenamiento	524
Figura 207. Conducción: desarenador – tanque de almacenamiento	525
Figura 208. Conducción: desarenador – tanque de almacenamiento	526
Figura 209. Conducción: desarenador – tanque de almacenamiento	527
Figura 210. Conducción: desarenador – tanque de almacenamiento	528
Figura 211. Conducción: desarenador – tanque de almacenamiento	529
Figura 212. Conducción: desarenador – tanque de almacenamiento	530
Figura 213. Conducción: desarenador – tanque de almacenamiento	531
Figura 214. Conducción: desarenador – tanque de almacenamiento	532
Figura 215. Conducción: desarenador – tanque de almacenamiento	533
Figura 216. Conducción: desarenador – tanque de almacenamiento	534
Figura 217. Conducción: desarenador – tanque de almacenamiento	535
Figura 218. Conducción: desarenador – tanque de almacenamiento	536
Figura 219. Conducción: desarenador – tanque de almacenamiento	537
Figura 220. Conducción: desarenador – tanque de almacenamiento	538
Figura 221. Periodo de diseño e ingreso del perfil de la conducción	539
Figura 222. Periodo de diseño e ingreso del perfil de la conducción	540
Figura 223. Desarenador tanque de almacenamiento de la conducción	541

Figura 224. Desarenador tanque de almacenamiento de la conducción	542
Figura 225. Desarenador tanque de almacenamiento de la conducción	542
Figura 226. Desarenador tanque de almacenamiento de la conducción	543
Figura 227. Desarenador tanque de almacenamiento de la conducción	543
Figura 228. Desarenador tanque de almacenamiento de la conducción	544
Figura 229. Desarenador tanque de almacenamiento de la conducción	545
Figura 230. Desarenador tanque de almacenamiento de la conducción	545
Figura 231. Desarenador tanque de almacenamiento de la conducción	546
Figura 232. Desarenador tanque de almacenamiento de la conducción	546
Figura 233. Desarenador tanque de almacenamiento de la conducción	547
Figura 234. Desarenador tanque de almacenamiento de la conducción	547
Figura 235. Desarenador tanque de almacenamiento de la conducción	548
Figura 236. Desarenador tanque de almacenamiento de la conducción	548
Figura 237. Desarenador tanque de almacenamiento de la conducción	549
Figura 238. Desarenador tanque de almacenamiento de la conducción	550
Figura 239. Red de mayor a menor diámetro	552
Figura 240. Red en árbol	552
Figura 241. Red en parilla	553
Figura 242. Red en mallas	553
Figura 243. Disposición de válvulas de corte	555
Figura 244. Red de distribución principal y menor con curvas de nivel	564
Figura 245. Línea matriz	565

Figura 246. Hipótesis de distribución de caudales	567
Figura 247. Red de distribución inicial para el cálculo por el método de (Hardy Cross)	570
Figura 248. Red de distribución	580
Figura 249. Red de distribución	581
Figura 250. Red de distribución	582
Figura 251. Red de distribución	583
Figura 252. Red de distribución	584
Figura 253. Red de distribución	585
Figura 254. Hipótesis de distribución de la red	586
Figura 255. Hipótesis de distribución de la red	587
Figura 256. Método de Hardy Cross	588
Figura 257. Método de Hardy Cross	589
Figura 258. Método de Hardy Cross	590
Figura 259. Método de Hardy Cross	591
Figura 260. Método de Hardy Cross	592
Figura 261. Método de Hardy Cross	593
Figura 262. Red de distribución	594
Figura 263. Red de distribución	595
Figura 264. Red de distribución	595
Figura 265. Red de distribución	596

GLOSARIO

ABSCISA: Coordenada horizontal en un plano cartesiano rectangular, expresada como la distancia entre un punto y el eje vertical.

ACUEDUCTO: Construcción para conducir agua, en especial para el abastecimiento de una población y salvando alguna depresión del terreno.

AGUA POTABLE: La que se puede beber.

AGUAS SERVIDAS: A las aguas residuales también se les llama **aguas servidas**, **fecales** o **cloacales**. Son residuales, habiendo sido usada el agua, constituyen un residuo, algo que no sirve para el usuario directo; y cloacales porque son transportadas mediante cloacas (del latín *cloaca*, alcantarilla), nombre que se le da habitualmente al colector.

AGUAS ARRIBA O AGUAS ABAJO: Contra la corriente o siguiendo su curso.

ALCANTARILLA: Ducto o canal destinado para recoger las aguas llovedizas o sucias y darles paso.

ALCANTARILLADO: Conjunto de alcantarillas.

ALGORITMO: Es un método para resolver un problema.

ALVIADERO: Es una estructura construida generalmente en concreto ciclópeo que hace parte del sistema de captación y que cumple la función de disipar la energía para que la devolución al cauce natural no produzca daños.

BOCATOMA: Es una estructura hidráulica destinada a derivar desde unos cursos de agua, río, arroyo, o canal; o desde un lago; o incluso desde el mar, una parte del agua disponible en esta, para ser utilizada en un fin específico, como pueden ser abastecimiento de agua potable, riego, generación de energía eléctrica, acuicultura, enfriamiento de instalaciones industriales, etc.

BOMBA: Maquina para elevar agua u otro liquido compuesta principalmente de un motor eléctrico, cilindro, y un embolo y válvulas.

CÁMARA DE RECOLECCIÓN: Estructura generalmente rectangular en la cual se recolecta el caudal necesario para ser distribuido al sistema de acueducto.

CÁMARA DE AQUIETAMIENTO: Estructura rectangular que cumple la función de reducir la presión y la turbulencia de las aguas provenientes de alguna fuente o tanque de almacenamiento y así entregarlas al desarenador de una forma adecuada.

CANAL: Conducto descubierto que transporta agua a flujo libre.

CANAL DE ENTRADA: Estructura rectangular que permite el paso y la normalización del flujo antes de llegar a la cámara de recolección.

CAPTACIÓN: Es un sistema de elementos que en conjunto reciben el agua de una fuente hídrica.

CAUDAL: Volumen de agua que circula en una unidad de tiempo.

CAUDAL DE DISEÑO: Es el caudal que cumple con la demanda de agua de cada una de las estructuras del sistema de acueducto.

CAUDAL DE INCENDIO: Parte del caudal en una red de distribución destinado a combatir los incendios.

CAUDAL MÁXIMO DIARIO: Consumo máximo durante veinticuatro horas, observado en un período de un año, sin tener en cuenta las demandas contra incendio que se hayan presentado.

CAUDAL MÁXIMO HORARIO: Consumo máximo durante una hora, observado en un período de un año, sin tener en cuenta las demandas contra incendio que se hayan presentado.

CAUDAL MEDIO DIARIO: Consumo medio durante veinticuatro horas, obtenido como el promedio de los consumos diarios en un período de un año.

CAVITACIÓN: Es un fenómeno que se presenta cuando la presión en la succión producida por una bomba está cercana a la presión de vapor del fluido.

COEFICIENTE DE PÉRDIDA MENOR: Medida de las pérdidas de energía que se producen por el paso del flujo en un accesorio o estructura, y que es factor de la cabeza de velocidad.

COEFICIENTE DE RUGOSIDAD: Medida de la rugosidad de una superficie, que depende del material y del estado de la superficie interna de una tubería.

COTA: Número que en los planos topográficos indica la altura sobre el nivel del mar.

CONDUCCIÓN: Es un conjunto de tubos utilizado para el transporte de agua (tratada o potable) entre el desarenador y el tanque de almacenamiento.

DENTELLÓN: Elemento estructural de la captación diseñado para soportar el empuje pasivo del suelo.

DESARENADOR: es una estructura diseñada para retener la arena que traen las aguas superficiales a fin de evitar que ingresen, a la conducción o al proceso de tratamiento y lo obstaculicen creando serios problemas

DESCARGA: Es la entrega de aguas de un sitio o elemento hidráulico determinado hacia otro.

DIAGRAMAS DE FLUJO (FLOWS CHARTS): Es la representación gráfica del algoritmo; según la ANSI consta de una simbología determinada.

DISEÑO HIRDRÁULICO: Se refiere al proceso de dimensionamiento de cada uno de los elementos hidráulicos componen una bocatoma, y al comportamiento del agua dentro de los mismos.

DISEÑO ESTRUCTURAL: Va dirigido a la estabilidad de la estructura de captación frente a las fuerzas que actúan sobre esta, las cuales se deben contrarrestar con la adecuada elección, cuantificación y combinación de los diferentes materiales de construcción.

DOTACIÓN NETA: Cantidad de agua usada efectivamente en cada una de as actividades que se realizan en una comunidad.

FUENTE DE ABASTECIMIENTO DE AGUA: Depósito o curso de agua superficial o subterráneo, natural o artificial, utilizado en un sistema de suministro de agua.

FUGAS: Cantidad de agua que se pierde en un sistema de acueducto por accidentes en la operación, tales como rotura o fisura de tubos, rebose de tanques, o fallas en las uniones entre las tuberías y los accesorios.

GOLPE DE ARIETE: Fenómeno hidráulico de tipo dinámico oscilatorio, causado por la interrupción violenta del flujo en una tubería, bien por el cierre rápido de una válvula o apagado del sistema de bombeo, que da lugar a la transformación de la energía cinética en energía elástica, tanto en el flujo como en la tubería, produciendo sobreelevación de la presión, subpresiones y cambios en el sentido de la velocidad del flujo.

LÁMINA PERFORADA: Es una lámina constituida por orificios pequeños para evitar el paso de los sólidos arrastrados por el agua.

NODO: Es un punto de conexión entre dos o más elementos de un circuito.

PÉRDIDAS: Se refiere a la disminución de la capacidad de alcance del agua del agua o pérdida de energía de esta expresada en metros.

PERFIL HIDRAULICO: Es básicamente el nivel del agua en los distintos puntos de una estructura hidráulica.

PERIODO DE RETENCIÓN HIDRAULICO: Es el tiempo que tarda una partícula de agua en entrar y salir del tanque desarenador.

PERIODO DE DISEÑO: Periodo u horizonte de planeación de las diferentes estructuras.

POBLACIÓN: Una **población** es un grupo de personas, u organismos de una especie particular, que vive en un área geográfica, o espacio, y cuyo número de habitantes se determina normalmente por un censo.

POBLACIÓN FLOTANTE: Se define como el contingente demográfico compuesto por aquellas personas que, aún no estando oficialmente inscritas en el censo de población, residen temporal o permanentemente en un ámbito geográfico.

PRESA: Estructura construida generalmente en concreto ciclópeo, dentro de ella se encuentra un canal de aducción.

PSEUDO CÓDIGO: Es el lenguaje de especificación de algoritmos y tiene una estructura: Las instrucciones se escriben en ingles o en palabras similares al ingles o español que facilitan la escritura de programación.

RATAS DE CRECIMIENTO: La rata o tasa del crecimiento poblacional (**PGR** de las siglas en inglés: *Population growth rate*) es la tarifa fraccionaria en la cual el número de individuos en una población aumenta.

RECURSOS HÍDRICOS: Se refiere a los cuerpos de agua dulce con los cuales cuenta una región.

REJILLA: Elemento constituido por barras de acero separadas entre si por espacios mínimos para evitar el paso de los sólidos que arrastra el agua.

SANEAMIENTO: El saneamiento básico es el conjunto de acciones técnicas y socioeconómicas de salud pública que tienen por objetivo alcanzar

SISTEMA DE ABASTECIMIENTO: Es un sistema de obras de ingeniería, concatenadas que permiten llevar hasta la vivienda de los habitantes de una ciudad, pueblo o área rural relativamente densa, el agua potable.

SEDIMENTACIÓN: La sedimentación es el proceso por el cual el material sólido, transportado por una corriente de agua, se deposita en el fondo del río, embalse, canal artificial, o dispositivo construido especialmente para tal fin.

SUMIDERO: Un sumidero es un tipo de dolina circular que actúa como desagüe natural para el agua de lluvia o para corrientes superficiales como ríos o arroyos.

TUBERÍA: La tubería es un conducto que cumple la función de transportar agua.

TUBERÍA DE IMPULSIÓN: Utilizada para llevar el agua desde una bomba hasta un tanque.

TUBERÍA DE SUCCIÓN: Utilizada para llevar el agua desde el pozo o fuente hacia una bomba.

VALVULA DE PURGA: Accesorio instalado en la parte lateral de la tubería y sirven para la limpieza de estas.

VÁLVULA DE CONTROL O CORTE: Son accesorios que sirven para regular el caudal en una tubería.

VERTEDERO: Es una simple abertura sobre la cual fluye un líquido.

VENTOSAS: Son válvulas de expulsión o admisión de aire.

RESUMEN

El proyecto “elaboración de algoritmos para el desarrollo de herramientas en el diseño de acueductos”, consiste en elaborar los algoritmos de diseño para integrar el diseño hidráulico y el diseño estructural de acueductos, de tal forma que sirvan para el desarrollo futuro de un aplicativo informático.

En la ingeniería civil un campo importante son los recursos hídricos que se encuentran en el entorno de las comunidades y aun mas importante es el manejo que estas les dan, para ello es necesario el estudio, diseño y construcción de acueductos, los cuales siempre van regidos por normas antecedidas por rigurosos estudios y experiencias. En la actualidad existen infinidad de software que sirven como herramientas para el diseño de acueductos, pero por lo general estos programas de computador no están al alcance de nuestros estudiantes y profesionales, por lo cual es necesaria la creación de una serie de algoritmos que sirvan como base para el desarrollo futuro de un software que esté al alcance de los diseñadores de estructuras hidráulicas en el área de saneamiento y agua potable.

El objetivo principal del proyecto es analizar y aplicar las normas establecidas por las cuales se adopta: el reglamento técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, Aspectos Generales de los Sistemas de Agua Potable y Saneamiento Básico, y Sistemas de Acueductos con sus respectivos títulos (RAS 2000), expedidas por la dirección general de agua potable y saneamiento básico del ministerio de desarrollo económico. Con base en lo anterior se construirá una serie de algoritmos para la obtención de diseños adecuados de los elementos de un acueducto y de acuerdo a la dimensión de estos y a los precios de los materiales básicos utilizados en su construcción, se busca obtener un costo aproximado de obra que sirva como guía en el desarrollo de los proyectos.

La importancia del proyecto se da en que esta serie de algoritmos además de servir como herramienta y guía en el desarrollo secuencial para el diseño de un acueducto, se puede utilizar para resolver problemas de planeación de proyectos.

ABSTRACT

The project called “creation of algorithms for the development of tools in the design of sewer systems and aqueducts”, consist of making the algorithms of the design to put together the hydraulic design, and the structural design, for the designing of sewer systems and aqueducts in order to help with the future development of IT applications generally.

In Civil Engineering, an important field is the one having to do with hydrological resources that are found in the environments of communities as well as the use these communities give to those resources. For this reason, it is necessary the study, design and construction of aqueducts which ones are always applied by preceded rules of rigorous studies and experiences. Currently there is lots of software that are used as tools for the designing of aqueducts but, in general, those computer programs are out of reach of students and professional people. Therefore, it is necessary the creation of algorithms series in order to be used as basis for the future development of a software within reach of designers of hydraulic structures in cleaning- up and potable water.

The main goal of this project is to analyze and apply established rules through which: technical regulations in the potable water and Basic cleaning- up field, general aspects of the potable water systems and basic cleaning-up and, Aqueduct systems (RAS 2000), were adopted and issued by the general management of potable water and basic cleaning-up of the department of economic development. Taking into account the previous statement, a series of algorithms are developed to obtain adequate designs from the elements of an aqueduct and in accordance with the measurement of these and the prices of the basic materials used in their construction. We look for approximated costs of the building work that could be used as a guide in the development of projects.

The importance of this project is that the series of algorithms is going to be useful as a tool as well as a guide in the sequential development of the design of sewer systems and aqueducts. This could be used to solve problems of the project planning.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad son notables los avances tecnológicos que se han logrado, todo con el fin de mejorar el nivel de vida de las personas, estos están más al alcance de quienes habitan las grandes ciudades y dichos avances se deberían ver reflejados en los diferentes campos que intervienen en el diario vivir de todas las comunidades, uno de los más importantes es el campo del manejo y suministro de agua potable, ya que si una ciudad o población por pequeña que sea espera de si misma un desarrollo en cualquier aspecto, debería contar como mínimo con los servicios de acueducto y alcantarillado. Por esta razón este trabajo está orientado a una solución básica de los servicios referidos, por medio de la elaboración de algoritmos que contribuyen a la creación de herramientas que estén al alcance de los estudiantes y profesionales, para facilitar la planeación y elaboración de proyectos.

Para suministrar agua potable a una población se necesita una serie de obras hidráulicas para la captación, el sistema de purificación de agua, la conducción, el almacenamiento, y, la distribución tanto del agua potable como la disposición de estas después de ser utilizadas por la población, para luego ser entregadas a un cuerpo de agua receptor. El presente proyecto se desarrolló con miras al proceso de planeación de proyectos de este tipo, ya que tiene como fin contribuir en el desarrollo de un software que diseñe los diferentes elementos que componen un sistema de acueducto, por medio del proceso de la información suministrada por el profesional, referida a un proyecto específico.

El trabajo se divide en nueve capítulos dentro de los cuales se encuentran algoritmos que proponen una forma de procesar generalmente cierto tipo de información, para así obtener un diseño aproximado de los diferentes elementos que componen un acueducto. En el capítulo cuatro (obras de captación) por ejemplo, se pretende incluir además del diseño geométrico de la obra de captación de fondo, su diseño estructural, esto con miras a aportar en un futuro al desarrollo de una nueva propuesta que abarque los distintos tipos de bocatoma y el diseño estructural de cada una de ellas, con lo cual se obtendrá una herramienta muy eficiente y propia de la facultad.

1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Se pueden elaborar algoritmos que contribuyan a la creación posterior de herramientas (software) para facilitar el diseño de acueductos?

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El problema consiste en la ausencia de un algoritmo completo, que reúna los ítems que son necesarios para diseñar todo el sistema de un acueducto que posteriormente pueda ser codificado por un ingeniero de sistemas a manera de software, el cual esté al alcance de los profesionales y estudiantes de ingeniería civil en la región de Nariño.

2. JUSTIFICACIÓN

La realización del presente proyecto se justifica por lo siguiente:

Debido a la no existencia de algoritmos y su respectivo aplicativo que integren el diseño hidráulico, estructural y los métodos constructivos, en el diseño de acueductos.

La realización de aplicativos de diseño, ofrece un valor agregado, en el reconocimiento de la calidad de un programa, facultad y universidad.

Los estudiantes y profesionales tendrán una herramienta completa y a bajo costo, para ser usado en el trabajo cotidiano de la ingeniería civil.

Los docentes del área de Saneamiento Básico y Agua Potable, tendrán una herramienta pedagógica para la enseñanza de la ingeniería.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Elaborar una serie de algoritmos que puedan contribuir en la creación de herramientas “software”, para el diseño de acueductos.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los componentes fundamentales de un sistema de abastecimiento de agua potable.
- I
Identificar y aplicar algunos métodos utilizados para diseñar los componentes de un sistema de acueducto, en cuanto a su dimensionamiento hidráulico.
- C
Conocer y aplicar el “Reglamento técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS)” establecido por la dirección general de agua potable y saneamiento básico del ministerio de desarrollo económico.
- E
Elaborar los algoritmos de diseño hidráulico, de un sistema de acueducto.
- Proponer un ejemplo para el diseño estructural de los elementos de un sistema de acueducto.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1 MARCO TEÓRICO

4.1.1 Concepto de algoritmo. Un algoritmo es un método para resolver un problema. Aunque la popularización del término ha llegado con el advenimiento de la era informática, algoritmo proviene de Mohammed Al-Khowarizmi, matemático persa que vivió en el siglo IX y alcanzó gran reputación por el enunciado de las reglas paso a paso para sumar, restar, multiplicar y dividir números decimales; la traducción al latín del apellido en la palabra algorismus derivó posteriormente en algoritmo. Euclides, el gran matemático griego (del siglo IV a.d.C.) que inventó un método para encontrar el máximo común divisor de dos números se considera con Al-Khowarizmi el otro gran padre de la algoritmia (ciencia que trata los algoritmos).

La resolución de un problema exige el diseño de un algoritmo que resuelva el problema propuesto:

Los pasos para la resolución de un problema son:

1. Diseño del algoritmo, que describe la secuencia ordenada de pasos –sin ambigüedades- que conducen a la solución de un problema dado (análisis del problema y desarrollo del algoritmo)
2. Expresar el algoritmo como un programa en un lenguaje de programación adecuado (fase de codificación).
3. Ejecución y validación del programa por la computadora.

Para llegar a la realización de un programa es necesario el diseño previo de un algoritmo, de modo que sin algoritmo no puede existir un programa.

Los algoritmos son independientes tanto del lenguaje de programación en que se expresan como de la computadora que los ejecuta. En cada problema el algoritmo se puede expresar en un lenguaje diferente de programación y ejecutarse en una computadora distinta; sin embargo, el algoritmo será siempre el mismo. Así, por ejemplo, en una analogía con la vida diaria, una receta de un plato de cocina se

puede expresar en español, inglés o francés, pero cualquiera que sea el lenguaje, los pasos para la elaboración del plato se realizarán sin importar el idioma del cocinero.

En la ciencia de la computación y en la programación, los algoritmos son más importantes que los lenguajes de computación o las computadoras. Un lenguaje de programación es tan solo un medio para expresar un algoritmo y una computadora es sólo un procesador para ejecutarlo. Tanto el lenguaje de programación como la computadora son los medios para obtener un fin: conseguir que el algoritmo se ejecute y se efectúe el proceso correspondiente.

Dada la importancia de algoritmo en la ciencia de la computación, un aspecto muy importante es el diseño de algoritmos.

a. Características de los algoritmos

Las características fundamentales que debe cumplir todo algoritmo son:

- Un algoritmo debe ser *preciso* e indicar el orden de realización de cada paso.
- Un algoritmo debe estar definido. Si se sigue un algoritmo dos veces, se debe obtener el mismo resultado cada vez.
- Un algoritmo debe ser finito. Si se sigue un algoritmo, debe terminar en algún momento; o sea, debe tener un número finito de pasos.

La definición de un algoritmo debe describir tres partes: entrada, proceso y salida. En el algoritmo de receta de cocina citado anteriormente se tendrá:

Entrada: Ingredientes y utensilios empleados.

Proceso: Elaboración de la receta de cocina.

Salida: Terminación del plato (por ejemplo, cordero)¹.

El algoritmo se puede representar por medio de dos formas:

- Pseudocódigo
- Diagrama de flujo

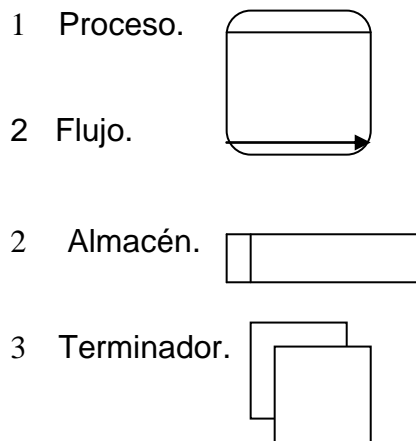
¹ JOYANES AGUILAR L.. Programación en Algoritmos. Estructuras de datos y objetos. España: McGRAW - HILL/INTERAMERICANA de España,S.A.U, 2000. p.10-27.

4.1.2 Diagramas de flujo (flows charts). Es la representación grafica del algoritmo; según la ANSI consta de una simbologia determinada. Es útil para determinar como funciona realmente el proceso para producir un resultado. El resultado puede ser un producto, un servicio, información o una combinación de los tres. Al examinar como los diferentes pasos en un proceso se relacionan entre si, se puede descubrir con frecuencia las fuentes de problemas potenciales.

Los diagramas de flujo se pueden aplicar a cualquier aspecto del proceso desde el flujo de materiales hasta los pasos para hacer la venta u ofrecer un producto. Los diagramas de flujo detallados describen la mayoría de los pasos en un proceso. Con frecuencia este nivel de detalle no es necesario, pero cuando se necesita, el equipo completo normalmente desarrollara una versión de arriba hacia abajo; luego grupos de trabajo mas pequeños pueden agregar niveles de detalle según sea necesario durante el proyecto.

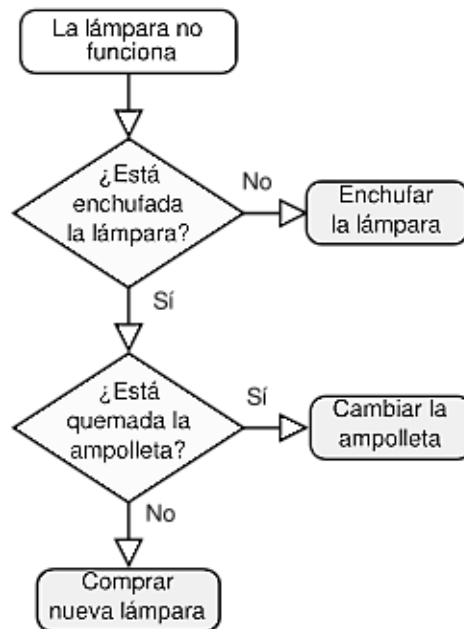
El diagrama de flujo de datos (DFD), es una herramienta que permite visualizar un sistema como una red de procesos funcionales, conectados entre sí por "conductos" y "tanques de almacenamiento" de datos. Siendo éste, una de las herramientas más comúnmente usadas, sobre todo por sistemas operacionales en los cuales las funciones del sistema son de gran importancia y son más complejos que los datos que éste maneja.

Los componentes de un diagrama típico de flujo de datos:



En la figura 1, se indica el diagrama de flujo sencillo con los pasos a seguir si una lámpara no funciona.

Figura 1. Ejemplo de diagrama de flujo de lámpara dañada



a. Símbolos utilizados

Para hacer comprensibles los diagramas a todas las personas, los símbolos se someten a una normalización; es decir, se hicieron símbolos casi universales, ya que, en un principio cada usuario podría tener sus propios símbolos para representar sus procesos en forma de Diagrama de flujo. Esto trajo como consecuencia que sólo aquel que conocía sus símbolos, los podía interpretar. La simbología utilizada para la elaboración de diagramas de flujo es variable y debe ajustarse a un patrón definido previamente.

En teoría, no es necesario usar un tipo especial de símbolos para crear un diagrama de flujo, pero existen algunos ampliamente utilizados por lo que es adecuado conocerlos y utilizarlos, ampliando así las posibilidades de crear un diagrama más claro y comprensible para crear un proceso lógico y con opciones múltiples adecuadas. Se utilizan los símbolos indicados a continuación, estandarizados según la norma ISO 5807:

- **Flecha.** Indica el sentido y trayectoria del proceso de información o tarea.
- **Rectángulo.** Se usa para representar un evento o proceso determinado. Éste es controlado dentro del diagrama de flujo en que se encuentra. Es el símbolo

más comúnmente utilizado. Se usa para representar un evento que ocurre de forma automática y del cual generalmente se sigue una secuencia determinada.

- **Rombo.** Se utiliza para representar una condición. Normalmente el flujo de información entra por arriba y sale por un lado si la condición se cumple o sale por el lado opuesto si la condición no se cumple. El rombo además especifica que hay una bifurcación.
- **Círculo.** Representa un punto de conexión entre procesos. Se utiliza cuando es necesario dividir un diagrama de flujo en varias partes, por ejemplo por razones de espacio o simplicidad. Una referencia debe darse dentro para distinguirlo de otros. La mayoría de las veces se utilizan números en los mismos.

Existen además un sin fin de formas especiales para denotar las entradas, las salidas, los almacenamientos, etcétera.

De acuerdo al estándar ISO, los símbolos e incluso las flechas deben tener ciertas características para permanecer dentro de sus lineamientos y ser considerados sintácticamente correctos. En el caso del círculo de conexión, se debe procurar usarlo sólo cuando se conecta con un proceso contenido dentro de la misma hoja.

Existen también conectores de página, que asemejan a una "casita" y se utilizan para unir actividades que se encuentran en otra hoja.

b. Características que debe cumplir un diagrama de flujo

En los diagramas de flujo se presuponen los siguientes aspectos:

- Existe siempre un camino que permite llegar a una solución (finalización del algoritmo).
- Existe un único inicio del proceso.
- Existe un único punto de fin para el proceso de flujo (salvo del rombo que indica una comparación con dos caminos posibles).

Recomendaciones. A su vez, es importante que al construir diagramas de flujo, se observen las siguientes recomendaciones:

- Evitar sumideros infinitos, burbujas que tienen entradas pero no salidas.
- Evitar las burbujas de generación espontánea, que tienen salidas sin tener entradas, porque son sumamente sospechosas y generalmente incorrectas.

- Tener cuidado con los flujos y procesos no etiquetados. Esto suele ser un indicio de falta de esmero, pero puede esconder un error aún más grave: a veces el analista no etiqueta un flujo o un proceso porque simplemente no se le ocurre algún nombre razonable.

c. Tipos de diagramas de flujo

- **Formato Vertical.** En él el flujo o la secuencia de las operaciones, va de arriba hacia abajo. Es una lista ordenada de las operaciones de un proceso con toda la información que se considere necesaria, según su propósito.
- **Formato Horizontal.** En él el flujo o la secuencia de las operaciones, va de izquierda a derecha.
- **Formato Panorámico.** El proceso entero está representado en una sola carta y puede apreciarse de una sola mirada mucho más rápidamente que leyendo el texto, lo que facilita su comprensión, aun para personas no familiarizadas. Registra no solo en línea vertical, sino también horizontal, distintas acciones simultáneas y la participación de más de un puesto o departamento que el formato vertical no registra.
- **Formato Arquitectónico.** Describe el itinerario de ruta de una forma o persona sobre el plano arquitectónico del área de trabajo. El primero de los flujogramas es eminentemente descriptivo, mientras que los últimos son fundamentalmente representativos².

4.1.3 Pseudocódigo. Es el lenguaje de especificación de algoritmos y tiene una estructura. Las instrucciones se escriben en inglés o en palabras similares al español o inglés que facilitan la escritura de programación.

El principal objetivo del pseudocódigo es el de representar la solución a un algoritmo de la forma más detallada posible, y a su vez lo más parecida posible al lenguaje que posteriormente se utilizara para la codificación del mismo.

Las principales características de este lenguaje son:

- Se puede ejecutar en un ordenador
- Es una forma de representación sencilla de utilizar y de manipular.
- Facilita el paso del programa al lenguaje de programación.
- Es independiente del lenguaje de programación que se vaya a utilizar.

² WIKIPEDIA LA enciclopedia libre. Diagrama de flujo. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Diagrama_de_flujo

- Es un método que facilita la programación y solución al algoritmo del programa.

4.1.4 El lenguaje unificado de modelado, UML. Es un lenguaje para visualizar, especificar, construir y documentar los artefactos de un sistema que involucra una gran cantidad de software, desde una perspectiva OO; UML es una notación, no es un proceso. UML puede usarse para modelar desde sistemas de información hasta aplicaciones distribuidas basadas en Web, pasando por sistemas empotrados de tiempo real; es solamente un lenguaje por lo que es sólo una parte de un método de desarrollo software

UML es un lenguaje que nos ayuda a interpretar grandes sistemas mediante gráficos o mediante texto obteniendo modelos explícitos que ayudan a la comunicación durante el desarrollo ya que al ser estándar, los modelos podrán ser interpretados por personas que no participaron en su diseño (e incluso por herramientas) sin ninguna ambigüedad. En este contexto, UML sirve para especificar, modelos concretos, no ambiguos y completos.

a. Utilidad de UML.

- Permite especificar todas las decisiones de análisis, diseño e implementación, construyéndose modelos precisos, no ambiguos y completos.
- UML puede conectarse a lenguajes de programación:
- Ingeniería directa e inversa
- Permite documentar todos los artefactos de un proceso de desarrollo (requisitos, arquitectura, pruebas, versiones,...)

b. tipos de diagramas UML

UML define 12 tipos de diagramas divididos en tres categorías.

- Diagramas estructurales: Clases, Objetos, Componentes, Despliegue (deployment).
- Diagramas de comportamiento: Caso de uso, Secuencia, Actividad, Colaboración, Estados.
- Diagramas de administración de modelo: Paquetes, Sub-sistemas, Modelos

4.1.5 Procedimiento general de diseño de los sistemas de acueducto.

Toda acción relacionada con el diseño, la construcción, la operación, el mantenimiento y/o la supervisión técnica de algún sistema de acueducto, debe seguir el procedimiento general mostrado a continuación:

PASO 1 - Definición del nivel de complejidad del sistema

Debe definirse el nivel de complejidad del sistema, según se establece en el capítulo A.3 para cada uno de los componentes del sistema.

PASO 2 - Justificación del proyecto y definición del alcance

Todo componente de un sistema de acueducto debe justificarse con la identificación de un problema de salud pública, del medio ambiente o de bienestar social, el cual tiene solución con la ejecución del sistema propuesto, ya sea mediante la ampliación de cobertura del servicio o mejoramiento de su calidad y eficiencia.

Además, el proyecto debe cumplir los criterios de priorización establecidos en el capítulo A.5.

PASO 3 - Conocimiento del marco institucional

El diseñador del sistema debe conocer las diferentes entidades relacionadas con la prestación del servicio público de suministro de agua potable, estableciendo responsabilidades y las funciones de cada una. Las entidades que deben identificarse son:

1. Entidad responsable del proyecto.
2. Diseñador.
3. Constructor.
4. Rol del municipio, ya sea como prestador del servicio o como administrador del sistema.
5. Empresa de Servicios Públicos y su carácter. (Oficial, mixto o privado)
6. Entidades territoriales competentes.
7. Entidades de planeación. (DNP, DSPD, Ministerio del Medio Ambiente, etc.)
8. Entidad reguladora. (CRA u otra)
9. Entidad de vigilancia y control. (SSPD u otra)
10. Operador.

11. Interventor.
12. Acciones proyectadas de la comunidad en el sistema.
13. Autoridad ambiental competente. (Ministerio del Medio Ambiente, corporaciones autónomas regionales, etc.)
14. Fuentes de financiación.

PASO 4 - Acciones legales

El diseñador debe conocer todas las leyes, decretos, reglamentos y normas; técnicas relacionadas con la conceptualización, diseño, operación, construcción, mantenimiento, supervisión técnica y operación de un sistema de acueducto o cada uno de sus componentes en particular.

Además, deben tomarse las medidas legales necesarias para garantizar el adecuado desarrollo del sistema de acueducto o alguno de sus componentes.

PASO 5 - Aspectos ambientales

Debe presentarse un estudio sobre el impacto ambiental generado por el proyecto, ya sea negativo o positivo, en el cual se incluya una descripción de las obras y acciones de mitigación de los efectos en el medio ambiente propios del proyecto, siguiendo todo lo establecido en el literal A.1.3

PASO 6 - Ubicación dentro de los planes de ordenamiento territorial y desarrollo urbano previstos

El diseñador debe conocer los planes de desarrollo y de ordenamiento territorial planteados dentro del marco de la Ley 388 de 1997 o la que la reemplace y establecer las implicaciones que el sistema de acueducto, o cualquiera de sus componentes, tendría dentro de la dinámica del desarrollo urbano.

En particular, el diseño de un sistema acueducto, o cualquiera de sus componentes, debe contemplar la dinámica de desarrollo urbano prevista en el corto, mediano y largo plazo de las áreas habitadas y las proyecta en los próximos años, teniendo en cuenta la utilización del suelo, la estratificación socioeconómica, el plan vial y las zonas de conservación y protección de recursos naturales y ambientales entre otros.

PASO 7 - Estudios de factibilidad y estudios previos

Todo proyecto de acueducto debe llevar a cabo los estudios factibilidad y los estudios previos mencionados en el capítulo A.7

PASO 8 - Diseño y requerimientos técnicos

El diseño de cualquier componente de un sistema de acueducto debe cumplir con los requisitos mínimos establecidos en el presente Título, según los literales establecidos en la tabla B.1.1.

El diseño de cualquier sistema de acueducto debe someterse a una evaluación socioeconómica estar sujeto a un plan de construcción, operación, mantenimiento y expansión de costo mínimo, siguiendo lo establecido en el capítulo A.8

PASO 9 - Construcción e interventoría

Los procesos de construcción e interventoría se ajustarán a los requisitos mínimos establecidos en el capítulo G.6 y el literal A.1.5

PASO 10 - Puesta en marcha, operación y mantenimiento

Los procedimientos y medidas pertinentes a la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento de los diferentes componentes de un sistema de acueducto deben seguir los requerimientos establecidos para cada componente en particular, según la tabla B.1.1

El procedimiento a seguir durante la elaboración de los algoritmos está ligado con el Reglamento técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS 2000), documentación técnico normativa que señala los requisitos que deben cumplir las obras, equipos y procedimientos operativos que se utilicen en la prestación de los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo y sus actividades complementarias, en cumplimiento de lo dispuesto en la Ley 142 de 1.994, que establece el régimen de los Servicios Públicos Domiciliarios en Colombia, y busca garantizar su calidad en todos los niveles³.

³ RAS 2000. Ministerio de desarrollo económico de Colombia. Reglamento técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), Títulos A “Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico” y B “Sistemas de acueducto”. Revisión 1, Bogotá. Ministerio de desarrollo económico 2000. p. 126.

5. METODOLOGÍA

Las etapas del proyecto serán las siguientes:

5.1 REVISIÓN Y ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE

Durante esta etapa se consulto y asimilo el estado del arte de los temas tratados y demás bibliografías que se consideraron necesarias durante la ejecución del proyecto.

Se acudió al Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS 2000), esto y la información que se necesito para la creación de algoritmos de diseño, se obtuvo por medio de herramientas tecnológicas como Internet, medios magnéticos y también por la utilización de libros.

Se analizaron las metodologías de diseño expuestas en los libros de acueductos y alcantarillados comúnmente conocidos, de los cuales se seleccionaron las que brindaron mayor seguridad en el cálculo y sena de mayor facilidad para efectos de programación.

5.2 REVISIÓN DEL PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO DEL ALGORITMO

Teniendo en cuenta que el procedimiento para diseño de acueductos es demasiado extenso, se construyo un modelo de algoritmo que se dividió en varios sub algoritmos y seguidamente se vuelven a dividir los sub algoritmos en otros más sencillos, hasta que puedan ser trabajados de una manera mucho más simple.

El proceso de ruptura del problema en cada etapa se llama refinamiento sucesivo.

Cada problema se resolvió mediante un modulo (subprograma); el algoritmo por ser estructurado de esta forma tiene diseño modular.

5.3 DESCRIPCIÓN DEL MODELO A CREAR

Se construyo un modelo de algoritmo, cuyo fin sea:

1. Determinación del tipo de fuente de abastecimiento.
2. Determinación del nivel de complejidad del sistema de acueducto.
3. Establecimiento de los factores básicos de diseño.

Periodo de diseño.

Determinación de la población futura.

Determinación del consumo de agua.

4. Diseño de los Componentes de un sistema de abastecimiento y Cálculo estructural de:

Captacion de fondo.

5.4 ESTABLECIMIENTO DE LA INFORMACIÓN A USAR

Se identificó y almacenó toda la información (unidades de medida, métodos, fórmulas, tablas, etc) necesaria para procesarla y establecer tanto constantes como variables, tomando como referencia base los libros de Corcho Romero, Lopez Cualla y las normas RAS (2000).

- a. **Variables a utilizar.** Las variables se especifican en cada capitulo.
- b. **Ecuaciones a utilizar.** Al igual que las variables se definen en cada capitulo.

5.5 DEFINICIÓN DE LA REPRESENTACIÓN Y PROCESO DEL ALGORITMO

Cada componente diseñado tiene las siguientes partes:

1. Análisis teórico.
2. Parámetros de diseño según el RAS 2000.
3. Metodología de cálculo pasó a paso.

4. Diagrama de flujo de la metodología.
5. Pseudocódigo
6. Pantallas de datos

Los diagramas de flujo se hicieron utilizando el programa Visio de Microsoft 2007, y el diseño de pantallas se realizó con los programas CorelDRAW y Adobe Photoshop, estos últimos para facilitar el montaje en lenguajes de programación.

6. FASE DE ANÁLISIS Y DISEÑO

Se construyen modelos para comprender mejor el sistema que se diseña, para facilitar la comunicación por medio de estructuras que representen lo que se desea que haga el software, por lo tanto la arquitectura de este se plantea a través de diagramas UML, diagramas de flujo, Pseudocódigo y el diseño de la interfaz de usuarios a través de pantallas. Los primeros son una representación esquemática del comportamiento del software en general, los diagramas de flujo y pseudocódigo son una forma detallada de todo el proceso del software, para que el desarrollador del mismo comprenda cual es el fin de este; el diseño de la interfaz contiene, diseño de entradas o formularios, reportes o salidas y menús de usuarios.

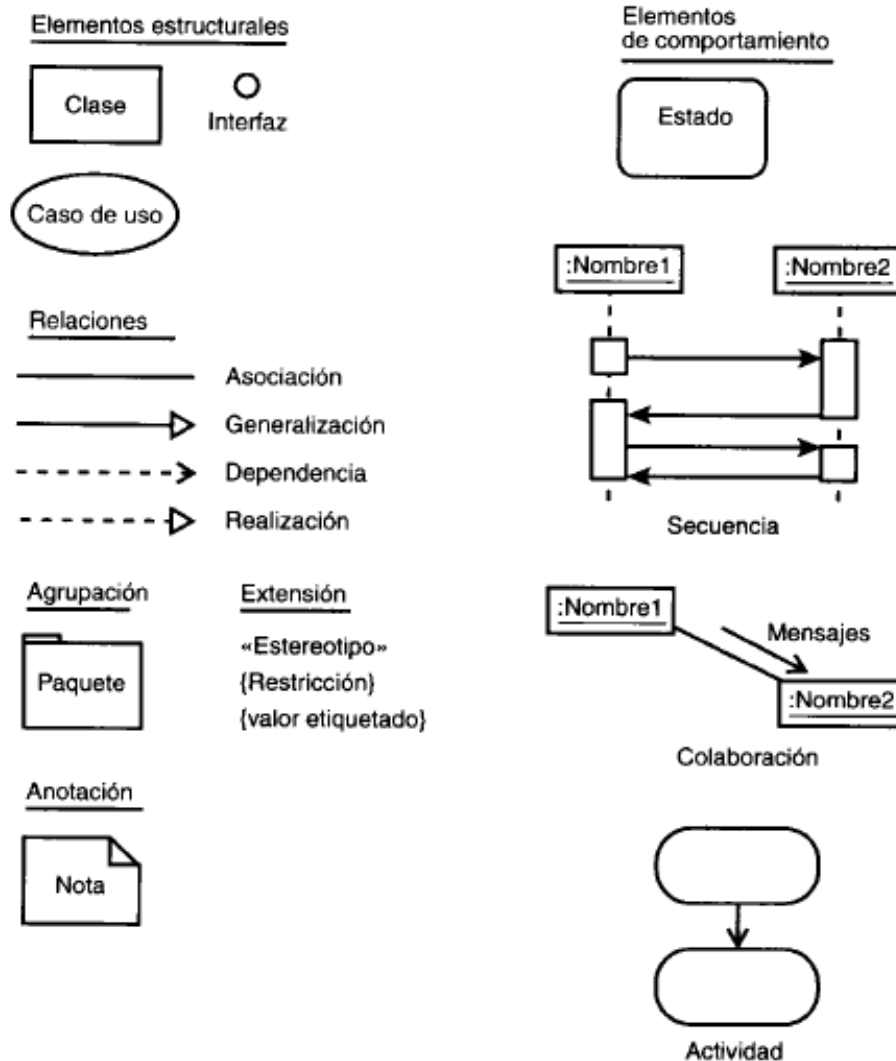
DIAGRAMAS UML

El éxito de los proyectos de desarrollo de aplicaciones de los sistemas se debe a que sirven como enlace entre quien tiene la idea y el desarrollador. El UML (Lenguaje unificado de modelado) es una herramienta que cumple con esta función, ya que le ayuda a capturar la idea de un sistema para comunicarla posteriormente a quien este involucrado en su proceso de desarrollo; esto se lleva cabo mediante un conjunto de símbolos y diagramas. Cada diagrama tiene fines distintos mediante el proceso de desarrollo.

UML define 12 tipos de diagramas divididos en tres categorías.

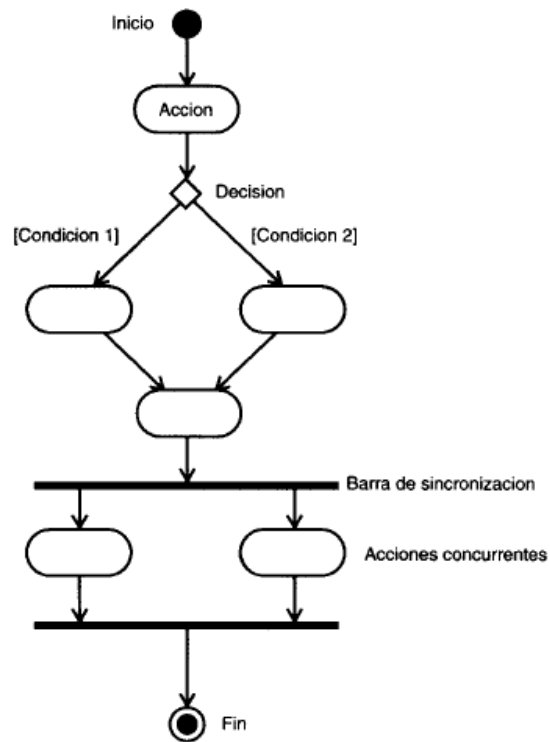
- ✓ **Diagramas estructurales.**
 - Clases, Objetos, Componentes, Despliegue (deployment).
- ✓ **Diagramas de comportamiento.**
 - Caso de uso, Secuencia, Actividad, Colaboración, Estados.
- ✓ **Diagramas de administración de modelo.**
 - Paquetes, Sub-sistemas, Modelos

Figura 2. Diagramas UML



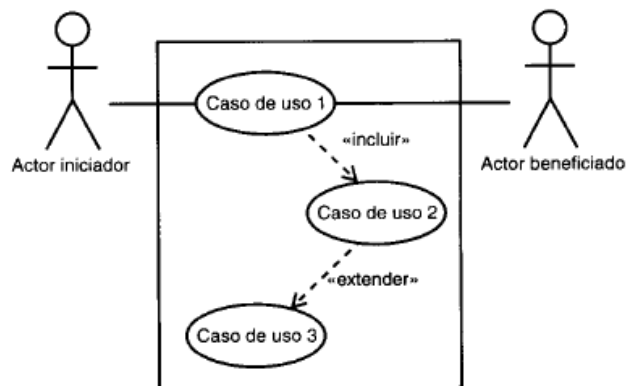
Para poder realizar la fase de análisis y diseño de los algoritmos, se emplearon los diagramas UML pertenecientes a la categoría de diagramas de comportamiento, específicamente diagramas de actividad, ya que estos permiten el modelado de la información para visualizar cómo se quiere que sea el sistema, especificar la estructura y determinar el comportamiento del mismo.

Figura 3. Diagrama de actividades



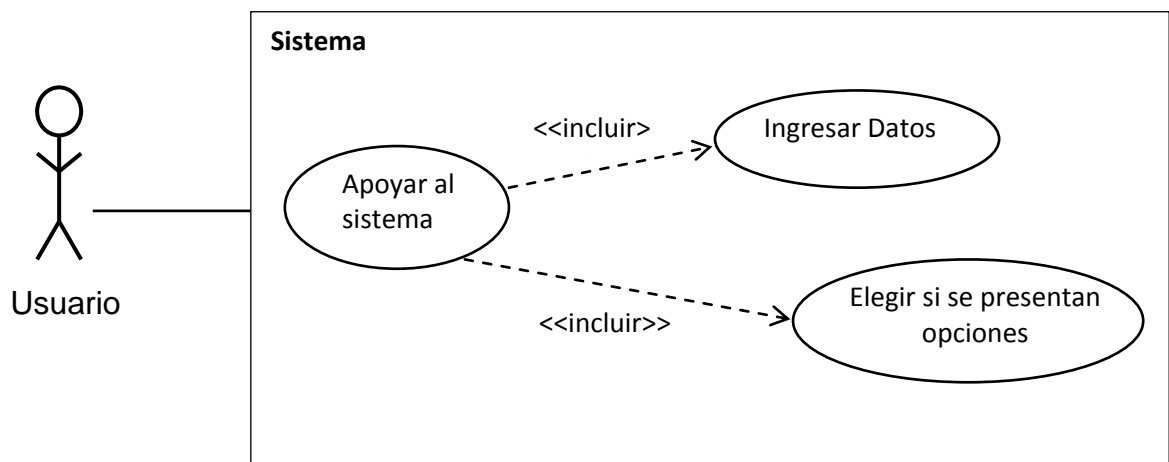
El diagrama de actividades ha sido diseñado para mostrar los pasos de lo que ocurre durante una operación o proceso, además de que este tipo de diagramas se puede combinar con símbolos de otros diagramas UML. También se utilizó diagramas casos de uso para mostrar las acciones de un sistema desde el punto de vista del usuario.

Figura 4. Diagrama de casos de uso



Una manera de expresar el funcionamiento del sistema por medio de un diagrama de casos de uso sería el siguiente:

Figura 5. Interacción usuario - sistema



Los modelos de diseño de la totalidad de los algoritmos que se presentan en este trabajo, se realizaron basándose en tres tipos de actividades que en general se utilizan en todo el proceso, estas actividades son:

- Almacenamiento de datos
- Procesos
- Selección o evaluación

Si se observa detenidamente cualquiera de los algoritmos propuestos, se puede verificar que todos se ajustan a alguno de los tipos mencionados.

Para una mejor explicación se utiliza una forma general del procedimiento de cada una de estas actividades, por medio de los diagramas de actividades mostrados en la fase de diseño.

6.1 FASE DE ANÁLISIS

Tabla 1. Descripción de la fase de análisis

Análisis preliminar	<p>Descripción: El sistema de información se encarga de guiar al usuario en el proceso del diseño de un sistema básico de abastecimiento de agua potable, su función es procesar los datos correspondientes a una población rural por medio de fórmulas generales y parámetros ya establecidos por normas y estándares, que dependen de la situación geográfica, económica y demográfica de dicha población.</p>
Determinación de requerimientos	<p>Los usuarios principales serían profesionales en la materia, como es el caso del diseñador del acueducto, estudiantes, profesionales, entre otros.</p> <p>Usuarios de entrada: Suministran datos al sistema de información</p> <p>Usuarios de salida: Requieren información</p>
Especificación de requerimientos	<p>Censos, caudal del río en sus diferentes estados, información económica general de la población, topografía y ubicación geográfica de la región.</p>

6.2 FASE DE DISEÑO

Diagramas de actividades

Figura 6. Diagrama UML, procesamiento de datos

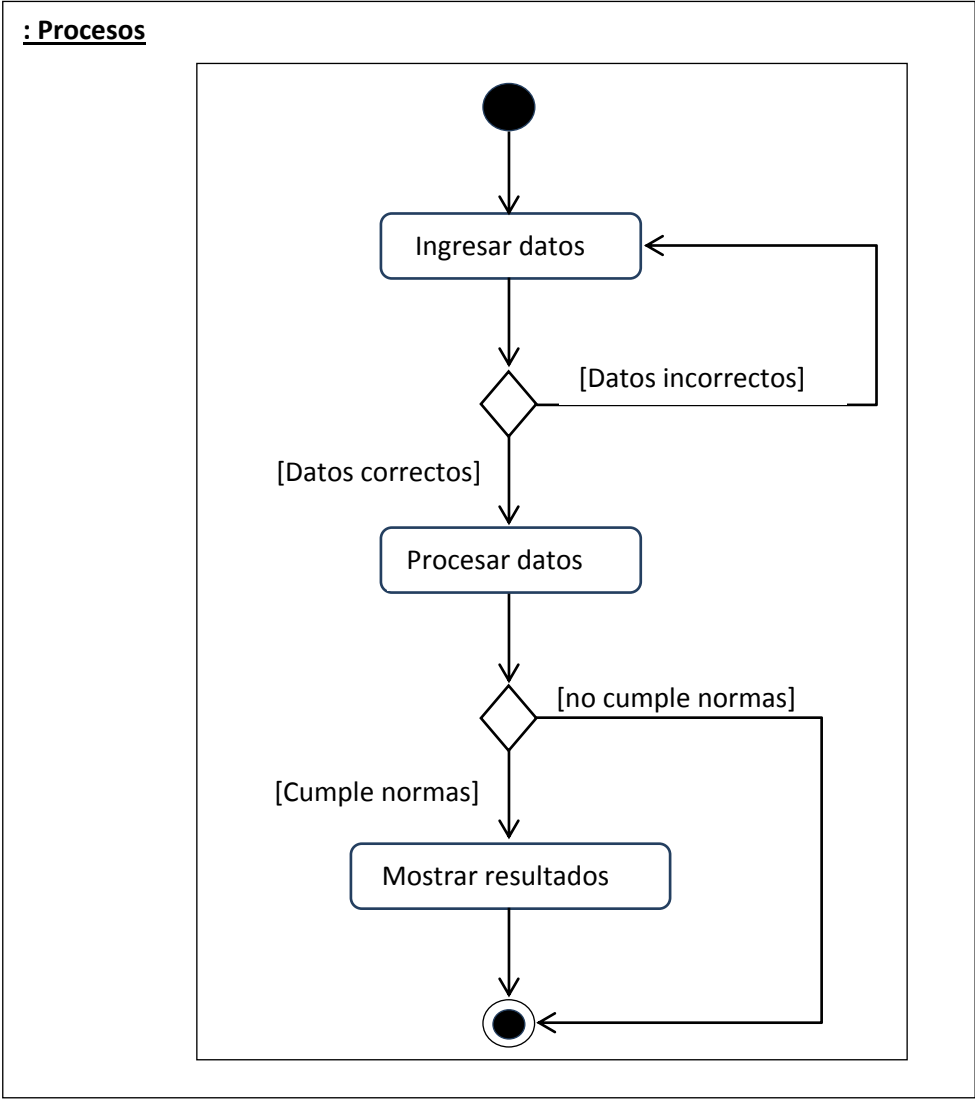


Figura 7. Diagrama UML, almacenamiento de datos

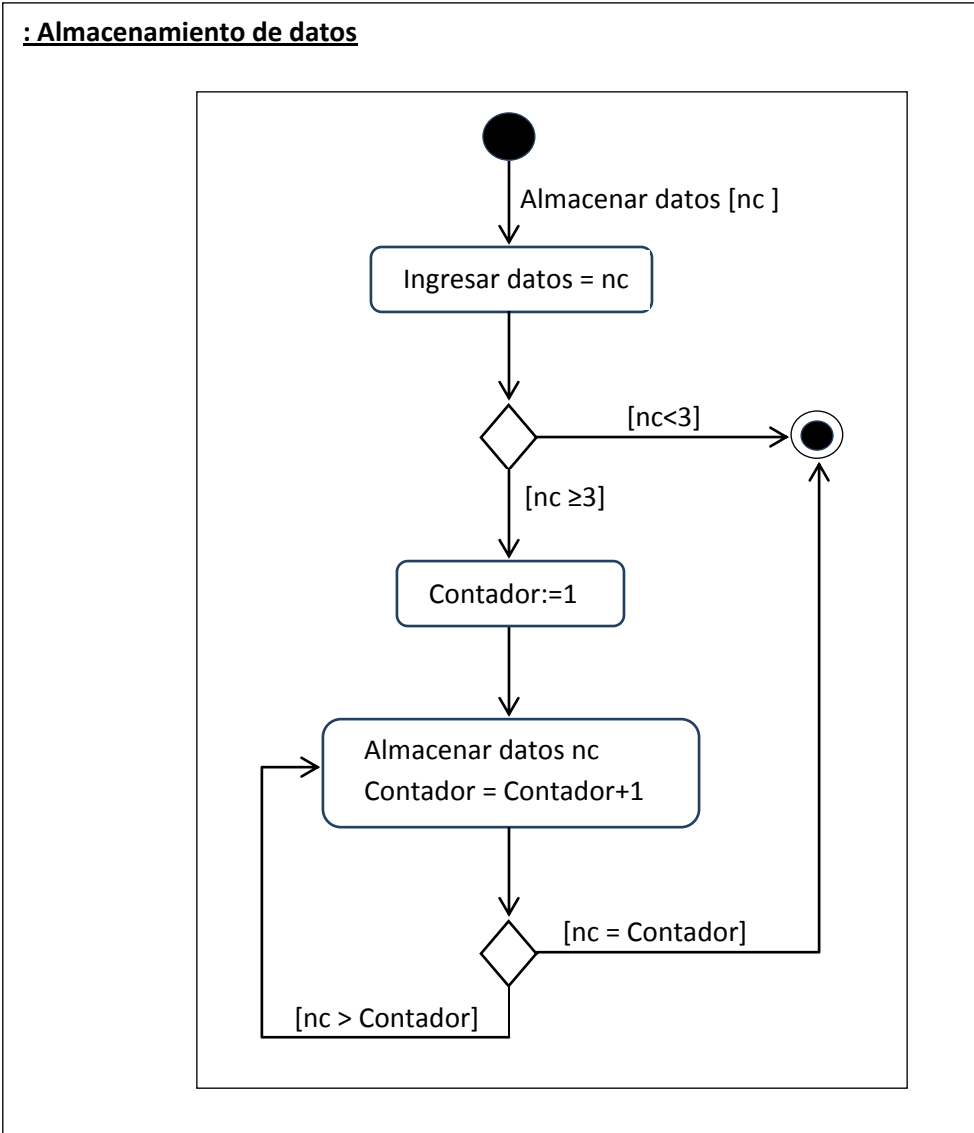
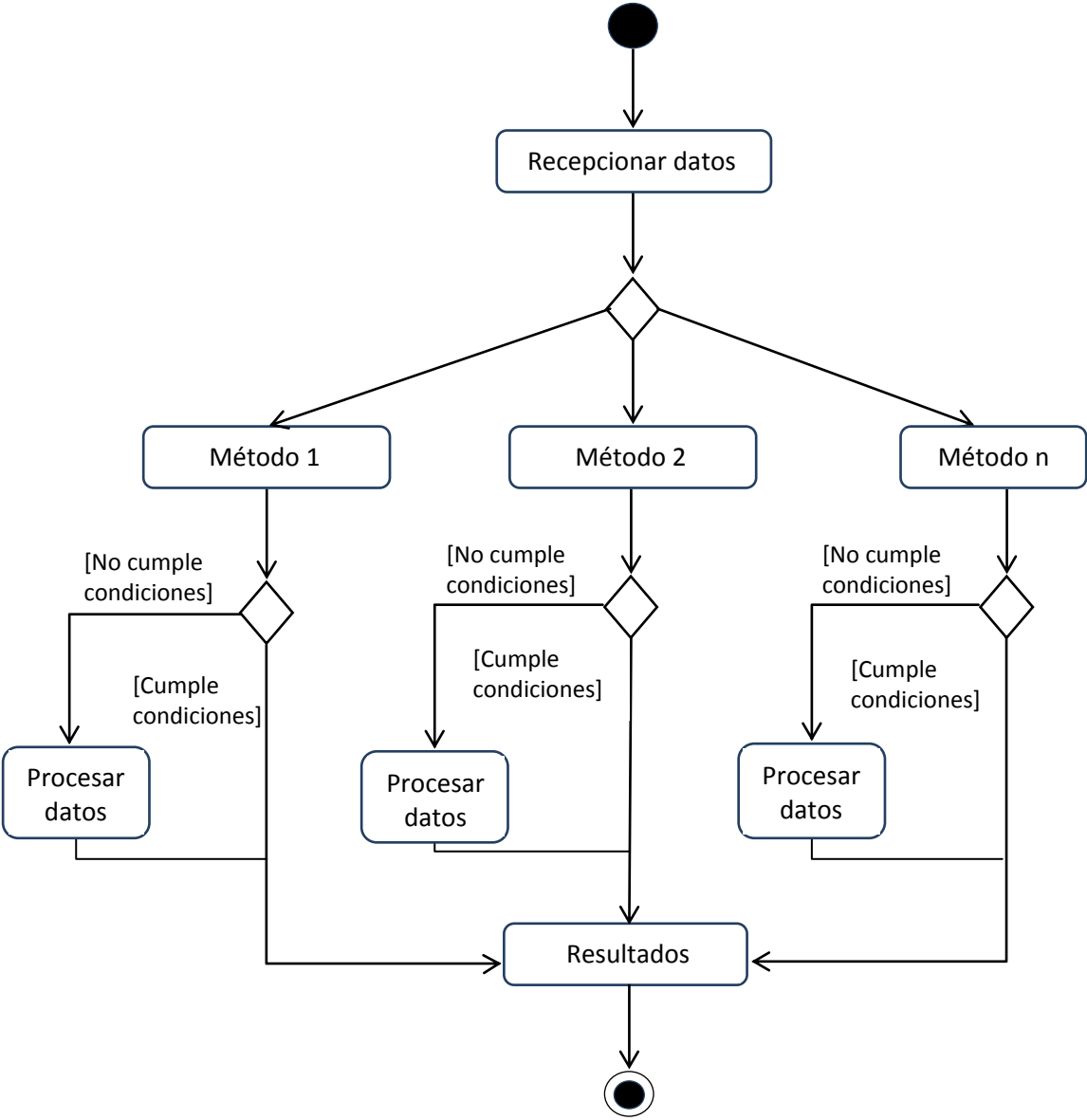


Figura 8. Selección o evaluación



7. DESARROLLO DEL PROYECTO

7.1 DETERMINACIÓN DE LA POBLACIÓN

7.1.1 Metodología para estudio de la población

7.1.1.1 Fundamento teórico. El tamaño de un sistema de abastecimiento depende de diversos factores como: el periodo de diseño, la rata de crecimiento poblacional, la capacidad de endeudamiento de la entidad que va a construir y administrar el sistema, la rata de interés a la cual se adquiere el dinero, etcétera. El período de diseño a la vez está condicionado entre otros por el crecimiento poblacional, es conveniente elegir períodos de diseño mayores para crecimientos lentos y viceversa.

El crecimiento poblacional es función de factores económicos, sociales y de desarrollo industrial. Un sistema de acueducto por si solo genera crecimiento y debe justamente propiciar el desarrollo de la población a la que sirve.

Determinar la población de diseño es una tarea dispendiosa por la información demográfica de base que requiere, además dado el aumento de la esperanza de vida y la disminución de la mortalidad de la comunidad la predicción de la población se hace cada vez más compleja en nuestras localidades.

Es condición absolutamente necesaria, la determinación de la población al final del periodo de diseño de un sistema de abastecimiento, ello con el fin de fijar las demandas futuras y considerarlas en el diseño de requerimientos posteriores de las fuentes de abastecimiento, líneas de aducción, tamaño del desarenador, línea de conducción, planta de tratamiento, los tanques reguladores y redes de distribución. Con la población de diseño además se prevé la extensión del servicio en las áreas de futuro desarrollo de la localidad en estudio.

Fuentes de información

La información demográfica de base se obtiene en documentos particulares del DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística), los datos de censos de población obtenidos en el DANE son muy útiles pero tienden a ser de menor confianza a medida que aumenta el tiempo transcurrido desde el censo anterior. En el intervalo pueden obtenerse datos generalmente confiables de fuentes de datos locales, tales como asociaciones comunales, comisiones municipales de

planificación, institutos de enseñanza, universidades, planeación departamental, etc.

Previsiones de población

El problema del número de habitantes futuros está sujeto a cierto número de variables difíciles de predecir, por lo tanto, sólo puede determinarse de una manera aproximada. El principal efecto de un error en el cálculo de la población es el de tener que variar la fecha prevista para un ensanchamiento en el sistema de acueducto, esta situación es grave en aquellas poblaciones que por razones de desarrollo económico generan crecimientos poblacionales acentuados, produciendo un sistema ineficiente en corto tiempo, lo cual redundará en traumas de tipo social, económico y político.

En caso contrario de tasas de crecimiento muy inferiores a las previstas produce tamaños exagerados de los componentes del sistema, en consecuencia, se presentan una alta inversión social y altos costos de financiación, operación y mantenimiento del sistema, para evitar caer en cualquiera de estos extremos, se exige el estudio de población un exhaustivo trabajo de campo para indagar sobre la sociología de la localidad, historia de la población, vocación económica, tendencia de crecimiento económico, posibilidades de desarrollo industrial, áreas de futuro desarrollo, condiciones de salubridad, infraestructura actual y futura, ubicación social y economía en el contexto de su región, comparación con otras poblaciones de mayor tamaño pero con similares tendencias socio-económicas, etc. La selección del método de proyección de la población depende de la cantidad de tipos de datos disponibles.

7.1.1.2 Especificaciones para cálculo de población

Métodos de cálculo. El método de cálculo para la proyección de la población depende del nivel de complejidad del sistema según se muestra en la tabla 2.

Se calculará la población utilizando por lo menos los siguientes modelos matemáticos: Aritmético, geométrico y exponencial, seleccionando el modelo que mejor se ajuste al comportamiento histórico de la población. Los datos de población deben estar ajustados con la población flotante y la población migratoria. En caso de falta de datos se recomienda la revisión de los datos de la proyección con los disponibles en poblaciones cercanas que tengan un comportamiento similar al de la población en estudio.

Tabla 2. Métodos de cálculo permitidos según el nivel de complejidad del sistema

Método por emplear	Nivel de complejidad del sistema			
	Bajo	Medio	Medio alto	Alto
Aritmético, Geométrico y exponencial	X	X		
Aritmético + Geométrico + exponencial + otros			X	X
Por componentes (demográfico)			X	X
Detallar por zonas y detallar densidades			X	X

7.1.2 Algoritmo de proyección de población, ingreso de datos

7.1.2.1 Fundamento teórico. Para ingresar información requerida por cada método para proyectar la población, es necesario realizar un algoritmo, estos datos son tomados de las fuentes de información y serian el año en que se realizó el censo y la población correspondiente a cada uno. Para realizar el diagrama de flujo se utiliza la estructura repetitiva *repetir*, la cual permite utilizar un ciclo que se ejecutará un número definido de veces.

7.1.2.2 Metodología de diseño

Datos de entrada

- Año en que fue realizado el censo: $T()$
- Población Censada para cada año: $P()$
- Numero de Censos: NC
- Año cero de proyección: T_0
- Año final de proyección: T_f
- Incremento de los años proyectados: IA

$P()$ y $T()$ son los vectores o matrices unidimensionales que guardan temporalmente los datos de los censos que introdujo el usuario. NC es el número de censos.

7.1.2.3 Ejemplo de cálculo

Tabla 3. Censos

Años de censos T () [años]	Población censada P () [habitante]
1938	1250
1951	1880
1964	2230
1973	3180
1986	3820
1993	4090

Se asigna los datos de la anterior tabla a los vectores T() y P() y además se deben ingresar los datos de NC, To, Tf, IA por parte del usuario.

- Año de censos: $T(1)=1938$, $T(2)=1951$, $T(3)=1964$, $T(4)=1973$, $T(5)=1986$, $T(6)=1993$. años
- Población Censada para cada año: $P(1)=1250$, $P(2)=1880$, $P(3)=2230$, $P(4)=3180$, $P(5)=3820$, $P(6)=4090$, habitantes
- Numero de Censos: $NC = 6$ censos
- Año cero de proyección: $To = 2003$
- Año final de proyección: $Tf = 2033$
- Incremento de los años proyectados: $IA=5$ (puede ser otro valor diferente, cada año, cada 2, etc.)

7.1.2.4 Diagrama de flujo

Listado de variables

Tf = es el año al cual se quiere proyectar la información.

To = es el año inicial de la proyección.

T() = es el vector o matriz que almacenará los años de censos.

P() = es el vector o matriz que almacenará la población de los censos.

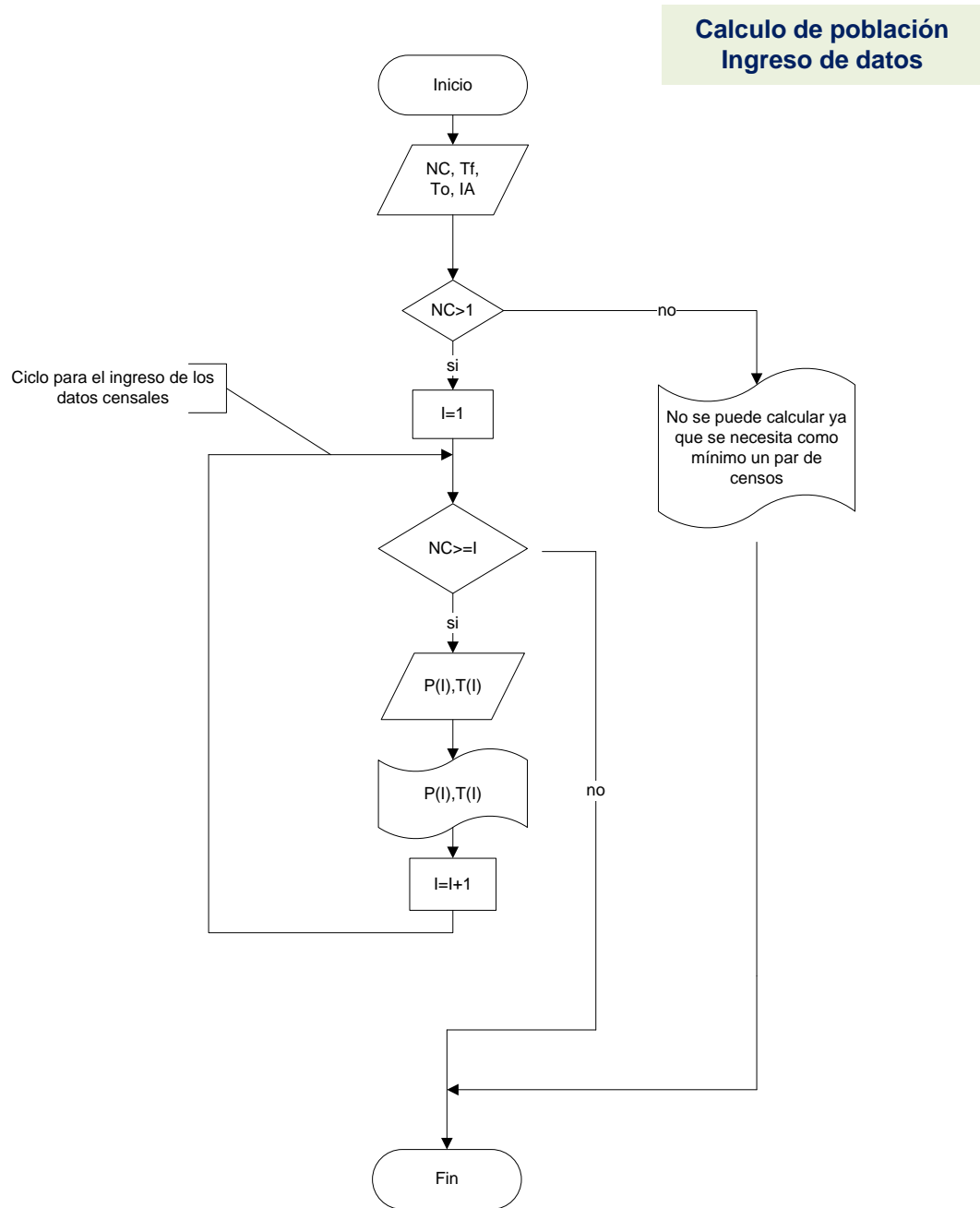
NC = es el número de censos.

IA = es el incremento de los años proyectados.

I = variable denominada "contador"

Diagrama de flujo. En la figura 9, se indica el diagrama de flujo, inicia partiendo de que los datos de los censos introducidos por los usuarios son captados en la matriz o vector **P()** y **T()** y se asigne, los datos a las variables: **NC**, **To**, **Tf** e **IA**.

Figura 9. Diagrama de flujo para leer los datos de población y el año, de cada uno de los censos y almacenarlos en los vectores P() y T()



7.1.2.5 Pseudocódigo. Un pseudocódigo (falso lenguaje), es una serie de porongas léxicas y gramaticales parecidas a la mayoría de los lenguajes de programación, pero sin llegar a la rigidez de la sintaxis de estos ni a la fluidez del lenguaje coloquial).

{El algoritmo ingresa los datos censales para el cálculo posterior de la proyección de la Población}

1. Leer $NC \leftarrow Valor$ 'se asigna un valor a la variable NC
Leer $Tf \leftarrow Valor$ 'se asigna un valor a la variable NC
Leer $To \leftarrow Valor$ 'se asigna un valor a la variable NC
Leer $IA \leftarrow Valor$ 'se asigna un valor a la variable NC
2. Si ($NC \leq 1$)
Entonces
Escribir mensaje "No se puede calcular ya que se necesita como mínimo un par de censos"

De lo contrario
Hacer $I \leftarrow 1$.
Repetir con I desde 1 hasta NC .
Leer $P(I)$ y $T(I)$
Escribir $P(I)$ y $T(I)$.
Hacer $I \leftarrow I+1$
{Fin del ciclo}
{Fin de condicional del numeral 2.}

7.1.3 Elección de métodos a utilizar

7.1.3.1 Fundamento teórico. Para determinar el método o los métodos a utilizar es necesaria la creación de un algoritmo, en este caso se utiliza un algoritmo de selección *si múltiple*. La estructura selectiva *si múltiple* permite que el flujo del diagrama se bifurque por varias ramas en el punto de la toma de decisión(es), esto en función del valor que tome el selector.

7.1.3.2 Metodología de diseño

Datos

- Opción.
- Método Aritmético.
- Método Geométrico.

- Método Logarítmico.
- Otros.

Disposición de métodos. Se busca que el usuario escoja entre los métodos que están disponibles para poder proyectar la población. Los métodos se pueden utilizar individualmente, en combinación de dos, en combinación de tres o pueden utilizarse todos.

Asignación de acciones. Se asigna un número de acción a cada decisión u opción tomada.

Utilización de métodos. Se lleva los datos de ingreso al proceso del método o los métodos que se escogieron según la acción respectiva, para por medio de estos proyectar la población.

7.1.3.3 Ejemplo de cálculo. En este caso *opción* es una variable de tipo entera, que expresa el método por el cual se desea trabajar. Se ingresa:

- 1 Para trabajar por el método aritmético.
- 2 Para trabajar por el método geométrico.
- 3 Para trabajar por el método Logarítmico.
- 4 Para trabajar por otro Método.

7.1.3.4 Diagrama de flujo

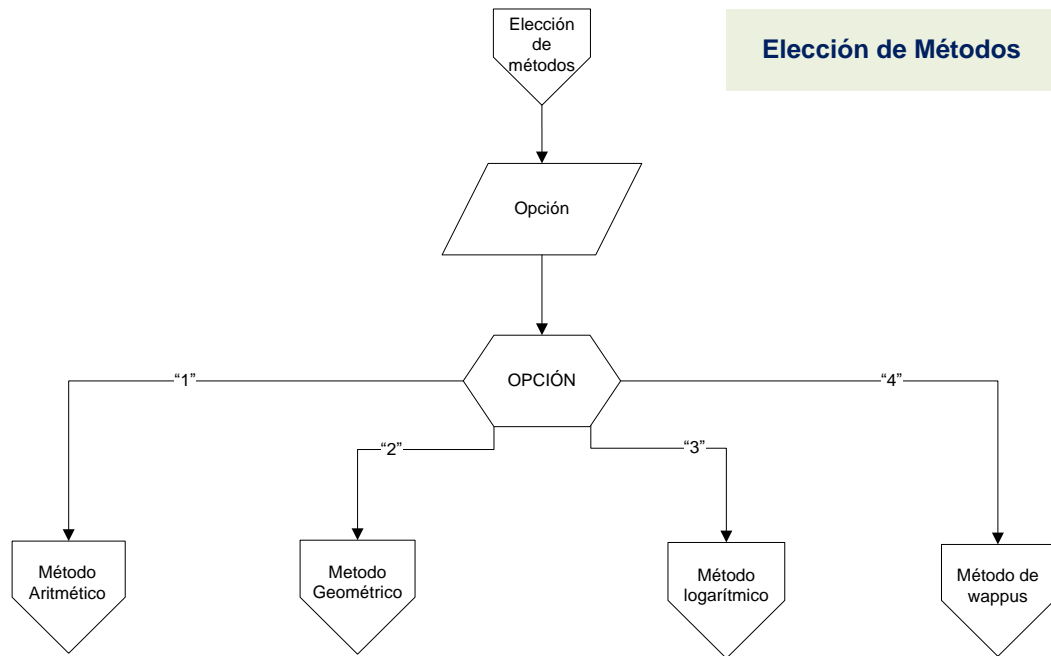
En la figura 10, se indica el diagrama de flujo coorespondiente a la selección de los métodos de cálculo.

Listado de variables

- **Opcion.** Es la variable o expresión a evaluarse, según la cual se tomará una de las múltiples decisiones o alternativas.
- **Método aritmético.** Expresa el conjunto de operaciones que se van a realizar si el selector toma el *valor* 1.
- **Método geométrico.** Expresa el conjunto de operaciones que se van a realizar si el selector toma el *valor* 2.
- **Método logarítmico.** Expresa el conjunto de operaciones que se van a realizar si el selector toma el *valor* 3.

- **Método de wappus.** Expresa el conjunto de operaciones que se van a realizar si el selector toma el *valor 4*.

Figura 10. Diagrama de flujo para seleccionar que método o métodos de proyección se van a usa en el cálculo.



7.1.3.5 Pseudocódigo

{El algoritmo selecciona el método o los métodos para proyectar la población}

3. Leer OPCIÓN

4. Si OPCION igual

4.1 "1": ir a **método aritmético**. "encontrar la población por medio de el método aritmético"

4.2 "2": ir a **método geométrico**. "encontrar la población por medio de el método geométrico"

4.3 "3": ir a **método logarítmico**. "encontrar la población por medio de el método logarítmico".

4.4 "4": ir a **otro**. "encontrar la población por medio de otro método".

7.1.4 Método aritmético

7.1.4.1 Fundamento teórico. El Método Aritmético supone un crecimiento vegetativo balanceado por la mortalidad y la emigración. Según las Normas Ras 2000⁴, la ecuación para calcular la población proyectada es la siguiente:

$$Pf = P_{uc} + Kx(Tf - Tuc) \quad [1]$$

$$K = \frac{P_{uc} - P(I)}{T_{uc} - T(I)} \quad [2]$$

Donde, Pf es la población (hab) correspondiente al año para el que se quiere proyectar la población, Puc es la población (hab) correspondiente al último año censado con información, P(I) es la población (hab) correspondiente al censo inicial con información, Tuc es el año correspondiente al último año censado con información, T(I) es el año correspondiente al censo inicial con información y Tf es el año al cual se quiere proyectar la información. Cuando hay varios censos el valor de K, se calcula dejando fijo el valor de Puc y Tuc y variando P(I) y T(I). Para aplicar este método se recomienda como mínimo tres censos, o en su defecto dos.

7.1.4.2 Metodología de diseño

Calcular el valor promedio de K: Cuando hay varios censos el valor de K, se calcula con ec. [2], dejando fijo el valor de Puc y Tuc y variando P(I) y T(I). Para aplicar este método se recomienda como mínimo tres censos, no es posible calcularlo con un solo censo. Cada valor de K se va almacenando en un vector denominado K(), con una dimensión o argumento de NC-1. Luego se calcula valor de K promedio de los valores contenidos en K(), el cual se almacenará en la variable **KP**.

Calcular la población proyectada: Esta población se calcula a partir del año cero (**To**) hasta el año final (**Tf**), usando ec. [1]. El número de datos de población proyectada se almacena en la variable Nf, donde $Nf = Tf - To + 1$. Cada valor de población proyectada para cada año se almacena en el vector Pf() y los años correspondientes en el vector Tf().

⁴ RAS 2000. Ministerio de desarrollo económico de Colombia. Reglamento técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), Títulos A "Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico" y B "Sistemas de acueducto". Revisión 1, Bogotá. Ministerio de desarrollo económico 2000. p. B. 30

Impresión de los datos de población proyectada: Se imprime Tf() en una columna y Pf() en otra columna.

7.1.4.3 Ejemplo de cálculo

Calcular el valor promedio de K

Como (PUC) y (TUC) son valores fijos, para todos los censos, por lo tanto se asigna $Puc=PC(6)$ y $Tuc=T(6)$. Número de valores de K es de **$NC-1=6-1=5$** .

$$K(1) = \frac{PUC - P(1)}{TUC - T(1)} = \frac{4090 - 1250}{1993 - 1938} = 51.64hb / año$$

$$K(2) = \frac{PUC - P(2)}{TUC - T(2)} = \frac{4090 - 1880}{1993 - 1951} = 52.62hb / año$$

$$K(3) = \frac{PUC - P(3)}{TUC - T(3)} = \frac{4090 - 2230}{1993 - 1964} = 64.14hb / año$$

$$K(4) = \frac{PUC - P(4)}{TUC - T(4)} = \frac{4090 - 3180}{1993 - 1973} = 45.5hb / año$$

$$K(5) = \frac{PUC - P(5)}{TUC - T(5)} = \frac{4090 - 3820}{1993 - 1986} = 38.57hb / año$$

Se calcula el K promedio y se almacena en KP.

$$KP = \frac{K(1) + K(2) + K(3) + K(4) + K(5)}{NC - 1} = 50.49hb / año$$

Calcular la población proyectada

El número de años a proyectar se calcula como:

$$NT = \text{ENTERO}((Tf - To) / IA) + 1 = (2033 - 2003) / 5 + 1 = 7.$$

$$Pf(1) = PUC + KP(Tf(1) - TUC) = 4090 + 50.49(2003 - 1993) = 4595hb$$

$$Pf(2) = PUC + KP(Tf(2) - TUC) = 4090 + 50.49(2008 - 1993) = 4847hb$$

$$Pf(3) = PUC + KP(Tf(3) - TUC) = 4090 + 50.49(2013 - 1993) = 5100hb$$

$$Pf(4) = PUC + KP(Tf(4) - TUC) = 4090 + 50.49(2018 - 1993) = 5352hb$$

$$Pf(5) = PUC + KP(Tf(5) - TUC) = 4090 + 50.49(2023 - 1993) = 5605hb$$

$$Pf(6) = PUC + KP(Tf(6) - TUC) = 4090 + 50.49(2028 - 1993) = 5857hb$$

$$Pf(7) = PUC + KP(Tf(7) - TUC) = 4090 + 50.49(2033 - 1993) = 6110hb$$

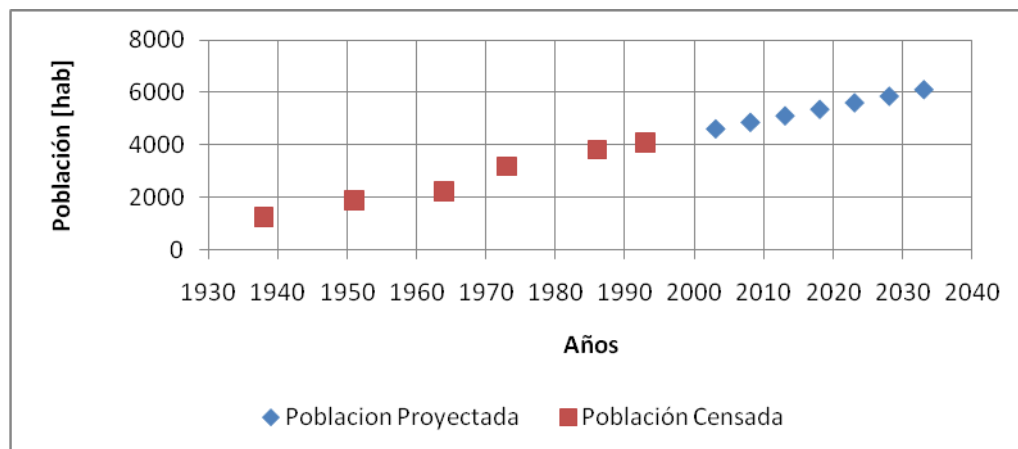
Salida de datos de la población proyectada. Los resultados deben ser en forma de tabla y forma gráfica. Se mostrará una tabla (tabla 4), en dos columnas, que se indique en la primera columna el año y en la segunda columna la población proyectada.

Tabla 4. Años y población proyectada

AÑOS DE PROYECCIÓN [años]	POBLACIÓN PROYECTADA [habitante]
2003	4595
2008	4847
2013	5100
2018	5352
2023	5605
2028	5857
2033	6110

Salida en forma gráfica. En la figura 11, Se muestra en forma gráfica la variación de la población, tanto de los censo como la población proyectada.

Figura 11. Promedio de la población



7.1.4.4 Diagrama de flujo

Listado de variables

Puc (PUC): Es la población (hab) correspondiente al último año censado con información.

Tuc (TUC): Es el año correspondiente al último año censado con información.

Tf: Es el año al cual se quiere proyectar la información.

To: Es el año inicial de la proyección.

T(): Es el vector o matriz que almacenará los años de censos.

P(): Es el vector o matriz que almacenará la población de los censos.

NC: Es el número de censos.

IA: Es el incremento de los años proyectados.

K(): Es el vector que almacenará los valores de la pendiente de la recta entre el censo TUC y el censo T(I).

KP: Es el valor del $K()$ promedio de todos los censos.

tf(): Es el vector o matriz que almacenará los años de proyección.

PfA(): Es el vector o matriz que almacenará la población proyectada.

SumK: Almacena la suma de los valores de K a medida que se van calculando

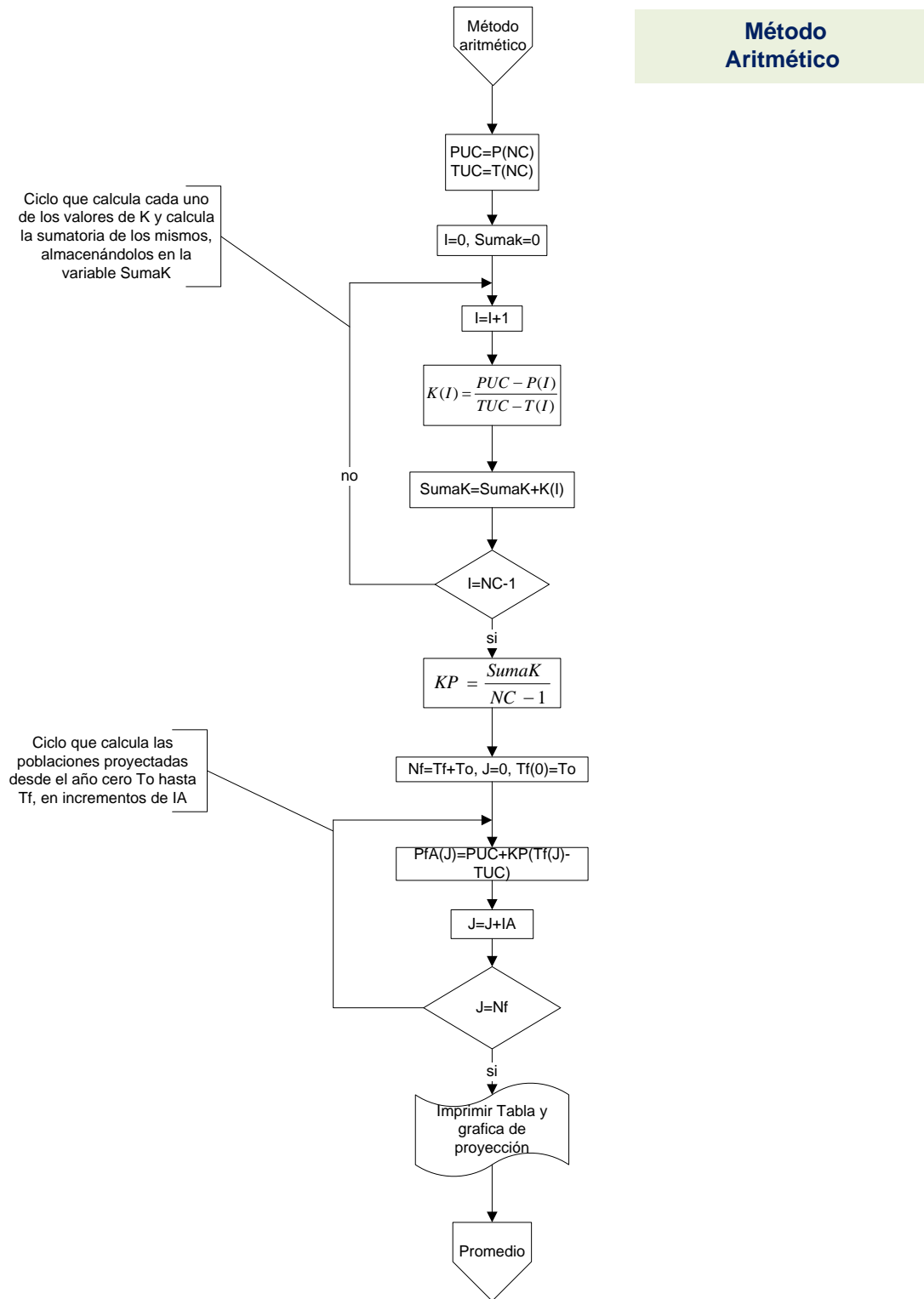
I, J: Son variables denominadas “contadores”

Nf: Es el intervalo entre el año del censo inicial de proyección y el año censo final de Proyección.

Diagrama de flujo. En el la figura 12, se indica el diagrama de flujo del método aritmético, se inicia partiendo de que los datos de los censos introducidos por los usuarios ya fueron captados en la matriz o vector $P()$ y $T()$ y se asigne, los datos a las variables.

Número de Censos: NC , To , Tf e IA .

Figura 12. Diagrama de flujo para calcular la proyección de población por el método aritmético.



7.1.4.5 Pseudocódigo

El siguiente pseudocódigo, utiliza las estructuras de control, SECUENCIAL Y REPETIR.

Este algoritmo comienza en 4.1, ya que es una ramificación de la figura 10.

{El algoritmo calcula la proyección de la población por el método Aritmético}

- 4.1.1** Hacer PUC \leftarrow P(NC) y TPUC \leftarrow T(NC)
Hacer I \leftarrow 0: SumaK=0 'Asigna el valor de cero a las variables I y SumaK
- 4.1.2** Repetir con I=I+1 desde 1 hasta NC-1 'inicia ciclo
Hacer K(I) \leftarrow (PUC-P(I))/(TUC-T(I)) 'Calcula el valor de K para cada I.
SumaK \leftarrow SumaK + K(I) 'Va calculando la sumatoria de K(I), cada vez que se repite un ciclo`
{Fin de ciclo del paso 4.1.2}
- 4.1.3** Hacer KP \leftarrow ENTERO(SumaK / (NC-1)) 'Asigna a variable KP el valor de calculado
Nf \leftarrow Tf-To: J \leftarrow 0: tf(0) \leftarrow To
- 4.1.4** Repetir con J = 0 Hasta Nf en pasos IA 'inicia ciclo
Hacer PfA(J) \leftarrow PUC + KP(tf(J)-TUC) 'Calcula el valor de la población para el Año`
{Fin de ciclo del paso 4.1.4}
- 4.1.5** Escribir tf(), Pf()
Graficar Pf() VS tf()

7.1.5 Método geométrico

7.1.5.1 Fundamento teórico

El Método Geométrico. Es útil en poblaciones que muestren una importante actividad económica, que genera un apreciable desarrollo y que poseen importantes áreas de expansión las cuales pueden ser dotadas de servicios públicos sin mayores dificultades, la ecuación que se emplea es:

$$Pf = P_{uc} + (1 + r)^{T_f - T_{uc}} \quad [3]$$

Donde **r** es la tasa de crecimiento anual en forma decimal y las demás variables se definen igual que para el método anterior. La tasa de crecimiento anual se calcula de la siguiente manera:

$$r = \left(\frac{P_{uc}}{P(I)} \right)^{\frac{1}{T(I) - T_{uc}}} - 1$$

[4]

7.1.5.2 Metodología de diseño

Calcular el valor de r. Cuando hay varios censos el valor de r, se calcula con ec. [4], dejando fijo el valor de P_{uc} y T_{uc} y variando P(I) y T(I). Para aplicar este método se recomienda como mínimo tres censos, no es posible calcularlo con un solo censo.

Calcular la población proyectada. Esta población se calcula a partir del año cero (**T_o**) hasta el año final (**T_f**), usando ec. [3]. El número de datos de población proyectada se almacena en la variable N_f, donde N_f=T_f-T_o. Cada valor de población proyectada para cada año se almacena en el vector P_f(*i*) y los años correspondientes en el vector t_f(*i*).

Calcular el valor promedio de la población según cada r. Cada valor de P_f se va almacenando en un vector denominado P_f(*i*), con una dimensión de NC-1. Luego se calcula valor de P_f promedio de los valores contenidos en P_f(*i*), el cual se almacenará en el vector **P_fP(*i*)**.

Impresión de los datos de población proyectada. Se imprime t_f(*i*) en una columna y P_f(*i*) en otra columna.

7.1.5.3 Ejemplo de cálculo

Calcular el valor de cada r

Como P_{uc} y T_{uc} son valores fijos, para todos los censos, por lo tanto se asigna P_{uc}=P(6) y T_{uc}=T(6).

Número de valores de r es de **NC-1=6-1=5**.

$$r(1) = \frac{PUC}{P(1)} \left(\frac{1}{T(1) - T_{uc}} \right) = \frac{4090}{1250} \left(\frac{1}{1993 - 1938} \right) = 0.02179$$

$$r(2) = \frac{PUC}{P(2)} \left(\frac{1}{T(2) - T_{uc}} \right) = \frac{4090}{1880} \left(\frac{1}{1993 - 1951} \right) = 0.01868$$

$$r(3) = \frac{PUC \left(\frac{1}{TUC-T(3)} \right)}{P(3)} = \frac{4090 \left(\frac{1}{1993-1964} \right)}{2230} = 0.02114$$

$$r(4) = \frac{PUC \left(\frac{1}{TUC-T(4)} \right)}{P(4)} = \frac{4090 \left(\frac{1}{1993-1973} \right)}{3180} = 0.01266$$

$$r(5) = \frac{PUC \left(\frac{1}{TUC-T(5)} \right)}{P(5)} = \frac{4090 \left(\frac{1}{1993-1986} \right)}{3820} = 0.00980$$

Calcular la población proyectada

El número de años a proyectar se calcula como:

$$NT = \text{ENTERO}((Tf - To) / IA) + 1 = ((2033 - 2003) / 5) + 1 = 7$$

Se calcula los valores de la población en cada año de proyección según cada r.

Para 2003

$$Pf(1) = PUC * \left(1 + r[1] \right)^{(J-TUC)} = 4090 * (1 + 0.02179)^{(2003-1993)} = 5074 \text{ hb}$$

$$Pf(2) = PUC * \left(1 + r[2] \right)^{(J-TUC)} = 4090 * (1 + 0.01868)^{(2003-1993)} = 4921 \text{ hb}$$

$$Pf(3) = PUC * \left(1 + r[3] \right)^{(J-TUC)} = 4090 * (1 + 0.02114)^{(2003-1993)} = 5041 \text{ hb}$$

$$Pf(4) = PUC * \left(1 + r[4] \right)^{(J-TUC)} = 4090 * (1 + 0.01266)^{(2003-1993)} = 4638 \text{ hb}$$

$$Pf(5) = PUC * \left(1 + r[5] \right)^{(J-TUC)} = 4090 * (1 + 0.00980)^{(2003-1993)} = 4509 \text{ hb}$$

Se calcula el Pf promedio. Número de valores de pf es de **NC-1=6-1=5**.

$$PfP(1) = \frac{Pf(1) + Pf(2) + Pf(3) + Pf(4) + Pf(5)}{NC - 1} = 4837 \text{ hb}$$

Para 2008

$$Pf(1) = PUC * \left(1 + r[1] \right)^{(J-TUC)} = 4090 * (1 + 0.02179)^{(2008-1993)} = 5651 \text{ hb}$$

$$Pf(2) = PUC * \left(1 + r[2] \right)^{(J-TUC)} = 4090 * (1 + 0.01868)^{(2008-1993)} = 5399 \text{ hb}$$

$$Pf(3) = PUC * \left(1 + r[3] \right)^{(J-TUC)} = 4090 * (1 + 0.02114)^{(2008-1993)} = 5597 \text{ hb}$$

$$Pf(4) = PUC * \left(+ r[4] \right)^{\overline{v}^{(J)-TUC}} = 4090 * (1 + 0.01266)^{(2008-1993)} = 4940 \text{ hb}$$

$$Pf(5) = PUC * \left(+ r[5] \right)^{\overline{v}^{(J)-TUC}} = 4090 * (1 + 0.00980)^{(2008-1993)} = 4735 \text{ hb}$$

Se calcula el Pf promedio. Número de valores de pf es de **NC-1=6-1=5**.

$$Pf_{p(2)} = \frac{Pf(1) + Pf(2) + Pf(3) + rpf(4) + Pf(5)}{NC - 1} = 5264 \text{ hb}$$

Para 2013

$$Pf(1) = PUC * \left(+ r[1] \right)^{\overline{v}^{(J)-TUC}} = 4090 * (1 + 0.02179)^{(2013-1993)} = 6294 \text{ hb}$$

$$Pf(2) = PUC * \left(+ r[2] \right)^{\overline{v}^{(J)-TUC}} = 4090 * (1 + 0.01868)^{(2013-1993)} = 5922 \text{ hb}$$

$$Pf(3) = PUC * \left(+ r[3] \right)^{\overline{v}^{(J)-TUC}} = 4090 * (1 + 0.02114)^{(2013-1993)} = 6214 \text{ hb}$$

$$Pf(4) = PUC * \left(+ r[4] \right)^{\overline{v}^{(J)-TUC}} = 4090 * (1 + 0.01266)^{(2013-1993)} = 5260 \text{ hb}$$

$$Pf(5) = PUC * \left(+ r[5] \right)^{\overline{v}^{(J)-TUC}} = 4090 * (1 + 0.00980)^{(2013-1993)} = 4971 \text{ hb}$$

Se calcula el Pf promedio. Número de valores de pf es de **NC-1=6-1=5**.

$$Pf_{p(3)} = \frac{Pf(1) + Pf(2) + Pf(3) + rpf(4) + Pf(5)}{NC - 1} = 5732 \text{ hb}$$

Para 2018

$$Pf(1) = PUC * \left(+ r[1] \right)^{\overline{v}^{(J)-TUC}} = 4090 * (1 + 0.02179)^{(2018-1993)} = 7010 \text{ hb}$$

$$Pf(2) = PUC * \left(+ r[2] \right)^{\overline{v}^{(J)-TUC}} = 4090 * (1 + 0.01868)^{(2018-1993)} = 6496 \text{ hb}$$

$$Pf(3) = PUC * \left(+ r[3] \right)^{\overline{v}^{(J)-TUC}} = 4090 * (1 + 0.02114)^{(2018-1993)} = 6899 \text{ hb}$$

$$Pf(4) = PUC * \left(+ r[4] \right)^{\overline{v}^{(J)-TUC}} = 4090 * (1 + 0.01266)^{(2018-1993)} = 5602 \text{ hb}$$

$$Pf(5) = PUC * \left(+ r[5] \right)^{\overline{v}^{(J)-TUC}} = 4090 * (1 + 0.00980)^{(2018-1993)} = 5220 \text{ hb}$$

Se calcula el Pf promedio. Número de valores de pf es de **NC-1=6-1=5**.

$$Pf_{p(4)} = \frac{Pf(1) + Pf(2) + Pf(3) + rpf(4) + Pf(5)}{NC - 1} = 6245 \text{ hb}$$

Para 2023

$$Pf(1) = PUC * \left(+ r[1] \right)^{\overline{v}^{(J)-TUC}} = 4090 * (1 + 0.02179)^{(2023-1993)} = 7808 \text{ hb}$$

$$Pf(2) = PUC * \left(+ r[2] \right)^{\overline{v}^{(J)-TUC}} = 4090 * (1 + 0.01868)^{(2023-1993)} = 7126 \text{ hb}$$

$$Pf(3) = PUC * \left(+ r[3] \right)^{\overline{v}^{(J)-TUC}} = 4090 * (1 + 0.02114)^{(2023-1993)} = 7660 \text{ hb}$$

$$Pf(4) = PUC * \left(+ r[4] \right)^{\overline{v}^{(J)-TUC}} = 4090 * (1 + 0.01266)^{(2023-1993)} = 5966 \text{ hb}$$

$$Pf(5) = PUC * \left(+ r[5] \right)^{(J)-TUC} = 4090 * (1 + 0.00980)^{(2023-1993)} = 5481 \text{ hb}$$

Se calcula el Pf promedio. Número de valores de pf es de **NC-1=6-1=5**.

$$Pf_{p(5)} = \frac{pf(1) + pf(2) + pf(3) + rpf(4) + pf(5)}{NC - 1} = 6808 \text{ hb}$$

Para **2028**

$$Pf(1) = PUC * \left(+ r[1] \right)^{(J)-TUC} = 4090 * (1 + 0.02179)^{(2028-1993)} = 8696 \text{ hb}$$

$$Pf(2) = PUC * \left(+ r[2] \right)^{(J)-TUC} = 4090 * (1 + 0.01868)^{(2028-1993)} = 7817 \text{ hb}$$

$$Pf(3) = PUC * \left(+ r[3] \right)^{(J)-TUC} = 4090 * (1 + 0.02114)^{(2028-1993)} = 8504 \text{ hb}$$

$$Pf(4) = PUC * \left(+ r[4] \right)^{(J)-TUC} = 4090 * (1 + 0.01266)^{(2028-1993)} = 6353 \text{ hb}$$

$$Pf(5) = PUC * \left(+ r[5] \right)^{(J)-TUC} = 4090 * (1 + 0.00980)^{(2028-1993)} = 5755 \text{ hb}$$

Se calcula el Pf promedio. Número de valores de pf es de **NC-1=6-1=5**.

$$Pf_{p(6)} = \frac{pf(1) + pf(2) + pf(3) + rpf(4) + pf(5)}{NC - 1} = 7425 \text{ hb}$$

Para **2033**

$$Pf(1) = PUC * \left(+ r[1] \right)^{(J)-TUC} = 4090 * (1 + 0.02179)^{(2033-1993)} = 9686 \text{ hb}$$

$$Pf(2) = PUC * \left(+ r[2] \right)^{(J)-TUC} = 4090 * (1 + 0.01868)^{(2033-1993)} = 8575 \text{ hb}$$

$$Pf(3) = PUC * \left(+ r[3] \right)^{(J)-TUC} = 4090 * (1 + 0.02114)^{(2033-1993)} = 9442 \text{ hb}$$

$$Pf(4) = PUC * \left(+ r[4] \right)^{(J)-TUC} = 4090 * (1 + 0.01266)^{(2033-1993)} = 6766 \text{ hb}$$

$$Pf(5) = PUC * \left(+ r[5] \right)^{(J)-TUC} = 4090 * (1 + 0.00980)^{(2033-1993)} = 6042 \text{ hb}$$

Se calcula el Pf promedio. Número de valores de pf es de **NC-1=6-1=5**.

$$Pf_{p(7)} = \frac{pf(1) + pf(2) + pf(3) + rpf(4) + pf(5)}{NC - 1} = 8102 \text{ hb}$$

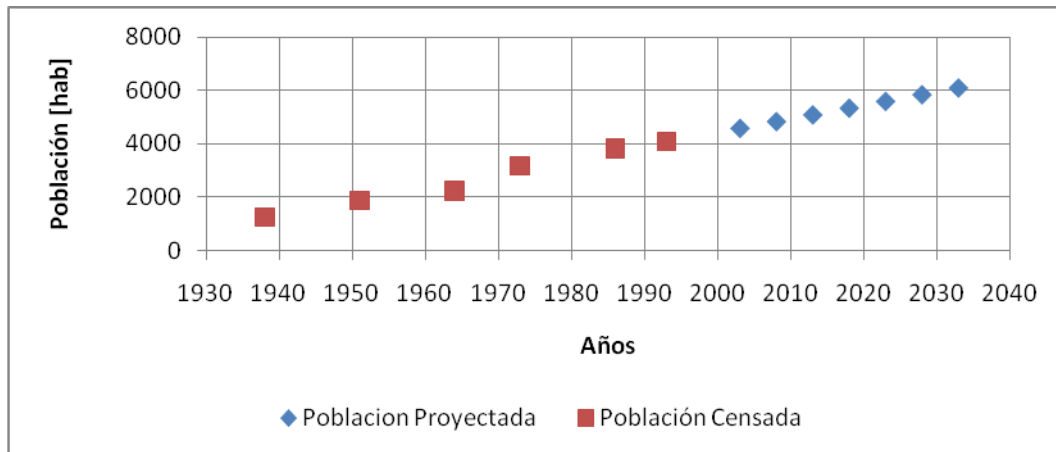
Salida de datos de la población proyectada. Los resultados deben ser en forma de tabla y forma gráfica. Se mostrará una tabla en dos columnas, que se indique en la primera columna el año de proyección y en la segunda columna el promedio de poblaciones proyectadas en cada año según cada r, como se indica en tabla 5.

Tabla 5. Proyección proyectada

AÑOS DE PROYECCION [años]	POBLACION PROYECTADA [habitante]
2003	4837
2008	5264
2013	5732
2018	6245
2023	6808
2028	7425
2033	8102

Salida en forma gráfica. Se muestra en forma gráfica la variación de la población, tanto de los censos como de la población proyectada. Como se indica en la figura 13.

Figura 13. Promedio de la población



7.1.5.4 DIAGRAMA DE FLUJO

Listado de variables

Puc (PUC): Es la población (hab) correspondiente al último año censado con información.

Tuc (TUC): Es el año correspondiente al último año censado con información.

Tf: Es el año al cual se quiere proyectar la información.

To: Es el año inicial de la proyección.

T(): Es el vector o matriz que almacenará los años de censos.

P(): Es el vector o matriz que almacenará la población de los censos.

NC: Es el número de censos.

IA: Es el incremento de los años proyectados.

r(): Es el vector que almacenará los valores de la pendiente de la recta entre el censo TUC y el censo T(I).

tf(): Es el vector o matriz que almacenará los años de proyección.

Pf(): Es el vector o matriz que almacenará la población proyectada según cada r.

PfG(): Es el vector o matriz que almacenará la población proyectada por el método geométrico.

SumPf: Almacena la suma de los valores de Pf a medida que se van calculando

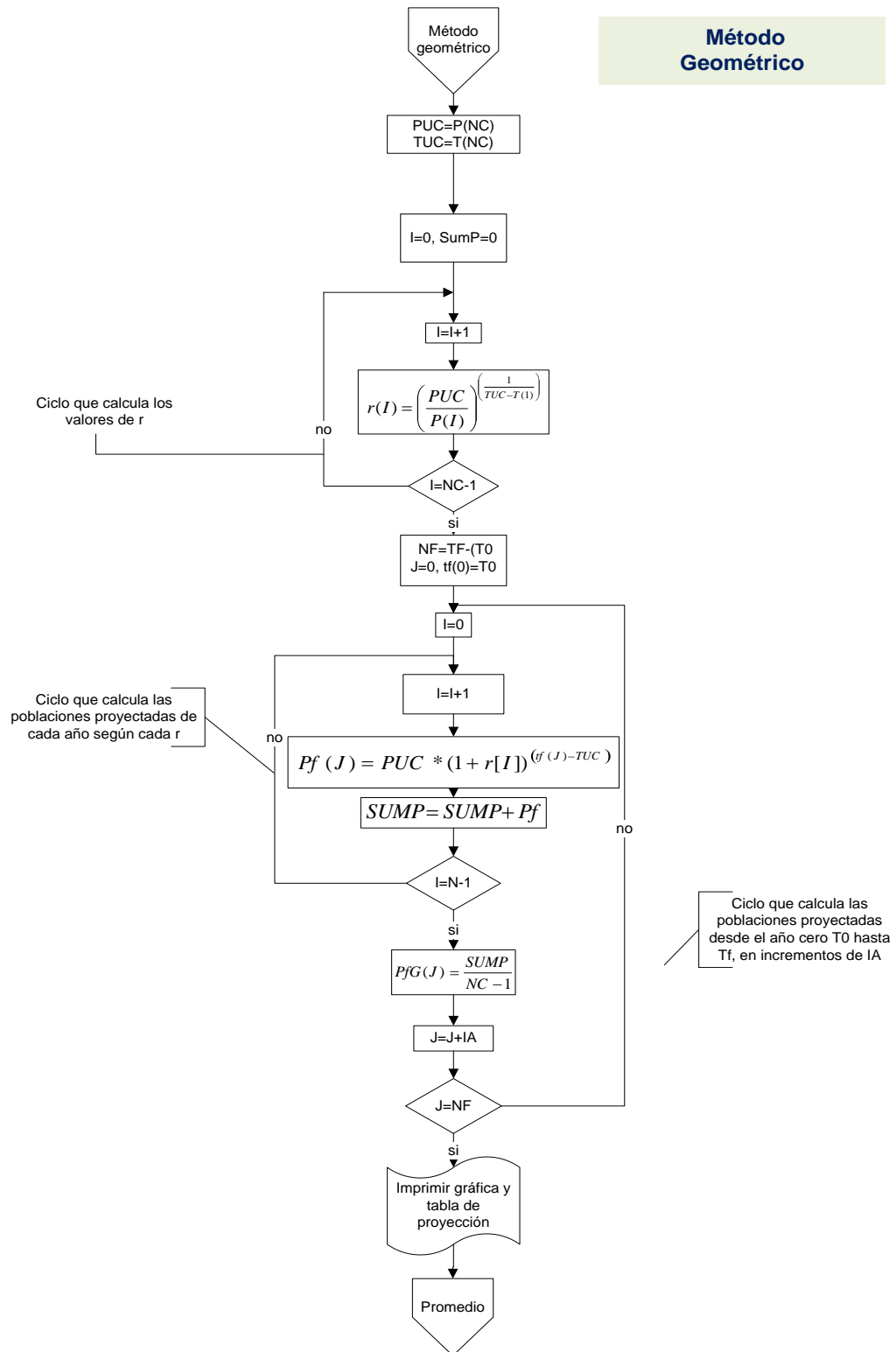
I, J: Son variables denominadas “contadores”

Nf: Es el intervalo entre el año del censo inicial de proyección y el año censo final de Proyección.

Diagrama de flujo

El siguiente diagrama inicia partiendo de que los datos de los censos introducidos por los usuarios ya fueron captados en la matriz o vector **P()** y **T()** y se asigne, los datos a las variables Numero de Censos: **NC**, **To**, **Tf** e **IA**.

Figura 14. Diagrama de flujo para calcular la proyección de población por el método geométrico.



7.1.5.5 Pseudocódigo

El siguiente pseudocódigo, utiliza las estructuras de control, SECUENCIA y REPETIR (iterativa).

Este algoritmo comienza en 4.2, por que es una de las ramificaciones de la figura 10.

{El algoritmo calcula la proyección de la población por el método geométrico}.

1. Hacer PUC ← P(NC): TPUC ← T(NC)
I ← 0: SumP=0 'Asigna el valor de cero a las variables I y SumP
2. Repetir con I = I+1 Hasta NC-1 'inicia ciclo
Hacer r(I) ← (PUC/P(I))^(1/(TUC-T(I))) 'Calcula el valor de r para cada I.
{Fin de ciclo del numeral 2}
3. Hacer J ← 0: Nf=Tf-To: tf(0)=To
4. Repetir J = 0 Hasta Nf en pasos IA 'inicia ciclo
 - 4.1 Hacer I ← 0
 - 4.2 Repetir con I=I+1 Hasta NC-1 'inicia ciclo
Pf(J) ← PUC*(1+r[I])^(tf(J)-TUC) 'Calcula el valor de Pf para cada r.
SumP ← SumP + Pf(J) 'Va calculando la sumatoria de Pf(J), cada vez que repite un ciclo
{Fin de ciclo del numeral 4.2}
Hacer PfG(J) ← SumP/ (NC-1) 'Calcula el valor de PfP para cada J.
{Fin de ciclo del numeral 4}
5. Imprimir tf(), Pf()
Graficar Pf() VS tf()

7.1.6 Método logarítmico

7.1.6.1 Fundamento teórico

Método exponencial o logarítmico: La utilización de este método requiere conocer por lo menos tres censos para poder determinar el promedio de la tasa de crecimiento de la población. Se recomienda su aplicación a poblaciones que muestren apreciable desarrollo y poseen abundantes áreas de expansión. La ecuación empleada por este método es la siguiente:

$$P_f = P[I] \times e^{k \times (t_f - T[I])} \quad [5]$$

Donde k es la tasa de crecimiento de la población la cual se calcula como el promedio de las tasas calculadas para cada par de censos, así:

$$k = \frac{\text{Ln}P[I] - \text{Ln}P[I - 1]}{T[I] - T[I - 1]} \quad [6]$$

Donde $P[I]$ es la población del censo posterior, $P[I-1]$ es la población del censo anterior, $T[I]$ es el año correspondiente al censo posterior, $T[I-1]$ es el año correspondiente al censo anterior y Ln el logaritmo natural o neperiano.

7.1.6.2 Metodología de diseño

Calcular el valor promedio de K: Cuando hay varios censos el valor de K , se calcula con la ecuación [6]. Para aplicar este método se recomienda como mínimo tres censos, no es posible calcularlo con un solo censo. Cada valor de K se va almacenando en un vector denominado $K()$, con una dimensión de $NC-1$. Luego se calcula valor de K promedio de los valores contenidos en $K()$, el cual se almacenará en la variable **KP**.

Calcular la población proyectada: Esta población se calcula a partir del año cero (**To**) hasta el año final (**Tf**), usando ec. [5]. El número de datos de población proyectada se almacena en la variable Nf , donde $Nf=Tf-To$. Cada valor de población proyectada para cada año se almacena en el vector $Pf()$ y los años correspondientes en el vector $tf()$.

Impresión de los datos de población proyectada: Se imprime $tf()$ en una columna y $Pf()$ en otra columna.

7.1.6.3 Ejemplo de cálculo

Calcular el valor promedio de K

El Número de valores de K es de **$NC-1=6-1=5$** .

$$K(1) = \frac{\text{Ln}P[I] - \text{Ln}P[I - 1]}{T[I] - T[I - 1]} = \frac{\text{Ln}1880 - \text{Ln}1250}{1951 - 1938} = 0.03139$$

$$K(2) = \frac{\text{Ln}P[I] - \text{Ln}P[I - 1]}{T[I] - T[I - 1]} = \frac{\text{Ln}2230 - \text{Ln}1880}{1964 - 1951} = 0.01313$$

$$K(3) = \frac{\ln P[I] - \ln P[I - 1]}{T[I] - T[I - 1]} = \frac{\ln 3180 - \ln 2230}{1973 - 1964} = 0.03943$$

$$K(4) = \frac{\ln P[I] - \ln P[I - 1]}{T[I] - T[I - 1]} = \frac{\ln 3820 - \ln 3180}{1986 - 1973} = 0.01411$$

$$K(5) = \frac{\ln P[I] - \ln P[I - 1]}{T[I] - T[I - 1]} = \frac{\ln 4090 - \ln 3810}{1993 - 1986} = 0.00976$$

Se calcula el K promedio y se almacena en KP.

$$KP = \frac{K(1) + K(2) + K(3) + K(4) + K(5)}{NC - 1} = 0.021564$$

Calcular la población proyectada

El número de años a proyectar se calcula como: $Nf = (Tf - To) / IA + 1 = (2033 - 2003) / 5 + 1 = 7$

$$Pf(1) = P[I] * e^{KP * (tf - T[I])} = 1250 * e^{0.021564(2003 - 1938)} = 5078 \text{ hb}$$

$$Pf(2) = P[I] * e^{KP * (tf - T[I])} = 1250 * e^{0.021564(2008 - 1938)} = 5656 \text{ hb}$$

$$Pf(3) = P[I] * e^{KP * (tf - T[I])} = 1250 * e^{0.021564(2013 - 1938)} = 6300 \text{ hb}$$

$$Pf(4) = P[I] * e^{KP * (tf - T[I])} = 1250 * e^{0.021564(2018 - 1938)} = 7017 \text{ hb}$$

$$Pf(5) = P[I] * e^{KP * (tf - T[I])} = 1250 * e^{0.021564(2023 - 1938)} = 7816 \text{ hb}$$

$$Pf(6) = P[I] * e^{KP * (tf - T[I])} = 1250 * e^{0.021564(2028 - 1938)} = 8706 \text{ hb}$$

$$Pf(7) = P[I] * e^{KP * (tf - T[I])} = 1250 * e^{0.021564(2033 - 1938)} = 9697 \text{ hb}$$

Salida de datos de la población proyectada

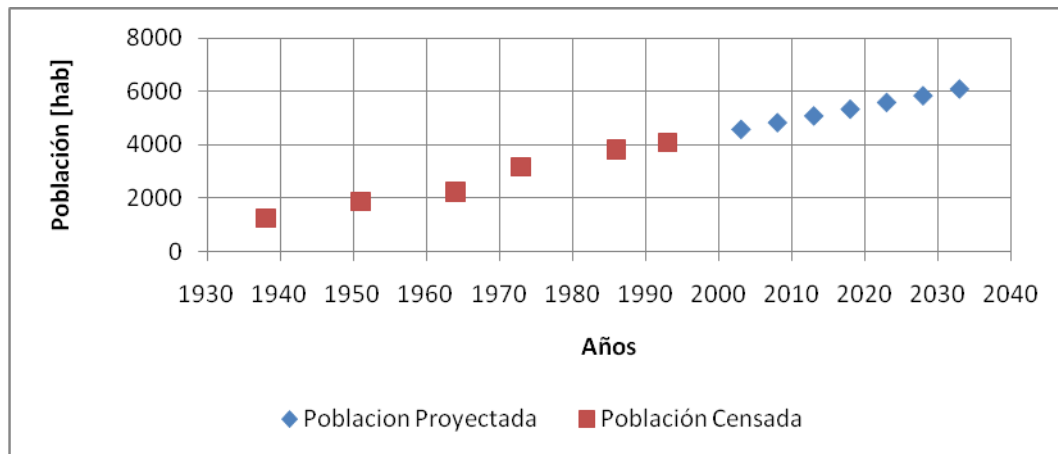
Los resultados deben ser en forma de tabla y forma gráfica. Se mostrará una tabla en dos columnas, que se indique en la primera columna el año y en la segunda columna la población proyectada. Como se indica en la tabla 6.

Tabla 6. Años y población proyectada

AÑOS DE PROYECCIÓN [años]	POBLACIÓN PROYECTADA [habitante]
2003	5078
2008	5656
2013	6300
2018	7017
2023	7816
2028	8706
2033	9697

Salida en forma gráfica. Se muestra en forma gráfica la variación de la población, tanto de los censo como la población proyectada. Como se indica en figura 15.

Figura 15. Promedio de la población



7.1.6.4 Diagrama de flujo

Listado de variables

Tf : Es el año al cual se quiere proyectar la información.

To: Es el año inicial de la proyección.

T(): Es el vector o matriz que almacenará los años de censos.

P(): Es el vector o matriz que almacenará la población de los censos.

NC: Es el número de censos.

IA: Es el incremento de los años proyectados.

K(): Es el vector que almacenará los valores de la pendiente de la recta entre el censo TUC y el censo TCI.

KP: Es el valor del K() promedio de todos los censos.

tf(): Es el vector o matriz que almacenará los años de proyección.

Pf: Es la población proyectada según KP.

I, J: Son variables denominadas "contadores".

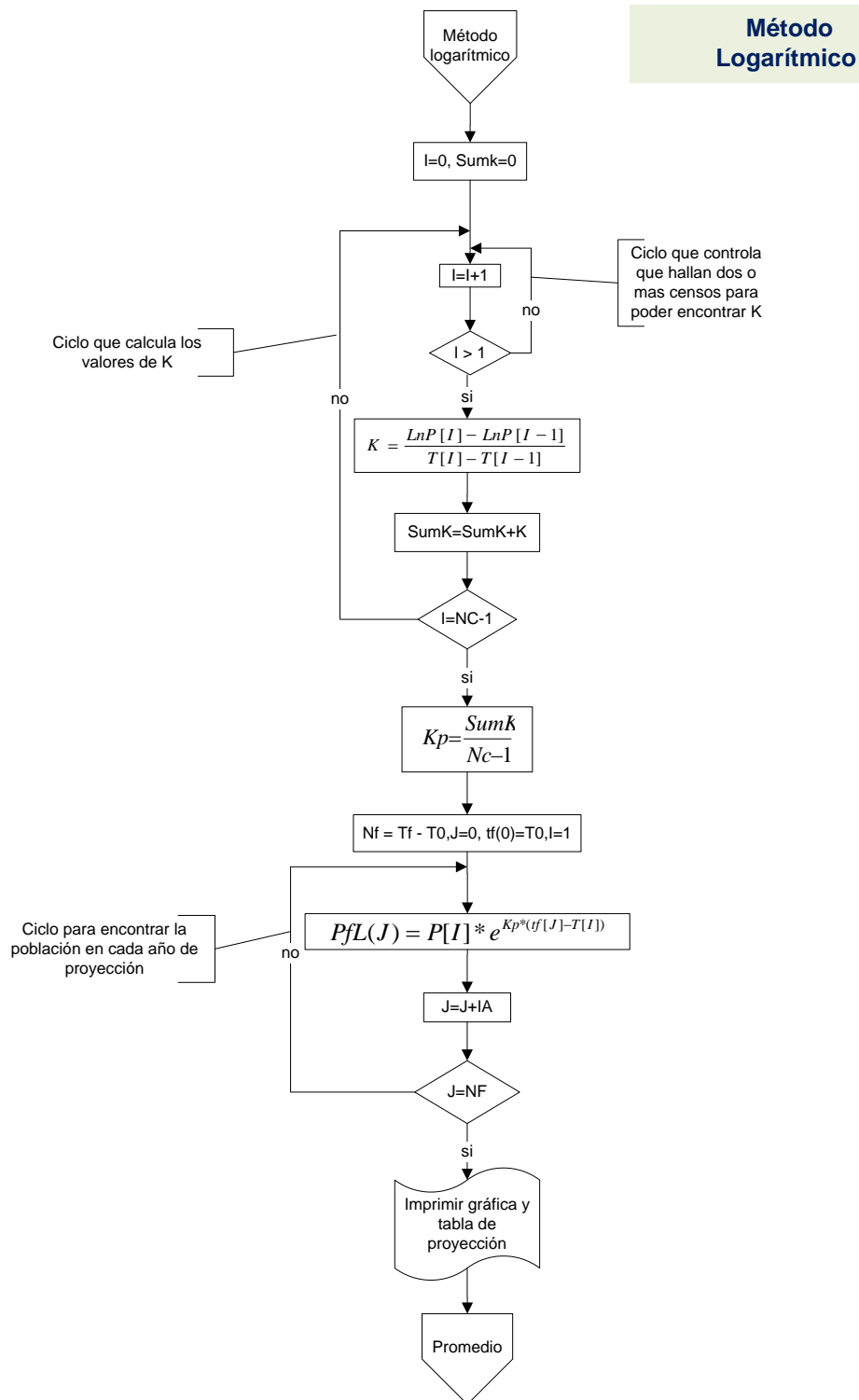
Nf: Es el intervalo entre el año del censo inicial de proyección y el año censo final de Proyección.

PfL(): Es el vector o matriz que almacenará la población proyectada por el método logarítmico.

Diagrama de flujo

El siguiente diagrama inicia partiendo de que los datos de los censos introducidos por los usuarios ya fueron captados en la matriz o vector **P()** y **T()** y se asigne, los datos a las variables Numero de Censos: **NC**, **To**, **Tf** e **IA**.

Figura 16. Diagrama de flujo para calcular la proyección de población por el método Logarítmico.



7.1.6.5 Pseudocódigo

El siguiente pseudocódigo, utiliza las estructuras de control, SECUENCIAL, SELECTIVA, PARA (iterativa).

Este algoritmo comienza en 4.3, ya que sigue la secuencia de la figura 10.

{El algoritmo calcula la proyección de la población por el método logarítmico}.

- 4.3.1** Hacer $I \leftarrow 0$: $SumaK=0$ 'Asigna el valor de cero a las variables I y SumaK
- 4.3.2** Repetir con $I = I+1$ HASTA $NC-1$ HACER 'inicia ciclo
- 4.3.2.1** Repetir con $I=I+1$ hasta 2 'inicia ciclo
{Fin de ciclo del numeral 4.3.2.1} .
Hacer $K(I) \leftarrow (\ln P(I) - \ln P(I-1)) / (T(I) - T(I-1))$ 'Calcula el valor de K para cada I.
 $SumaK \leftarrow SumaK + K(I)$ 'Va calculando la sumatoria de K(I), cadavez que se repite un ciclo.
{Fin de ciclo del numeral 4.3.2}
- 4.3.3** Hacer $KP \leftarrow SumaK / (NC-1)$ 'Asigna a variable KP el valor de calculado
 $Nf = Tf - To$: $J=0$: $tf(0)=To$: $I=1$.
- 4.3.4** Repetir con $J = 0$ HASTA Nf EN PASOS IA 'inicia ciclo.
Hacer $PfL(J) \leftarrow P(I) * e^{(KP * (tf(J) - T(I)))}$ 'Calcula el valor de la población para el año J.
{Fin de ciclo del numeral 4.3.4}
- 4.3.5** Imprimir $tf()$, $Pf()$.
Graficar $Pf()$ VS $tf()$.

7.1.7 Método de WAPPUS

7.1.7.1 Fundamento teórico. La ecuación de proyección por el método de Wappus es la siguiente:

$$Pf = P(I) \left[\frac{200 + r * (Tf - T(I))}{200 - r * (Tf - T(I))} \right]$$

[7]

En donde r es la tasa de crecimiento que se calcula a partir de la expresión:

$$r = \frac{200 * (Puc - P(I))}{(Tuc - T(I)) * (Puc + P(I))}$$

[8]

El modelo de crecimiento es válido siempre y cuando el término $200-i \times (Tf-T(I))$ tenga un valor positivo.

7.1.7.2 Metodología de diseño

Calcular el valor promedio de r: Cuando hay varios censos el valor de r, se calcula con la ecuación [8]. Para aplicar este método se recomienda como mínimo tres censos, no es posible calcularlo con un solo censo. Cada valor de r se va almacenando en un vector denominado r(), con una dimensión de NC-1.

Calcular la población proyectada: Esta población se calcula a partir del año cero (**To**) hasta el año final (**Tf**), usando ec. [7]. El número de datos de población proyectada se almacena en la variable Nf, donde $Nf=Tf-To$. Cada valor de población proyectada para cada año se almacena en el vector Pf() y los años correspondientes en el vector tf().

Impresión de los datos de población proyectada: Se imprime tf() en una columna y Pf() en otra columna.

7.1.7.3 Ejemplo de cálculo

Calcular el valor promedio de r

El Número de valores de r es de **NC-1=6-1=5**.

$$r(1) = \frac{200 * (Puc - P(I))}{(Tuc - T(I)) * (Puc + P(I))} = \frac{200 * (4090 - 1250)}{(1993 - 1938) * (4090 + 1250)} = 1.9339$$

$$r(2) = \frac{200 * (Puc - P(I))}{(Tuc - T(I)) * (Puc + P(I))} = \frac{200 * (4090 - 1880)}{(1993 - 1951) * (4090 + 1880)} = 1.7627$$

$$r(3) = \frac{200 * (Puc - P(I))}{(Tuc - T(I)) * (Puc + P(I))} = \frac{200 * (4090 - 2230)}{(1993 - 1964) * (4090 + 2230)} = 2.0296$$

$$r(4) = \frac{200 * (Puc - P(I))}{(Tuc - T(I)) * (Puc + P(I))} = \frac{200 * (4090 - 3180)}{(1993 - 1973) * (4090 + 3180)} = 1.2517$$

$$r(5) = \frac{200 * (Puc - P(I))}{(Tuc - T(I)) * (Puc + P(I))} = \frac{200 * (4090 - 3820)}{(1993 - 1986) * (4090 + 3820)} = 0.9752$$

Calcular la población proyectada

El número de años a proyectar se calcula como:

$$NF = \text{ENTERO}((Tf - T_0)/IA) + 1 = ((2033 - 2003)/5) + 1 = 7$$

Para **2003**

$$Pf(1) = P(1) \left[\frac{200 + i * (tf(J) - T(1))}{200 - i * (tf(J) - T(1))} \right] = 1250 * \left[\frac{200 + 1.9339 * (2003 - 1938)}{200 - 1.9339 * (2003 - 1938)} \right] = 5480hb$$

$$Pf(2) = P(2) \left[\frac{200 + i * (tf(J) - T(2))}{200 - i * (tf(J) - T(2))} \right] = 1880 * \left[\frac{200 + 1.7627 * (2003 - 1951)}{200 - 1.7627 * (2003 - 1951)} \right] = 5061hb$$

$$Pf(3) = P(3) \left[\frac{200 + i * (tf(J) - T(3))}{200 - i * (tf(J) - T(3))} \right] = 2230 * \left[\frac{200 + 2.0296 * (2003 - 1964)}{200 - 2.0296 * (2003 - 1964)} \right] = 5152hb$$

$$Pf(4) = P(4) \left[\frac{200 + i * (tf(J) - T(4))}{200 - i * (tf(J) - T(4))} \right] = 3180 * \left[\frac{200 + 1.2517 * (2003 - 1973)}{200 - 1.2517 * (2003 - 1973)} \right] = 4650hb$$

$$Pf(5) = P(5) \left[\frac{200 + i * (tf(J) - T(5))}{200 - i * (tf(J) - T(5))} \right] = 3820 * \left[\frac{200 + 0.9752 * (2003 - 1986)}{200 - 0.9752 * (2003 - 1986)} \right] = 4511hb$$

Se calcula el Pf promedio. Número de valores de pf es de **NC-1=6-1=5**.

$$Pf_{p(1)} = \frac{pf(1) + pf(2) + pf(3) + pf(4) + pf(5)}{NC - 1} = 4971hb$$

Para **2008**

$$Pf(1) = P(1) \left[\frac{200 + i * (tf(J) - T(1))}{200 - i * (tf(J) - T(1))} \right] = 1250 * \left[\frac{200 + 1.9339 * (2008 - 1938)}{200 - 1.9339 * (2008 - 1938)} \right] = 6487hb$$

$$Pf(2) = P(2) \left[\frac{200 + i * (tf(J) - T(2))}{200 - i * (tf(J) - T(2))} \right] = 1880 * \left[\frac{200 + 1.7627 * (2008 - 1951)}{200 - 1.7627 * (2008 - 1951)} \right] = 5676hb$$

$$Pf(3) = P(3) \left[\frac{200 + i * (tf(J) - T(3))}{200 - i * (tf(J) - T(3))} \right] = 2230 * \left[\frac{200 + 2.0296 * (2008 - 1964)}{200 - 2.0296 * (2008 - 1964)} \right] = 5828hb$$

$$Pf(4) = P(4) \left[\frac{200 + i * (tf(J) - T(4))}{200 - i * (tf(J) - T(4))} \right] = 3180 * \left[\frac{200 + 1.2517 * (2008 - 1973)}{200 - 1.2517 * (2008 - 1973)} \right] = 4964hb$$

$$Pf(5) = P(5) \left[\frac{200 + i * (tf(J) - T(5))}{200 - i * (tf(J) - T(5))} \right] = 3820 * \left[\frac{200 + 0.9752 * (2008 - 1986)}{200 - 0.9752 * (2008 - 1986)} \right] = 4738hb$$

Se calcula el Pf promedio. Número de valores de pf es de **NC-1=6-1=5**.

$$Pf_{p(2)} = \frac{pf(1) + pf(2) + pf(3) + pf(4) + pf(5)}{NC - 1} = 5539hb$$

Para **2013**

$$Pf(1) = P(1) \left[\frac{200 + i * (tf(J) - T(1))}{200 - i * (tf(J) - T(1))} \right] = 1250 * \left[\frac{200 + 1.9339 * (2013 - 1938)}{200 - 1.9339 * (2013 - 1938)} \right] = 7849hb$$

$$Pf(2) = P(2) \left[\frac{200 + i * (tf(J) - T(2))}{200 - i * (tf(J) - T(2))} \right] = 1880 * \left[\frac{200 + 1.7627 * (2013 - 1951)}{200 - 1.7627 * (2013 - 1951)} \right] = 6410hb$$

$$Pf(3) = P(3) \left[\frac{200 + i * (tf(J) - T(3))}{200 - i * (tf(J) - T(3))} \right] = 2230 * \left[\frac{200 + 2.0296 * (2013 - 1964)}{200 - 2.0296 * (2013 - 1964)} \right] = 6642hb$$

$$Pf(4) = P(4) \left[\frac{200 + i * (tf(J) - T(4))}{200 - i * (tf(J) - T(4))} \right] = 3180 * \left[\frac{200 + 1.2517 * (2013 - 1973)}{200 - 1.2517 * (2013 - 1973)} \right] = 5304hb$$

$$Pf(5) = P(5) \left[\frac{200 + i * (tf(J) - T(5))}{200 - i * (tf(J) - T(5))} \right] = 3820 * \left[\frac{200 + 0.9752 * (2013 - 1986)}{200 - 0.9752 * (2013 - 1986)} \right] = 4978hb$$

Se calcula el Pf promedio. Número de valores de pf es de **NC-1=6-1=5**.

$$Pf_{p(3)} = \frac{pf(1) + pf(2) + pf(3) + rpf(4) + pf(5)}{NC - 1} = 6237hb$$

Para **2018**

$$Pf(1) = P(1) \left[\frac{200 + i * (tf(J) - T(1))}{200 - i * (tf(J) - T(1))} \right] = 1250 * \left[\frac{200 + 1.9339 * (2018 - 1938)}{200 - 1.9339 * (2018 - 1938)} \right] = 9791hb$$

$$Pf(2) = P(2) \left[\frac{200 + i * (tf(J) - T(2))}{200 - i * (tf(J) - T(2))} \right] = 1880 * \left[\frac{200 + 1.7627 * (2018 - 1951)}{200 - 1.7627 * (2018 - 1951)} \right] = 7303hb$$

$$Pf(3) = P(3) \left[\frac{200 + i * (tf(J) - T(3))}{200 - i * (tf(J) - T(3))} \right] = 2230 * \left[\frac{200 + 2.0296 * (2018 - 1964)}{200 - 2.0296 * (2018 - 1964)} \right] = 7638hb$$

$$Pf(4) = P(4) \left[\frac{200 + i * (tf(J) - T(4))}{200 - i * (tf(J) - T(4))} \right] = 3180 * \left[\frac{200 + 1.2517 * (2018 - 1973)}{200 - 1.2517 * (2018 - 1973)} \right] = 5673hb$$

$$Pf(5) = P(5) \left[\frac{200 + i * (tf(J) - T(5))}{200 - i * (tf(J) - T(5))} \right] = 3820 * \left[\frac{200 + 0.9752 * (2018 - 1986)}{200 - 0.9752 * (2018 - 1986)} \right] = 5233hb$$

Se calcula el Pf promedio. Número de valores de pf es de **NC-1=6-1=5**.

$$Pf_{p(4)} = \frac{pf(1) + pf(2) + pf(3) + rpf(4) + pf(5)}{NC - 1} = 7128hb$$

Para **2023**

$$Pf(1) = P(1) \left[\frac{200 + i * (tf(J) - T(1))}{200 - i * (tf(J) - T(1))} \right] = 1250 * \left[\frac{200 + 1.9339 * (2023 - 1938)}{200 - 1.9339 * (2023 - 1938)} \right] = 12789hb$$

$$Pf(2) = P(2) \left[\frac{200 + i * (tf(J) - T(2))}{200 - i * (tf(J) - T(2))} \right] = 1880 * \left[\frac{200 + 1.7627 * (2023 - 1951)}{200 - 1.7627 * (2023 - 1951)} \right] = 8410hb$$

$$Pf(3) = P(3) \left[\frac{200 + i * (tf(J) - T(3))}{200 - i * (tf(J) - T(3))} \right] = 2230 * \left[\frac{200 + 2.0296 * (2023 - 1964)}{200 - 2.0296 * (2023 - 1964)} \right] = 8885hb$$

$$Pf(4) = P(4) \left[\frac{200 + i * (tf(J) - T(4))}{200 - i * (tf(J) - T(4))} \right] = 3180 * \left[\frac{200 + 1.2517 * (2023 - 1973)}{200 - 1.2517 * (2023 - 1973)} \right] = 6077hb$$

$$Pf(5) = P(5) \left[\frac{200 + i * (tf(J) - T(5))}{200 - i * (tf(J) - T(5))} \right] = 3820 * \left[\frac{200 + 0.9752 * (2023 - 1986)}{200 - 0.9752 * (2023 - 1986)} \right] = 5502hb$$

Se calcula el Pf promedio. Número de valores de pf es de **NC-1=6-1=5**.

$$Pf_{p(5)} = \frac{pf(1) + pf(2) + pf(3) + rpf(4) + pf(5)}{NC - 1} = 8333hb$$

Para **2028**

$$Pf(1) = P(1) \left[\frac{200 + i * (tf(J) - T(1))}{200 - i * (tf(J) - T(1))} \right] = 1250 * \left[\frac{200 + 1.9339 * (2028 - 1938)}{200 - 1.9339 * (2028 - 1938)} \right] = 18022hb$$

$$Pf(2) = P(2) \left[\frac{200 + i * (tf(J) - T(2))}{200 - i * (tf(J) - T(2))} \right] = 1880 * \left[\frac{200 + 1.7627 * (2028 - 1951)}{200 - 1.7627 * (2028 - 1951)} \right] = 9821hb$$

$$Pf(3) = P(3) \left[\frac{200 + i * (tf(J) - T(3))}{200 - i * (tf(J) - T(3))} \right] = 2230 * \left[\frac{200 + 2.0296 * (2028 - 1964)}{200 - 2.0296 * (2028 - 1964)} \right] = 10495hb$$

$$Pf(4) = P(4) \left[\frac{200 + i * (tf(J) - T(4))}{200 - i * (tf(J) - T(4))} \right] = 3180 * \left[\frac{200 + 1.2517 * (2028 - 1973)}{200 - 1.2517 * (2028 - 1973)} \right] = 6518hb$$

$$Pf(5) = P(5) \left[\frac{200 + i * (tf(J) - T(5))}{200 - i * (tf(J) - T(5))} \right] = 3820 * \left[\frac{200 + 0.9752 * (2028 - 1986)}{200 - 0.9752 * (2028 - 1986)} \right] = 5788hb$$

Se calcula el Pf promedio. Número de valores de pf es de **NC-1=6-1=5**.

$$Pf_{p(6)} = \frac{pf(1) + pf(2) + pf(3) + rpf(4) + pf(5)}{NC - 1} = 10129hb$$

Para **2033**

$$Pf(1) = P(1) \left[\frac{200 + i * (tf(J) - T(1))}{200 - i * (tf(J) - T(1))} \right] = 1250 * \left[\frac{200 + 1.9339 * (2033 - 1938)}{200 - 1.9339 * (2033 - 1938)} \right] = 29472hb$$

$$Pf(2) = P(2) \left[\frac{200 + i * (tf(J) - T(2))}{200 - i * (tf(J) - T(2))} \right] = 1880 * \left[\frac{200 + 1.7627 * (2033 - 1951)}{200 - 1.7627 * (2033 - 1951)} \right] = 11681hb$$

$$Pf(3) = P(3) \left[\frac{200 + i * (tf(J) - T(3))}{200 - i * (tf(J) - T(3))} \right] = 2230 * \left[\frac{200 + 2.0296 * (2033 - 1964)}{200 - 2.0296 * (2033 - 1964)} \right] = 12649hb$$

$$Pf(4) = P(4) \left[\frac{200 + i * (tf(J) - T(4))}{200 - i * (tf(J) - T(4))} \right] = 3180 * \left[\frac{200 + 1.2517 * (2033 - 1973)}{200 - 1.2517 * (2033 - 1973)} \right] = 7004hb$$

$$Pf(5) = P(5) \left[\frac{200 + i * (tf(J) - T(5))}{200 - i * (tf(J) - T(5))} \right] = 3820 * \left[\frac{200 + 0.9752 * (2033 - 1986)}{200 - 0.9752 * (2033 - 1986)} \right] = 6092hb$$

Se calcula el Pf promedio. Número de valores de pf es de **NC-1=6-1=5**.

$$Pf_{p(7)} = \frac{pf(1) + pf(2) + pf(3) + pf(4) + pf(5)}{NC - 1} = 13380hb$$

Salida de datos de la población proyectada.

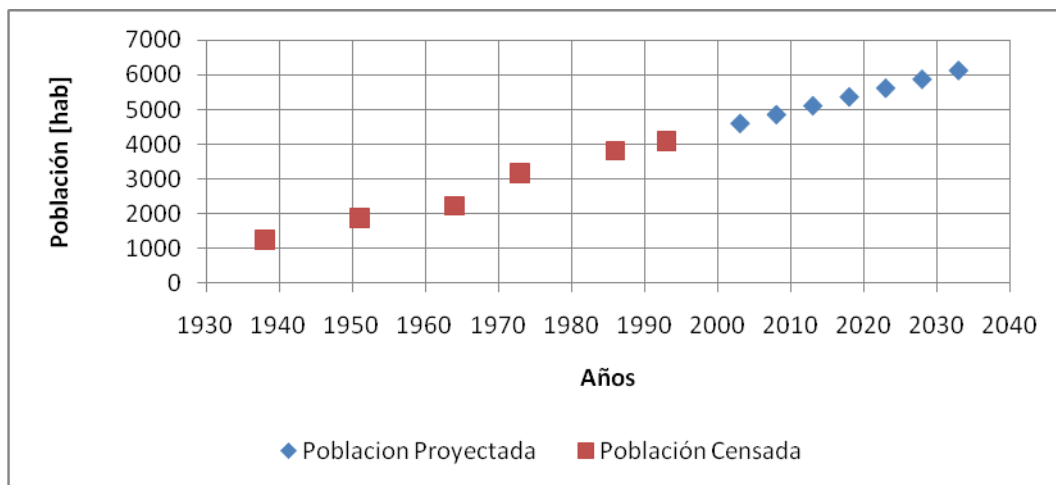
Los resultados deben ser en forma de tabla y forma gráfica. Se mostrará una tabla en dos columnas, que se indique en la primera columna el año de proyección y en la segunda columna el promedio de poblaciones proyectadas en cada año según cada r. Como se indica en la tabla 7.

Tabla 7. Años y población proyectada

AÑOS DE PROYECCION [años]	POBLACION PROYECTADA [habitante]
2003	4971
2008	5539
2013	6237
2018	7128
2023	8333
2028	10129
2033	13380

Salida en forma gráfica. Se muestra en forma gráfica la variación de la población, tanto de los censo como la población proyectada. Como se indica en figura 17.

Figura 17. Promedio de la población



7.1.7.4 Diagrama de flujo

Listado de variables

Puc (PUC): Es la población (hab) correspondiente al último año censado con información.

Tuc (TUC): Es el año correspondiente al último año censado con información.

Tf : Es el año al cual se quiere proyectar la información.

To: Es el año inicial de la proyección.

T(): Es el vector o matriz que almacenará los años de censos.

P(): Es el vector o matriz que almacenará la población de los censos.

NC: Es el número de censos.

IA: Es el incremento de los años proyectados.

r(): Es el vector que almacenará los valores de la pendiente de la recta entre el censo TUC y el censo T(I).

tf(): Es el vector o matriz que almacenará los años de proyección.

Pf(): Es el vector o matriz que almacenará la población proyectada según cada r.

PfW(): Es el vector o matriz que almacenará la población proyectada promedio utilizando el método de wappus.

SumPf: Almacena la suma de los valores de Pf a medida que se van calculando

I, J: Son variables denominadas “contadores”.

NF: Es el intervalo entre el año del censo inicial de proyección y el año censo final de Proyección.

Figura 18. Diagrama de flujo para calcular la proyección de población por el método geométrico.

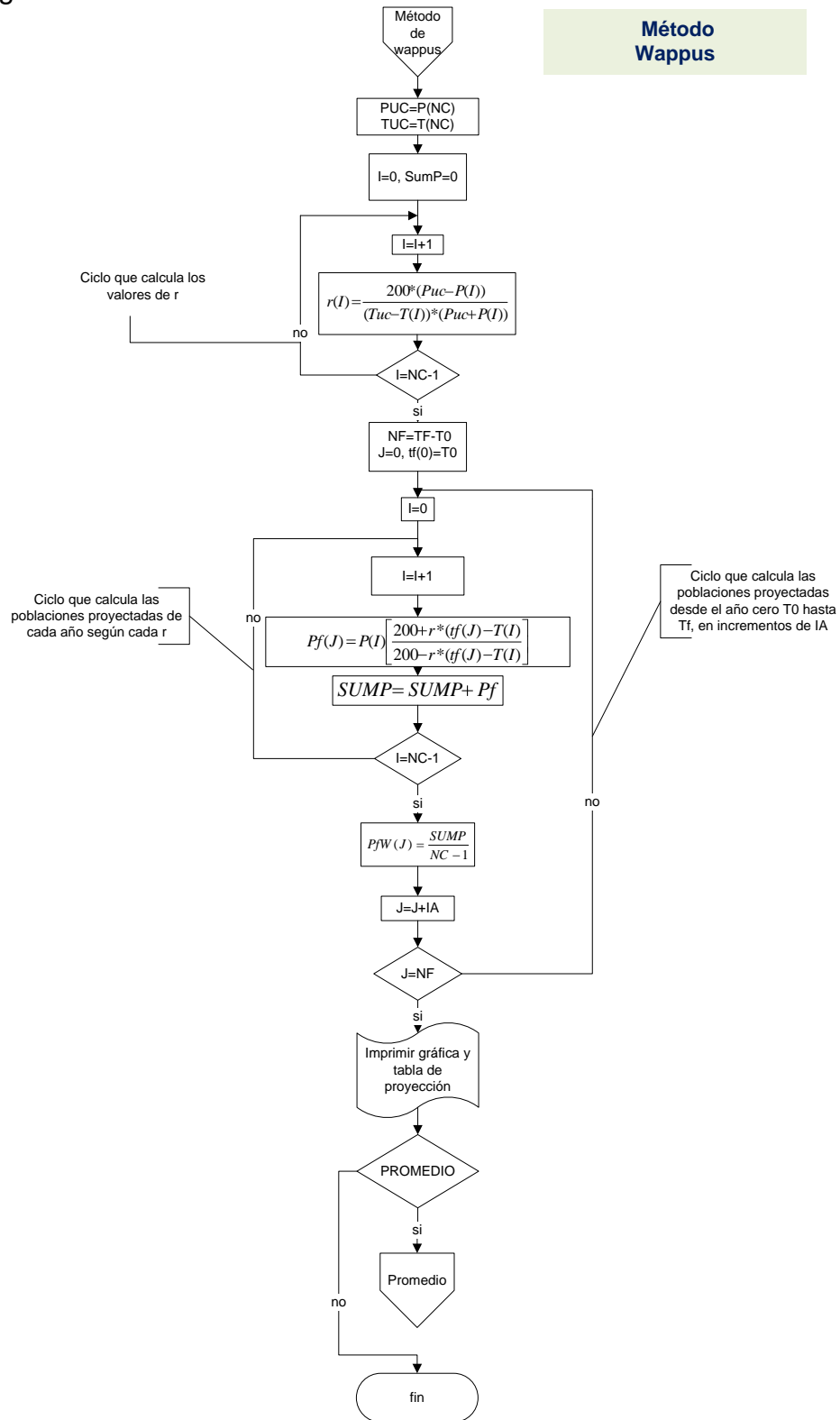
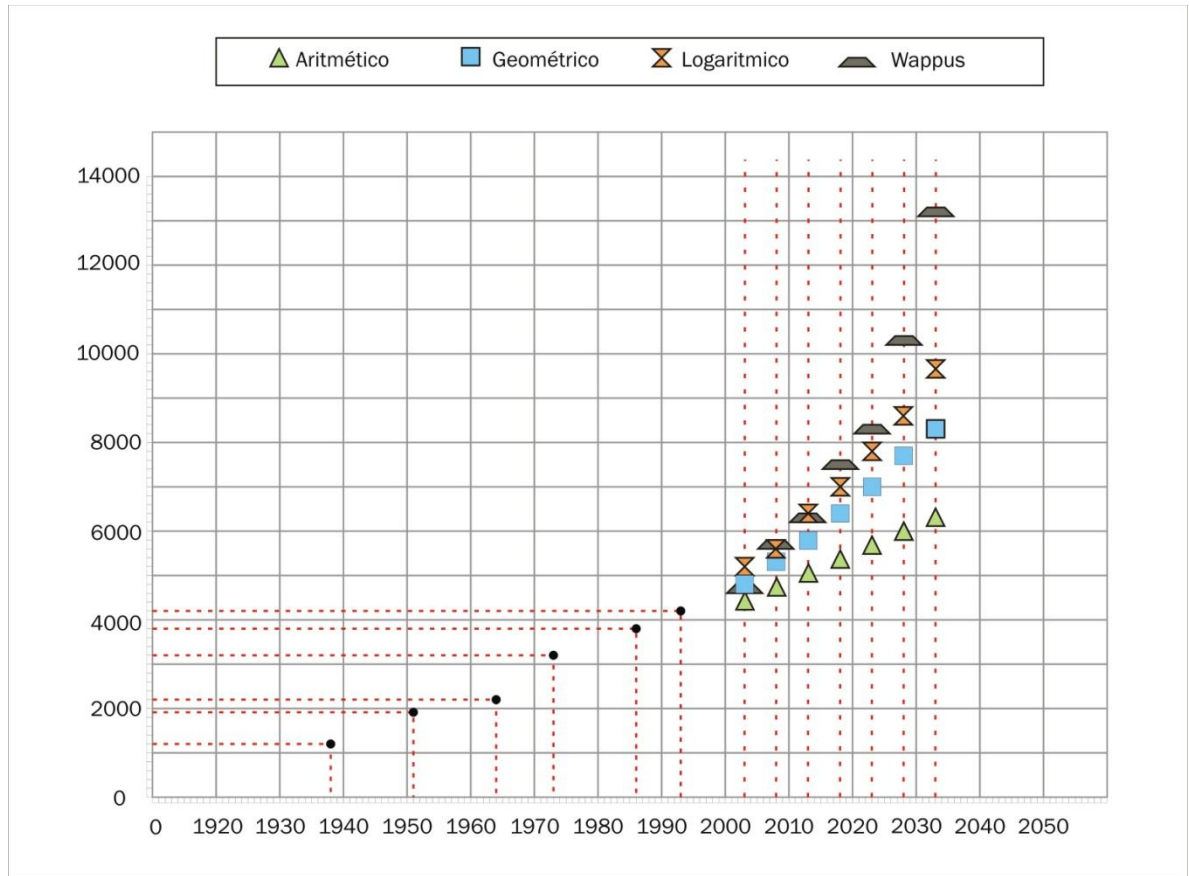


Figura 19. Comparación gráfica de los resultados finales de proyección



7.1.7.5 Pseudocódigo

El siguiente pseudocódigo, utiliza las estructuras de control REPETIR.

Este algoritmo comienza en 4.4, ya que es una de las ramificaciones de la figura 10.

{El algoritmo calcula la proyección de la población por el método de wappus}.

7.1.8 Hacer $PUC \leftarrow P(NC)$: $TPUC \leftarrow T(NC)$
 $I \leftarrow 0$: $SumP=0$ 'Asigna el valor de cero a las variables I y SumP

7.1.9 Repetir con $I = I+1$ Hasta $NC-1$ 'inicia ciclo
 Hacer $r(I) \leftarrow (200*(Puc-P(I)))$ 'Calcula el valor de r para cada I.
 {Fin de ciclo de numeral 4.4.2 del}

7.1.10 Hacer $J \leftarrow 0$: $N_f = T_f - T_o$: $T_f(0) = T_o$

7.1.11 Repetir $J = 0$ Hasta N_f en pasos 1A 'inicia ciclo

7.1.11.1 Hacer $I \leftarrow 0$

7.1.11.2 Repetir con $I = I + 1$ Hasta $N_C - 1$ 'inicia ciclo

Hacer $P_f(J) \leftarrow P(I) * [((200 + r(I)) * (t_f(J) - T(I))) / ((200r(I)) * (t_f(J) - T(I)))]$

'Calcular el valor de P_f para cada r .

$SumP \leftarrow SumP + P_f(J)$ 'Va calculando la sumatoria de $P_f(J)$, cada vez que repite un ciclo.

{Fin de ciclo del numeral 4.2.4.2}

Hacer $P_fW(J) \leftarrow SumP / (N_C - 1)$ 'Calcula el valor de P_fP para cada J .

{Fin de ciclo del numeral 4.4.4}

7.1.12 Imprimir $t_f()$, $P_f()$

Graficar $P_f()$ VS $t_f()$

8. {Fin del condicional 4 }

9. Si PROMEDIO entonces

ir al diagrama promedio

{Fin del condicional 6}

7.1.7.6 Pantalla de datos

Pantalla de entrada de datos. Es necesario dejar diseñando la pantalla de entrada y salida de datos, ya el programador necesita saber cuál es la expectativa del usuario técnico. La pantalla de datos de entrada es la que se indica en la figura 20 y la de salida es la figura 21.

Figura 20. Pantalla de entrada de datos para la proyección de población

PROYECCIÓN DE POBLACIÓN

Nro. Censos(NC)

CENSOS

Año	Población
<input type="text"/>	<input type="text"/>

DATOS GENERALES

Año inicial de Proyección: To=

Año final de Proyección: TF=

Incremento de años: IA=

MÉTODO DE CALCULO

- Método Aritmético
- Método Geométrico
- Método Exponencial
- Método de Wappus

AÑO	POBLACIÓN
1938	1250
1951	1680
1964	2230
1973	3180
1986	3620
1993	4090

Figura 21. Pantalla de salida de datos de proyección de población

PROYECCIÓN DE POBLACIÓN

DATOS DE SALIDA

Año Tf()	PIA(J)	PIG(J)	PIL(J)	PIW(J)
2003	4595	4837	6151	4971
2008	4847	5264	6954	5539
2013	5100	5732	7860	6237
2018	5352	6245	8886	7128
2023	5605	6808	10044	8333
2028	5857	7425	11354	10129
2033	6110	8102	12835	13380

7.1.8 Promedio de poblaciones proyectadas por los diferentes métodos e incremento por tamaño de población

7.1.8.1 Fundamento teórico. Se hace necesario realizar el promedio de la población, para cada año de proyección y con cada uno de los métodos, ya que así la población proyectada sería mucho más confiable, evitando que en el futuro el diseño que se realiza no de abasto con la demanda o por el contrario quede sobre-diseñado.

7.1.8.2 Metodología de diseño

Datos de entrada. Se trabaja con PfA(J), PfG(J), PfL(J), PfW(J), los cuales son vectores que guardan el promedio de la población proyectada en cada año de proyección y por los respectivos métodos.

Calculo del promedio (P). Para cada año de proyección Tf(J), se calcula el promedio de la población proyectada por medio de los diferentes métodos, el promedio de cada año se almacenará en PfP(J) y el incremento "IA" también se hace tanto al año = Tf(J) como a la población PfP(J).

Cálculo de incremento %A(I). Se calcula el incremento del tamaño de la población entre los años de proyección, al incrementarse estos en IA hasta que J llegue a NF, este incremento entre año y año de proyección se almacenará en %A(I).

Corrección por tamaño de población %B(I). Se establece el incremento de corrección por tamaño de población entre año y año, hasta que J llegue a NF. El incremento se almacenará en %B(I).

Impresión de los datos. Se imprime la tabla de población proyectada, en una columna el año de proyección Tf(J), en otra el promedio de las poblaciones en cada año PfP(J), en otra el incremento %A(I), y en la otra la corrección por tamaño de población %B(I).

7.1.8.3 Ejemplo de cálculo

Datos de entrada

Tabla 8. Años y métodos

Año Tf()	PfA(J)	PfG(J)	PfL(J)	PfW(J)
2003	4595	4837	6151	4971
2008	4847	5264	6954	5539
2013	5100	5732	7860	6237
2018	5352	6245	8886	7128
2023	5605	6808	10044	8333
2028	5857	7425	11354	10129
2033	6110	8102	12835	13380

- Se asigna los datos de la anterior tabla a los vectores Tf(), PfA, PfG(J), PfL(J), PfW(J).
- Año de proyección de población: Tf(0)=2003, Tf(5)=2008, Tf(10)=2013, Tf(15)=2018, Tf(20)=2023, Tf(25)=2028, Tf(30)=2033.
- Número de habitantes para cada año de proyección por cada método: PfA(0)=4595, PfA(5)=4847, PfA(10)=5100, PfA(15)=5352, PfA(20)=5605, PfA(25)=5857, PfA(30)=6110, PfG(0)=4837, PfG(5)=5264, PfG(10)=5732, PfG(15)=6245, PfG(20)=6808, PfG(25)=7425, PfG(30)=8102, PfL(0)=6151, PfL(5)=6954, PfL(10)=7860, PfL(15)=8886, PfL(20)=10044, PfL(25)=11354, PfL(30)=12835, PfW(0)=4971, PfW(5)=5539, PfW(10)=6237, PfW(15)=7128, PfW=8333, PfW=10129, PfW=13380.

Cálculo del promedio PfP(J).

Se calcula el promedio de cada año de proyección hasta que J sea igual a Nf que en este caso es 30 y este promedio se almacena en PfP().

$$PfP(0) = \frac{PfA(0) + PfG(0) + PfL(0) + PfW(0)}{4}$$

$$= \frac{4595 + 4837 + 6151 + 4971}{4} = 5131$$

$$PfP(5) = \frac{PfA(5) + PfG(5) + PfL(5) + PfW(5)}{4}$$

$$= \frac{4847 + 5264 + 6954 + 5539}{4} = 5651$$

$$PfP(10) = \frac{PfA(10) + PfG(10) + PfL(10) + PfW(10)}{4}$$

$$= \frac{5100 + 5732 + 7860 + 6237}{4} = 6232$$

$$PfP(15) = \frac{PfA(15) + PfG(15) + PfL(15) + PfW(15)}{4}$$

$$= \frac{5352 + 6245 + 8886 + 7128}{4} = 6902$$

$$PfP(20) = \frac{PfA(20) + PfG(20) + PfL(20) + PfW(20)}{4}$$

$$= \frac{5605 + 6808 + 10044 + 8333}{4} = 7697$$

$$PfP(25) = \frac{PfA(25) + PfG(25) + PfL(25) + PfW(25)}{4}$$

$$= \frac{5857 + 7425 + 11354 + 10129}{4} = 8691$$

$$PfP(30) = \frac{PfA(30) + PfG(30) + PfL(30) + PfW(30)}{4}$$

$$= \frac{6110 + 8102 + 12835 + 13380}{4} = 10106$$

Cálculo del incremento %A().

Se calcula el incremento de población %A() a medida que los años de proyección aumentan en IA, en este ejemplo se tiene 6 incrementos %A(6).

$$\%A(1) = \frac{(PfP(5) - PfP(5 - 5)) * 100}{PfP(5 - 5)} = \frac{(5651 - 5131) * 100}{5131} = 10.13$$

$$\%A(2) = \frac{(PfP(10) - PfP(10 - 5)) * 100}{PfP(10 - 5)} = \frac{(6232 - 5651) * 100}{5651} = 10.28$$

$$\%A(3) = \frac{(PfP(15) - PfP(15 - 5)) * 100}{PfP(15 - 5)} = \frac{(6902 - 6232) * 100}{6232} = 10.75$$

$$\%A(4) = \frac{(PfP(20) - PfP(20 - 5)) * 100}{PfP(20 - 5)} = \frac{(7697 - 6902) * 100}{6902} = 11.51$$

$$\%A(5) = \frac{(PfP(25) - PfP(25 - 5)) * 100}{PfP(25 - 5)} = \frac{(8691 - 7697) * 100}{7697} = 12.91$$

$$\%A(6) = \frac{(PfP(30) - PfP(30 - 5)) * 100}{PfP(30 - 5)} = \frac{(10106 - 8691) * 100}{8691} = 16.28$$

Corrección por tamaño de población %B().

Se calcula el incremento de corrección por población %B() teniendo presente el criterio de que el consumo neto se aumenta en un 10% del incremento en el número de habitantes %A().

$$\%B(1) = \frac{\%A(1) * 10}{100} = \frac{10.13 * 10}{100} = 1.01$$

$$\%B(2) = \frac{\%A(2) * 10}{100} = \frac{10.28 * 10}{100} = 1.028$$

$$\%B(3) = \frac{\%A(3) * 10}{100} = \frac{10.75 * 10}{100} = 1.075$$

$$\%B(4) = \frac{\%A(4) * 10}{100} = \frac{11.51 * 10}{100} = 1.15$$

$$\%B(5) = \frac{\%A(5) * 10}{100} = \frac{12.91 * 10}{100} = 1.29$$

$$\%B(6) = \frac{\%A(6) * 10}{100} = \frac{16.28 * 10}{100} = 1.62$$

Los datos de salida se indican en la tabla 9.

Tabla 9. Tabla de proyección de población promedio e incrementos

Año Tf(J)	PfA(J)	PfG(J)	PfL(J)	PfW(J)	Promedio		
					PfP(J)	%A(I)	%B(I)
2003	4595	4837	6151	4971	5131		
2008	4847	5264	6954	5539	5651	10.13	1.01
2013	5100	5732	7860	6237	6232	10.28	1.02
2018	5352	6245	8886	7128	6902	10.75	1.07
2023	5605	6808	10044	8333	7697	11.51	1.15
2028	5857	7425	11354	10129	8691	12.91	1.29
2033	6110	8102	12835	13380	10106	16.28	1.62

7.1.8.4 Diagrama de flujo

Listado de variables

PfP(): Población proyectada o futura promedio correspondiente a su respectivo año de proyección.

PfA(): Proyección de la población por el método Aritmético correspondiente a su respectivo año de proyección.

PfG(): Proyección de la población por el método geométrico correspondiente a su respectivo año de proyección.

PfL(): Proyección de la población por el método logarítmico correspondiente a su respectivo año de proyección.

PfW(): Proyección de la población por el método de wappus correspondiente a su respectivo año de proyección.

IA: Es el incremento de los años proyectados.

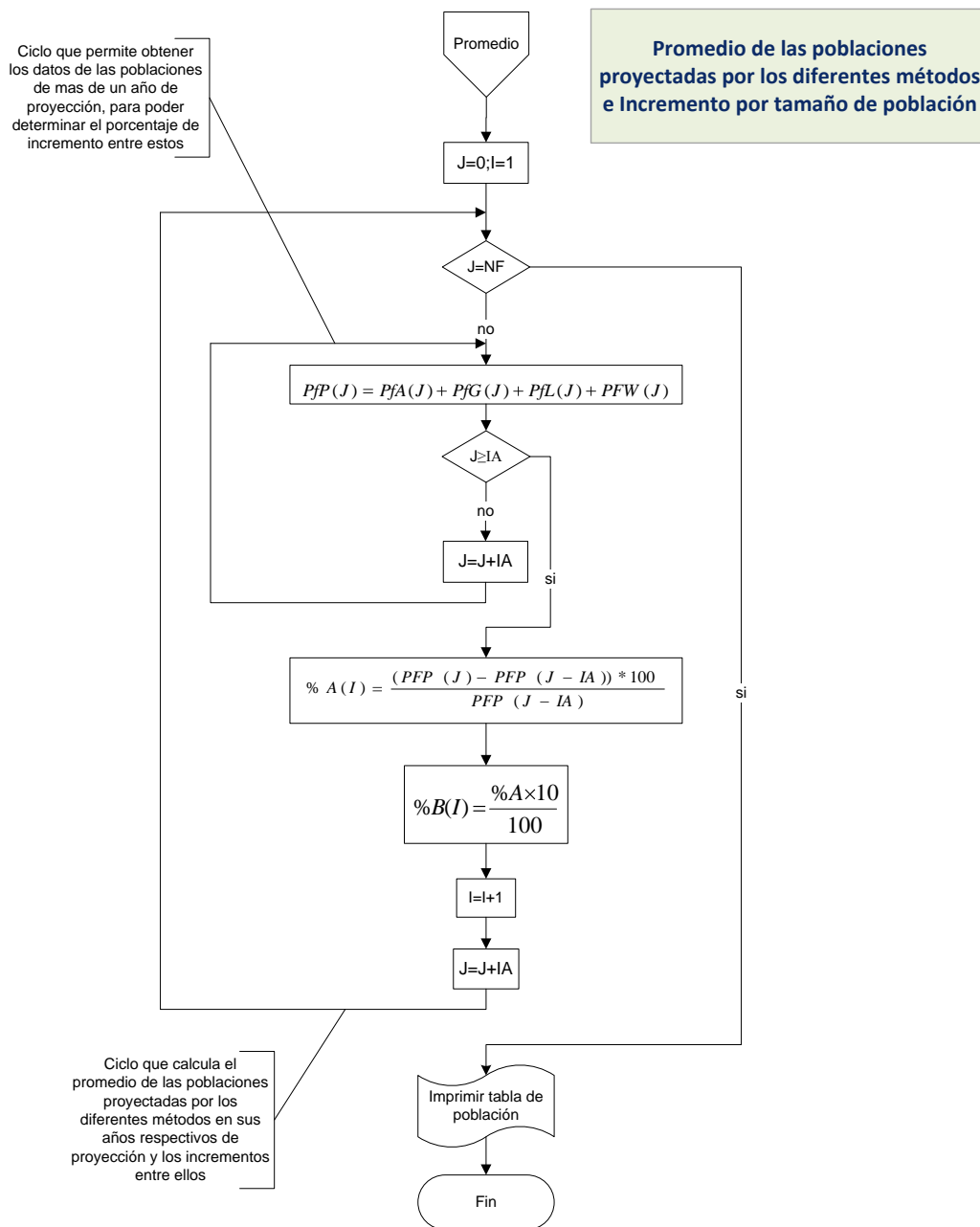
J: Es una variable denominada “contador” que se refiere a los años de proyección.

I: Es una variable denominada "contador".

%A(): Incremento en el tamaño de la población.

%B(): Incremento correspondiente al 10% del incremento del tamaño de la población.

Figura 22. Diagrama de flujo para calcular la proyección de población promedio.



7.1.8.5 Pseudocódigo

En el siguiente pseudocódigo se utiliza la estructura algorítmica Repetir.

{El algoritmo calcula la población promedio entre los diferentes métodos y los incrementos de población para la dotación}.

4.5 Hacer $J \leftarrow 0$ e $I \leftarrow 1$

4.5.1 Repetir con J desde 0 hasta NF en pasos de IA.

4.5.1.1 Repetir con J desde 0 en pasos de IA hasta IA.

Hacer

$PfP(J) \leftarrow PfA(J) + PfG(J) + PfL(J) + PfW(J)$,

{Fin de ciclo de numeral 4.5.1.1

Hacer $\%A(I) \leftarrow (PfP(J) - PfP(J-IA)) / (PfP(J-IA)) * 100$

Hacer $\%B(I) \leftarrow (\%A * 10) / 100$

Hacer $I \leftarrow I + 1$

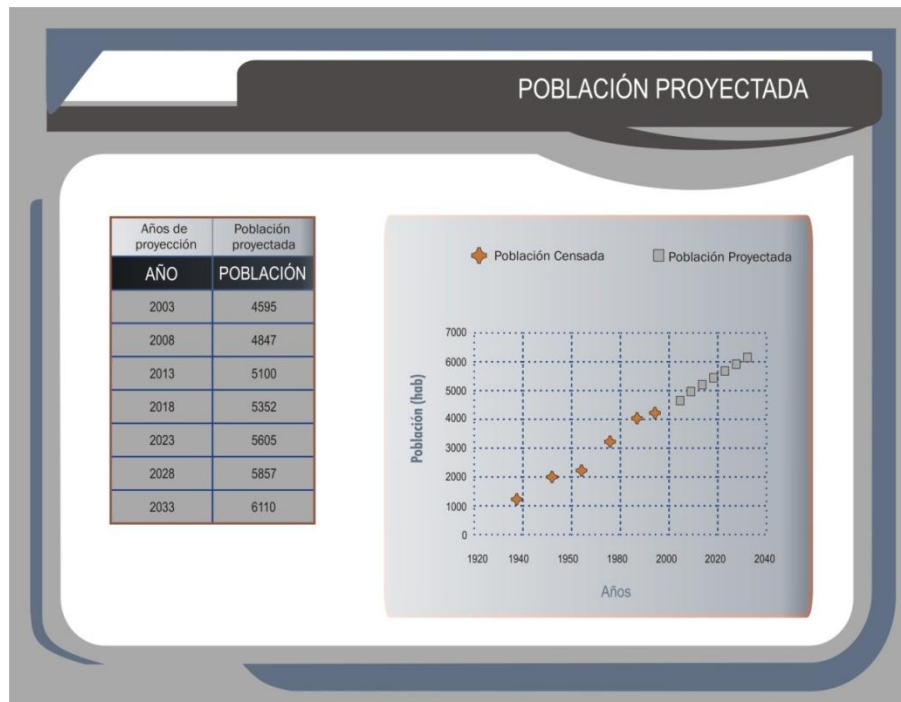
{ Fin de ciclo del numeral 4.5.1}

Imprimir tabla de población

{Fin del condicional 4.}

7.1.8.6 Pantalla de Datos

Figura 23. Pantalla de salida de datos en forma de tabla y forma gráfica



7.2 CONSUMO

7.2.1 Determinación del nivel de complejidad

7.2.1.1 Fundamento teórico. Para el desarrollo de un sistema de acueducto es muy importante saber el tipo de población que va a utilizar dicho sistema, una manera de establecer esto es obteniendo la información general de la población en cuanto a su capacidad económica y cantidad de habitantes y con esto se determina el nivel de complejidad del diseño.

7.2.1.2 Metodología de diseño

Datos de entrada

- Población en el año de proyección **PfP**.
- Capacidad económica de la población **CE**.

Asignación de las condiciones según la capacidad económica. Hay tres opciones las cuales dependen de la capacidad económica de la población, estas son “bajo”, “medio”, “alto”. Si se cumple con cualquiera de estas se utilizan las siguientes condiciones que dependen de la población para determinar el nivel de complejidad (NCJ), que puede ser bajo, medio, medio alto o alto.

7.2.1.3 Ejemplo de cálculo

Datos de entrada. CE nos indica la capacidad económica de la población y de acuerdo a su definición se establece el nivel de complejidad por medio de las siguientes condiciones que dependen de la población (PfP):

- Si CE es “bajo”:
 - Si $PfP \leq 2500$ el nivel de complejidad (**NCJ**) es **Bajo**.
 - Si $2501 \leq PfP \leq 12500$ el nivel de complejidad (**NCJ**) es **medio**.
 - Si $12501 \leq PfP \leq 60000$ el nivel de complejidad (**NCJ**) es **medio alto**.
 - Si $PfP > 60000$ el nivel de complejidad (**NCJ**) es **alto**.
- Si CE es “medio”:
 - Si $PfP \leq 2500$ el nivel de complejidad (**NCJ**) es **medio**.
 - Si $2501 \leq PfP \leq 60000$ el nivel de complejidad (**NCJ**) es **medio alto**.
 - Si $PfP > 60000$ el nivel de complejidad (**NCJ**) es **alto**.

- Si CE es “alto”:
 - Si P_{fP} ≤ 2500 el nivel de complejidad (**NCJ**) es **alto**.
 - Si P_{fP} > 2500 el nivel de complejidad (**NCJ**) es **alto**.

Es necesario que el usuario elija una población (**PFP**) de un año de proyección (**Tf**) adecuado y coherente con los periodos de diseño de cada sistema que compone un acueducto, para la obtención de un nivel de complejidad (**NCJ**) el cual será definitivo y por lo tanto el utilizado en todo el proyecto. Para el ejemplo global de este trabajo los datos son:

T_f=2033

P_{fP}=10106 habitantes.

CE= baja

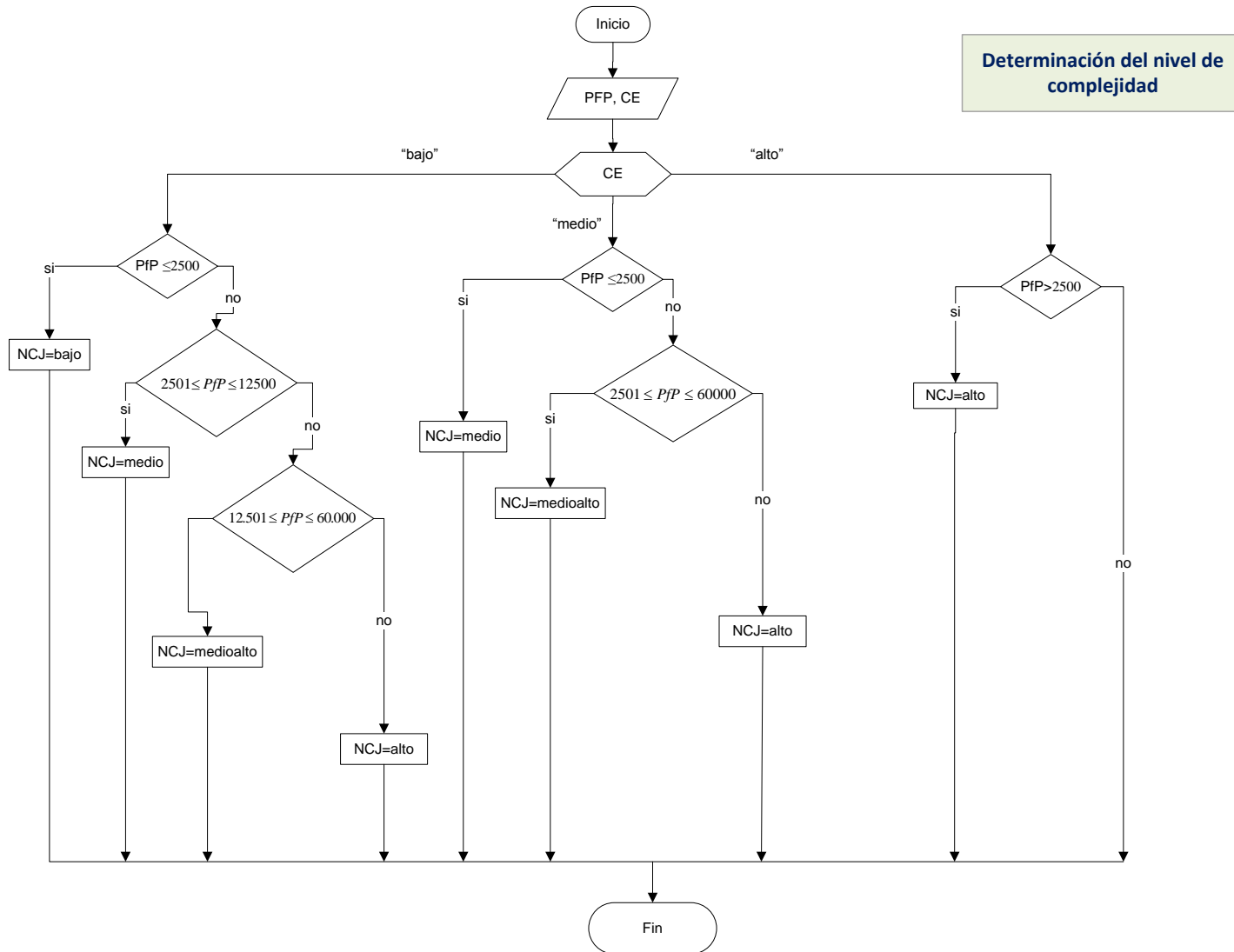
Por lo tanto el nivel de complejidad (**NCJ**) según lo dicho anteriormente es **medio**.

7.2.1.4 Diagrama de flujo. En la figura 24, se indica el diagrama de flujo determinación del nivel de complejidad

Listado de variables

- **NCj** Nivel de complejidad el sistema.
- **PfP** Población en el año de proyección.
- **CE** Es la capacidad económica de la población y además es la variable o expresión a evaluarse, según la cual se tomará una de las múltiples decisiones o alternativas.

Figura 24. Determinación del nivel de complejidad



7.2.1.5 Pseudocódigo

{El algoritmo calcula el nivel de complejidad según la población proyectada y su respectiva capacidad económica}

1. Leer CE ← Valor 'se asigna un valor a la variable CE
 2. Leer PFP
 3. Si CE igual:
 - "bajo":
 - 3.1 Si ($PFP \leq 2500$)
 - Entonces
Hacer NCJ ← bajo
 - Sino
 - 3.1.1 Si ($2501 \leq PFP \leq 12500$)
 - Entonces
Hacer NCJ ← medio
 - Sino
 - 3.1.1.1 Si ($12501 \leq PFP \leq 60000$)
 - Entonces
Hacer NCJ ← medio alto
 - Sino
Hacer NCJ ← alto
 - {fin del condicional 3.1.1.1}
 - {fin del condicional 3.1.1}
 - {Fin del condicional 3.1}
 - "medio":
 - 3.2 Si ($PFP \leq 2500$)
 - Entonces
Hacer NCJ ← medio
 - Sino
- 7.2.2 Si ($2501 \leq PFP \leq 60000$)
 - Entonces
Hacer NCJ ← medio alto
 - Sino
Hacer NCJ ← alto
- {fin del condicional 3.2.1}
- {Fin del condicional 3.2}
- "alto":
 - 3.3 Si ($PFP > 2500$)
 - Hacer NCJ ← alto
- {Fin del condicional 3.3}
4. {Fin del condicional 3}

7.2.1 Consumo de agua consumo domestico residencial

7.2.1.1 Fundamento teórico. Los valores indicados en la siguiente tabla pueden tener variaciones en la medida en que se adopten planes de uso racional de agua. El aseo personal y la descarga de sanitarios tienen un peso muy importante dentro del consumo residencial, lo cual ha llevado al diseño de sanitarios de bajo volumen de descarga y de adaptadores para lavamanos y regaderas.

Tabla 10. Tabla de Consumos residenciales típicos

Usos	Consumo (L/hab.*d)
Aseo personal	45
Descarga de sanitarios	40
Lavado de ropa	20
Cocina	15
Riego de jardines	10
Lavado de pisos	5

En la tabla 11 se indican algunos valores que pueden ser adoptados como consumo residencial neto (**Dnr**) y es la base para el siguiente algoritmo.

Tabla 11. Tabla Rangos de valores de consumo residencial

Población	Consumo Mínimo (L/hab*d)	Consumo Máximo (L/hab*d)
<2500 habitantes	100	150
2500-12500 habitantes	120	180
12500-60000 habitantes	130	-
>60000	150	-

Fuente: RAS 2000. Ministerio de desarrollo económico de Colombia. Tabla de rangos

7.2.1.2 Metodología de diseño

Datos de entrada. En primera instancia se inicializa el contador (**sumDnr**) en cero, luego el usuario debe ingresar los valores que considere necesarios para componer la dotación neta residencial (**Dnr**), la cual la puede obtener si lo desea de la tabla 10 y sumando sus valores.

Sumatoria: La suma de todos los valores que el usuario ingrese en la variable **(Dnr)** se almacenarán en el acumulador **(sumDnr)**.

Consumo residencial: Este consumo es igual a la sumatoria de todos los consumos ingresados por el usuario Y es el consumo residencial definitivo, que nuevamente se almacena en la variable **(Dnr)**.

Impresión del consumo residencial: Se escribe **(Dnr)** indicando que es el consumo residencial.

Verificación de la dotación neta residencial: Con el nivel de complejidad **(NCJ)** determinado, se verifica por medio de las condiciones establecidas por la RAS Colombia 2000⁵ si la dotación residencial es aceptable:

- Si el nivel de complejidad **(NCJ)** es bajo:
Si $100 \leq Dnr \leq 150$ entonces la dotación neta residencial **(Dnr)** es aceptada.
- Si el nivel de complejidad **(NCJ)** es medio:
Si $120 \leq Dnr \leq 175$ entonces la dotación neta residencial **(Dnr)** es aceptada.
- Si el nivel de complejidad **(NCJ)** es medio alto:
Si $Dnr \geq 130$ entonces la dotación neta residencial **(Dnr)** es aceptada.
- Si el nivel de complejidad **(NCJ)** es alto:
Si $Dnr \geq 150$ entonces la dotación neta residencial **(Dnr)** es aceptada.

Determinación de la nueva dotación neta: Se suma la dotación neta actual almacenada en **(DN)** más el consumo residencial obtenido en la variable **(Dnr)**, esta dotación sería la dotación neta por el momento.

7.2.1.3 Ejemplo de cálculo

Datos de entrada. En este ejemplo se utiliza los siguientes valores los cuales corresponden a una población con desarrollo social y económico intermedio, con un tamaño entre 2500 y 12500 habitantes por lo que el nivel de complejidad **(NCJ)** es medio alto:

⁵ RAS 2000. Ministerio de desarrollo económico de Colombia. Reglamento técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), Títulos A “Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico” y B “Sistemas de acueducto”. Revisión 1, Bogotá. Ministerio de desarrollo económico 2000. p. B31.

Tabla 12. Proyección de la población

Año	PfP()
2003	5095
2008	5574
2013	6104
2018	6760
2023	7557
2028	8562
2033	9904

Tabla 13. Consumo residencial

Dnr	Usos	Consumo(L/hab*d)
1	Aseo personal	45
2	Descarga de sanitarios	40
3	Lavado de ropa	20
4	Cocina	15
5	Riego de jardines	10
6	Lavado de pisos	5

Sumatoria

Se suma los valores de (Dnr) y se tiene:

$$sumDnr = (Dnr1 + Dnr2 + Dnr3 + Dnr4 + Dnr5 + Dnr6)$$

$$sumDnr = 45+42+20+15+10+5=135L/hab*día$$

Consumo residencial: Este consumo es igual a la sumatoria de los **Dnr** ingresados.

$$SumDnr=Dnr=135L/hab*día$$

Verificación de la dotación neta residencial (Dnr): Se verifica la dotación residencial (Dnr) teniendo en cuenta que el nivel de complejidad (NC) es medio alto:

Si **Dnr**≥130 entonces la dotación neta residencial (**Dnr**) es aceptada, por lo tanto la dotación neta residencial ingresada es aceptada.

Determinación de la dotación neta (DN): Como en el ejemplo la dotación neta residencial (Dnr) es la única dotación que se tiene, se la toma como la dotación neta (DN).

$$DN=Dnr=135L/hab*día$$

7.2.1.4 Diagrama de flujo

En el diagrama de flujo 25 y 26 se indica el consumo doméstico o residencial

Listado de variables

- **NCJ** Variable que se refiere al nivel de complejidad del sistema.
- **Dnr** Es la dotación neta residencial requerida para abastecer al sistema.
- **DN** dotación neta.
- **sumDnr** Es un acumulador que almacena la sumatoria de los consumos ingresados por el usuario.

Figura 25. Consumo Doméstico o residencial

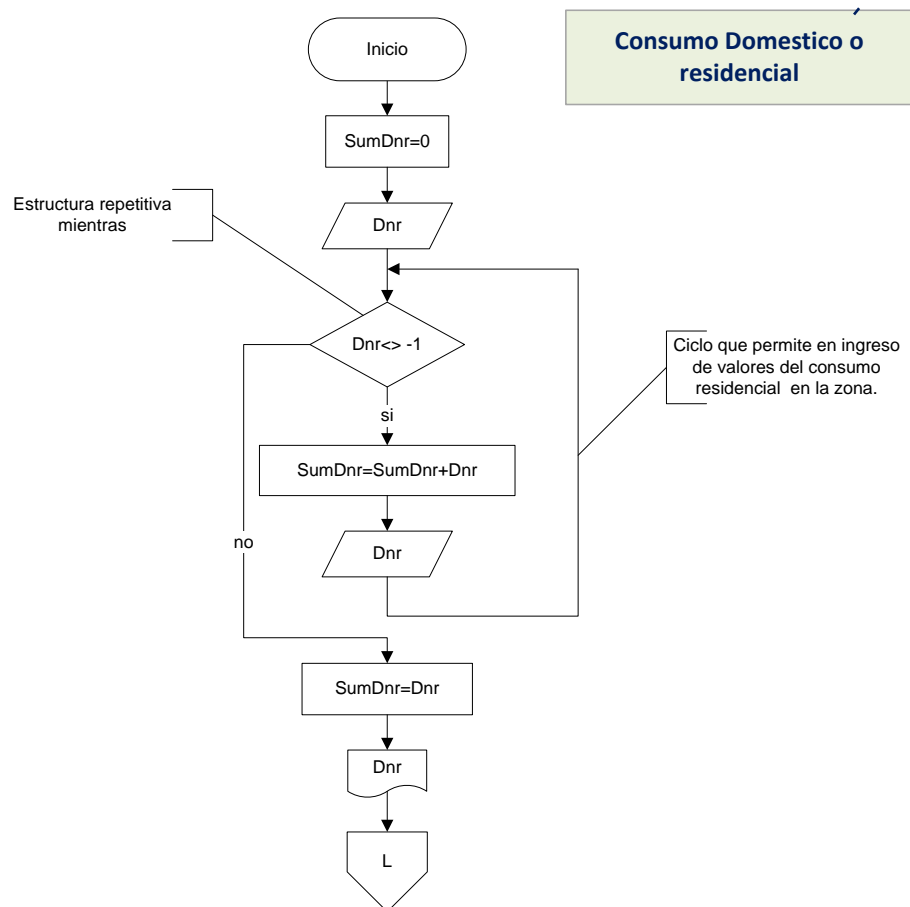
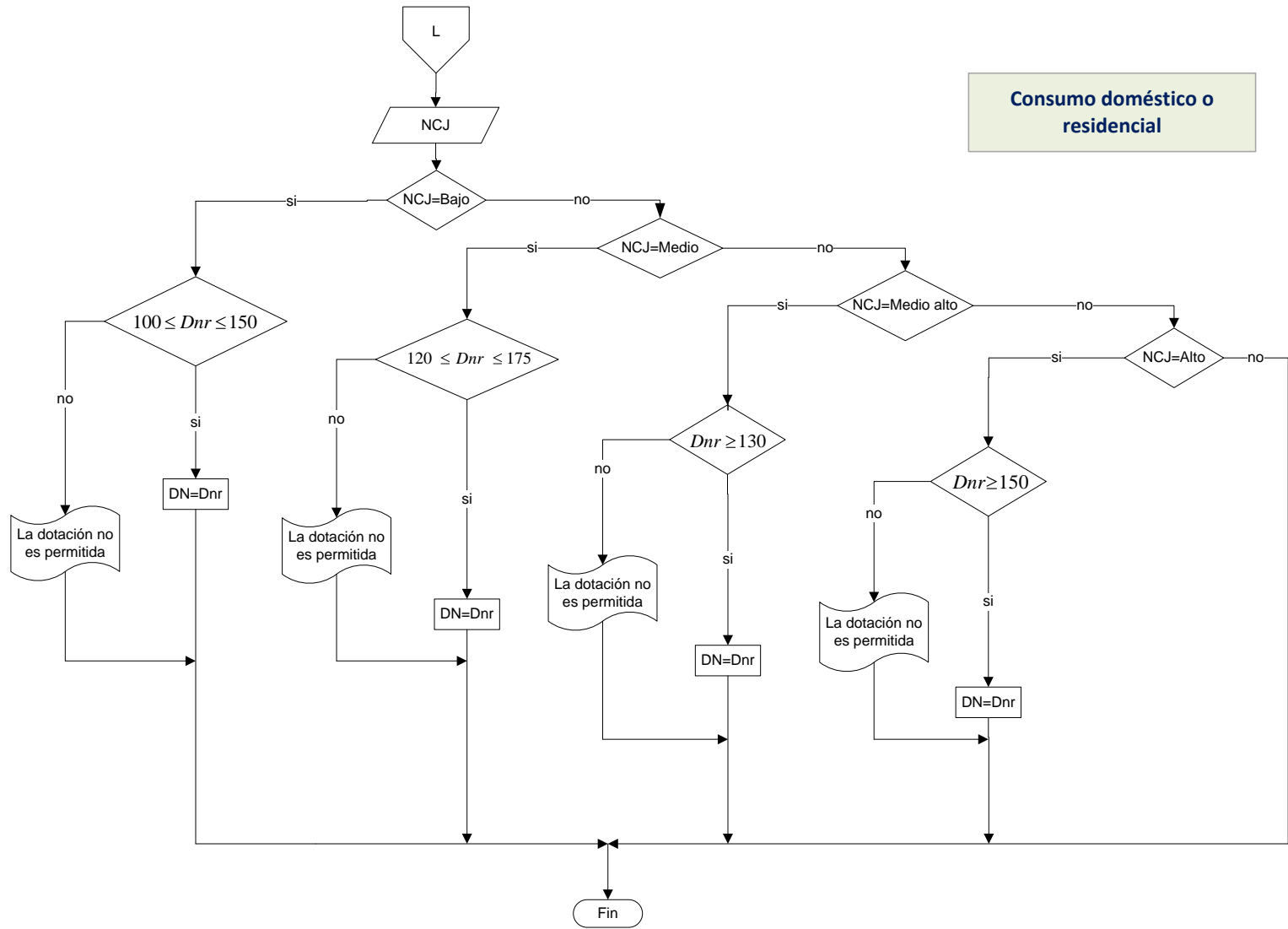


Figura 26. Consumo Doméstico o residencial



7.2.1.5 Pseudocódigo

{El algoritmo permite el ingreso de los distintos valores del consumo residencial presentes en la zona y verifica el mismo según en nivel de complejidad del sistema}

1. Hacer SumDnr \leftarrow 0
2. Leer Dnr \leftarrow Valor 'se asigna un valor a la variable Dnr'.
3. Mientras (Dnr > -1) Repetir.
 - Hacer SumDnr \leftarrow SumDnr + Dnr
 - Leer Dnr.{Fin de ciclo del numeral 3}
4. Hacer SumDnr \leftarrow Dnr
5. Escribir Dnr
6. Leer NCJ \leftarrow Valor 'se asigna un valor a la variable NCJ.
Leer Dnr \leftarrow Valor 'se asigna un valor a la variable NCJ.
7. Si NCJ=bajo
 - Entonces
 - 7.1 Si ($100 \leq Dnr \leq 150$)
 - Entonces
Hacer DN \leftarrow Dnr
 - Sino
Escribir "La dotación no es permitida"{Fin de condicional del numeral 7.1}
 - Sino
 - 7.2 Si NCJ=Medio
 - Entonces
 - 7.2.1 Si ($120 \leq Dnr \leq 175$)
 - Entonces
Hacer DN \leftarrow Dnr
 - Sino
Escribir "La dotación no es permitida"{Fin de condicional del numeral 7.2.1}
 - Sino
 - 7.2.2 Si NCJ=Medio alto
 - Entonces
 - 7.2.2.1 Si ($Dnr \geq 130$)
 - Entonces
Hacer DN \leftarrow Dnr
 - Sino
Escribir "La dotación no es permitida"{Fin del ciclo del numeral 7.2.2.1}
 - Sino

```

7.2.2.2 Si NCJ=alto
      Entonces
7.2.2.2.1 Si (Dnr≥150)
      Entonces
      Hacer DN ← Dnr
      Sino
      Escribir "La dotación no es permitida"
      {Fin del ciclo del numeral 7.2.2.2.1}
      {Fin del condicional del numeral 7.2.2.2}
      {Fin de condicional del numeral 7.2.2}
      {Fin de condicional del numeral 7.2}
      {Fin de condicional del numeral 7}
8. Fin.

```

7.2.2 Consumo comercial e industrial

7.2.2.1 Fundamento teórico. Las guías del consumo industrial y comercial deben usarse con criterio adecuado ya que, por una parte, los valores pueden cambiar de industria a industria de acuerdo con los procesos que en ellas se desarrollen y con la tecnología utilizada y, por otra parte, estos valores son independientes del número de habitantes de la población. Por la razón anterior, es más recomendable determinar el consumo de las industrias en la localidad por medio de encuestas directas y posteriormente normalizadas con respecto al número de habitantes. En la siguiente tabla se incluyen algunos valores diferentes de consumo comercial, industrial y público.

En pequeñas comunidades donde el uso residencial representa más del 90% del consumo neto total, se puede, adoptar el consumo comercial, industrial y público como un pequeño porcentaje del consumo residencial.

Tabla 14. Tabla Consumos típicos de los sectores comercial, industrial y público.

Usos	Consumo (L/d)
Hoteles (por habitación)	200-300
Escuelas: <20 alumnos	50
>20alumnos	80
Industrias (por persona empleada)	80
Lecherías (por habitante)	0,8
Fabricas de bebidas (por habitante)	0,2
Fabricas de hielo (por habitante)	1,0
Curtiembre (por habitante)	0,5
Depósitos de materiales	100
Farmacias o graneros hasta 50m ²	500
hasta 100m ²	1000
hasta 200m ²	1600
≥200m ² (por m ²)	8
Fuentes de soda y heladerías hasta 20m ²	1000
hasta 50m ²	2000
>50m ²	3000
Restaurantes hasta 50m ²	40
>50m ²	90
Oficina (por empleado y por 10 m ²)	80
Hospitales (por cama)	400
Mataderos (por cabeza sacrificada)	300-500
Riego de parques (por habitante)	9
Lavado de calles (por m ²)	1,5
Lavado de alcantarillado (por habitante)	3

7.2.2.2 Metodología de diseño

Datos de entrada: En primera instancia se inicializa el contador (sumCIN) en cero, luego para determinar tanto el valor comercial como el industrial, el usuario debe ingresar uno a uno el valor de dichos consumos los cuales se almacenarán en la variable **(CIN)**.

Sumatoria: La suma de todos los valores que el usuario ingrese en la variable **(CIN)** se almacenarán en el acumulador **(sumCIN)**.

Consumo comercial e industrial: Este consumo es igual a la sumatoria de todos los consumos ingresados por el usuario y es el consumo industrial y comercial definitivo, que nuevamente se almacena en la variable **(CIN)**.

Impresión del consumo comercial e industrial: Se escribe **(CIN)** indicando que es el consumo comercial e industrial.

Determinación de la nueva dotación neta: Se suma la dotación neta actual almacenada en **(DN)** más el consumo comercial e industrial obtenido en la variable **(CIN)**.

7.2.2.3 Ejemplo de cálculo.

Datos de entrada. Este ejemplo se refiere a la misma población del ejemplo anterior, por lo cual utiliza los siguientes valores de consumo comercial e industrial (CIN), correspondientes a la misma población con desarrollo social y económico intermedio, con un tamaño entre 2500 y 12500 habitantes y en consecuencia un nivel de complejidad (NCJ) medio alto:

Tabla 15. Consumos comerciales e industriales

CIN	L/d	Unid.	L/hab*día
Lechería			0.8
Hotel (por habitación)	200	20	0.8
Fuente de soda(5)	1000	5	1.0
Oficina (por empleado y por 10m ²) (5 emp./of.)(50 of.)(50m ²)	80	250	19.6
Almacenes			3.5
Matadero (por cabeza)	300	20	1.2
Subtotal			26.9

Sumatoria: Si se suma los valores de(Dnr) se tiene:

$$sumCIN = (CIN1 + CIN2 + CIN3 + CIN4 + CIN5 + CIN6)$$

$$SumCIN = 0.8+0.8+1.0+19.6+3.5+1.2 = 26.9/hab*dia.$$

Consumo comercial e industrial: Este consumo es igual a la sumatoria de los **Dnr** ingresados.

$$\text{SumCIN} = \text{CIN} = 26.9 \text{ L/hab} \cdot \text{día}$$

Determinación de la dotación neta (DN): Siguiendo con el anterior ejemplo la dotación neta (**DN**) que se tiene es $135 \text{ L/hab} \cdot \text{día}$, que equivale a la dotación neta residencial (**Dnr**) y para hallar una nueva dotación neta es necesario sumar esta, con el consumo comercial e industrial (**CIN**).

$$\text{DN} = \text{DN} + \text{CIN} = (135 + 26.9) \text{ L/hab} \cdot \text{día} = 161.9 \text{ L/hab} \cdot \text{día}$$

$$\text{DN} = 161.9 \text{ L/hab} \cdot \text{día}$$

7.2.2.4 Diagrama de flujo. En el diagrama de flujo 27, se indica el consumo comercial e industrial

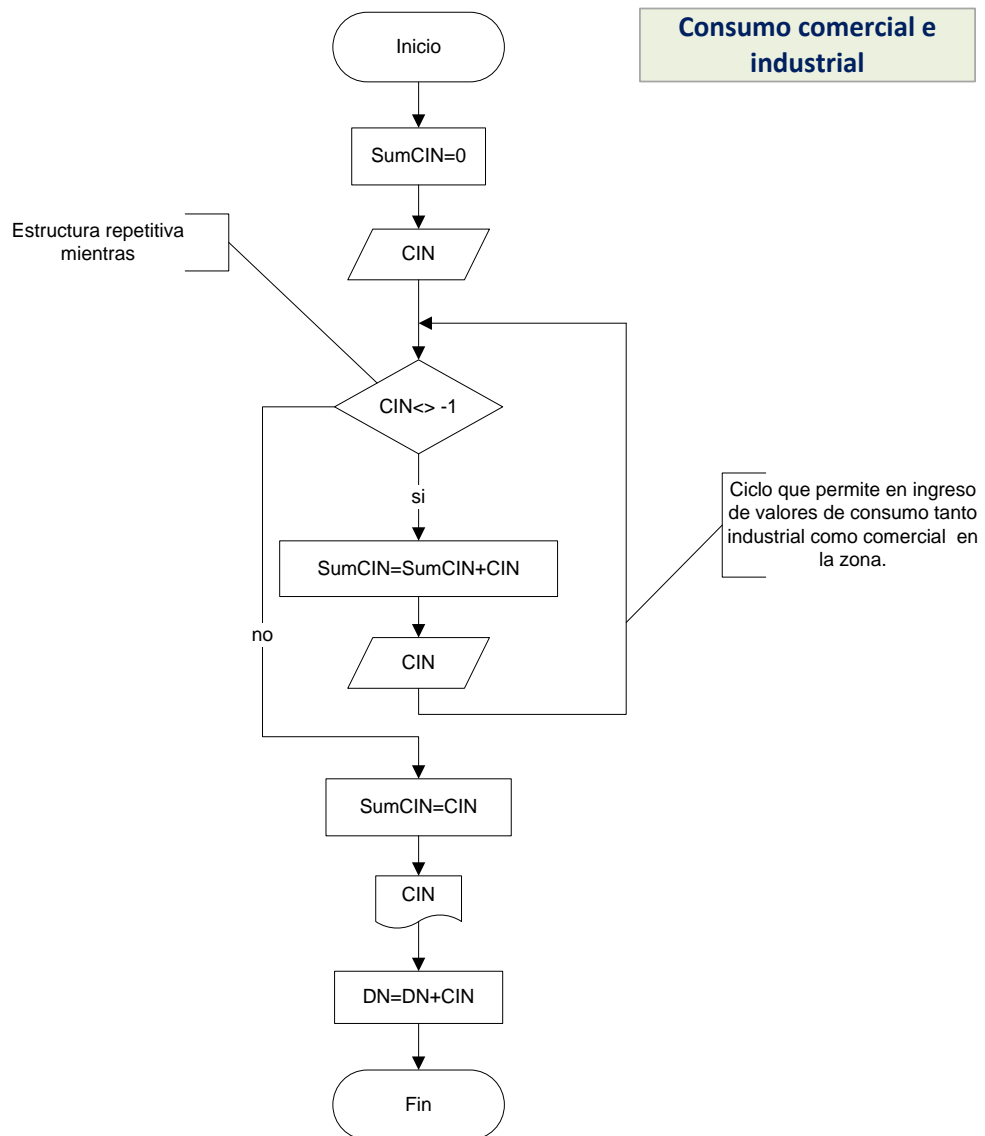
Listado de variables

SumCIN: Es una variable de tipo real. Es un acumulador, acumula los consumos comerciales e industriales.

CIN: Es una variable que se refiere a los valores de consumo tanto industrial como comercial que se desea ingresar, para ser tenidos en cuenta en el diseño del acueducto, es una variable de tipo real. Su primera lectura debe ser verdadera, es decir distinto de -1, su valor se modifica en cada vuelta de ciclo y cuando el consumo tome el valor de -1 entonces el ciclo se detendrá.

DN: Es una variable que almacena la dotación neta.

Figura 27. Consumo comercial e industrial



7.2.2.5 Pseudocódigo

{El algoritmo permite el ingreso de los distintos valores del consumo domestico e industrial presentes en la zona}

3 Hacer SumCIN ← 0

- 4 Leer CIN ← Valor 'se asigna un valor a la variable NCJ.
- 5 Mientras (CIN<>-1) Repetir.
 - Hacer SumCIN ← SumCIN+CIN
 - Leer CIN.
- {Fin de ciclo del numeral 3}
- 6 Hacer SumCIN ← CIN
- 7 Escribir CIN
- 8 Hacer DN ← DN+CIN

7.2.3 Consumo institucional y público

7.2.3.1 Fundamento teórico. Al igual que el consumo comercial e industrial, en el consumo institucional y público los valores pueden cambiar de entidad a entidad, de acuerdo con la metodología y la tecnología que se utilice. Es recomendable determinar el consumo institucional y público por medio de encuestas directas para posteriormente normalizarlas con respecto al número de habitantes. Los valores del consumo institucional y público se encuentran incluidos en la tabla (Consumos típicos de los sectores comercial, industrial y público).

7.2.3.2 Metodología de diseño

Datos de entrada: En primera instancia se inicializa el contador (**SumCIPU**) en cero, luego para determinar tanto el valor institucional como el público, el usuario debe ingresar uno a uno el valor de dichos consumos los cuales se almacenarán en la variable (**CIPU**).

Sumatoria: La suma de todos los valores que el usuario ingrese en la variable (**CIPU**) se almacenarán en el acumulador (**sumCIPU**).

Consumo institucional y público: Este consumo es igual a la sumatoria de todos los consumos ingresados por el usuario y es el consumo institucional y público definitivo, que nuevamente se almacena en la variable (**CIPU**).

Impresión del consumo institucional y público: Se escribe (**CIPU**) indicando que es el consumo institucional y público.

Determinación de la nueva dotación neta: Se suma la dotación neta actual almacenada en **(DN)** más el consumo institucional y público obtenido en la variable **(CIPU)**.

7.2.3.3 Ejemplo de cálculo

Datos de entrada: Este ejemplo se refiere a la misma población del ejemplo anterior, por lo cual utiliza los siguientes valores de consumo institucional y público **(CIPU)**, correspondientes a la misma población con desarrollo social y económico intermedio, con un tamaño entre 2500 y 12500 habitantes y en consecuencia, un nivel de complejidad **(NCJ)** medio alto:

Tabla 16. Consumos institucionales públicos

CIPU	L/d	Unid.	L/hab*día
Hospital (por cama)	400	20	1.6
Escuela	80	2	0.0
Oficinas (por empleado y por 10m ²) (3 emp./50 of.) (100m ²)	80	150	23.6
Riego de parques			9.0
Subtotal			34.2

Sumatoria: Si se suma los valores de(Dnr), se tiene:

$$sumCIPU = (CIPU1 + CIPU2 + CIPU3 + CIPU4)$$

$$SumCIPU = 1.6+0.0+23.6+9.0 = 34.2L/hab*día.$$

Consumo institucional y público: Este consumo es igual a la sumatoria de los **CIPU** ingresados.

$$SumCIPU = CIPU = 34.2L/hab*día$$

Determinación de la dotación neta (DN): Siguiendo con el anterior ejemplo la dotación neta **(DN)** que se tiene es 161.9 L/hab*día, que equivale a la dotación neta residencial **(Dnr)** mas el consumo comercial e industrial **(CIN)** y para hallar una nueva dotación neta es necesario sumar esta, con el consumo institucional y público **(CIPU)**.

$$DN = DN + CIPU = (161.9 + 34.2) L/hab * día = 196.1 L/hab * día$$

$$DN = 196.1 L/hab * día$$

7.2.3.4 Diagrama de flujo. En la figura 28, se indica el diagrama de flujo, consumo insitucional y público.

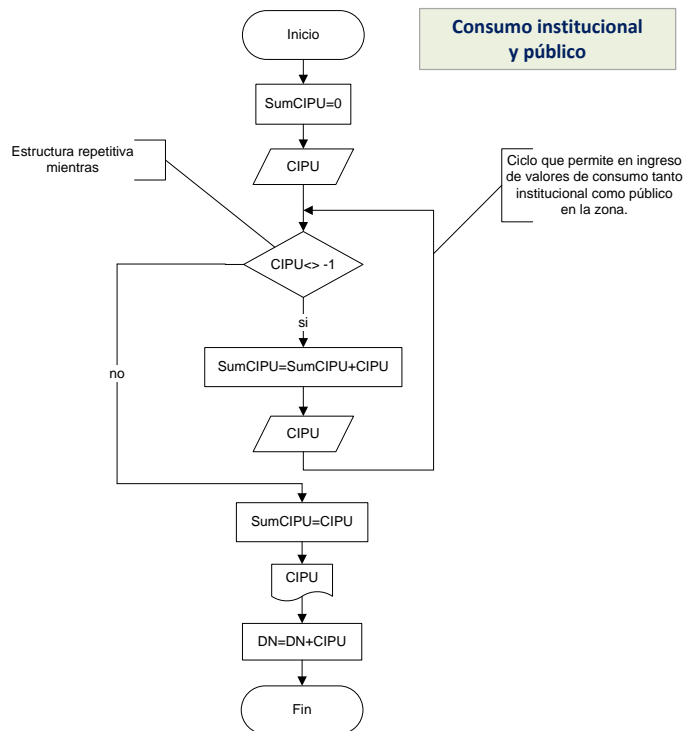
Listado de variables

SumCIPU: Es una variable de tipo real y actúa como un acumulador que almacena los consumos institucionales y públicos efectuados.

CIPU: Es una variable que se refiere a los valores de consumo tanto institucional como público que se desea ingresar, para ser tenidos en cuenta en el diseño del acueducto, es una variable de tipo real. Su primera lectura debe ser verdadera, es decir distinto de -1, su valor se modifica en cada vuelta de ciclo y cuando el consumo tome el valor de -1 entonces el ciclo se detendrá.

DN: Dotación neta que depende del nivel de complejidad del sistema.

Figura 28. Consumo institucional y público



7.2.3.5 Pseudocódigo

{El algoritmo permite el ingreso de los distintos valores del consumo domestico e industrial presentes en la zona}

1. Hacer SumCIPU ← 0
2. Leer CIPU ← Valor 'se asigna un valor a la variable NCJ.
3. Mientras (CIPU <> -1) Repetir.
 Hacer SumCIPU ← SumCIPU+CIPU
 Leer CIN.
 {Fin de ciclo del numeral 3}
4. Hacer SumCIPU ← CIPU
5. Escribir CIPU
6. Hacer DN ← DN+CIPU

7.2.4 Incremento de la dotación neta y determinación del consumo total

7.2.4.1 Fundamento teórico

Pérdidas de Agua: Las pérdidas de agua en el sistema son la diferencia entre el volumen de agua producido y el volumen de agua utilizado por los usuarios.

Las pérdidas totales se clasifican como pérdidas técnicas o físicas, inherentes al sistema mismo, tales como fugas en la red, tanques de almacenamiento y errores e la medición del consumo, y las pérdidas comerciales debidas a conexiones clandestinas y a deficiencias en la cobertura de la medición del consumo.

$$P(\%) = \frac{\text{Volumen producido} - \text{Volumen consumido}}{\text{Volumen producido}} \quad [9]$$

La comunidad debe adoptar planes de uso eficiente y racional del agua que apunte a la reducción del índice de pérdidas. En sistemas con baja capacidad técnica y económica el porcentaje de pérdidas máximo es del orden del 40%, mientras que en sistemas con una alta capacidad técnica y económica el índice de pérdidas puede ser máximo del 20%.

Las entidades reguladoras de la prestación del servicio deberán establecer metas a corto, mediano y largo plazo para la reducción de pérdidas.

Corrección por temperatura: La temperatura ambiente es uno de los principales factores que afectan el consumo en una comunidad. El consumo neto puede incrementarse así:

- Entre 15 y 20% para clima con temperatura superior a 28 °C.
- Entre 10 y 15% para climas con temperatura entre 28 y 20°C.
- No se recomienda incremento para temperaturas inferiores a 20°C.

7.2.4.2 Metodología de diseño

Ingreso de datos. Se ingresa el porcentaje de pérdidas **P(%)**, estimado para el sistema de acueducto y la temperatura (**T°**), correspondiente al lugar donde estará situado el sistema.

También se tendrá en cuenta la capacidad económica (**CE**) de la población.

Índice de pérdidas P(%). El algoritmo decide que camino tomar así:

- Si CE es baja o media y el índice de pérdidas está dentro del rango $0\% \geq P(\%) \geq 40\%$ el índice de pérdidas es aceptado.
- Si CE es alta y el índice de pérdidas está dentro del rango $0\% \geq P(\%) \geq 20\%$ el índice de pérdidas es aceptado.

Corrección por temperatura (%C). En este paso se debe ingresar un incremento porcentual llamado corrección por temperatura %C, el cual se suma a la dotación neta, esta corrección se la verifica por medio de las siguientes condiciones:

- Si la temperatura T° es mayor a 28 °C el usuario debe ingresar un incremento por temperatura (%C) que esté entre 15 y 20 % para ser aceptado.
- Si la temperatura T° está entre 20 y 28°C el usuario debe ingresar un incremento por temperatura (%C) que esté entre 10 y 15 % para ser aceptado.
- Si la temperatura T° es menor a 20°C, no hay incremento por temperatura por lo que %C=0.

7.2.4.3 Ejemplo de cálculo. Continuando con el mismo ejemplo anterior se supone además de los datos con los que se viene trabajando, que la localidad tiene una temperatura promedio de 25°C.

Ingreso de datos. Se supone para una capacidad económica **CE** intermedia de la población en estudio, un índice o porcentaje de pérdidas del 35%.

Verificación de %P. CE es intermedia y el índice de pérdidas de 35% se encuentra dentro del rango permitido por lo tanto este es aceptado.

Corrección por temperatura %C. Se tiene una temperatura de 25°C entonces el usuario debe ingresar un porcentaje de corrección por temperatura **%C** que esté entre 10 y 15% para que pueda ser aceptado.

7.2.4.4 Diagrama de flujo. En la figura 29, se indica el diagrama de flujo, incremento de la dotación neta.

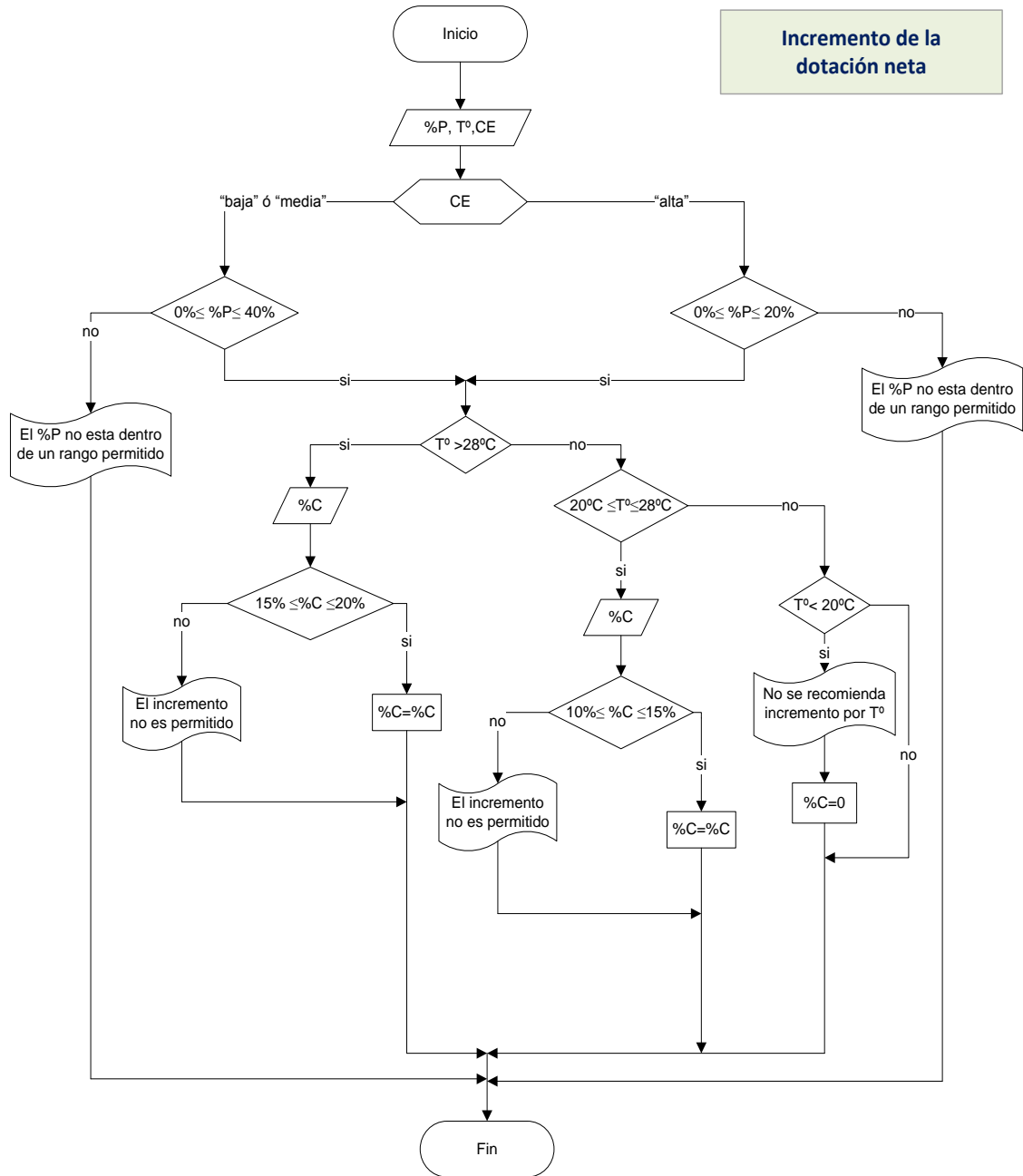
Listado de variables

%P: Es una variable que se refiere al índice o porcentaje de pérdidas que se presentan en el sistema, estas pérdidas dependen de la capacidad técnica y económica del sistema y pueden ir desde un 10% hasta 40% debiéndose reducir hasta un óptimo del 10% o 15%.

T°: Representa la temperatura en grados de la población donde se ubicará el sistema de acueducto.

%C: Es un porcentaje el cual se suma a la dotación neta debido a la temperatura. Se denomina corrección por temperatura.

Figura 29. Incremento de la dotación neta



7.2.4.5 Pseudocódigo

{El algoritmo calcula el incremento a la dotación neta por las diferentes pérdidas}

1. Leer %P ← Valor 'se asigna un valor a la variable %P.
Leer T° ← Valor 'se asigna un valor a la variable T°.
Leer CE.
2. Si CE igual
baja o media:
 - 2.1 Si $(0\% \leq \%P \leq 40\%)$
Entonces
Ir al condicional paso 3.
Sino
Escribir "El porcentaje %P no está dentro de un rango permitido"
{Fin del condicional 2.1}
 - Alta:
 - 2.2 Si $(0\% \leq \%P \leq 20\%)$
Entonces
Ir al condicional paso 3.
Sino
Escribir "El porcentaje %P no está dentro de un rango permitido"
{Fin del condicional 2.2}{Fin del condicional del paso 2}
3. Si $(T^\circ > 28^\circ\text{C})$
Entonces
Leer %C° ← Valor 'se asigna un valor a la variable C°.
 - 3.1 Si $(15\% \leq \%C \leq 20\%)$
Entonces
Hacer %C ← %C 'se acepta el valor introducido.
Sino
Escribir "El incremento no es permitido"
{Fin del condicional 2.1.1}
 - Sino
 - 3.2 Si $(20^\circ\text{C} \leq T^\circ \leq 28^\circ\text{C})$
Entonces
Leer %C° ← Valor 'se asigna un valor a la variable C°.
 - 3.2.1 Si $(10\% \leq \%C \leq 15\%)$
Entonces
Hacer %C ← %C 'se acepta el valor introducido.
Sino
Escribir "El incremento no es permitido"

{Fin del condicional 3.2.1}

Sino

3.2.2 Si ($T < 20^{\circ}\text{C}$)

Entonces

Escribir "No se recomienda incremento por T"

Hacer %C ← 0

Sino

Escribir "El incremento no es permitido"

{Fin del condicional 3.2.2}

{Fin del condicional 3.2}

{Fin del condicional 3}.

7.2.6 Consumo total

7.2.6.1 Fundamento teórico

Consumo total.

El consumo total de la población se determina a partir de la siguiente expresión:

$$\text{Consumo total} \left(\frac{L}{\text{hab} \cdot \text{día}} \right) = \frac{\text{Consumo neto}}{1 - \%P} \quad [10]$$

El consumo total proyectado al periodo de diseño debe tener en cuenta el incremento en el consumo neto y la disminución en el índice de pérdidas.

Dotación neta. El consumo o dotación neta es la cantidad de agua usada efectivamente en cada una de las actividades que se realizan en una comunidad. Tradicionalmente, se ha clasificado el consumo como:

- 1) doméstico
- 2) industrial y comercial
- 3) público e institucional.

7.2.6.2 Metodología de diseño.

Procesamiento de datos iniciales. Se obtiene el número de años de proyección de la población:

$$L = \frac{NF}{IA} \quad [11]$$

Luego se determina cuanto debe reducirse el porcentaje de pérdidas en cada año para alcanzar un óptimo del 10%:

$$M = \frac{\%P - 10\%}{L} \quad [12]$$

Determinación de la dotación neta DN() y consumo total CT(). Se calcula la dotación neta **DN()** considerando los incrementos y correcciones por tamaño de población (%A y %B) en cada año de proyección y por temperatura (%C). La dotación en cada año J se calcula y se almacena en DN(J) hasta llegar a NF.

El consumo total al igual que la dotación neta, se lo calcula en cada año de proyección J hasta llegar a NF, este consumo se lo almacena en **CT(J)**.

7.2.6.3 Ejemplo de cálculo.

Procesamiento de datos iniciales. Según la proyección de la población utilizada en el ejemplo general para la explicación de este capítulo, el intervalo (**NF**) que existe entre el año inicial y el año final de proyección es de 30 años, y el intervalo (**IA**) entre cada año es de 5 años, entonces se busca el número de proyecciones (**L**) que se presentan así:

$$L = \frac{NF}{IA} = \frac{30}{5} = 6 \text{ años}$$

El porcentaje de pérdidas (**%P**) del ejemplo es de 35%, entonces se calcula el porcentaje (**M**) que es el valor en que debe reducirse (**%P**) en cada año de proyección, para alcanzar una reducción de pérdidas óptima del 10%:

$$M = \frac{\%P - 10\%}{L} = \frac{35 - 10}{6} = 4.16\%$$

Determinación de la dotación neta DN() y consumo total CT(). La primera proyección de la población comienza en el 2003, así que DN(0)= DN(2003) y finaliza cuando J llegue hasta NF o sea hasta 2033, el porcentaje de corrección por temperatura %C debe estar entre 10-15 entonces se supone un %C del 14%.

Como $J=0$ que se refiere al año 2003 no se tienen en cuenta los incrementos por crecimiento de población ya que este es el primer año de proyección y solo se tiene en cuenta la corrección por temperatura se aplica la siguientes formulas:

$$DN(J) = \left[\frac{(\%C * DN)}{100} \right] + DN$$

$$CT(J) = \frac{DN(J)}{1 - \left(\frac{\%P}{100} \right)}$$

Luego como se debe reducir el porcentaje de pérdidas (**%P**) entonces:

$$\%P = \%P - M$$

La dotación neta y el consumo total para cada uno de os años empezando desde:

2003:

$$DN(2003) = \left[\frac{(14\% * 196.1)}{100} \right] + 196.1 = 223.5 \text{ L}/(\text{hab} * \text{dia})$$

$$\approx 224 \text{ L}/(\text{hab} * \text{dia})$$

$$CT(2003) = \frac{223.5}{1 - \left(\frac{35}{100} \right)} = 343.84 \frac{L}{\text{hab} * \text{dia}} \approx 344 \frac{L}{\text{hab} * \text{dia}}$$

$$\%P = 35 - 4.16 = 30.84$$

Cuando J se incremente en 5 años que es el valor de IA en el ejemplo, entonces se sigue calculando la dotación $DN()$ teniendo en cuenta los incrementos por crecimiento poblacional y para calcular el consumo total $CT()$ se debe tener en cuenta:

$$DN(J) = \left[\frac{\%A(I) * DN}{100} + \frac{\%B(I) * DN}{100} + \frac{\%C * DN}{100} \right] + DN$$

$$CT(J) = \frac{DN(J)}{1 - \%P}$$

Luego como se debe reducir el porcentaje de pérdidas (**%P**) entonces:

$$\%P = \%P - M$$

2008

$$DN(2008) = \left[\frac{10.13 * 196.1}{100} + \frac{(1.01 * 196.1)}{100} + \frac{(14 * 196.1)}{100} \right] + 196.1 = 245.4L / hab * dia$$

$$CT(2008) = \frac{245.4}{1 - \left(\frac{30.84}{100} \right)} = 354.8L / hab * dia \approx 355 L / hab * dia$$

$$\%P = 33.84 - 4.16 = 26.68$$

2013

$$DN(2013) = \left[\frac{10.28 * 196.1}{100} + \frac{(1.02 * 196.1)}{100} + \frac{(14 * 196.1)}{100} \right] + 196.1 = 245.7L / hab * dia$$

$$CT(2013) = \frac{245.7}{1 - \left(\frac{26.68}{100} \right)} = 335.1L / hab * dia \approx 335 L / hab * dia$$

$$\%P = 26.68 - 4.16 = 22.52$$

2018

$$DN(2018) = \left[\frac{10.75 * 196.1}{100} + \frac{(1.07 * 196.1)}{100} + \frac{(14 * 196.1)}{100} \right] + 196.1 = 246.72L / hab * dia$$

$$CT(2018) = \frac{246.72}{1 - \left(\frac{22.52}{100} \right)} = 318.43L / hab * dia \approx 318 L / hab * dia$$

$$\%P = 22.52 - 4.16 = 18.36$$

2023

$$DN(2023) = \left[\frac{11.51 * 196.1}{100} + \frac{(1.15 * 196.1)}{100} + \frac{(14 * 196.1)}{100} \right] + 196.1 = 248.37L / hab * dia$$

$$CT(2023) = \frac{248.37}{1 - \left(\frac{18.36}{100}\right)} = 304.22 L / hab * dia \approx 304 L / hab * dia$$

$$\%P = 18.36 - 4.16 = 14.2$$

2028

$$DN(2028) = \left[\frac{12.91 * 196.1}{100} + \frac{(1.29 * 196.1)}{100} + \frac{(14 * 196.1)}{100} \right] + 196.1 = 251.38 L / hab * dia$$

$$CT(2028) = \frac{251.38}{1 - \left(\frac{14.2}{100}\right)} = 292.98 L / hab * dia \approx 293 L / hab * dia$$

$$\%P = 14.2 - 4.16 = 10$$

2033

$$DN(2033) = \left[\frac{16.28 * 196.1}{100} + \frac{(1.62 * 196.1)}{100} + \frac{(14 * 196.1)}{100} \right] + 196.1 = 258.64 L / hab * dia$$

$$CT(2033) = \frac{258.64}{1 - \left(\frac{10}{100}\right)} = 287.37 L / hab * dia \approx 287 L / hab * dia$$

7.2.6.4 Diagrama de flujo. En la figura 30, se indica el diagrama de flujo, consumo total.

Listado de variables

I, J: son variables denominadas “contadores”

Nf: Es el intervalo entre el año del censo inicial de proyección y el año censo final de proyección.

IA: es el incremento de los años proyectados.

L: Es el número de años a los cuales se proyecta tanto la población como el consumo.

M: Es una variable que indica cuanto debe reducir el porcentaje de pérdidas en cada año de proyección para alcanzar un optimo de 10% de pérdidas.

DN: Dotación neta que depende del nivel de complejidad del sistema.

DT(J): Variable tipo vector que indica la dotación neta para cada año de proyección.

CT(J): Representa el consumo total para cada año de proyección.

%A(): Incremento en el tamaño de la población.

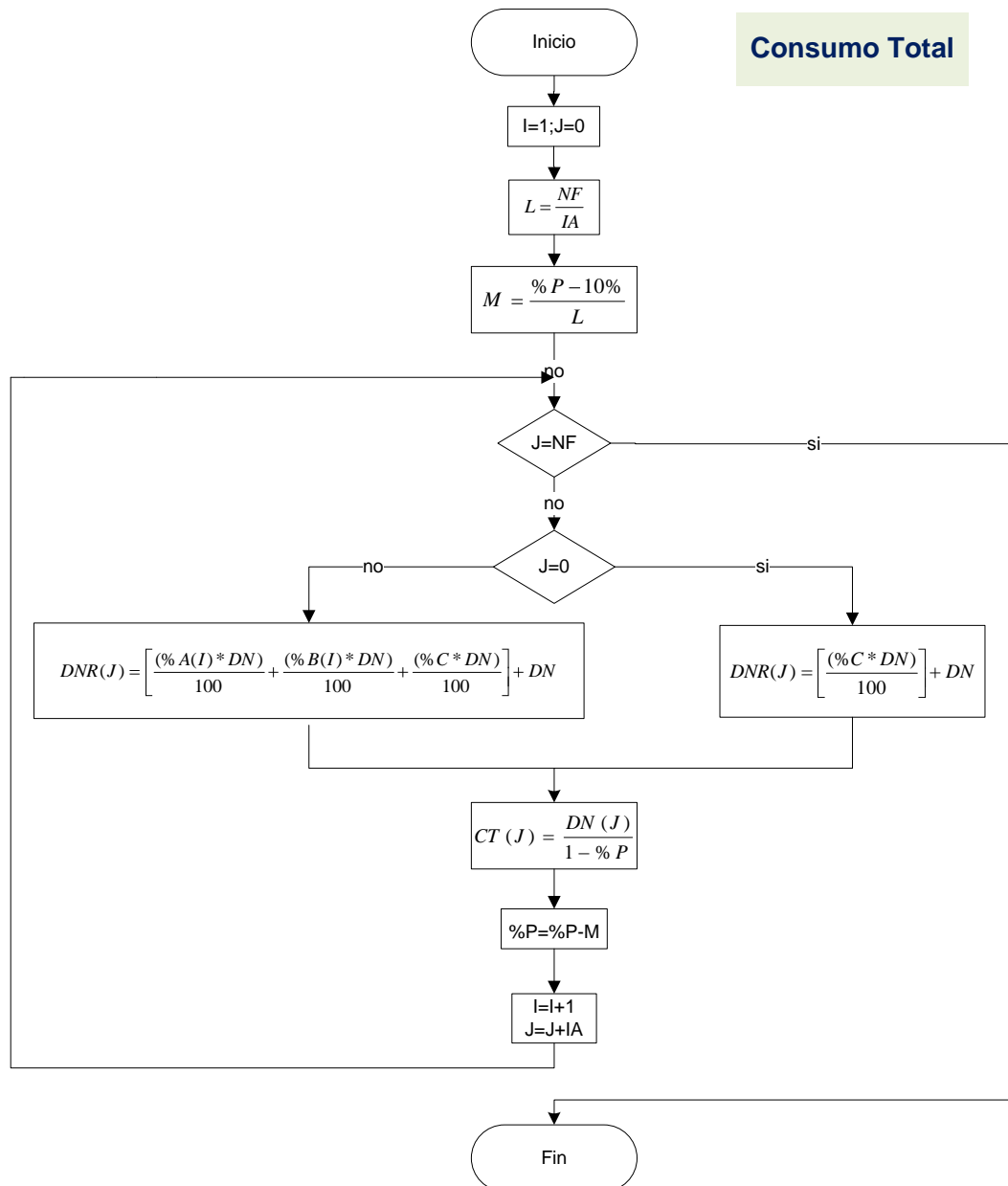
%B(): Incremento correspondiente al 10% del incremento del tamaño de la población.

%P: Es una variable que se refiere al índice o porcentaje de pérdidas que se presentan en el sistema, estas pérdidas dependen de la capacidad técnica y económica del sistema y pueden ir desde un 10% hasta 40% debiéndose reducir hasta un óptimo del 10% o 15%.

DNR: Dotación neta real, teniendo en cuenta los incrementos %A, %B, %C

%C: Es un porcentaje el cual se suma a la dotación neta debido a la temperatura. Se denomina corrección por temperatura.

Figura 30. Consumo total



7.2.6.5 Pseudocódigo

{El algoritmo calcula la dotación neta en cada año de proyección con las respectivas pérdidas e igualmente el consumo total}

1. Hacer $I \leftarrow 1$ Y $J \leftarrow 0$
 Hacer $L \leftarrow NF/IA$
 Hacer $M \leftarrow (\%P-10\%)/L$
2. Repetir con J desde 0 hasta NF en pasos de IA.
 - 2.1 Si (J=0)
 Entonces
 Hacer $DN(J) \leftarrow ((\%C*DN)/100)+DN$
 Sino
 Hacer $\leftarrow DN(J)((\%A(I)*DN)/100) +((\%B(I)*DN)/100) +((\%C*DN)/100))+DN$
 {Fin del condicional 2.1}
 - 2.2 Hacer $CT(J) \leftarrow DN(J)/(1-\%P)$
 - 2.3 Hacer $\%P \leftarrow \%P-M/100$
 $I \leftarrow I+1$
 $J \leftarrow J+IA$
3. {Fin del condicional 2}

7.2.7 Determinación del caudal promedio, del caudal máximo diario y del caudal máximo horario

7.2.7.5 Fundamento teórico.

Caudal de diseño. Con el fin de diseñar las deferentes estructuras hidráulicas del sistema de acueducto, es necesario calcular el caudal apropiado, el cual debe combinar las necesidades de la población de diseño y los costos de la construcción de un acueducto para un caudal excesivo. Normalmente se trabaja con tres tipos de caudales, a saber:

- Caudal medio diario.
- Caudal máximo diario.
- Caudal máximo horario.

Caudal medio diario. Es el caudal promedio obtenido de un año de registros y es la base para la estimación del caudal máximo diario y del caudal máximo horario. Este caudal, expresado en litros por segundo, se obtiene así:

$$Q_{promedio} = \frac{\text{Consumo total}(L/(\text{hab}*\text{dia}))*\text{Población}(\text{hab})}{86400}$$

[13]

Caudal máximo diario. Es la demanda máxima que se presenta en un día del año. En otras palabras, representa el día de mayor consumo en el año y se calcula según la siguiente expresión:

$$Q_{\text{máximo diario}} = k_1 * Q_{\text{promedio}} \quad [14]$$

Caudal máximo horario. Corresponde a la demanda máxima que se presenta en una hora durante un año completo, y en general se determina como:

$$Q_{\text{máximo horario}} = k_2 * Q_{\text{máximo diario}} \quad [15]$$

O

$$Q_{\text{maximo horario}} = k_1 * k_2 * Q_{\text{medio diario}} \quad [16]$$

Variación de los factores de mayoración, k_1 y k_2 . El coeficiente de variación del caudal máximo diario con respecto al caudal medio diario, k_1 , es inversamente proporcional al número de habitantes y puede variar entre 1,3 para poblaciones menores de 12500 habitantes y 1,2 para poblaciones mayores.

Los picos del caudal horario dependen igualmente del tamaño de la población. En ciudades grandes, las costumbres son muy heterogéneas, por lo que los periodos de máximo consumo son más largos y el pico del hidrograma será más acentuado. Esto es contrario a lo que sucede en poblaciones pequeñas, en donde se tiene unos picos horarios mayores debido a que las costumbres son más homogéneas. Por esta razón, los factores de mayoración del caudal máximo diario para la obtención del caudal máximo horario, k_2 , varían así:

Tabla 17. Tabla Comparación de factores de mayoración, k_2 , en Colombia y en África

Población (habitantes)	Factor de mayoración
En Colombia:	
<5.000	1,80
5.000 a 20.000	1,65
>20.000	1,50
En África:	
Aldeas	3,60
Pueblos	2,50
Ciudades	1,50

7.2.7.6 Metodología de diseño

Datos. Los datos que se utilizan en este algoritmo son **PfP()**, **IA** y **CT()** calculados anteriormente. Los siguientes cálculos se realizan hasta que **J** que es el contador llegue a **NF** en pasos de **IA**.

Determinación de $k_1()$ Y $k_2()$. se determina el valor de $k_1()$ Y $k_2()$ teniendo en cuenta para k_1 las condiciones establecidas y para k_2 el cuadro 16.

Para $k_1()$: Si $PfP(J) < 12500$ entonces $\longrightarrow k_1() = 1,3$

Si $PfP(J) \geq 12500$ entonces $\longrightarrow k_1() = 1,2$

Para $k_2()$: Si $PfP(J) < 5000$ entonces $\longrightarrow k_2() = 1,8$

Si $5000 \leq PfP(J) \leq 20000$ entonces $\longrightarrow k_2() = 1,65$

Si $PfP > 20000$ entonces $\longrightarrow k_2() = 1,65$

Cálculo del caudal promedio $Qp()$. Se calcula el caudal promedio de cada año de proyección **PfP()** utilizando la ecuación.

$$Qp(J) = \frac{CT(J) * PfP(J)}{86400}$$

Cálculo del caudal máximo diario $Qmaxd()$. Se calcula el caudal máximo diario **Qmaxd()** de cada año de proyección utilizando la ecuación.

$$Qmaxd(2003) = k1(2003) * Qp(2003)$$

Cálculo del caudal máximo horario $Qmaxh()$. Se calcula el caudal máximo diario **Qmaxh()** de cada año de proyección utilizando la ecuación.

$$Qmaxh(2003) = k2(2003) * Qmaxd(2003)$$

7.2.7.7 Ejemplo de cálculo.

Tabla 18. Datos a tener en cuenta

Año	PfP()(hab)	CT()(L/hab*día)
2003	5095	344
2008	5574	355
2013	6104	335
2018	6760	318
2023	7557	304
2028	8562	293
2033	9904	287

2003

Determinación de $k_1()$ Y $k_2()$. En primer lugar se determina $k_1()$ y $k_2()$ aplicando para cada uno de ellos las condiciones respectivas.

- Como **PfP(2003)** = 5095 hab. Entonces:

$$k_1(2003) = 1,3$$

Y

$$k_2(2003) = 1,6$$

Cálculo del caudal promedio $Q_p()$

$$Q_p(2003) = \frac{344 * 5095}{86400} = 20.28L/s$$

Cálculo del caudal máximo diario $Q_{maxd}()$

$$Q_{maxd}(2003) = 1,3 * 20.28 = 26.36L/s$$

Cálculo del caudal máximo horario $Q_{maxh}()$

$$Q_{maxh}(2003) = 1,6 * 26.36 = 42.17L/s$$

2008

Determinación de $k_1()$ Y $k_2()$

• Como **PfP(2008)** = 5574 hab. Entonces:

$$k_1(2008) = 1,3$$

Y

$$k_2(2008) = 1,6$$

a. Cálculo del caudal promedio $Q_p()$

$$Q_p(2008) = \frac{CT(J) * PfP(J)}{86400} = \frac{355 * 5574}{86400} = 22.90L/s$$

b. Cálculo del caudal máximo diario $Q_{maxd}()$

$$Q_{maxd}(2008) = k_1(2008) * Q_p(2008) = 1,3 * 22,90 = 29.77L/s$$

c. Cálculo del caudal máximo horario $Q_{maxh}()$

$$Q_{maxh}(2008) = k_2(2008) * Q_{maxd}(2008) = 1,6 * 29.77 = 47.63L/s$$

2013

d. Determinación de $k_1()$ Y $k_2()$

• Como **PfP(2013)** = 6104 hab. Entonces:

$$k_1(2013) = 1,3$$

Y

$$k_2(2013) = 1,6$$

e. Cálculo del caudal promedio $Q_p()$

$$Q_p(2013) = \frac{CT(J) * PfP(J)}{86400} = \frac{335 * 6104}{86400} = 23.66L/s$$

f. Cálculo del caudal máximo diario $Q_{maxd}()$

$$Q_{maxd}(2013) = k_1(2013) * Q_p(2013) = 1,3 * 23.66 = 30.75L/s$$

g. Cálculo del caudal máximo horario $Q_{maxh}()$

$$Q_{maxh}(2013) = k_2(2013) * Q_{maxd}(2013) = 1,6 * 30.75 = 49.2L/s$$

2018

h. Determinación de $k_1()$ Y $k_2()$

- Como $PfP(2018) = 6760$ hab. Entonces:

$$k_1(2018) = 1,3$$

Y

$$k_2(2018) = 1,6$$

i. Cálculo del caudal promedio $Q_p()$

$$Q_p(2018) = \frac{CT(j) * PfP(j)}{86400} = \frac{318 * 6760}{86400} = 24.88L/s$$

j. Cálculo del caudal máximo diario $Q_{maxd}()$

$$Q_{maxd}(2018) = k_1(2018) * Q_p(2018) = 1,3 * 24.88 = 32.34L/s$$

k. Cálculo del caudal máximo horario $Q_{maxh}()$

$$Q_{maxh}(2018) = k_2(2018) * Q_{maxd}(2018) = 1,6 * 32.34 = 51.74L/s$$

2023

l. Determinación de $k_1()$ Y $k_2()$

- Como $PfP(2023) = 7557$ hab. Entonces:

$$k_1(2023) = 1,3$$

$$Y$$

$$k_2(2023) = 1,6$$

m. Cálculo del caudal promedio $Q_p()$

$$Q_p(2023) = \frac{CT(J) * Pfp(J)}{86400} = \frac{304 * 7557}{86400} = 26.59L/s$$

n. Cálculo del caudal máximo diario $Q_{maxd}()$

$$Q_{maxd}(2023) = k_1(2023) * Q_p(2023) = 1,3 * 26.59 = 34.56L/s$$

o. Cálculo del caudal máximo horario $Q_{maxh}()$

$$Q_{maxh}(2023) = k_2(2023) * Q_{maxd}(2023) = 1,6 * 34.56 = 55.29L/s$$

2028

p. Determinación de $k_1()$ Y $k_2()$

• Como $Pfp(2028) = 8562$ hab. Entonces:

$$k_1(2028) = 1,3$$

Y

$$k_2(2028) = 1,6$$

q. Cálculo del caudal promedio $Q_p()$

$$Q_p(2028) = \frac{CT(J) * Pfp(J)}{86400} = \frac{293 * 8562}{86400} = 29.03L/s$$

r. Cálculo del caudal máximo diario $Q_{maxd}()$

$$Q_{maxd}(2028) = k_1(2028) * Q_p(2028) = 1,3 * 29.03 = 37.73L/s$$

s. Cálculo del caudal máximo horario $Q_{maxh}()$

$$Q_{maxh}(2028) = k_2(2028) * Q_{maxd}(2028) = 1,6 * 37.73 = 60.36L/s$$

2033

t. Determinación de $k_1()$ Y $k_2()$

• Como $PfP(2033) = 9904$ hab. Entonces:

$$k_1(2033) = 1,3$$

Y

$$k_2(2033) = 1,6$$

u. Cálculo del caudal promedio $Qp()$

$$Qp(2033) = \frac{CT(J) * PfP(J)}{86400} = \frac{287 * 9904}{86400} = 32.90L/s$$

v. Cálculo del caudal máximo diario $Qmaxd()$

$$Qmaxd(2033) = k1(2033) * Qp(2033) = 1,3 * 32.90 = 42.77L/s$$

w. Cálculo del caudal máximo horario $Qmaxh()$

$$Qmaxh(2033) = k2(2033) * Qmaxd(2033) = 1,6 * 42.77 = 68.43L/s$$

7.2.7.8 **Diagrama de flujo.** En la figura 31, se indica el diagrama de flujo, determinación de: Q.promedio, Q. máximo diario y Q.máximo horario.

Listado de variables

J: Es una variable de control de ciclo.

PfP (J): Población proyectada o futura promedio correspondiente a su respectivo año de proyección.

K1: Coeficiente de variación del caudal máximo diario con respecto al caudal medio diario.

K2: Factor de mayoración del caudal máximo diario para la obtención del caudal máximo horario.

Qp(J): Variable que representa el caudal medio diario.

Qmaxd(J): Variable que representa el caudal máximo diario.

Qmaxh(J): Variable que representa el caudal máximo horario.

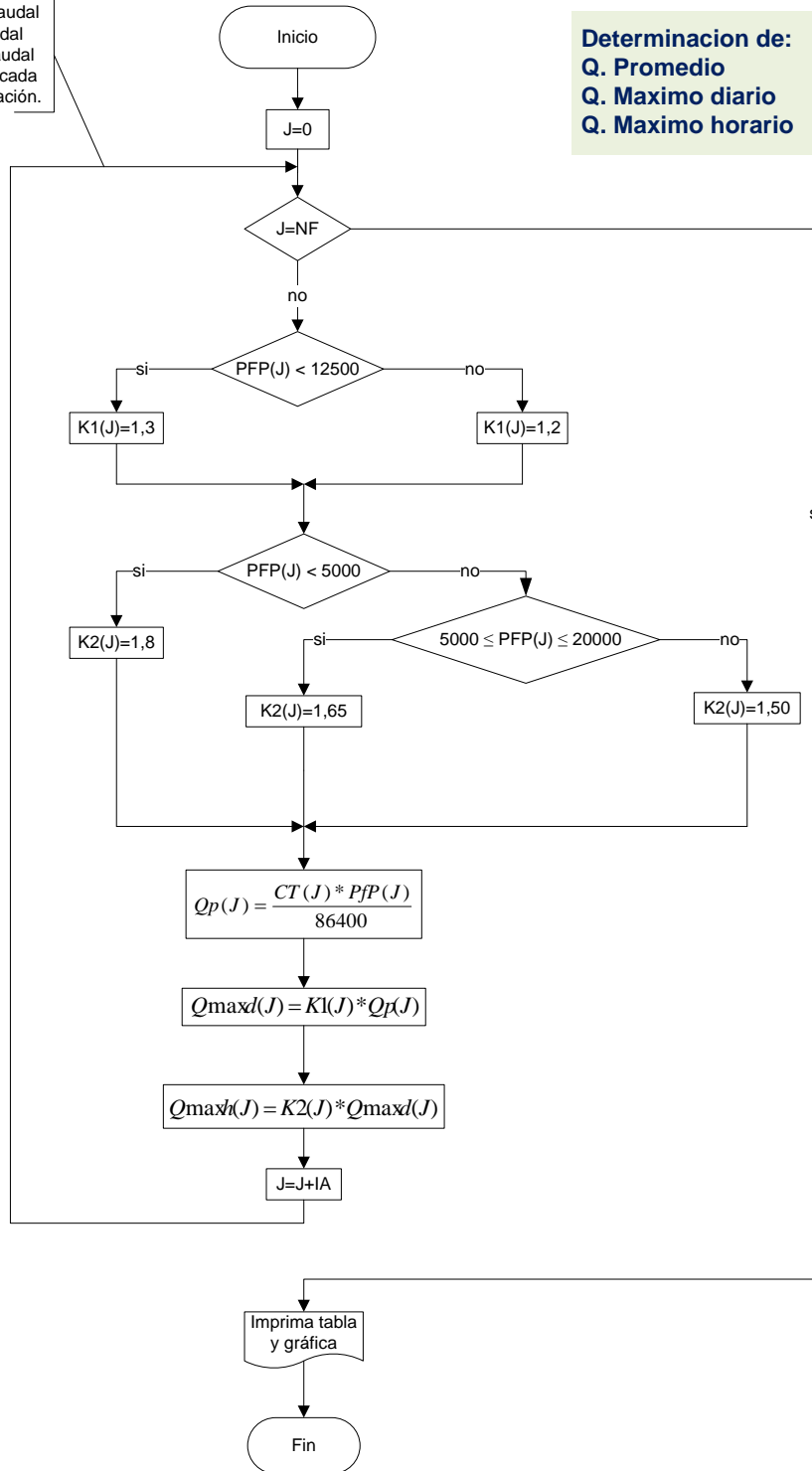
NF: Es el intervalo entre el año del censo inicial de proyección y el año censo final de Proyección.

IA: Es el incremento de los años proyectados.

Figura 31. Determinación de: Q.promedio, Q.máximo diario y Q. máximo horario.

Ciclo que calcula el caudal medio diario, el caudal máximo diario y el caudal máximo horario para cada proyección de la población.

Determinacion de:
Q. Promedio
Q. Maximo diario
Q. Maximo horario



7.2.7.9

Pseudocódigo

{Este algoritmo calcula el caudal medio diario (Q_p), el caudal máximo diario (Q_{maxd}) y el caudal máximo horario (Q_{maxh}) requerido para abastecer a una población determinada}

```
1.      Hacer  $J \leftarrow 0$ 
2.      Repetir con  $J=0$  hasta NF en pasos de IA.
2.1     Si ( $PfP(J) < 12500$ )
        Entonces
            Hacer  $K1(J) \leftarrow 1.3$ 
        Sino
            Hacer  $K1(J) \leftarrow 1.2$ 
        {Fin del condicional 2.1}
2.2     Si ( $PfP(J) < 5000$ )
        Entonces
            Hacer  $K2(J) \leftarrow 1.8$ 
        Sino
            2.2.1 Si ( $5000 \leq PfP(J) \leq 20000$ )
                Entonces
                     $K2(J) \leftarrow 1.65$ 
                Sino
                     $K2(J) \leftarrow 1.50$ 
                {Fin del condicional 2.2.1}
            {Fin del condicional 2.2}
        Hacer  $Q_p(J) \leftarrow (CT(J) * PfP(J)) / 86400$ 
        Hacer  $Q_{maxd}(J) \leftarrow K1(J) * Q_p(J)$ 
        Hacer  $Q_{maxh}(J) \leftarrow K2(J) * Q_{maxd}(J)$ 
        {Fin de ciclo del numeral 2}
3Escribir tabla y gráfica.
```

7.2.7.10 Pantalla de datos

En la figura 32, 33 y 34 indica la pantalla de datos, consumo de la población.

Figura 32. Consumo de la población

CONSUMO DE LA POBLACIÓN

Determine la capacidad económica de la población

CE Bajo
 Medio
 Alto

Nivel de complejidad
NCJ = Alto

INGRESE EL CONSUMO DOMÉSTICO RESIDENCIAL

Dnr

Valor

INGRESE EL CONSUMO COMERCIAL E INDUSTRIAL

CIN

Valor

INGRESE EL CONSUMO INSTITUCIONAL Y PÚBLICO

CIP

Valor

Figura 33. Consumo de la población

CONSUMO DE LA POBLACIÓN

PANTALLA DATOS DE SALIDA

Año	PIF	DN	CT	K1	K2	Qp	Qmaxd	Qmaxh
2003	5095	2.24L/hab*día	344	1.3	1.6	22.90L/s	29.77L/s	42.17L/s
2008	5574	2.45L/hab*día	355	1.3	1.6	20.28L/s	26.36L/s	47.63L/s
2013	6104	2.46L/hab*día	335	1.3	1.6	23.66L/s	30.75L/s	49.2L/s
2018	6760	2.47L/hab*día	318	1.3	1.6	24.88L/s	32.34L/s	51.74L/s
2023	7557	2.48L/hab*día	304	1.3	1.6	26.59L/s	34.56L/s	55.29L/s
2028	8562	2.51L/hab*día	293	1.3	1.6	29.03L/s	37.73L/s	60.36L/s
2033	9904	2.59L/hab*día	287	1.3	1.6	32.90L/s	42.77L/s	68.43L/s

Aceptar

Figura 34. Consumo de la población

CONSUMO DE LA POBLACIÓN

Ingrese porcentaje de pérdidas en la planta

%P

Temperatura

T°

El incremento no es permitido

PORCENTAJE DE INCREMENTO POR TEMPERATURA

% C =

El incremento no es permitido

Aceptar

7.3 OBRAS DE CAPTACIÓN

7.3.6 Periodo de diseño de la captación de agua superficial

7.3.6.5 Fundamento teórico.

Periodo de Diseño. Se entiende por periodo de diseño, en cualquier obra de ingeniería civil, el número de años durante los cuales una obra determinada ha de prestar con eficiencia el servicio para el que se diseñó.

Factores determinantes.

Los factores que intervienen en la selección del periodo de diseño son:

- Vida útil de las estructuras y equipos tomados en cuenta, obsolescencia, desgaste y daños.
- Ampliaciones futuras y planeación de las etapas de construcción del proyecto.
- Cambios en el desarrollo social y económico de la población.
- Comportamiento hidráulico de las obras cuando éstas no estén funcionando con toda su capacidad.

Para este caso se utiliza un algoritmo de selección múltiple para determinar el periodo de diseño, evaluando el nivel de complejidad del sistema.

7.3.6.6 Metodología de diseño.

Datos: Ncj

Donde, Ncj es una variable de tipo cadena de caracteres que expresa el nivel de complejidad del sistema.

Análisis de la variable. La variable Ncj viene determinada anteriormente por el algoritmo.

Determinación del nivel de complejidad. El presente algoritmo analiza el resultado y dependiendo de este asigna un periodo de diseño correspondiente para el sistema de acueducto.

7.3.6.7 **Ejemplo de cálculo.** La variable Ncj (Nivel de complejidad) puede tener 4 posibles niveles que son:

- Bajo.
- Medio.
- Medio alto.
- Alto.

Teniendo en cuenta estos niveles, el algoritmo asigna un periodo de diseño al sistema de acueducto de acuerdo con la RAS 2000 así:

- Si Ncj = Bajo se asigna al sistema un PD (periodo de diseño) igual a 15 años.
- Si Ncj = Medio se asigna al sistema un PD (periodo de diseño) igual a 20 años.
- Si Ncj = Medio alto se asigna al sistema un PD (periodo de diseño) igual a 25 años.
- Si Ncj = Alto se asigna al sistema un PD (periodo de diseño) igual a 30 años.

Por último se imprime el PD asignado.

7.3.6.8 **Diagrama de flujo.** En la figura 35, se indica el diagrama de flujo, captaciones periodo de diseño de la captación de agua superficial.

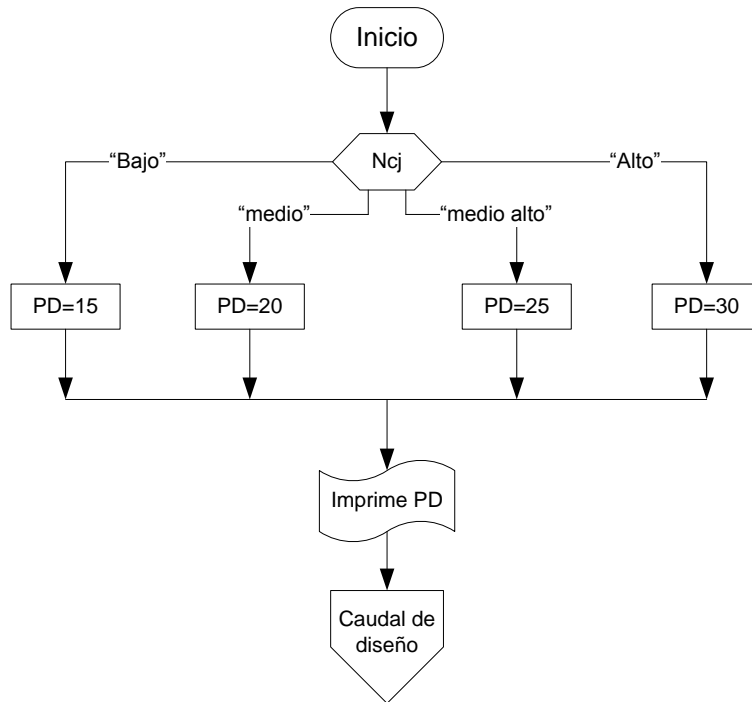
Listado de variables.

NCJ: Nivel de complejidad del sistema.

PD: Periodo de diseño del sistema de la captación de agua superficial.

Figura 35. Captaciones periodo de diseño de la captación de agua superficial

Captaciones periodo de diseño de la captación de agua superficial



7.3.6.9 Pseudocódigo.

{El algoritmo determina el periodo de diseño del sistema de captación de agua superficial}

1. Si NCJ igual:
 - Bajo: Hacer PD ← 15
 - Medio: Hacer PD ← 20
 - Medio alto: Hacer PD ← 25
 - Alto: Hacer PD ← 30
2. {Fin del condicional 1}
3. Imprimir PD.

7.3.7 Caudal de diseño de bocatoma

7.3.7.5 **Fundamento teórico.** El caudal de diseño es el principal caudal con el que se va a calcular los diferentes elementos que componen un sistema de captación. Cuando se dispone de un sistema de regulación de caudal como un tanque de almacenamiento, las estructuras del acueducto se diseñan con el caudal máximo diario. En caso contrario, se debe diseñar todo el acueducto con el caudal máximo horario. En el presente trabajo se incluye un tanque de almacenamiento.

7.3.7.6 Metodología de diseño.

Datos: Ncj, PD, Qmaxd, Cp, To

Donde:

- **To** Variable de tipo entero que indica el año inicial de proyección.
- **Ncj** Es una variable de tipo cadena de caracteres que expresa el nivel de complejidad del sistema.
- **PD** Variable de tipo entero que representa el periodo de diseño del sistema según el nivel de complejidad.
- **Qmaxd** Variable de tipo real que representa el caudal máximo diario.

Las anteriores variables han sido calculadas por medio de los diferentes algoritmos que incluyen este trabajo.

- Cp Variable de tipo real que se refiere al consumo en la planta y que se determina como un porcentaje que debe estar dentro de un intervalo de (3-5)% del caudal medio diario (Qp). Esta variable debe ser introducida por el usuario.
- a) **Calcular el año correspondiente al periodo de diseño.** Este año se calcula a partir del año cero (To) más los años que corresponden al periodo de diseño (PD) ya determinado.
- b) **Determinar el caudal de diseño según el nivel de complejidad.** Se utiliza una estructura de selección múltiple la cual tiene dos opciones que son:
- Bajo o Medio
 - Alto o Medio alto.

Según López Cualla⁶ se tiene:

- Si el Ncj es igual a Bajo o Medio, el caudal de diseño debe tener en cuenta un porcentaje de consumo en la planta (cp) que debe estar entre el (3 y 5) % del (Qp(J)) caudal promedio diario en el año J, mas el 5% del (Qp(J)) debido a la pérdida por el transporte entre la captación y la planta de purificación, mas Qmaxd(J).
- Si el Ncj es igual a Medio alto o Alto el caudal de diseño será igual a 2 veces el (Qmaxd(J)) caudal máximo diario en el año J.

c) **Imprimir Cd.** Por último se imprime el caudal de diseño que va a ser el caudal de referencia para la bocatoma de ahora en adelante.

El algoritmo convierte las unidades del caudal de diseño (Cd) de litros a M3 y entonces el caudal de diseño en M3 se convierte en la variable (Q).

7.3.7.7 Ejemplo de cálculo. Siguiendo con el ejemplo global de este trabajo y tomando el nivel de complejidad como medio se tiene:

Datos

Ncj = medio y según esto de acuerdo al anterior algoritmo el periodo de diseño es 20 años.
To = 2003.

Solución

- Para determinar exactamente el año hacia el cual está proyectado el sistema de acueducto y poder determinar los caudales respectivos se hace:

$$J = T_o + PD \rightarrow 2003+20= 2023$$

Que es el año hacia el cual está proyectado el sistema de acueducto.

- Debido a que el Ncj es medio, se pide al usuario que introduzca un valor cp el cual se encuentra en un rango de (3-5) % del caudal medio diario.
Se introduce entonces un valor de 5% y se obtiene el caudal de diseño por medio de la siguiente expresión:

$$Cd = \left(cp * \frac{Qp(J)}{100} \right) + \frac{5 * Qp(J)}{100} + Qmaxd(J)$$

⁶ LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueducto y alcantarillados. 2 ed. Editorial escuela colombiana de ingeniería. p. 183-184

Para el año 2023 según el ejemplo global, el caudal promedio $Q_p(2023)=26.59$ l/s y el caudal máximo diario $Q_{maxd}(2023)=34.56$ l/s entonces:

$$Cd = \frac{5 * 26.59}{100} + \frac{5 * 26.59}{100} + 34.56 = 37.219 \text{ l/s}$$

Que es el caudal de diseño del sistema de acueducto.

- Luego se pasa el caudal de l/s a m³/s:

$$Q = \frac{Cd}{1000}$$
$$Q = \frac{37.219 \text{ L/S}}{1000} = 0.037219 \text{ m}^3/\text{s}$$

7.3.7.8 Diagrama de flujo. En la figura 37, se indica el diagrama de flujo, caudal de diseño de bocatoma.

Listado de variables.

NCJ: Nivel de complejidad del sistema.

Cd: Caudal de diseño.

J: Es un contador que en este caso se inicializa en el año correspondiente al periodo de diseño (**PD**) y teniendo en cuenta el año inicial de proyección (**To**).

PD: Periodo de diseño del sistema según el nivel de complejidad.

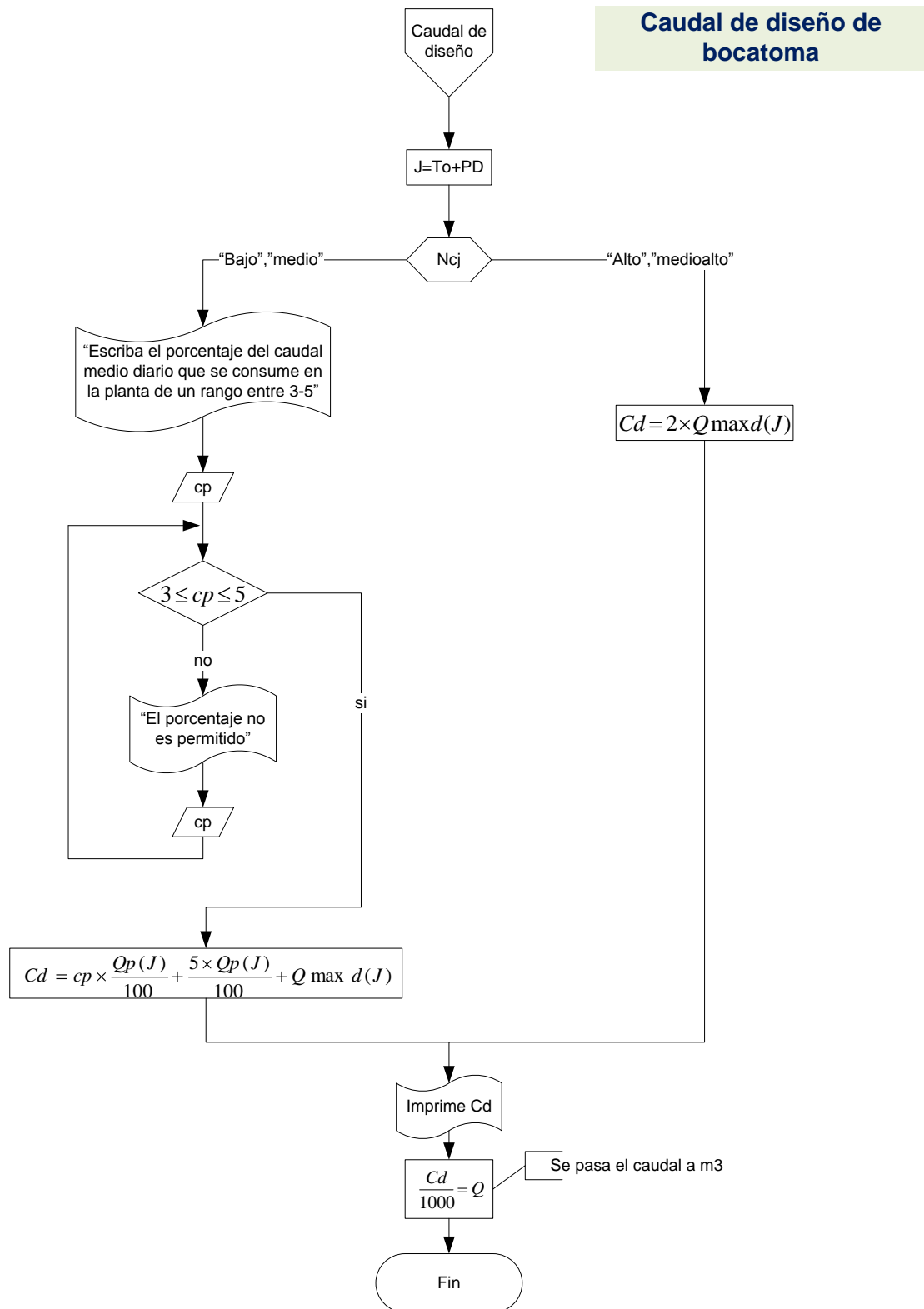
To: Año inicial de proyección.

Qp(J): Caudal medio o promedio diario en el año J.

Qmaxd(J): Caudal máximo diario en el año J.

Cp: Consumo en la planta.

Figura 36. Caudal de diseño de bocatoma



7.3.7.9 Pseudocódigo

{El algoritmo calcula el caudal de diseño de la captación}.

1. Hacer $J \leftarrow T_o + PD$.
2. Si NCJ igual:
 - 2.1 “bajo” “Medio”:
 - 2.1.1 Escribir “Escriba el porcentaje del caudal medio diario que se consume en la planta en un rango de 3-5”.
 - 2.1.2 Leer $cp \leftarrow$ Valor ‘se asigna un valor a la variable cp ’
 - 2.1.3 Si $3 > cp > 5$
 - Entonces
 - Escribir “El porcentaje no es permitido”.
 - Leer $cp \leftarrow$ Valor ‘se asigna un valor a la variable cp ’.
 - Sino
 - Hacer $cd \leftarrow (cp * (Q_p(J)/100)) + (5 * (Q_p(J)/100)) + Q_{maxd}(J)$
 - {fin del condicional 2.1.3}
 - 2.2 “Alto” “medio alto”
 - 2.2.1 Hacer $cd \leftarrow 2 * Q_{maxd}(J)$
3. {fin del condicional 2}
4. Escribir “ cd ”.
5. Hacer $Q \leftarrow cd/1000$

7.3.7.10 **Pantalla de datos.** En la figura 37, se indica la pantalla de datos, obras de captación.

Figura 37. Obras de captación

Caudal de diseño de bocatoma

OBRAS DE CAPTACIÓN

Periodo de diseño Pd = años

"Escriba el porcentaje del caudal medio diario que se consume en la planta de un rango de 3-5"

Ingrese Consumo en la planta "Cp"

Cp =

Ingresar

"El porcentaje no es permitido"

El Caudal de diseño Cd =

7.3.8 Diseño de captación de fondo

a. Tipos de bocatoma. Existen diversos tipos de bocatomas; los factores determinantes para la selección de la bocatoma más adecuada son la naturaleza del cauce y la topografía general del proyecto. A continuación se ilustran los diferentes tipos de bocatomas.

- **Toma Lateral con muro transversal.** Se utiliza en ríos relativamente pequeños o quebradas, en donde la profundidad del cauce no es muy grande. Un muro transversal a manera de presa eleva la lámina de agua y ésta es captada lateralmente a través de una rejilla colocada en uno de los muros laterales.

Una desventaja de dicho tipo de bocatomas es cuando la corriente arrastra mucho material en la época de lluvias, este se deposita en el pie del muro transversal, llegando a tapar completamente la rejilla y el desagüe.

- **Bocatoma lateral con bombeo.** Se emplea para ríos con caudales grandes y de una sección relativamente ancha. El número de bombas es dos, de manera que una de ellas está en reserva. La rejilla tiene por objeto evitar el paso de elementos grandes que puedan llegar a obstruir la entrada al pozo de succión o la misma coladera de la tubería de succión. Se le debe dar protección al talud mediante muros de contención.
- **Bocatoma lateral con gravedad.** Si se dispone de las condiciones hidráulicas y topográficas suficientes, la captación en ríos profundos puede hacerse por gravedad, de manera similar a la toma con muro transversal, remplazando el muro por compuertas y la rejilla por otra de mayores dimensiones. En este caso se puede hacer el tratamiento primario de desarenador en forma inmediata, las compuertas pueden ser de sector o de tablero.
- **Captación con lecho filtrante.** Se define como bocatoma de lecho filtrante la estructura de captación de agua para acueductos de bajo caudal, que tiene la capacidad de prefiltrar el influente antes de conducirlo a la línea de aducción del sistema. Esto se logra mediante la utilización de un lecho granular, el cual filtra el agua y la conduce a un sistema de recolección por tuberías perforadas en el fondo del cauce. Estas tuberías perforadas se encuentran generalmente en disposición de espina de pescado o en forma reticular y a junta pérdida en ambos casos.

Este tipo de bocatomas tiene la capacidad de aprovechar la corriente de la fuente para autolavarse superficialmente y de esta manera aumentar la carrera o tiempo de colmatación del filtro. Además, con el arrastre de material del tamaño apropiado para filtración (arena), la propia fuente se encarga de renovar el lecho filtrante, recargándolo constantemente⁷.

- ✓ **Bocatoma de fondo.** Consiste en estructuras de variadas formas, ya sea en canal o tubos perforados ubicados en el fondo del cauce, los que se protegen con piedras, rejillas u otro dispositivo, para retener material de arrastre de mayor tamaño. Este tipo de bocatoma es muy utilizada en nuestro medio y a la vez es una de las más sencillas de diseñar, por esta razón la bocatoma de fondo con canal es la única que se adopta debido a la extensión de los temas que este proyecto abarca.

⁷ CORCHO ROMERO y Duque Serna. Acueductos teoría y diseño. Universidad de Medellín: Centro general de investigaciones, 1993. p. 70

7.3.3.1 Dimensionamiento de la captación de fondo

a. Diseño de la presa

✓ Fundamento teórico

Bocatoma de fondo. El agua se capta a través de una rejilla o lámina perforada, colocada en la parte superior de una presa, que a su vez se dirige en sentido normal de la corriente. El ancho de esta presa puede ser igual o menor que el ancho del río.

En la figura (38) se ilustran los elementos más importantes de este tipo de bocatoma.

Presa. Está construida generalmente en concreto ciclópeo, dentro de ella se encuentra un canal de aducción, en algunas ocasiones la cota superior está al mismo nivel de la cota del fondo del río.

Solados o enrocado superior e inferior. Ubicados aguas arriba y aguas debajo de la presa, tienen por objeto protegerla de la erosión. Pueden construirse en concreto y enrocado.

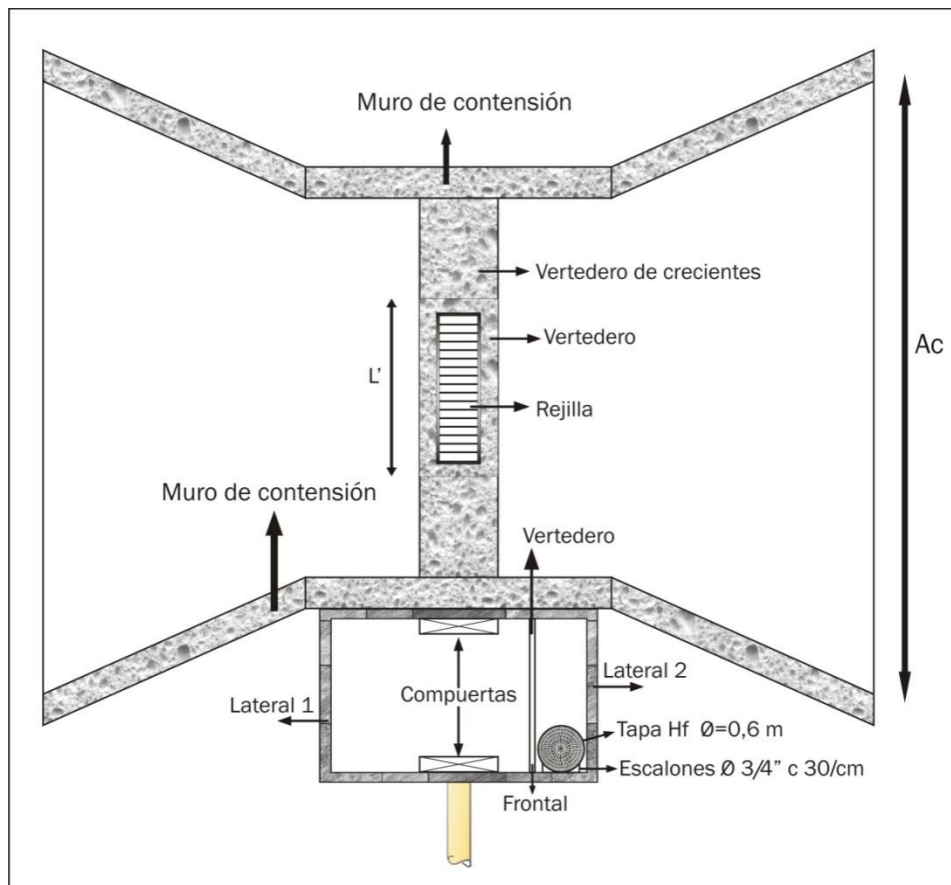
Muros laterales. Encauzan el agua hacia la rejilla y protegen los taludes. El ancho de estos muros depende de la estabilidad estructural. Como son en concreto ciclópeo, el ancho de los muros puede ser de 60 centímetros o menos; esto depende del estudio de estabilidad de los mismos muros.

Rejilla. Ésta se coloca sobre el canal de aducción que se encuentra dentro de la presa. La longitud de la rejilla, y por tanto la del canal de aducción, puede ser menor que la longitud de la presa o el ancho de la garganta, según las necesidades del caudal que se ha de captar. El ancho mínimo es de 40 cm el largo mínimo es de 70 cm, dados para facilitar la operación de limpieza y mantenimiento. Los barrotes y el marco pueden ser de hierro, con separación entre barrotes de cinco a diez centímetros y diámetros de los mismos de $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{4}$ " o 1".

Canal de aducción. Recibe el agua a través de la rejilla y entrega el agua captada a la cámara de recolección. Tienen una pendiente entre 1 y 14%, con el fin de dar una velocidad mínima adecuada y segura para realizar las labores de mantenimiento. La sección de este canal puede ser rectangular o semicircular. Aun cuando la sección semicircular es más eficiente desde el punto de vista del funcionamiento hidráulico, la sección rectangular es más fácil construir.

Cámara de recolección. Generalmente es cuadrada o rectangular, con muros en concreto reforzado cuyo espesor puede ser de 30 centímetros y su altura igual a la de los muros laterales. En su interior se encuentra un vertedero de excesos lateral, que entrega el agua a una tubería de excesos que regresa el agua al cauce. Hay que dejar una tapa en la placa superior y una escalera para el acceso del personal de mantenimiento⁸.

Figura 38. Bocatoma de fondo



✓ **Metodología diseño**

Datos. Se solicita al usuario ingresar algunos datos importantes como:

⁸ LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueducto y alcantarillados. 2 ed. Editorial escuela colombiana de ingeniería, p. 94

Q_{minr}, Q_{medr}, Q_{maxr}, Cot_{fr}, Ac, h_{tp}, n y **L**, Las cuales son variables de tipo real que describen las características del tipo de fuente de abastecimiento de agua y que se explican más adelante.

- Por motivos de mantenimiento se guía al usuario en cuanto a las dimensiones que debe tener la presa.
- Se solicita al usuario ingrese el caudal mínimo del río (**Q_{minr}**), el caudal medio del río (**Q_{medr}**), caudal máximo del río (**Q_{maxr}**), el ancho del cauce (**Ac**) y la altura que este desee para la presa (**h_{tp}**).
- Se verifica si es posible trabajar con la dimensión **Ac** ingresada por el usuario.
- Se verifica que el caudal mínimo del río (**Q_{minr}**) sea mayor o igual al del caudal de diseño (**Q_d**). De no ser así, el algoritmo finaliza su procedimiento, en caso contrario éste continúa hacia el siguiente paso.
- El usuario debe ingresar el número de contracciones (**n**) y la longitud de la presa (**L**) que estima para la captación.
- Se verifica si es posible trabajar con la relación de las dimensiones (**Ac**) y (**L**).
- Posteriormente se halla el espesor de la lámina de agua sobre la presa cuando pasa encima de ella un caudal igual al caudal de diseño (**Q**).
- Se corrige la longitud de la presa (**L**) ingresada por el usuario y a esta nueva magnitud el algoritmo la determina como (**L'**).
- El algoritmo calcula la velocidad del río sobre la presa (**V_r**).
- Si la velocidad se encuentra dentro del rango (0.3 – 3) concluye el ciclo correctamente de lo contrario el usuario deberá ingresar nuevamente los datos (**n**) y (**L**).

✓ Ejemplo de cálculo

Datos:

- a) Periodo de diseño.** Tratándose de la captación para un municipio intermedio, se debe diseñar en una sola etapa, para 20 años a partir de la fecha.
- b) Población de diseño.** De acuerdo con la proyección de la población realizada anteriormente, se tiene que la población para el año 2023 es de 7697 habitantes.
- c) Caudal de diseño.** El caudal máximo diario para la misma fecha anterior se calculó en 34.56L/s. El caudal medio diario correspondiente es igual a 26.59L/s, por lo que la pérdida en la aducción es de 1.3L/s (5%) y el consumo en la planta de purificación es de 1.3L/s (5%). Por tanto, el caudal de diseño de la bocatoma es igual a 37,219L/s o sea 0.037219m³/s.

- d) **Cota en el fondo del río.** La cota ubicada en el plano topográfico correspondiente al fondo del río es igual a 100,00 msnm.
- e) **Aforo del río.** El caudal del río en tiempo seco (**Q_{minr}**) es de 0.25m³/s, el caudal medio (**Q_{medr}**) es de 0.7m³/s y el caudal máximo (**Q_{maxr}**) es de 2,0m³/s.
- f) **Ancho del río.** El ancho del río en el lugar de la captación es de 4,0m.
- g) **Altura de la presa.** La altura de la presa central (**htp**) es de 1.2m.

Solución. El ancho del cauce (**Ac**) se supone de 3,0m y por cuestiones de mantenimiento la longitud de la presa central (L) debe tener o ser mayor de 80 cm, debido a que se debe dejar un borde en donde se ubicara la rejilla o lámina perforada, la cual no debe ser menor a 70 cm.

Se comprueba que el caudal mínimo del río (**Q_{minr}**) es mayor que el caudal de diseño (**Q**) por lo que el algoritmo pasa al paso siguiente.

Luego es necesario escribir la longitud de la presa central (**L**) y el número de contracciones (**n**) que se va a utilizar en la bocatoma que son: **L=1m** y **n=2**.

La longitud **L** es menor que **Ac** y es mayor que 80cm por lo cual es aceptada por el algoritmo.

Según López Cualla⁹ la lámina de agua en las condiciones de diseño es de:

$$H = \left(\frac{Cd}{1.84+L} \right)^{\frac{2}{3}} = \left(\frac{0.037219}{1.84+1} \right)^{\frac{2}{3}} = 0.07423m \quad [17]$$

La corrección por las dos contracciones laterales es:

$$L' = L - 0.2H = 1 - (0.1 * 2 * 0.07423) = 0.99m \quad [18]$$

La velocidad del río sobre la presa es López Cualla¹⁰

$$Vr = \frac{Q}{LH} = \frac{0.037219}{0.99 * 0.07423} = 0.51m/s \quad [19]$$

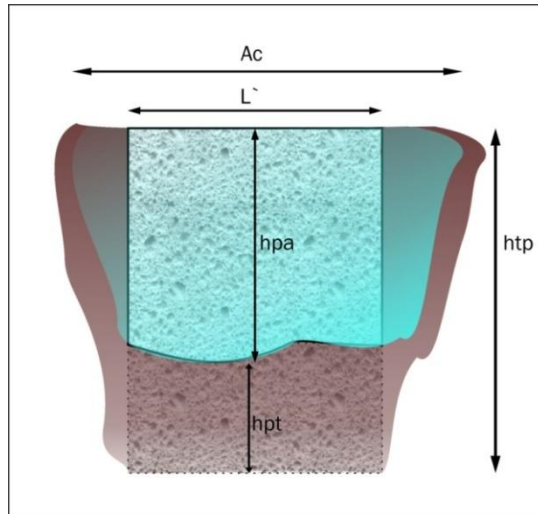
⁹ LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueducto y alcantarillados. 2 ed. Editorial escuela colombiana de ingeniería, p. 105

¹⁰ Ibid., p. 97

$$0,3 \text{ m/s} < 0.51 \text{ m/s} < 3,0 \text{ m/s} \rightarrow \text{O.K.}$$

La figura 39, representa un esquema de la presa central y sus magnitudes

Figura 39. Presa central



✓

Diagrama de flujo

En la figura 40, se indica el diagrama de flujo, diseño captación de fondo diseño de la presa.

Listado de variables

Ac: Ancho de cauce.

htp: Altura total de la presa.

Cd: Caudal de diseño en litros.

L: Longitud de la presa.

L': Longitud de la presa corregida.

n: Número de contracciones laterales.

Vr: Velocidad del río al pasar sobre la presa.

Q: Caudal de diseño expresado en m³

H: Lámina de agua sobre la presa respecto al caudal de diseño.

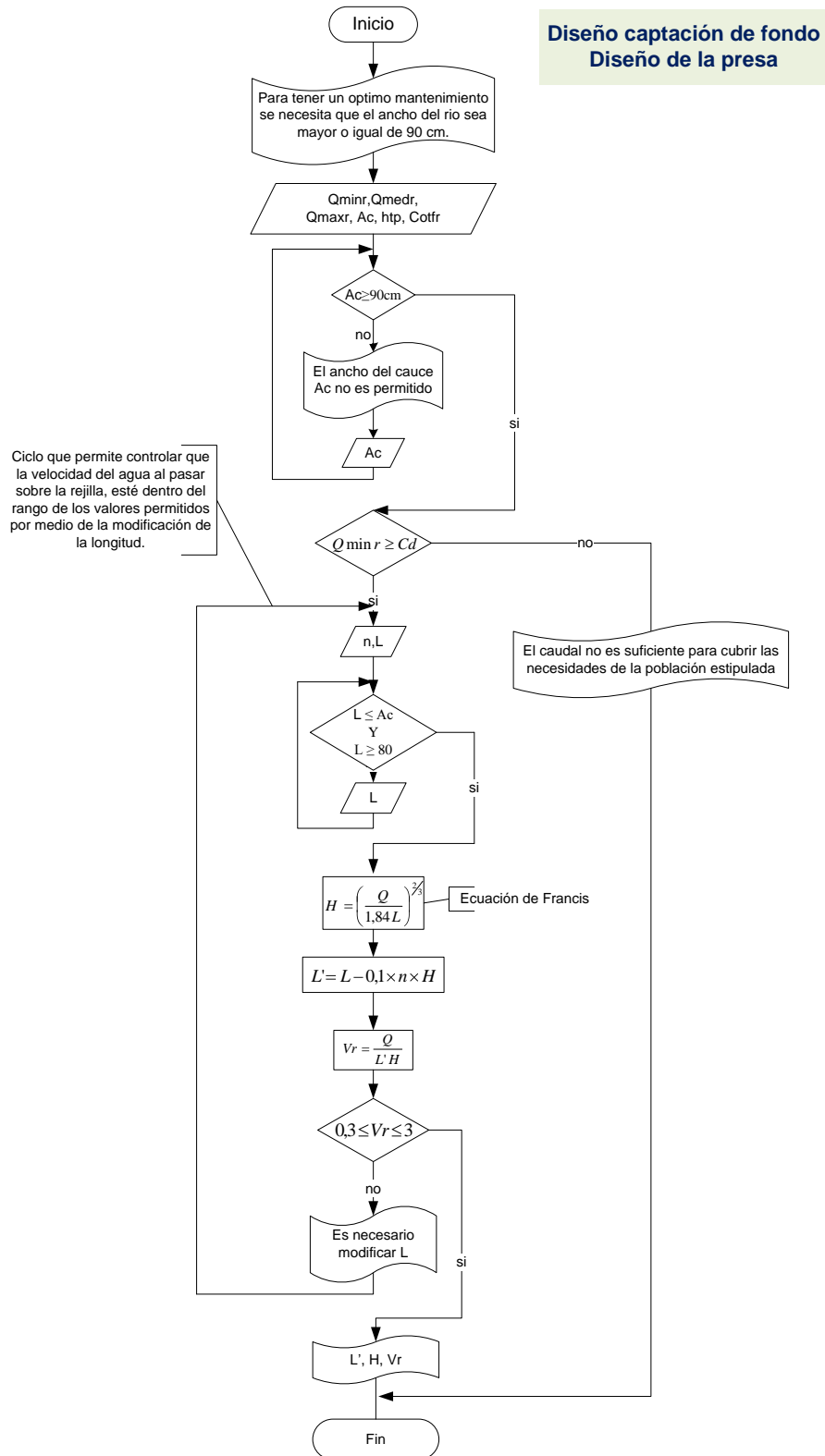
Qminr: Caudal mínimo del río.

Qmedr: Caudal medio del río.

Qmaxr: Caudal máximo del río.

Cotfr: Cota en el fondo del río.

Figura 40. Diseño de captación de fondo diseño de la presa



✓ **Pseudocódigo**

{El algoritmo calcula la longitud de la presa}.

1. Escribir “Para tener un optimo mantenimiento se necesita que el ancho del rio sea mayor o igual a 90 cm”
2. Leer Qminr ← Valor ‘ Se asigna un valor a la variable Qminr ’
Qmedr ← Valor ‘Se asigna un valor a la variable Qmedr ’
Qmaxr ← Valor ‘Se asigna un valor a la variable Qmaxr ’
Ac ← Valor ‘Se asigna un valor a la variable Ac ’
htp ← Valor ‘Se asigna un valor a la variable htp ’
Cofr ← Valor ‘Se asigna un valor a la variable Cofr ’
3. Mientras que (Ac<90) Repetir
Escribir “El ancho del cauce Ac no es permitido”
Leer Ac ← Valor ‘Se asigna un valor a la variable Ac ’
{Fin del condicional 3}.
4. Si Qminr ≥ Cd
Entonces
4.1 Leer n ← Valor ‘ Se asigna un valor a la variable n ’
L ← Valor ‘Se asigna un valor a la variable L ’
4.2 Si L ≥ Ac
Entonces
Leer L ← Valor ‘Se asigna un valor a la variable L ’
Sino
4.2.1.1 Hacer H ← $(Q/1.84L)^{1/3}$
L' ← $(L-0.1)*n*H$
Vp ← $Q/(L'*H)$
4.2.1.1.1 Si $0.3 \geq Vp \geq 3$
Entonces
Escribir “Es necesario modificar L”
Volver al paso correspondiente al numeral 2.1
Si no
Escribir “L’”, “H”, “Vr”
{Fin del condicional del paso 4.2.1.1.1}
{Fin del condicional del paso 4.2}
Sino
Escribir “El caudal no es suficiente para cubrir las necesidades de la población estipulada”
5. {Fin del condicional2}

- ✓ **Pantalla de datos.** En la figura 41, se indica la pantalla de datos cálculo estructural.

Figura 41. Pantalla de datos del diseño de la captación de fondo

Diseño de la presa

OBRAS DE CAPTACIÓN

Para tener un optimo mantenimiento se necesita que el ancho del rio sea mayor o igual de 90 cm.

INGRESE

Caudal mínimo del río (Qminr)	Caudal medio del río (Qmedr)
Qminr = <input style="width: 80%;" type="text"/>	Qmedr = <input style="width: 80%;" type="text"/>
Caudal máximo del río (Qmaxr)	Ancho de cauce(Ac)
Qmaxr = <input style="width: 80%;" type="text"/>	Ac = <input style="width: 80%;" type="text"/>
Altura total de la presa (htp)	Cota en el fondo del río (Cofr)
htp = <input style="width: 80%;" type="text"/>	Cofr = <input style="width: 80%;" type="text"/>

El caudal no es suficiente para cubrir las necesidades de la población estipulada

Ingrese número de contracciones laterales (n)

n =

Longitud de la presa (L)

L =

"Es necesario modificar L"

Ingresar

RESULTADOS

Lámina de agua sobre la presa, respecto al caudal de diseño	H =
Velocidad del río al pasar sobre la presa	Vr =
Longitud corregida de la presa central	L' =

b. Diseño de rejilla y lámina perforada

✓ Fundamento teórico

Rejilla. Esta se coloca sobre el canal de aducción que se encuentra dentro de la presa. La longitud de la rejilla, y por tanto la del canal de aducción puede ser menor que la longitud de la presa o el ancho de la garganta, según las necesidades del caudal que se ha de captar. El ancho mínimo es de 40 cm y el largo mínimo es de 70 cm, dados para facilitar la operación de la limpieza y mantenimiento. Los barrotes y el marco pueden ser de hierro, con separación entre barrotes de 5 a 10 centímetros y diámetro de los mismos de $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{4}$ " o 1".

Lámina perforada. También se puede utilizar una placa perforada para disminuir las posibilidades de obstrucción, ayuda a que los sedimentos grandes resbalen con facilidad y controla el paso de piedras grandes que puedan obstruir el sistema. Las dimensiones mínimas de esta placa pueden ser las mismas de la rejilla. Una placa perforada típica tiene un diámetro de agujeros de 1,5cm, un coeficiente de descarga C de 0.5, un número de agujeros de 816 y se la instala generalmente con una inclinación del 15%.

✓ **Metodología de diseño.** En el caso de que el usuario crea más conveniente el uso de una rejilla para el sistema de captación entonces el algoritmo trabaja de la siguiente manera:

Datos

Las variables **a, d, Z, G y So** son variables de tipo real que son introducidos por el usuario para la construcción y ubicación de la rejilla en la bocatoma.

- El usuario debe escoger el espesor o diámetro de las barras (**d**) con las que desea trabajar, para esto tiene tres opciones: $d=1/2$ ", $d=3/4$ " o $d=1$ ".
- El usuario debe ingresar la distancia (**a**) entre barrotes en m.
- El algoritmo comprueba si la distancia (**a**) es permitida ya que debe estar dentro de un rango de 0.02m a 0.05m según la RAS2000.
- Se asigna a la constante K_r el valor de 0.9 ya que el flujo es paralelo a la sección según López Cualla¹¹. También el valor de "d" se pasa de pulgadas a m y por último se estima según la RAS2000 una velocidad entre barrotes de 0.14 m/s.

¹¹ LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueducto y alcantarillados. 2 ed. Editorial escuela colombiana de ingeniería, p.99

- Se determina el alcance de agua calculando tanto el filo superior (x_s) como el filo inferior (x_i), esta información es tomada de López Cualla¹².

$$X_s = 0.36Vr^{\frac{2}{3}} + 0.60H^{\frac{4}{7}} \quad [20]$$

$$X_i = 0.18Vr^{\frac{4}{7}} + 0.74H^{\frac{3}{4}} \quad [21]$$

- Teniendo en cuenta lo anterior se calcula el ancho del canal recolector así:

$$B = X_s + 0.10$$

- El algoritmo verifica si el ancho del canal puede ser utilizado y de no ser así establece este valor en 40cm para poder realizar el mantenimiento del canal.
- Se determina el área neta (A_n) de la rejilla despejando ecuación.

$$A_n = \frac{Q}{Kr + Vb} \quad [22]$$

- El usuario debe ingresar el valor de la pendiente de la rejilla, en (z) el valor de la distancia vertical, por lo general es 1 metro y en (G) para indicar cuantos metros avanza horizontalmente la pendiente en el metro vertical anteriormente mencionado.
Además el usuario debe ingresar el espesor de los bordes (S_o) de los muros anterior al canal de aducción y posterior a este.
- Si la pendiente $Z/G=0$ quiere decir que la rejilla está ubicada horizontalmente y no tiene pendiente alguna, pero si ocurre lo contrario el algoritmo determina lo siguiente:
 - La pendiente debe estar dentro del rango 1/6 y 1/8 si es así se continua con el siguiente paso si no el usuario deberá modificar esta pendiente.
 - Se calcula el desfase (D) entre muro anterior al canal y el muro posterior a este.
 - Se calcula el ancho de la rejilla (B') por medio del teorema de Pitágoras el cual tiene en cuenta la inclinación de esta.

¹² LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueducto y alcantarillados. 2 ed. Editorial escuela colombiana de ingeniería, p. 98

- Se calcula la longitud de la rejilla por medio de la expresión:

$$Lr = \frac{An*(a+d)}{a*B'} \quad [23]$$

- El algoritmo verifica la longitud de la rejilla (**Lr**) ya que esta debe ser mayor o igual a 70cm y (**Lr+10**) cm debe ser menor o igual que (**L'**), si cualquiera de las dos condiciones no se cumple el algoritmo establece que la longitud es igual a 70cm y pasa al siguiente punto esto para poder realizar el mantenimiento al canal y a la rejilla misma.
- Calcula la longitud sobrante (**Ls**) entre el borde izquierdo y el derecho de la rejilla con el vertedero de crecientes.
- Se realiza el cálculo de una nueva área neta (**An**) la cual tiene en cuenta el ancho de la reja y su longitud.

$$An = \frac{a}{a+b} * B' * Lr \quad [24]$$

- Se calcula el Número de orificios entre barrotes (**N**) por medio de la expresión:

$$N = \frac{An}{a*B'} \quad [25]$$

- El algoritmo establece el número de barrotes (**#b**) de la rejilla.
- Se calcula a velocidad del agua entre barrotes (**Vb**). Ecuación:

$$Vb = \frac{Q}{K*An} \quad [26]$$

- Si la velocidad del flujo entre barrotes es mayor que 0.14m/s, quiere decir que se debe redimensionar el canal y la rejilla lo cual está estipulado por la RAS2000. de lo contrario el diseño es aceptado.
- Por último el algoritmo indica al usuario el número de barras (**#b**), su diámetro (**d**) y cada cuanto están espaciadas (**a**).

En caso de que el cual el usuario crea más conveniente el uso de una placa perforada para el sistema de captación entonces el algoritmo trabaja de la siguiente manera:

Datos

Las variables (do, Z, G, So y LI) son variables de tipo real que son introducidos por el usuario para la construcción y ubicación de la lámina perforada en la bocatoma.

- El usuario debe ingresar el valor del diámetro de los orificios que desea para la placa perforada (d_o) y el valor del espesor de los muros (S_o) anterior al canal y posterior a él en m.
- El usuario debe escoger la inclinación de la lámina perforada entre horizontal o sea pendiente de 0 o una de 1/5. Si se decide por que la lámina se ubique horizontalmente entonces el algoritmo asigna un coeficiente de descarga (c) de 0.75 y la pendiente es de 1/5 el (c) será de 0.8 esto según Corcho Romero¹³.
- El algoritmo calcula el área que ocupa cada orificio en m².
- Calcula el número de orificios en 1 m² de lámina.
- Calcula el porcentaje útil de la lámina perforada así de acuerdo a ejemplo Corcho Romero¹⁴:

$$e = \frac{n\pi d_o^2}{4} \quad [27]$$

- Ahora el usuario debe ingresar la longitud que estima para la lámina perforada (L_I).
- La longitud ingresada por el usuario (L_I) debe ser mayor o igual a 70cm y la dimensión ($L_I+0.10$)m debe ser menor o igual a (L'), de no ser así, se vuelve a pedir que el usuario ingrese nuevamente la dimensión hasta que cumpla con la condición, esto debido a que como se dijo anteriormente se necesita estas dimensiones para el mantenimiento de el canal y el elemento retenedor en este caso la lámina perforada.
- El algoritmo calcula la altura del agua sobre la placa por medio de la expresión tomada de Corcho Romero¹⁵:

$$Y_1 = \frac{3}{\sqrt{g(L_I)^2}} \sqrt{(Q_{min})^2} \quad [28]$$

- Calcula la velocidad de aproximación V_h (Corcho Romero¹⁶):

¹³CORCHO ROMERO y Duque Serna. Acueductos teoría y diseño. Universidad de Medellín: Centro general de investigaciones, 1993. p. 131

¹⁴ Ibid., 81

¹⁵ Ibid., 82

¹⁶ CORCHO ROMERO y Duque Serna. Acueductos teoría y diseño. Universidad de Medellín: Centro general de investigaciones, 1993. p. 82

$$V_h = \frac{Q_{\min r}}{Ll * Y1} \quad [29]$$

- Calcula la energía específica (E) por medio de la fórmula Corcho Romero¹⁷:

$$E = Y1 + \frac{(V_h)^2}{2g} \quad [30]$$

- Calcula la longitud sobrante (Ls) entre el borde izquierdo y el derecho de la rejilla con el vertedero de crecientes.
- El algoritmo determina el ancho de la placa perforada (Bp) despejándolo de Ec. 2.46¹⁸.

$$Bp = \frac{Q}{(2g * E)^{0.5} * C * s * Ll} \quad [31]$$

- Si el ancho de la lámina perforada (Bp) es mayor o igual a 40 cm el algoritmo continua al paso siguiente de lo contrario (Bp)= 40cm.
- El ancho del canal (B) es igual al ancho de la placa perforada (Bp).
- Se calcula el desfase (D) entre muro anterior al canal y el muro posterior a este.
- Se calcula el ancho de la lámina (Bl') por medio del teorema de Pitágoras el cual tiene en cuenta la inclinación de esta.
- Se calcula el área de la lámina perforada (Al) por medio de su longitud y su ancho.
- Se calcula el número de orificios en la primera fila horizontal (noh) teniendo en cuenta la longitud horizontal (Ll) y el espacio que ocupa cada orificio, haciendo que los orificios estén separados entre si 1 cm.
- El algoritmo indica al usuario el número de orificios en la primera fila horizontal.
- Se calcula el número de orificios en la primera columna vertical (nov) teniendo en cuenta la longitud vertical (Bl) y el espacio que ocupa cada orificio, haciendo que los orificios estén separados entre si 1 cm.
- El algoritmo indica al usuario el número de orificios en la primera columna vertical.
- Calcula el número total de orificios en el área de la lámina perforada (#o) realizando una regla de tres con respecto al número de orificios que existen en un m2 de lámina (no).

¹⁷ Ibid., p.82.

¹⁸ Ibid., p.81.

- Por último el algoritmo calcula el área neta de la lámina perforada utilizando el número total de orificios de la lámina utilizada (#o) y el área de cada uno de ellos.

$$A_n = \#o * \left(\frac{\pi d_o^2}{4} \right) \quad [32]$$

✓ Ejemplo de cálculo

Tratando de seguir con el ejemplo global se retoman las dimensiones obtenidas para la captación de la fuente de abastecimiento anterior.

Suponiendo que se elige la rejilla como elemento a utilizar en la captación, se tiene:

Datos

Se elige un diámetro de barrotes para la rejilla de $\frac{3}{4}$ ", por lo tanto $d=3/4$ ".
Se quiere una separación entre varillas de 0.05m.

Solución

Se puede observar entonces que (a) se encuentra dentro del rango establecido de 0.02 – 0.05.

Luego se hace:
 $K_r = 0.9$

$$d = d * 0.02546 \rightarrow \text{para pasar de pulgadas a m}$$

$$d = \frac{3''}{4} * 0.02540 = 0.01905 \text{ m}$$

Se estima una velocidad entre barrotes (V_b) = 0.14 m/s

Del diseño de la presa se tiene que la velocidad del río sobre la presa (V_r) = 0.51 m/s y Lámina de agua sobre la presa respecto al caudal de diseño (H)= 0.07423m entonces:

$$X_s = 0.36 * (0.51)^{\frac{2}{3}} + 0.60 * (0.07423)^{\frac{4}{7}} = 0.36m$$

$$X_i = 0.18 * (0.51)^{\frac{4}{7}} + 0.74 * (0.07423)^{\frac{3}{4}} = 0.2277m$$

Se calcula el ancho del canal de aducción:

$$B = (0.36 + 0.10)m = 0.46m$$

Se verifica y se tiene que $0.46 > 0.40$ OK.

Como el caudal de diseño (Q) es el algoritmo calcula el área neta (An) de la siguiente forma:

$$An = \frac{0.037219}{0.9 * 0.14} = 0.29m^2$$

Ahora es necesario que el usuario ingrese el valor de la pendiente (Z/G) y el espesor de los muros (So) anterior y posterior al canal de aducción.

Se ingresa entonces una pendiente de $Z = 1$ y $G = 5$.

Igualmente se ingresa un espesor de los muros anterior y posterior (So) = 0.10m.

Como está pendiente no es igual a cero entonces se evalúa según las recomendaciones (Corcho Romero¹⁹) en donde esta debe estar entre $1/6$ y $1/8$, lo cual no es el caso. Por lo tanto es necesario volver a ingresar una pendiente.

En este caso se ingresa una pendiente de $Z=1$ y $G=6$, la cual al evaluarse es aceptada y es posible continuar al siguiente paso del procedimiento de cálculo.

Calcula el desfase o desnivel (D) que existe entre el muro anterior al canal de aducción y el muro posterior a dicho canal basándose en la pendiente que tiene la rejilla.

$$D = \frac{Z * B}{G} = \frac{1 * 0.46}{6} = 0.076m \approx 0.08m$$

Ahora por medio del teorema de Pitágoras se encuentra el ancho real de la rejilla (B') si se tiene en cuenta la pendiente.

$$B' = \sqrt{0.08^2 + 0.46^2} = 0.467$$

Se prosigue calculando la longitud de la rejilla así:

$$Lr = \frac{0.29 * (0.05 + 0.01905)}{0.05 * 0.467} = 0.86m$$

El algoritmo verifica la longitud de la rejilla:

¹⁹ CORCHO ROMERO y Duque Serna. Acueductos teoría y diseño. Universidad de Medellín: Centro general de investigaciones, 1993. p. 114

$$Lr \geq 0.7m \rightarrow 0.857 \geq 0.7 \text{ O.K.}$$

$$(Lr + 0.10) \leq L' \rightarrow 0.957 \leq 0.99 \text{ O.K.}$$

Obtenida la longitud de la rejilla se calcula una nueva área neta (A_n) así:

$$A_n = \frac{0.05}{0.05 + 0.01905} * 0.467 * 0.8575 = 0.2899m^2 \approx 0.29m^2$$

Calcula (L_s):

$$L_s = (0.99 - 0.857)m = 0.13m$$

Ahora se halla el número de orificios (N) entre barrotes de la siguiente manera:

$$N = \frac{0.29}{0.05 * 0.467} = 12.41 \approx 13 \text{ orificios}$$

Y se halla el número de barrotes ($\#b$) que se necesitan:

$$\#b = 13 - 1 = 12 \text{ varillas}$$

Se calcula la velocidad entre barrotes con el caudal de diseño (Q), el área neta (A_n) y la constante K :

$$V_b = \frac{0.037219}{0.9 * 0.29} = 0.1426 \approx 0.14$$

Se verifica la velocidad entre barrotes $V_b=0.14m/s$ **O.K.** el diseño es aceptado.

Por último:

Se necesitan 12 varillas de $\frac{3}{4}$ " espaciadas cada 0.05m.

Si el usuario prefiere utilizar en la captación una lámina perforada entonces:

Datos

Se ingresa el diámetro que se desea para los orificios (**do**)= 0.015m y un espesor de muros anterior y posterior al canal (**So**) =0.10m.

Se opta por utilizar para la lámina perforada una pendiente de 1/5. Por lo tanto el algoritmo asigna a esta un coeficiente de descarga (c)= 0.8.

Ahora procede a calcular el área total (A_o) que ocupa cada orificio teniendo en cuenta que la separación entre cada uno de ellos es de 2 cm de la siguiente forma:

$$A_o = (d_o + 0.02) * (d_o + 0.02) = (0.015 + 0.02) * (0.015 + 0.02) = 0.001225m^2$$

El número de orificios (n_o) por cara metro cuadrado es:

$$n_o = \frac{1}{A_o} = \frac{1}{0.001225} = 816.32 \approx 816 \text{ orificios}$$

El porcentaje útil de la lámina perforada es:

$$e = \frac{816 * \pi * 0.015}{4} = 0.144$$

Se ingresa una longitud de 1m.

Verifica que $Ll \geq 0.7m \rightarrow 1 \geq 0.7$ O.K y

$(Ll+0.10) \leq L' \rightarrow (1+0.10) \leq 0.99$ **no cumple** por lo cual se pide otra magnitud.

Por lo tanto se ingresa una longitud $Ll = 0.8m$.

La cual si cumple con la condición.

De acuerdo a los datos de la fuente en cuestión donde $(Q_{minr})= 0.25m^3/s$ y la longitud de la presa (L')=0.99 se calcula la altura del agua sobre la placa ($Y1$):

$$Y1 = \sqrt[3]{\frac{(0.25)^2}{9.81 * (0.8)^2}} = 0.21m$$

Con lo anterior se calcula la velocidad de aproximación (V_h):

$$V_h = \frac{0.25}{0.8 * 0.21} = 1.48m/s$$

Luego se calcula la energía específica (E):

$$E = 0.21 + \frac{(1.48)^2}{19.62} = 0.32m$$

Calcula (Ls):

$$Ls = (0.99 - 0.857)m = 0.13m$$

Ahora calcula el ancho de la placa perforada (Bp):

$$Bp = \frac{0.037219}{(19.62 * 0.32)^{0.5} * 0.8 * 0.14 * 0.8} = 0.1657m$$

El algoritmo verifica (Bp)

$$Bp \geq 0.4m \rightarrow 0.16m \geq 0.4m \text{ no}$$

Por lo tanto (Bp) = 0.4m y el ancho del canal (B) = 0.4m

Calcula el desfase o desnivel (**D**) que existe entre el muro anterior al canal de aducción y el muro posterior a dicho canal basándose en la pendiente que tiene la lámina perforada si esta la tiene.

$$D = \frac{Z * Bp}{G} = \frac{1 * 0.4}{5} = 0.08m$$

Ahora por medio del teorema de Pitágoras se encuentra el ancho real de la lámina perforada (Bl') si se tiene en cuenta la pendiente.

$$Bl' = \sqrt{0.08^2 + 0.4^2} = 0.407m$$

El área de la lámina perforada (AL) es:

$$Al = (0.8 * 0.407)m = 0.3256m^2$$

El número de orificios en la primera fila horizontal (noh) es:

$$noh = \frac{Ll}{(do + 0.02)} = \frac{0.8}{(0.015 + 0.02)} = 22.85 \approx 23 \text{ orificios}$$

El número de la primera columna vertical (nov) es:

$$nov = \frac{Bl'}{(do + 0.02)} = \frac{0.407}{(0.015 + 0.02)} = 11.62 \approx 11 \text{ orificios}$$

El número total de orificios (#o) es:

$$\#o = \frac{0.3256 * 816}{1} = 265.6896 \approx 266 \text{ orificios}$$

El área neta de la lámina perforada es:

$$An = 266 * \left(\frac{\pi * 0.015^2}{4} \right) = 0.047m^2$$

✓ Diagrama de flujo

En las figuras 42, 43 y 44, se indica el diagrama de flujo, diseño de rejilla y lámina perforada.

Listado de variables

OPCIÓN: Es una variable de tipo cadena de caracteres que expresa el tipo de elemento a utilizar en la bocatoma.

d: Espesor de la barra o diámetro en pulgadas.

a: Distancia entre barrotes (m).

So: Espesor de los muros anterior y posterior.

z: Numerador de la pendiente o distancia vertical de la pendiente.

G: Denominador de la pendiente o distancia horizontal de la pendiente.

An: Área neta de la rejilla o de la lámina perforada.

N: Número de orificios entre barrotes.

#b: Número de barras de la rejilla.

Vb: Velocidad entre barrotes, max de 0.14 m/s.

Kr: constante de la rejilla para flujo paralelo a la sección.

Xs: Alcance filo superior (m).

Xi: Alcance filo inferior (m).

H: Profundidad de la lámina de agua sobre la presa respecto al caudal de diseño.

B: Ancho del canal.

B': Ancho real de la reja debido a la inclinación.

D: Es la diferencia de altura vertical entre el muro anterior y el muro posterior del canal rectangular de aducción.

do: Diámetro de orificios.

E: Energía específica.

Y1: Altura del agua sobre la placa.

Vh: Velocidad de aproximación

e: Relación entre el área libre y el área total de la placa (porcentaje útil de la rejilla).

Bp: Ancho de la placa perforada.
C: Coeficiente de descarga.
Lr: Longitud de la rejilla.
Vr: Velocidad del río al pasar sobre la presa.
no: número de orificios por m².
noh: Número de orificios horizontales.
nov: Número de orificios verticales.
LI: Longitud de la lámina perforada.
BI': Ancho real de la placa o lámina perforada debido a la inclinación.
Ao Es el área total que ocupa el área del orificio mas la separación con los orificios adyacentes.
L': Longitud o ancho de la presa corregida.
AI: área de la lámina perforada.
#o: Número de orificios para el área de la lámina perforada.
Ls: Es la distancia sobrante entre el borde del vertedero de crecientes y el borde de la rejilla, por lo cual en realidad serían dos distancias una al lado izquierdo de la rejilla y otra a lado derecho.

Figura 42. Diseño de rejilla y lámina perforada

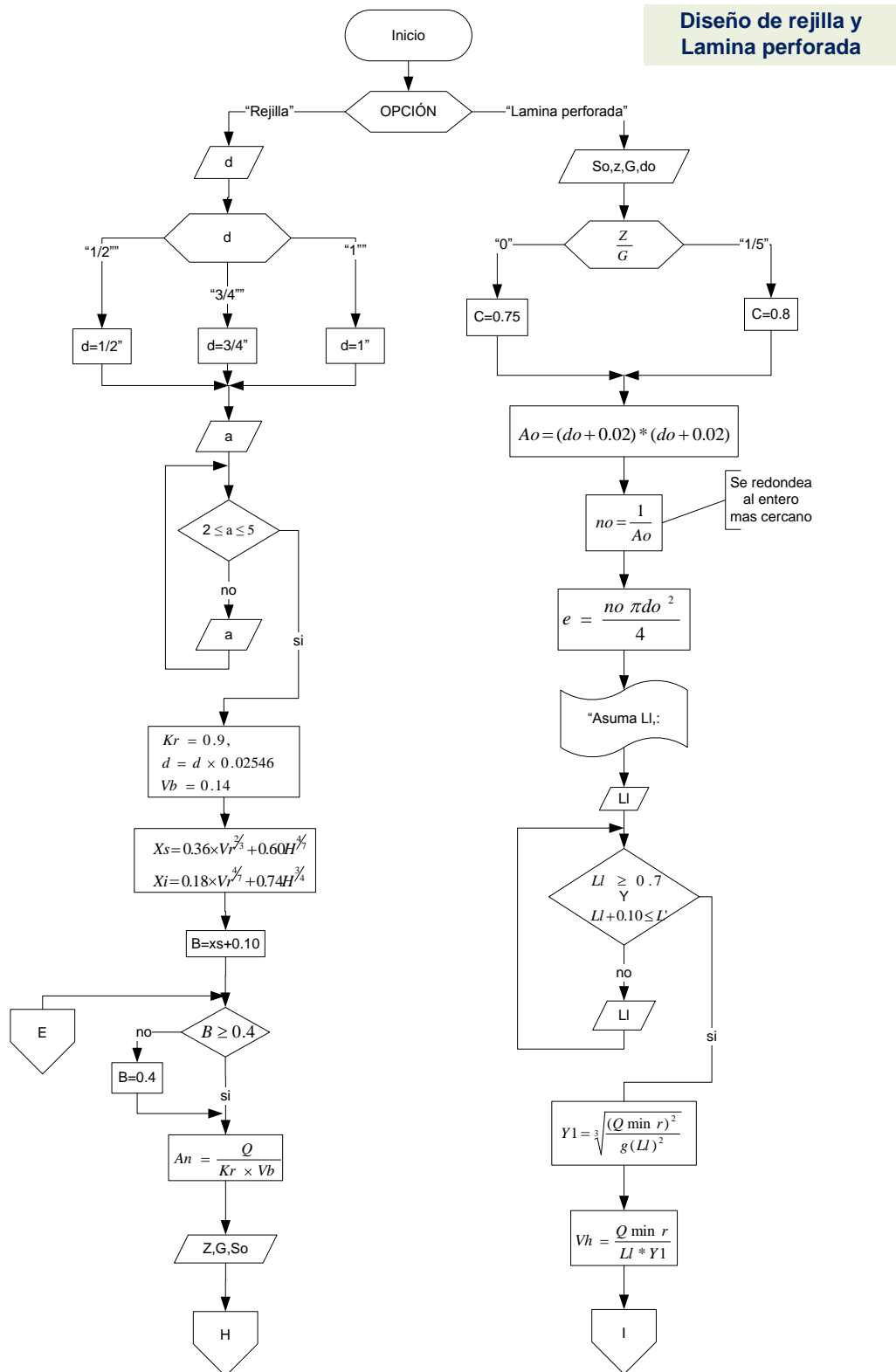


Figura 43. Diseño de rejilla y lámina perforada

Diseño rejilla y lamina perforada

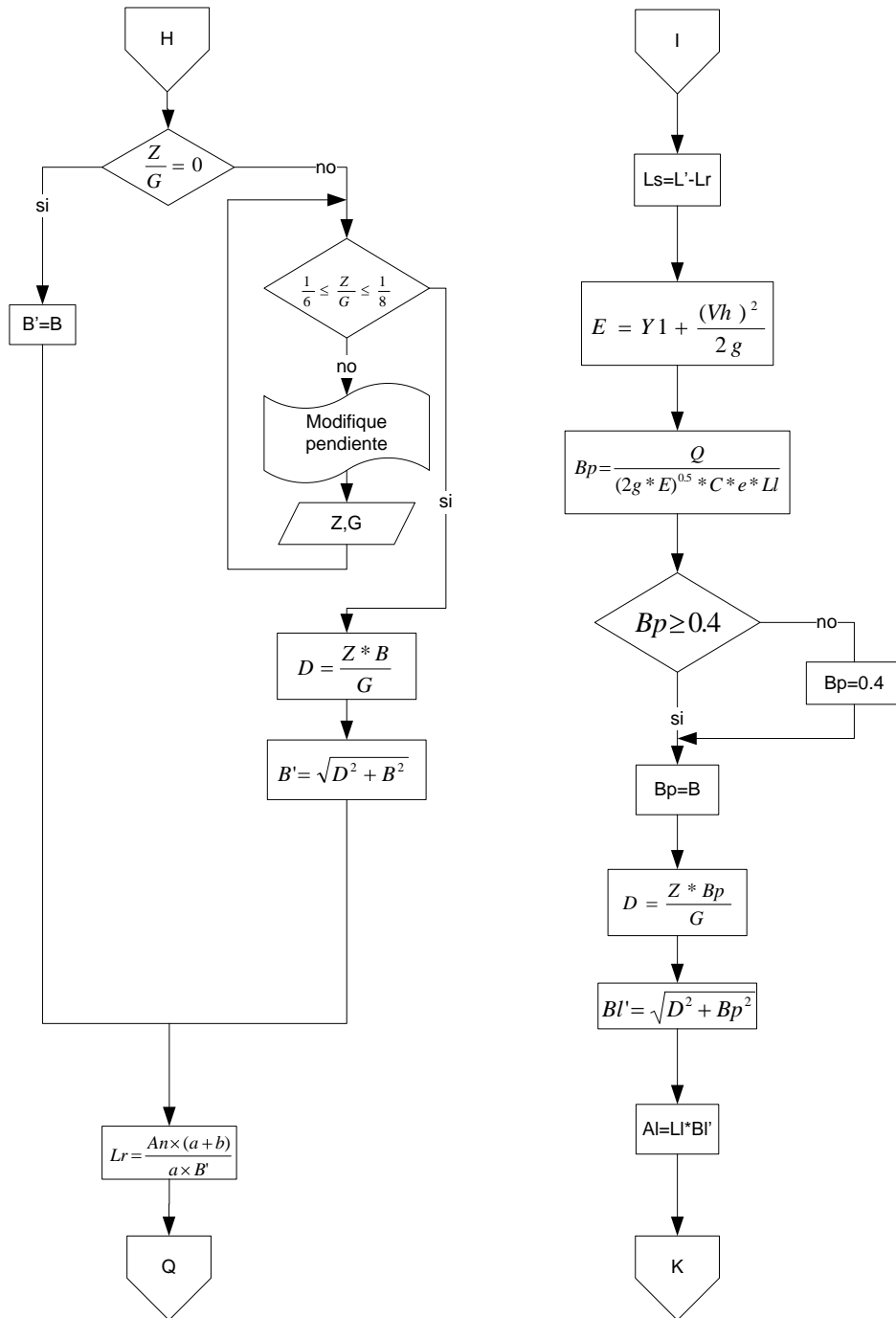
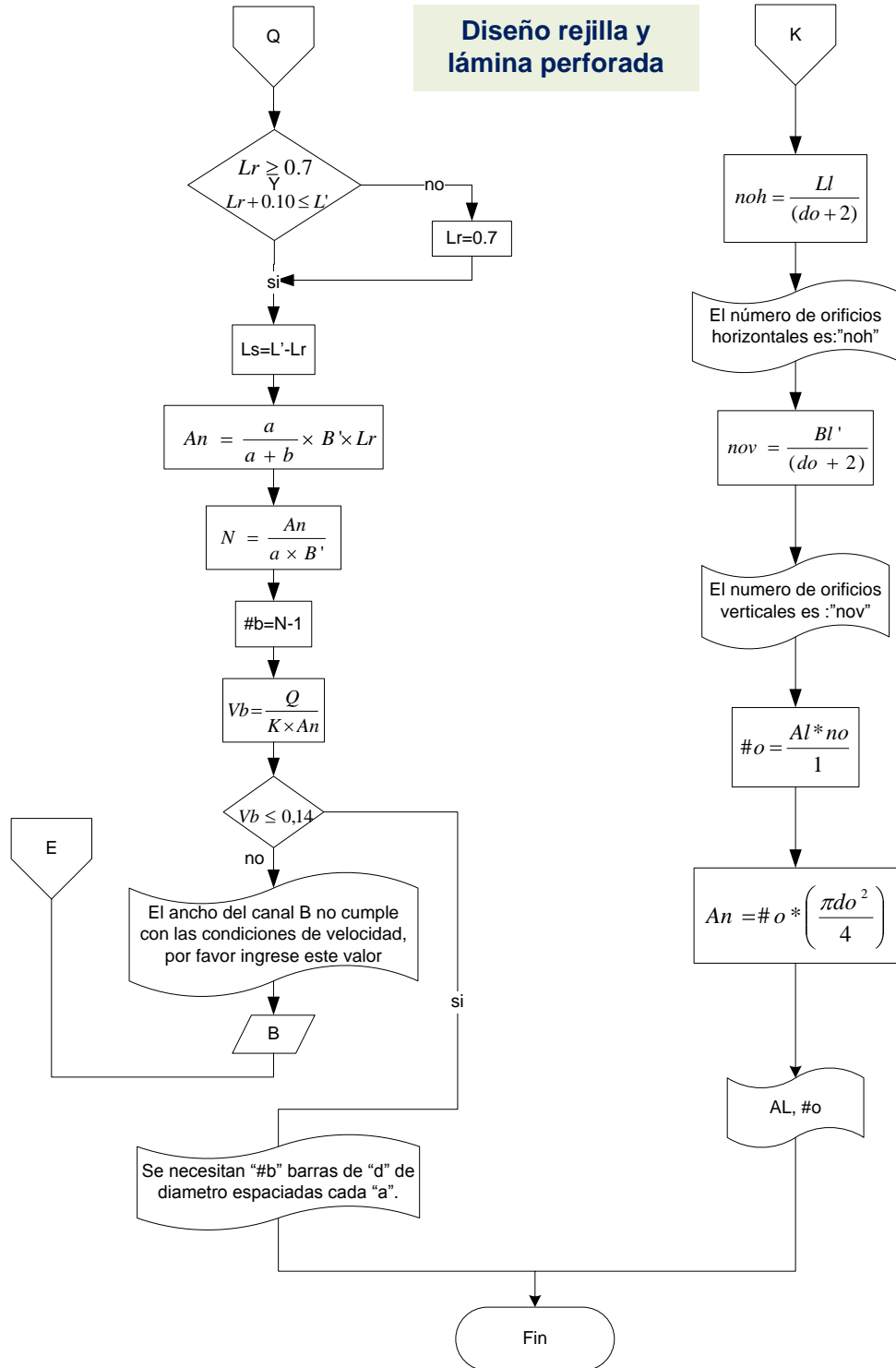


Figura 44. Diseño de rejilla y lámina perforada



✓ Pseudocódigo

{El algoritmo determina con que elementos se desea trabajar y calcula las dimensiones de la rejilla o de la placa perforada}.

1. Si OPCIÓN igual:

1.1 "Rejilla":

1.1.1 Leer $d \leftarrow$ Valor 'Se asigna un valor a la variable d'

1.1.2 Si d igual:

"1/2": Hacer $d \leftarrow 1/2$ "

"3/4": Hacer $d \leftarrow 1/2$ "

"1" : Hacer $d \leftarrow 1/2$ "

{Fin del condicional 1.1.2}

1.1.3 Leer $a \leftarrow$ Valor 'Se asigna un valor a la variable a'

1.1.4 Mientras que ($2 > a > 5$) Repetir.

Leer $a \leftarrow$ Valor 'Se asigna un valor a la variable a'

{Fin del condicional 1.1.4}.

1.1.5 Hacer $Kr \leftarrow 0.9$

$D \leftarrow d * 0.02546$

$Vb \leftarrow 0.14$ m/s.

1.1.6 Hacer $Xs \leftarrow (0.36 * (Vr^{2/3})) + (0.60 * (H^{4/7}))$

$Xs \leftarrow (0.18 * (Vr^{4/7})) + (0.74 * (H^{3/4}))$

1.1.7 Hacer $B \leftarrow Xs + 0.10$

1.1.8 Mientras que ($Vb > 0.14$) Repetir:

Escribir "El ancho del canal no cumple con las condiciones de velocidad por favor ingrese este valor"

Leer $B \leftarrow$ Valor 'Se asigna un valor a la variable B'

1.1.8.1 Si ($B < 0.4$) Entonces

Hacer $B \leftarrow 0.4$

{Fin del condicional del punto 1.1.8.1}

Hacer $An \leftarrow Q / (Kr * Vb)$

Leer $Z \leftarrow$ Valor 'Se asigna un valor a la variable Z'

$G \leftarrow$ Valor 'Se asigna un valor a la variable G'

$So \leftarrow$ Valor 'Se asigna un valor a la variable So'

1.1.8.2 Si ($Z/G \leftarrow 0$)

Entonces

Hacer $B' \leftarrow B$

Sino

1.1.8.2.1 Mientras que ($1/6 > Z/G > 1/8$) Repetir:

Escribir "Modifique pendiente"

Leer $Z \leftarrow$ Valor 'Se asigna un valor a la variable Z'

$G \leftarrow$ Valor 'Se asigna un valor a la variable G'

{Fin de ciclo 1.1.8.2.1}

Hacer $D \leftarrow (Z * B) / G$

$$\text{Hacer } B' \leftarrow \sqrt{D^2 + B^2}$$

1.1.8.3 {Fin del condicional 1.1.8.2}

1.1.8.4 Hacer $L_r \leftarrow (A_n \cdot (a+b)) / (a \cdot B')$

1.1.8.5 Si $(L_r < 0.7)$ y $((L_r + 0.10) > L')$ Entonces

$$\text{Hacer } L_r \leftarrow 0.70$$

1.1.8.6 {Fin del condicional 1.1.8.5}

1.1.8.7 Hacer $L_s \leftarrow L' - L_r$

1.1.8.8 Hacer $A_n \leftarrow (a / (a+b)) \cdot B' \cdot L_r$

1.1.8.9 Hacer $N \leftarrow A_n / (a \cdot B')$

1.1.8.10 Hacer $\#b \leftarrow N - 1$

1.1.8.11 Hacer $V_b \leftarrow Q / (K \cdot A_n)$

1.1.9 {Fin del condicional 1.1.8}

1.1.10 Escribir Se necesitan “#b” barras de “d” de diámetro espaciadas cada “a”.

1.2 “Lamina perforada”:

1.2.1 Leer $Z \leftarrow$ Valor ‘Se asigna un valor a la variable Z’

$G \leftarrow$ Valor ‘Se asigna un valor a la variable G’

do \leftarrow Valor ‘Se asigna un valor a la variable do’

So \leftarrow Valor ‘Se asigna un valor a la variable so’

1.2.2 Si Z/G igual:

“0”: Hacer $C \leftarrow 0.75$

“1/5”: Hacer $C \leftarrow 0.8$

1.2.3 Hacer $A_o \leftarrow (do+2) \cdot (do+2)$

1.2.4 Hacer no $\leftarrow 1/A_o$

1.2.5 Hacer e $\leftarrow \pi \cdot (do^2) / 4$

1.2.6 Escribir “Asuma LI”

1.2.7.1 Leer $LI \leftarrow$ Valor ‘Se asigna un valor a la variable LI’

1.2.7.2 Mientras que $(LI < 0.7)$ y $((LI + 0.10) > L')$ Repetir:

Leer $LI \leftarrow$ Valor ‘Se asigna un valor a la variable LI’

{Fin del condicional 1.13}

1.2.7.3 Hacer $Y_1 \leftarrow \sqrt{\frac{(Q_{minr})^2}{g(LI)^2}}$

1.2.7.4 Hacer $V_h \leftarrow Q_{minr} / (LI \cdot Y_1)$

1.2.7.5 Hacer $L_s \leftarrow L' - L_r$

1.2.7.6 Hacer $E \leftarrow Y_1 + ((V_h^2) / (2g))$

1.2.7.7 Hacer $B_p \leftarrow Q / (((2g \cdot E)^{0.5}) \cdot C \cdot e \cdot LI)$

1.2.7 Si $(B_p < 0.4)$ entonces

$$\text{Hacer } B_p \leftarrow 0.4$$

{Fin del condicional 1.2.7}

1.2.8 Hacer $B_p \leftarrow B$

1.2.9 Hacer $D \leftarrow (Z \cdot B_p) / G$

1.2.10 Hacer $B_l' \leftarrow \sqrt{D^2 + B_p^2}$

1.2.11 Hacer $A_l \leftarrow LI \cdot B_l'$

1.2.12 Hacer noh $\leftarrow LI / (do+2)$

- 1.2.13 Escribir "El número de orificios horizontales es:"noh""
 - 1.2.14 Hacer nov ← $B'/(d_o+2)$
 - 1.2.15 Escribir "El número de orificios verticales es:"nov""
 - 1.2.16 Hacer #o ← $A1*no$
 - 1.2.17 Hacer An ← $\#o*(\pi*(d^2)/4)$
 - 1.2.18 Escribir "A1", "#o"
- 2 {Fin del condicional 1}

Figura 45. Rejilla de captación

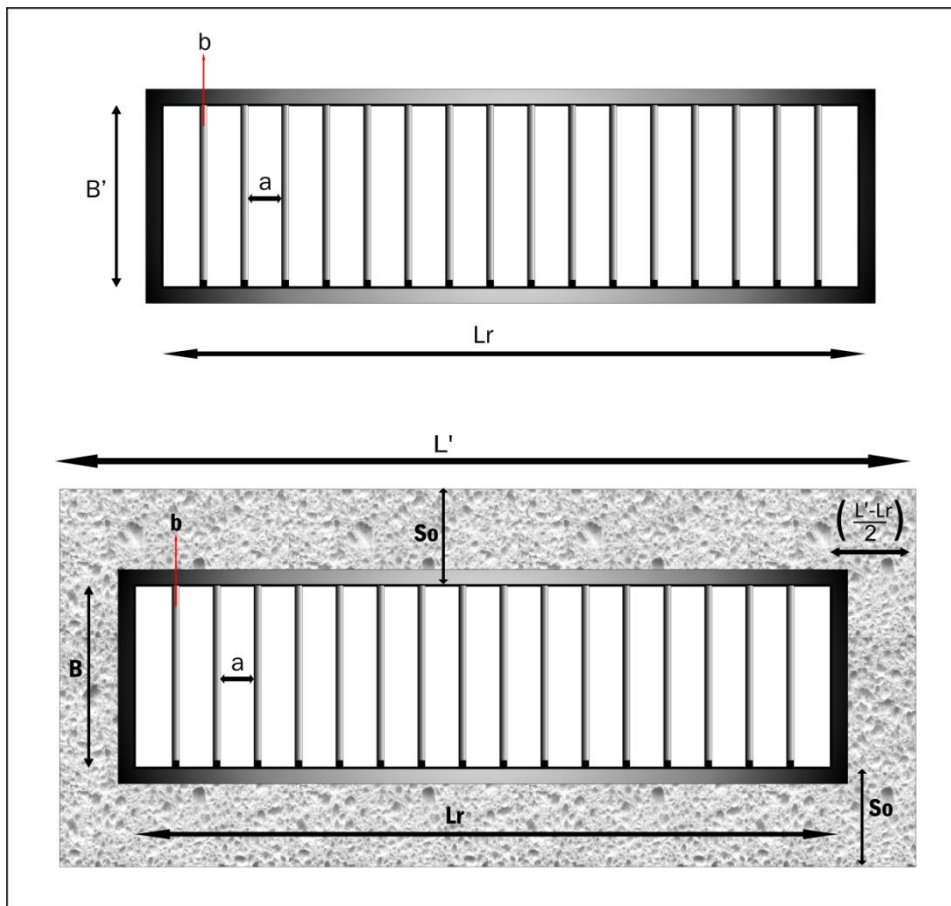


Figura 46. Lámina perforada

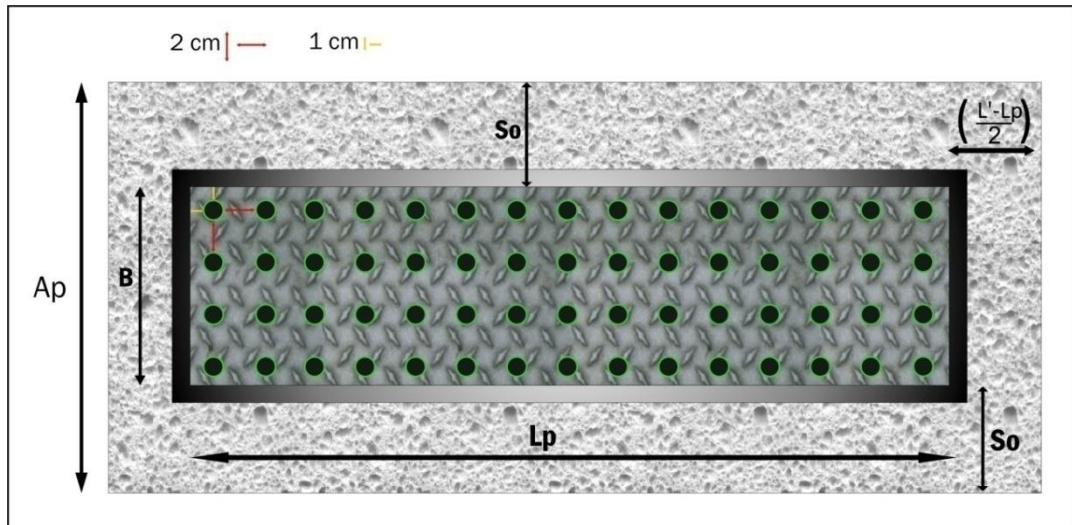
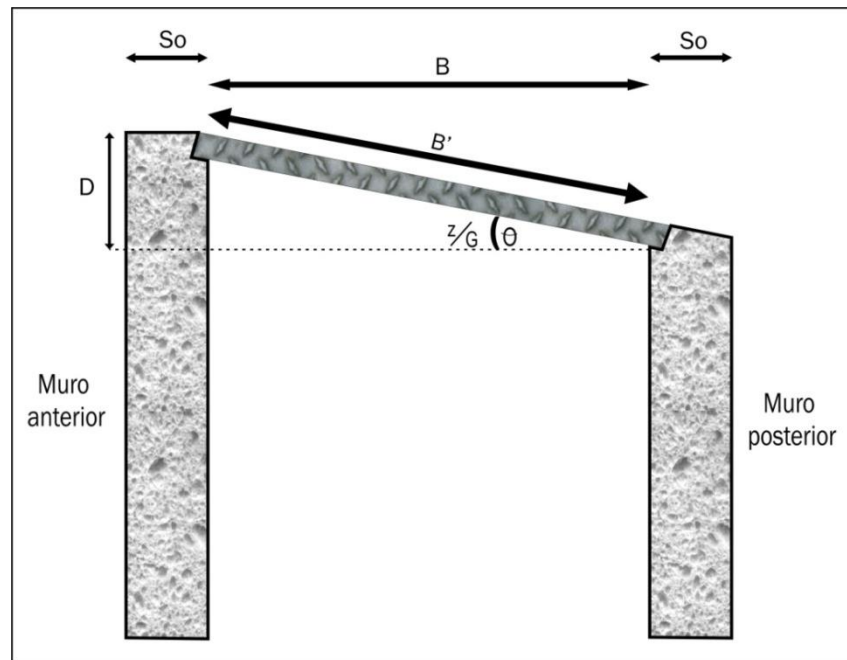


Figura 47. Pendiente de la lámina perforada



✓ **Pantallas de datos**

En las figuras 48, 49 y 50, se indica la pantalla de datos, obras de captación.

Figura 48. Obras de captación

The image shows a software interface window titled "Diseño de rejilla y Lamina perforada" with a main header "OBRAS DE CAPTACIÓN". The central area is labeled "Opción" and contains two radio button options: "Rejilla" and "'Lamina perforada'". Both options are currently selected. A blue "Ingresar" button is located in the bottom right corner of the main content area.

Figura 49. Obras de captación

Diseño de rejilla y Lamina perforada

OBRAS DE CAPTACIÓN

REJILLA

Ingrese Espesor de la barra o diámetro en pulgadas "d"

d = ▼
"1/2"
"3/4"
"1"

Ingrese Distancia entre barrotes "a"

a =

INGRESE

Numerador de la pendiente o distancia vertical de la pendiente (z)

z =

Denominador de la pendiente o distancia horizontal de la pendiente (G)

G =

Espesor de los muros anterior y posterior (So)

So =

Ancho del canal "B" B =

Ancho del canal "B" B =

Figura 50. Obras de captación

Diseño de rejilla y Lámina perforada

OBRAS DE CAPTACIÓN

LÁMINA PERFORADA

INGRESE

Numerador de la pendiente o distancia vertical de la pendiente (z) z =

Denominador de la pendiente o distancia horizontal de la pendiente (G) G =

Espesor de los muros anterior y posterior (So) So =

Diámetro de orificios (do) do =

"Asuma Longitud de la lámina perforada LI"

Ingrese Longitud de la lámina perforada "LI"

LI =

El número de orificios horizontales es: noh =

El número de orificios verticales es: nov =

El área de la lámina es: Al =

El número de orificios en Al es: #o =

c. Diseño de vertedero de crecientes

✓ Fundamento teórico.

Vertedero de crecientes. El vertedero de crecientes es prácticamente un muro un poco más alto que la presa perteneciente al área de captación, este muro permite evacuar las aguas en una eventual creciente del río, en caso de que el caudal máximo sea superior al crecimiento normal del río.

✓ Metodología de diseño.

Datos. Este algoritmo trabaja con los datos que le suministran los algoritmos anteriores como el ancho del cauce (A_c), la longitud de la presa (L'), el caudal medio del río (Q_{medr}), el caudal máximo del río (Q_{maxr}), la altura total de la presa (h_{tp}), el ancho de del canal de aducción (B) y el ancho de los muros anterior y posterior al canal de aducción (s_o), las cuales son variables de tipo real, algunas ingresadas por el usuario en los algoritmos anteriores y otras procesadas por estos.

Solución.

El algoritmo:

- En primer lugar calcula el ancho total del vertedero de crecientes por medio de (Ec. (2.78) de Corcho Romero²⁰):

$$L_{vc} = A_c - L' \quad [33]$$

- Verifica si es realmente necesario el vertedero de crecientes si es así continua al siguiente paso del respectivo ciclo, de lo contrario quiere decir que en la bocatoma no existe un vertedero de crecientes y continua al siguiente paso del ciclo principal.
- En este caso la altura de la lámina de agua que pasa sobre el vertedero de crecientes, “se iguala a la altura de la lámina de agua que pasa por un metro lineal de vertedero, teniendo en cuenta que según un ejemplo sobre el tema del libro Corcho Romero, para hallar la altura de agua, se utiliza una tabla de descarga máxima por metro lineal de cresta de vertedero”²¹ y el caudal de

²⁰ CORCHO ROMERO y Duque Serna. Acueductos teoría y diseño. Universidad de Medellín: Centro general de investigaciones, 1993. p.112

²¹ Ibid., p. 112-116

crecida sobre dicho elemento con el que se entra a esta tabla, es igual al caudal medio del río, por lo tanto se utiliza la ecuación de Francis:

$$H_{med} = \left(\frac{Q_{medr}}{1.84 * L'} \right)^{\frac{2}{3}} \quad [34]$$

- Calcula la altura de la lámina de agua (H_c) cuando se produce la crecida de diseño pero ahora sobre la presa central, entonces se tiene por simple regla de tres:

$$H_c = \left(\frac{L' * H_{med}}{1} \right) + H_{med} \quad [35]$$

- Ahora obtiene calcula despejando de la fórmula de Francis, el caudal en el vertedero central cuando se produce la crecida de diseño (Q_c):

$$Q_c = 1.84 * L' * H_c^{\frac{3}{2}} \quad [36]$$

- Igualmente se calcula el Caudal que pasa por el vertedero de crecientes cuando se produce la crecida de diseño (Q_{vc}):

$$Q_{vc} = 1.84 * L_{vc} * H_{med}^{\frac{3}{2}} \quad [37]$$

- Calcula el caudal total (Q_t) sumando los caudales que pasan tanto por el vertedero central como el vertedero de crecientes:

$$Q_t = Q_c + Q_{vc} \quad [38]$$

- Ahora verifica que el caudal total (Q_t) sea mayor o igual que el caudal máximo del río (Q_{maxr}) si es así, el proceso continúa al siguiente paso, si no es el caso, el vertedero de crecientes debe ser rediseñado y el usuario debe ingresar una longitud (L_{vc}) mayor, por esta razón el cauce del río (A_c) cambia al sumarse la nueva longitud (L_{vc}) más la longitud de la presa (L').
- Calcula la altura total del muro dique (H_{tp}) sumando la altura total del muro dique (h_{tp}) más la diferencia de la carga en el vertedero central cuando se produce la crecida de diseño (H_c) menos la carga sobre un metro de cresta de vertedero (H_{med}). Después pasa al siguiente paso del ciclo principal.
- Por último calcula el ancho del muro dique o presa (A_p) sumando el ancho del canal (B) más dos veces el espesor de los muros anterior y posterior (S_o).

- ✓ **Ejemplo de cálculo.** Se continúa con el ejemplo y se toman los datos de la fuente en común.

Datos.

El ancho del cauce (**Ac**) de la fuente es de 3m.
La longitud de la presa (**L'**) se determinó en 0.99m.
El caudal medio del río (**Qmedr**) es 0.7m³/s.
El caudal máximo del río (**Qmaxr**) es 2m³/s.
La altura de la presa central (**htp**) es de 1.2m.
El ancho de canal (**B**) es 0.46m.
El espesor de los muros anterior y posterior al canal de aducción es 0.10m.

Solución.

Se calcula la longitud del vertedero de crecientes (Lvc):

$$Lvc = 3 - 0.99 = 2.01m$$

Verificación Lvc≠0, lo que quiere decir que si hay un vertedero de crecientes.

Se calcula la carga sobre un metro de cresta de vertedero (Hmed), esto representa una creciente de diseño:

$$Hmed = \left(\frac{0.7}{1.84 * 0.99} \right)^{\frac{2}{3}} = 0.53m$$

Con lo anterior se calcula la carga en el vertedero central cuando se produce la creciente de diseño:

$$Hc = \left(\frac{0.99 * 0.53}{1} \right) + 0.53 = 1.05m$$

Despejando de la formula de Francis y utilizando la carga sobre el vertedero central se encuentra el caudal en el vertedero central cuando se produce la creciente de diseño (Qp):

$$Qc = 1.84 * 0.99 * (1.05)^{\frac{3}{2}} = 1.96 m^3/s$$

De la misma manera se calcula el Caudal que pasa por el vertedero de crecientes (**Qvc**) cuando se produce la creciente de diseño:

$$Qvc = 1.84 * 2.01 * (0.53)^{\frac{3}{2}} = 1.42 m^3/s$$

Luego se encuentra el caudal total (Qt) que puede evacuar el dique:

$$Q_t = (1.42 + 1.96)m^3/s = 3.38m^3/s$$

El caudal total que evacua el dique cuando se produce la crecienta de diseño (Q_t) es mayor que el caudal máximo del río (Q_{maxr}):

$$Q_t \geq Q_{maxr} \rightarrow \frac{3.38m^3}{s} \geq \frac{2m^3}{s} O.K$$

Se calcula la altura total del vertedero de crecientes (H_{tp}):

$$H_{tp} = 1.2 + (1.05 - 0.53) = 1.72m$$

Por último se calcula el ancho de la presa o muro dique (A_p):

$$A_p = 0.46 + (2 * 0.10) = 0.66m$$

- ✓ **Diagrama de flujo.** En la figura 51, se indica el diagrama de flujo, diseño de vertedero de crecientes.

Listado de variables

Lvc: Longitud del vertedero de crecientes.

AC: Ancho de cauce.

L': Longitud o ancho de la presa corregida.

Hmed: Es la carga sobre un metro de cresta de vertedero cuando se presenta el caudal medio en el río y que representa una crecienta de diseño.

Qmedr: Caudal medio del río.

Hc: Es la carga en el vertedero central cuando se produce la crecienta de diseño.

Qc: Caudal en el vertedero central cuando se produce la crecienta de diseño.

Qvc: Caudal que pasa por el vertedero de crecientes cuando se produce la crecienta de diseño.

Qt: Es el caudal total que puede evacuar el dique.

htp: altura de la presa central (ingresada por el usuario).

Htp: Altura del vertedero de crecientes.

Ap: Ancho de la presa.

B: Es el ancho del elemento a utilizar en la captación ya sea lámina perforada o rejilla.

So: Espesor de los muros anterior y posterior.

✓ Pseudocódigo

{El algoritmo determina si hay o no vertedero de crecientes y de ser así calcula sus dimensiones}

1. ← Hacer Hmed $(Q_{medr}/(1.84*L'))^{2/3}$
2. ← Hacer Hc $((L'*Hmed)/1)+Hmed$
3. ← Hacer Qc $1.84*L'*(Hc^{3/2})$
4. ← Hacer Lvc $Ac-L'$
5. Si($Lvc \leq 0$)
 Entonces
 5.1 Si (desea utilizar vertedero de crecientes?) Entonces
 5.1.1 Leer Lvc ← Valor 'Se asigna un valor a la variable Lvc '
 5.1.2 Hacer Ac ← $Lvc+L'$
 5.1.3 Hacer Qvc ← $1.84*Lvc*(Hmed^{3/2})$
 5.1.4 Hacer Qt ← $Qvc + Qc$
 5.1.5 Mientras ($Qt < Q_{max}$) Repetir.
 5.1.5.1.1 Volver al paso 5.1.1
 5.1.6 {Fin del condicional 5.1.5}
 5.1.7 Hacer Htp ← $htp+(Hc-Hmed)$
 5.1.8 Escribir "Lvc", "Ac", "Htp", "Qvc", "Qt"
 5.2 {Fin del condicional 5.1}
 Sino
 5.3 ~~Hacer~~ Qvc $1.84*Lvc*(Hmed^{3/2})$
 5.4 ~~Hacer~~ Qt $Qvc + Qc$
 5.5 Mientras ($Qt < Q_{max}$) Repetir.
 5.5.1 Leer Lvc ← Valor 'Se asigna un valor a la variable Lvc '
 5.5.2 Hacer Ac ← $Lvc+L'$
 5.5.3 Volver al paso 5.3
 5.6 {Fin del condicional 5.5}
 5.7 Hacer Htp ← $htp+(Hc-Hmed)$
 5.8 Escribir "Lvc", "Ac", "Htp", "Qvc", "Qt"
6. {Fin del condicional 5}
7. Hacer Ap ← $B+2So$
8. Escribir "Ap", "Hmed", "Hc", "Qc"

Figura 52. Vista frontal del vertedero

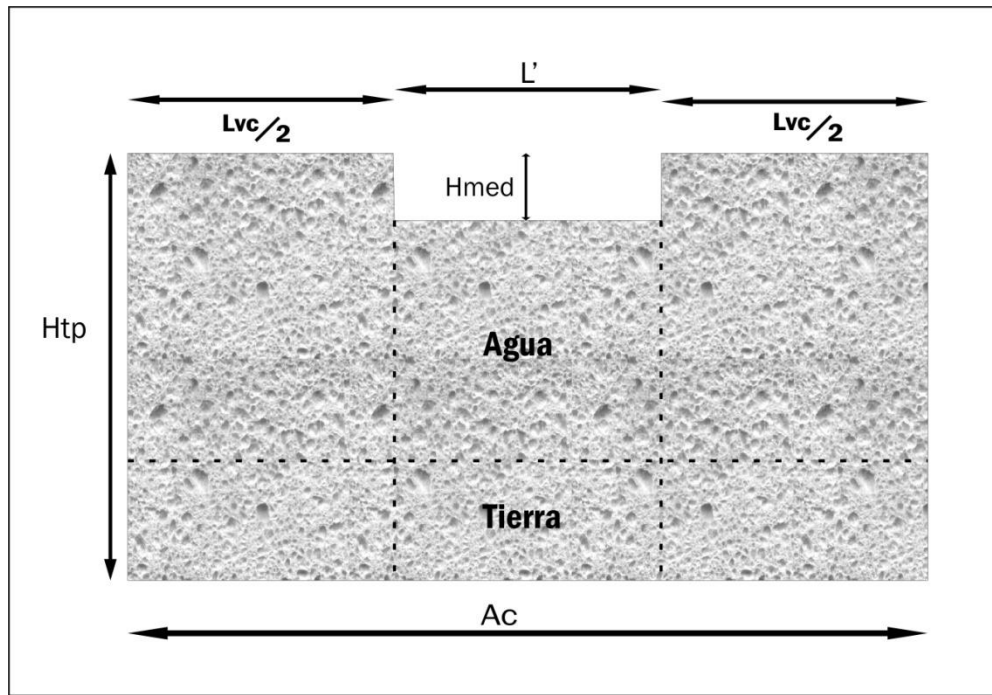
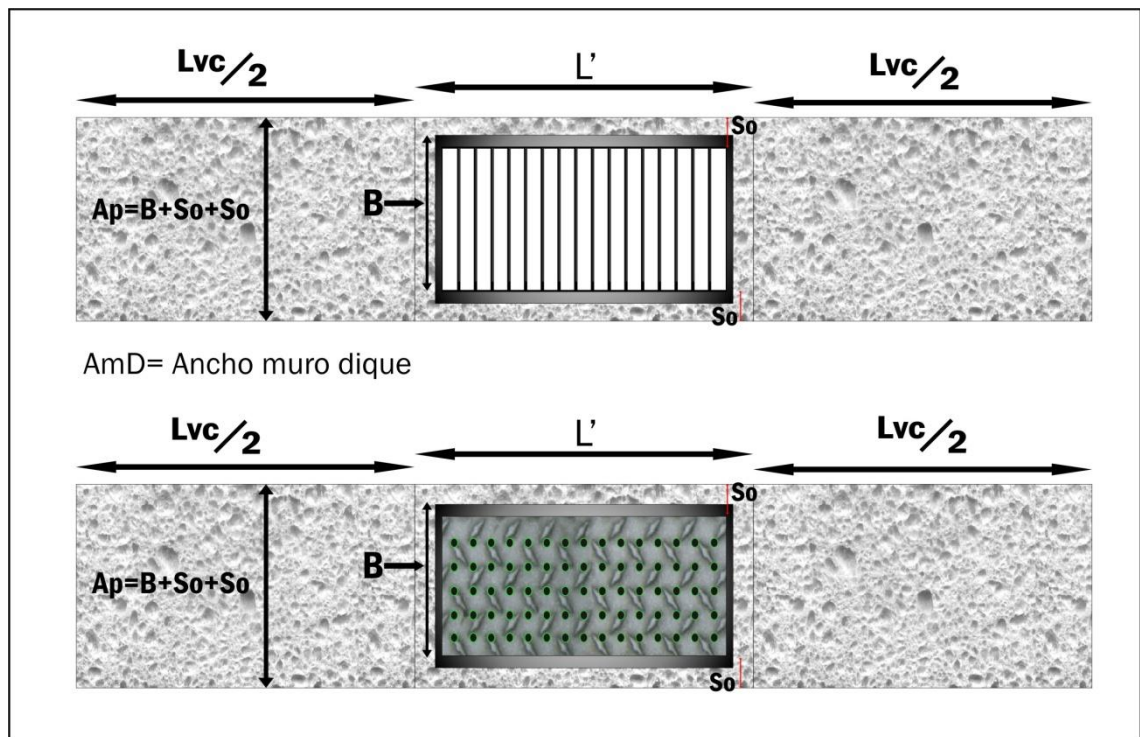


Figura 53. Vista en planta del vertedero con rejilla y planta



✓ **Pantalla de datos**

En la figura 54, 55, 56, se indica la pantalla de datos, obras de captación.

Figura 54. Pantalla de datos, diseño de vertedero de crecientes en caso de que $Lvc \leq 0$

Diseño de Vertedero de crecientes en caso de que $Lvc \leq 0$

OBRAS DE CAPTACIÓN

¿Desea utilizar vertedero de crecientes?

Si No

Ingrese Longitud del vertedero de crecientes "Lvc"

Lvc =

Ingresar

La longitud del vertedero Lvc, no cumple con la condición de caudales, Ingrese otra

RESULTADOS

Longitud del vertedero de crecientes	Lvc =
Ancho del cauce	Ac =
Altura del vertedero de crecientes	Htp =
Caudal sobre el vertedero de crecientes cuando se produce crecienta de diseño	Qvc =
Caudal total que evacua el dique	Qt =
Ancho de la presa	Ap =
Carga por metro lineal sobre la cresta cuando se presenta el caudal medio en el río	Hmed =
Carga sobre vertedero central cuando se produce crecienta de diseño	Qc =

Figura 55. Pantalla de datos, diseño de vertedero de crecientes en caso de que $L_{vc} \leq 0$

Diseño de Vertedero de crecientes en caso de que $L_{vc} \leq 0$

OBRAS DE CAPTACIÓN

¿Desea utilizar vertedero de crecientes?

Si No

RESULTADOS

Ancho de la presa	Ap=
Carga por metro lineal sobre la cresta cuando se presenta el caudal medio en el río	Hmed =
Carga sobre vertedero central cuando se produce crecienta de diseño	Qc =

Figura 56. Pantalla de datos, diseño de vertedero de crecientes en caso de que $L_{vc} > 0$

Diseño de Vertedero de crecientes en caso de que $L_{vc} > 0$

OBRAS DE CAPTACIÓN

La longitud del vertedero L_{vc} , no cumple con la condición de caudales, ingrese una nueva longitud

Ingrese Longitud del vertedero de crecientes "Lvc"

Lvc =

RESULTADOS

Longitud del vertedero de crecientes	Lvc=
Ancho del cauce	Ac =
Altura del vertedero de crecientes	Htp =
Caudal sobre el vertedero de crecientes cuando se produce crecienta de diseño	Qvc =
Caudal total que evacua el dique	Qt =
Ancho de la presa	Ap=
Carga por metro lineal sobre la cresta cuando se presenta el caudal medio en el río	Hmed =
Carga sobre vertedero central cuando se produce crecienta de diseño	Qc =

d. Diseño del canal rectangular de aducción

✓ Fundamento teórico.

Canal de aducción. Recibe las aguas a través de la rejilla y entrega el agua captada a la cámara de recolección. Tiene una pendiente entre el 1 y 14%, con el fin de dar una velocidad mínima adecuada y segura para realizar las labores de mantenimiento. La sección de este canal puede ser rectangular o semicircular. Aun cuando la sección semicircular es la más eficiente desde el punto de vista de funcionamiento hidráulico, la sección rectangular es más fácil de construir, es por eso que en este trabajo se utiliza solo para canales de aducción rectangulares.

✓ Metodología de diseño

Datos.

Para este algoritmo el usuario debe ingresar datos como (Em), (i), y (dpr) que están explicados mas adelante y los cuales son unas variables de tipo real.

Las otras variables como el caudal de diseño (Q), el ancho del canal (B), la longitud de la rejilla (Lr), el desfase (D) entre el muro anterior al canal de aducción y el muro posterior a este y la cota del fondo del rio (Cotfr), son datos que se vienen de los diferentes cálculos en los algoritmos anteriores.

El algoritmo.

- Pide al usuario que ingrese los datos como el espesor del muro lateral (Em), dato el cual debe ser supuesto, ya que no se conoce el espesor del muro de contención, este dato debe ser corregido para tener una mejor exactitud en la longitud del canal de aducción, la pendiente del fondo del canal (i) la cual debe estar entre 1 y 14 % según Lopez Cualla²² y la distancia de la posición de la presa central que contiene a la rejilla de derecha a izquierda (dpr) según como se desee.
- Evalúa que la pendiente del fono del canal (i) ingresada por el usuario, esté dentro del rango estipulado, de no ser así, pide al usuario ingresarla nuevamente hasta ser aceptada.
- Pasa la pendiente de porcentaje a metros, queriendo decir esto que por cada metro que avance el canal en el sentido horizontal, este se desplaza hacia abajo el nuevo valor de (i) en metros.

²² LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueducto y alcantarillados. 2 ed. Editorial escuela colombiana de ingeniería, p. 96

- Calcula la profundidad crítica (h_c) de acuerdo a (López Cualla²³ la siguiente Expresión:

$$h_c = \left(\frac{Q^2}{gB^2} \right)^{\frac{1}{3}} \quad [39]$$

e Iguala la profundidad crítica (**hc**) y la profundidad del agua en el canal de aducción aguas abajo (**he**), para que la entrega a la cámara de recolección se haga en descarga libre.

- Calcula la longitud del canal de aducción:

$$L_c = L_r + E_m + d_{pr} + \left(\frac{L_s}{2} \right) \quad [40]$$

- Calcula la profundidad aguas arriba del canal de aducción dada en m (**ho**), por medio de (López Cualla Ec.(6.13) pag 99) la expresión:

$$h_o = \left[2h_s^2 + \left(h_s - \frac{iL_c}{3} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} - \frac{2}{3} iL_c \quad [41]$$

- Calcula la altura del muro anterior en la parte superior del canal de aducción (**Ho**):

$$H_o = h_o + BL \quad [42]$$

- Calcula la altura del muro anterior en la parte inferior del canal de aducción (**He**):

$$H_e = H_o + iL_c \quad [43]$$

- Se calcula la diferencia entre (**Ho**) y (**He**) que corresponde a (**T**).

$$T = H_e - H_o \quad [44]$$

- Luego calcula la velocidad del agua al final del canal de aducción (**Ve**):

$$V_e = \frac{Q}{B \times h_e} \quad [45]$$

- Verifica la velocidad al final del canal (**Ve**) ya que para que las ecuaciones de dimensionamiento en la cámara de recolección sean válidas esta velocidad debe estar entre 0.3m/s y 3m/s según López Cualla²⁴.

²³ LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueducto y alcantarillados. 2 ed. Editorial escuela colombiana de ingeniería, p. 100

²⁴ Ibid.

- Calcula la altura del muro posterior del canal de aducción aguas arriba (H_{omp}) y la altura del muro posterior del canal de aducción aguas abajo (H_{emp})

$$H_{omp} = H_o - D \quad [46]$$

$$H_{emp} = H_e - D \quad [47]$$

- Calcula la cota superior del canal de aducción (**CotscA**) y la cota en el fondo del rio (**CoticA**):

$$CotscA = Cotfr - H_o \quad [48]$$

$$CoticA = Cotfr - H_e \quad [49]$$

- Por último el algoritmo muestra al usuario los resultados obtenidos de H_o , H_e , V_e , i , **CotscA** y **CoticA**.

✓ Ejemplo de cálculo

Datos.

El espesor del muro (E_m) es estimado en 0.30m.

La pendiente deseada es del 8%.

Se desea que la presa quede en el centro del muro dique o sea a (**Lvc/2**) por lo tanto de acuerdo al ejemplo global del presente trabajo la distancia es = 2.01m.

Los anteriores datos deben ser suministrados por el usuario.

El caudal de diseño es = 0.037219m³/s.

El ancho de canal (**B**) es 0.46m.

La longitud de la rejilla (**Lr**) es 0.86m.

La longitud sobrante entre el borde izquierdo y el derecho entre la rejilla y el vertedero de excesos es 0.13m.

El desfase entre el muro posterior y el muro anterior al canal de aducción (**D**) es 0.08m.

Solución.

Se verifica si la pendiente (**i**) ingresada cumple con la condición:

$$1 \leq i \leq 14 \rightarrow 1 \leq 8 \leq 14 \text{ OK.}$$

Se pasa la pendiente (**i**) de porcentaje a metros:

$$i = \frac{8}{100} = 0.08m$$

Se calcula la profundidad crítica:

$$h_c = \left(\frac{0.037219}{9.81 * 0.46^2} \right)^{\frac{1}{3}} = 0.2612m$$

Ahora se hace $h_c = h_e \rightarrow h_e = 0.2612m$.

Se calcula la longitud del canal (L_c):

$$L_c = 0.86 + 0.30 + 2.01 + \left(\frac{0.13}{2} \right) = 3.235m$$

Con lo anterior se calcula (h_o):

$$h_o = \left[2 * (0.2612^2) + \left(0.2612 - \frac{0.08 * 3.235}{3} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} - \left[\left(\frac{2}{3} \right) * 0.08 * 3.235 \right] = 0.2362m$$

Se calcula (H_o), (H_e) y (T):

$$H_o = (0.2362 + 0.15)m = 0.3862m$$

$$H_e = (0.3862 + (0.08 * 3.235))m = 0.645m$$

$$T = 0.645 - 0.3862 = 0.258m$$

Se calcula la Velocidad del agua al final del canal de aducción (V_e):

$$V_e = \left(\frac{0.037219}{0.46 * 0.2612} \right) = 0.31m/s$$

Verificando la velocidad se tiene:

$$0.3 \frac{m}{s} \leq V_e \leq 3 \frac{m}{s} \rightarrow 0.3 \frac{m}{s} \leq 0.31 \frac{m}{s} \leq 3 \frac{m}{s} \quad OK.$$

Se calcula también:

$$H_{omp} = (0.3862 - 0.08)m = 0.3062m$$

$$H_{emp} = (0.645 - 0.08)m = 0.565m$$

Se calculan las cotas respectivas en el canal de aducción tanto la cota superior del canal de aducción (CotscA) como la cota inferior (Cotica):

$$CotscA = (100 - 0.3862)m = 99.614m$$

$$Cotica = (100 - 0.645)m = 99.355m$$

Por último se muestran los resultados obtenidos:

$$H_o = 0.3862m$$

$$H_e = 0.645m$$

$$T = 0.258m$$

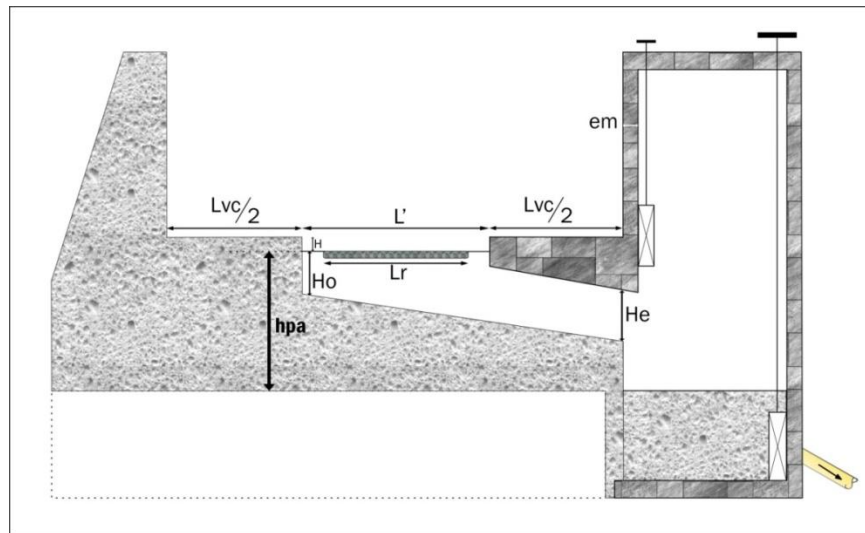
$$V_e = 0.31m/s$$

$$i = 0.08m$$

$$CotscA = 99.614m$$

$$Cotica = 99.355m$$

Figura 57. Canal rectangular de aducción (vista frontal)



Fuente: LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Cálculo de cotas

✓ **Diagrama de flujo.** En la figura 58, se indica el diagrama de flujo, canal rectangular de aducción.

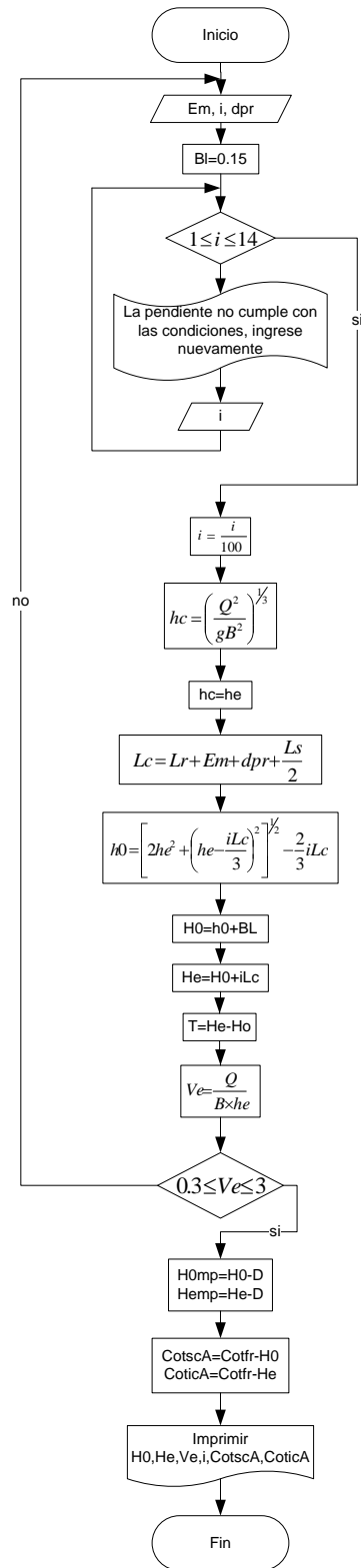
Listado de variables

Em: Espesor del muro lateral.

i: Pendiente del canal de aducción expresado en porcentaje.
Bl: borde libre en el interior del canal de aducción.
hc: Profundidad crítica.
he: profundidad del agua en el canal de aducción aguas abajo.
Lc: Longitud del canal de aducción.
Lr: Longitud de la rejilla.
ho: profundidad aguas arriba del canal de aducción dada en m.
Ho: Altura del muro anterior en la parte superior del canal de aducción.
He: Altura del muro anterior en la parte inferior del canal de aducción.
T: desnivel de la parte derecha del muro anterior (**He**) con respecto a la parte izquierda (**Ho**) del mismo.
Ve: Velocidad del agua al final del canal de aducción.
Homp: Altura del muro posterior del canal de aducción aguas arriba.
Hemp: Altura del muro posterior del canal de aducción aguas abajo.
CotscA: Cota superior del canal de aducción.
CoticA: Cota inferior del canal de aducción.
Cotfr: Cota en el fondo del rio.
htp: Altura total de la presa.
D: Es la diferencia de altura vertical entre el muro anterior y el muro posterior del canal rectangular de aducción.
dpr: distancia de la posición de la presa que contiene a la rejilla de derecha a izquierda.
Q: Caudal de diseño.

Figura 58. Canal rectangular de aducción

Canal rectangular de aducción



✓ Pseudocódigo

{El algoritmo calcula las dimensiones de los elementos que componen el canal de aducción}

1. Mientras que $(0.3 > Ve > 3)$ Repetir:
 - 1.1 Leer Em ← Valor 'Se asigna un valor a la variable Em'
i ← Valor 'Se asigna un valor a la variable i'
Escribir la pendiente no cumple con las condiciones, ingrese nuevamente
dpr ← Valor 'Se asigna un valor a la variable dpr'
 - 1.2 Hacer Bl ← 0.15
 - 1.3 Mientras que $(1 > i > 14)$ Repetir:
Leer i ← Valor 'Se asigna un valor a la variable i'
{Fin del condicional 2.}
 - 1.4 Hacer i ← $i/100$
 - 1.5 Hacer hc ← $(Q^2 / (g * B^2))^{1/3}$
 - 1.6 Hacer hc ← he
 - 1.7 Hacer Lc ← $Lr + Em + dpr + 0.10$
 - 1.8 Hacer ho ← $[(2he)^2 + (he - (iLc/3))^2]^{1/2} - ((2/3) * iLc)$
 - 1.9 Hacer Ho ← $ho + Bl$
 - 1.10 Hacer He ← $Ho + iLc$
 - 1.11 Hacer T ← $He - Ho$
 - 1.12 Hacer Ve ← $Q / (B * he)$
2. {Fin del condicional 1.}
3. Hacer Homp ← $Ho - D$
Hemp ← $He - D$
4. Hacer CotscA ← $Cotfr - Ho$
CoticA ← $Cotfr - He$
5. Imprimir ← Ho, He, Ve, CotscA, CoticA.

Figura 59. Corte canal rectangular de aducción (Aguas arriba)

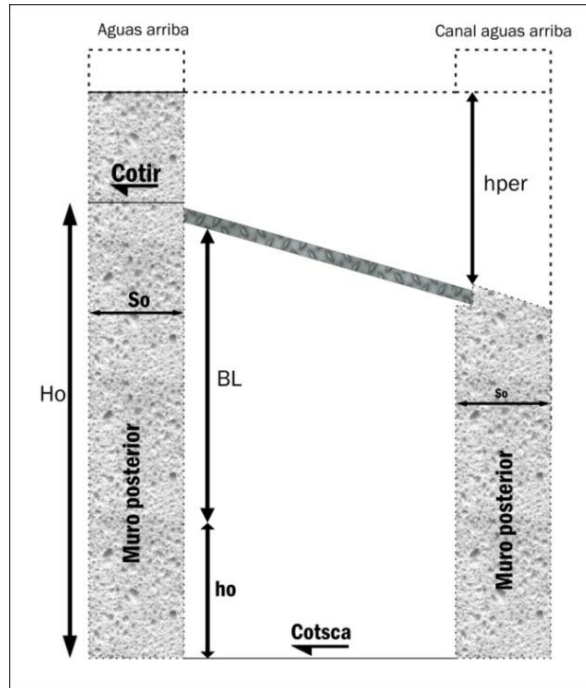


Figura 60. Corte canal rectangular de aducción (aguas abajo)

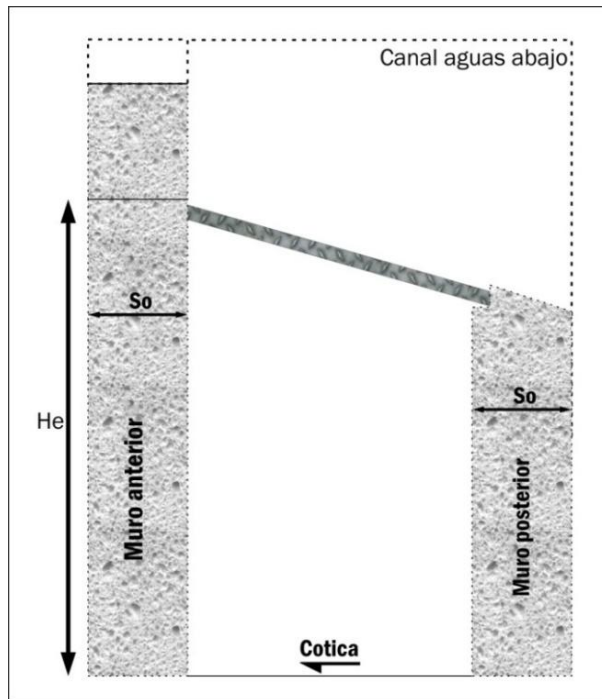
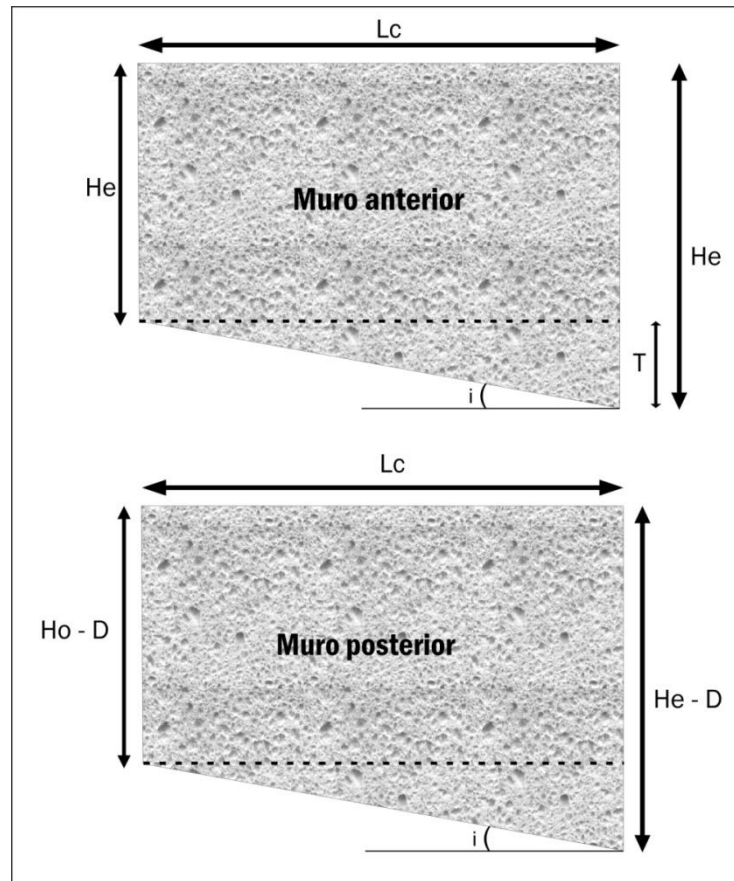


Figura 61. Vista frontal muro anterior y posterior del canal rectangular de aducción



- ✓ **Pantalla de datos.** En la figura 62, se indica la pantalla de datos, obras de captación.

Figura 62. Pantalla obras de captación, canal rectangular de aducción

Canal rectangular de aducción

OBRAS DE CAPTACIÓN

Ingresar

Espesor del muro lateral "Em"
Em =

Pendiente del canal de aducción expresado en porcentaje "i"
i =

distancia de la posición de la presa que contiene a la rejilla de derecha a izquierda "dpr"
dpr =

Ingresar

La pendiente "i" no cumple con las condiciones, ingrese nuevamente

RESULTADOS

Altura del muro anterior en la parte superior del canal de aducción Ho =
Altura del muro anterior en la parte inferior del canal de aducción He =
Velocidad del agua al final del canal de aducción Ve =
Cota superior del canal de aducción Cotsca =
Cota inferior del canal de aducción CoticA =

e. **Diseño de la cámara de recolección y cálculo de la altura de los muros de contención**

✓ **Fundamento teórico.**

Cámara de recolección. Generalmente es cuadrada o rectangular, con muros en concreto reforzado cuyo espesor puede ser de 30 centímetros y su altura igual a la de los muros laterales.

En su interior se encuentra un vertedero de excesos lateral, que entrega el agua a una tubería de excesos que regresa en agua al cauce. Hay que dejar una tapa en la placa superior y una escalera para el acceso del personal de mantenimiento.

✓ Metodología de diseño

Datos.

Los datos que deben ser ingresadas por el usuario son simplemente el borde libre de la cámara del muro de contención (BLm), la longitud de la cámara de recolección (Lcr) y las pérdidas (HP), estas son variables de tipo real. Los otros datos con los que se procesa el dimensionamiento de la cámara de recolección son datos calculados en los anteriores algoritmos del presente trabajo, variables como (Ve), (he), (Cotfr), (CoticA), (Qmedr), (Htp) y (Ac) las cuales están explicadas mas adelante.

El algoritmo.

- En primera instancia pide al usuario ingresar el borde libre del muro de contención.
- Establece un borde libre para la cámara de recolección de 0.15m.
- Se calcula (Xs) y (Xi). Se aplican las ecuaciones de López Cualla²⁵, del alcance de un chorro de agua, reemplazando los términos por los de la condición de entrada a la cámara:

$$Xs = 0.36Ve^{\frac{2}{3}} + 0.60he^{\frac{4}{7}} \quad [50]$$

$$Xi = 0.18Ve^{\frac{4}{7}} + 0.74he^{\frac{3}{4}} \quad [51]$$

- Calcula la longitud o ancho de la cámara de recolección (Bcam).

$$Bcam = Xs + 0.30 \quad [52]$$

- Se verifica el ancho de la cámara de recolección (Bcam) teniendo en cuenta aunque se requieren los cálculos hidráulicos para establecer las condiciones mínimas de la cámara de recolección, es importante que las dimensiones de la cámara sean las mínimas necesarias para realizar un adecuado mantenimiento de esta y por lo tanto su ancho debe ser mínimo de 1.20m de lo contrario este algoritmo la establece como 1.20m.
- Pide al usuario ingrese el largo de la cámara de recolección (Lcr).

²⁵ LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueducto y alcantarillados. 2 ed. Editorial escuela colombiana de ingeniería, p. 101

- Verifica (Lcr) pero teniendo en cuenta el mismo criterio con el que se calcula (Bcam) pero (Lcr) debe tener mínimo 1.50m de lo contrario el algoritmo establece esta longitud como 1.50m.
- Pide al usuario que ingrese unas pérdidas (Hp) esta altura debe ser tal que cubra las pérdidas por entrada y fricción de la tubería de conducción entre bocatoma y desarenador. Como este diseño no se ha hecho hasta el momento, se supone un valor pero es necesario corregirlo cuando se lo obtenga el valor real de (Hp).
- Calcula la cota en el fondo del canal recolector (Cotfcr):

$$Cotfcr = CoticA - Blc - HP \quad [53]$$

- Calcula la altura de los muros de contención por medio de la expresión:

$$H = \left(\frac{Q}{1.84L} \right)^{\frac{2}{3}} + Blm \quad [54]$$

- Muestra los resultados de los cálculos de Xs, (Xi), (Bcam), (Lcr), (Cotfcr), (HP).

✓ Ejemplo de cálculo.

Datos. Los siguientes son el resultado del procesamiento del ejemplo global mediante los algoritmos respectivos.

Borde libre para el muro de contención (BLm) es 0.3m.

La Velocidad del agua al final del canal de aducción (Ve) es 0.31m/s.

La profundidad aguas abajo del canal de aducción es (he) es 0.2612m.

La cota en el fondo del canal de aducción (CoticA) es 99.355m.

El caudal medio del rio (Qmedr) es de 0.7m³/s.

El ancho del cauce (Ac) es 3,0m.

La altura total de la presa (Htp) es 1.72m.

Solución.

El borde libre en el muro de contención (BLm) se estima en 0.30m.

El algoritmo establece el borde libre de la cámara de recolección (BLc) en 0.15m.

Se calcula (Xs) y (Xi):

$$Xs = 0.36 * 0.31^{\frac{2}{3}} + 0.60 * 0.2612^{\frac{4}{7}} = 0.4435m$$

$$X_i = 0.18 * 0.31^{\frac{4}{7}} + 0.74 * 0.2612^{\frac{3}{4}} = 0.3625m$$

Con esto se halla el ancho de la cámara de recolección (Bcam):

$$B_{cam} = (0.4435 + 0.30)m = 0.7435m$$

Ahora se verifica el ancho de la cámara:

$$0.7435 \geq 1.20m \text{ no cumple}$$

Por lo tanto se establece que Bcam = 1.20.

Se quiere construir una cámara con un largo (Lcr) de 1.50m.

Entonces se verifica la longitud del largo de la cámara:

$$1.50m \geq 1.50m \text{ OK.}$$

Se supone unas pérdidas en la aducción de la bocatoma al desarenador (HP) de 0.60m.

Se calcula Cotfcr:

$$Cotfcr = (99.355 - 0.15 - 0.60)m = 98.605m$$

Ahora se calcula la altura de los muros de contención (Hm):

$$Hm = \left(\frac{0.7}{1.84 * 3} \right)^{\frac{2}{3}} + 0.3 + 1.72 = 2.27m$$

Por último se imprime los resultados:

Xs=0.4435m.

Xi=0.3625m.

Bcam=0.7435m.

Lcr=1.50m.

Cotfcr=98.605m

Hm=2.27m

- ✓ **Diagrama de flujo.** En la figura 63, se indica el diagrama de flujo, diseño de la cámara de recolección y cálculo de la altura de los muros de contección.

Listado de variables

Blc: Borde libre en la cámara de recolección.

Blm: Borde libre en el muro de contención.

Xs: Alcance del filo superior del chorro (m).

Xi: Alcance del filo inferior del chorro (m).

Bcam: Ancho de la cámara de recolección.

Lcr: Longitud o largo de la cámara de recolección.

HP: Pérdidas en la aducción de la bocatoma al desarenador (Valor supuesto por el usuario y que deberá ser corregido al momento de hacer el diseño de la aducción).

Qmedr: Caudal medio del río.

Cotfcr: Cota en el fondo de de la cámara de recolección.

Hm: Altura de los muros de contención teniendo en cuenta el caudal máximo del río en la garganta de la bocatoma.

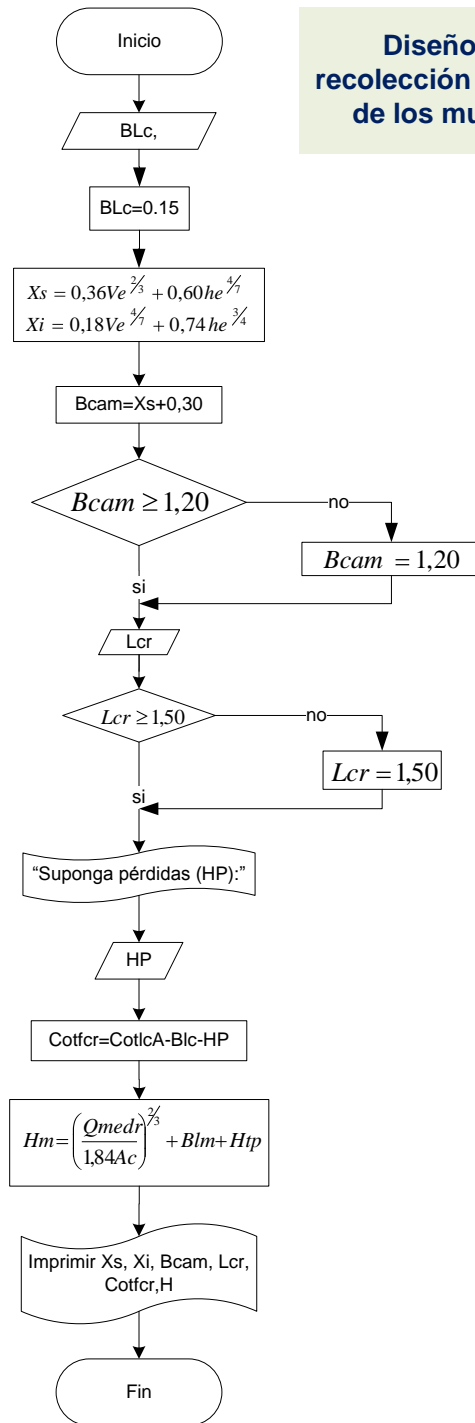
Ac: Ancho del cauce.

Ve: Velocidad del agua al final del canal de aducción.

he: profundidad del agua en el canal de aducción aguas abajo.

http: Altura total de la presa.

Figura 63. Diseño de la cámara de recolección y cálculo de la altura de los muros de contención



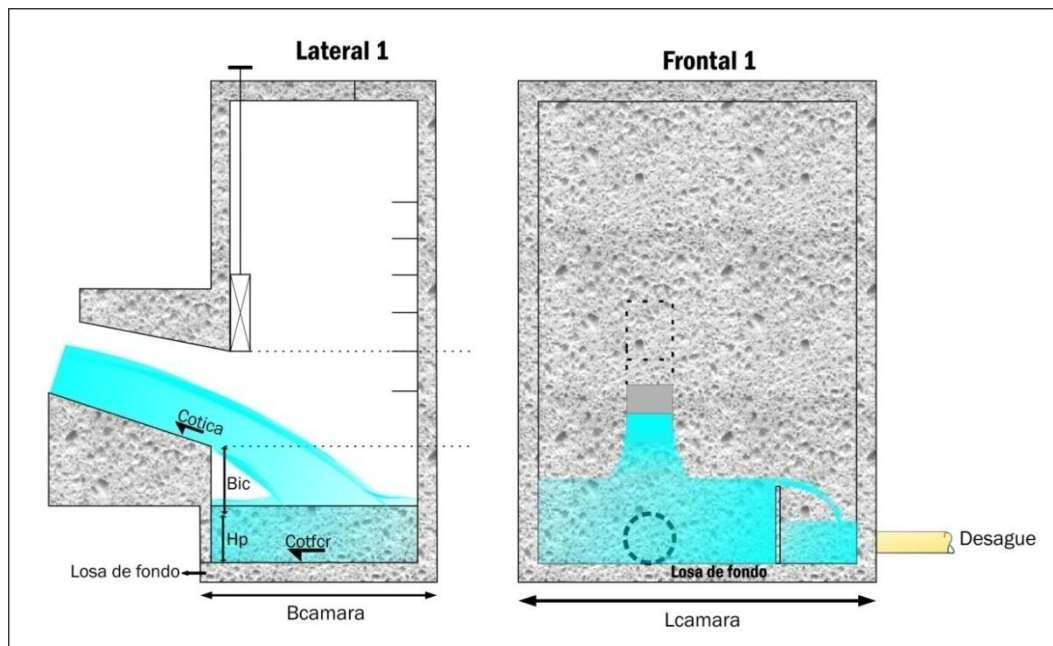
Diseño de la cámara de recolección Y Cálculo de la altura de los muros de contención

✓ **Pseudocódigo**

{El algoritmo calcula las dimensiones transversales de la cámara de recolección y la altura del muro de contención}

1. Leer B_{Lm} ← Valor 'Se asigna un valor a la variable B_{Lm} '
2. Hacer B_{Lc} ← 0.15.
3. Hacer X_s ← $0.3 \cdot (V_e^{2/3}) + 0.60 \cdot (h_e^{4/7})$
 X_i ← $0.18 \cdot (V_e^{4/7}) + 0.74 \cdot (h_e^{3/4})$
4. Hacer B_{cam} ← $X_s + 0.30$
5. Si ($B_{cam} < 1.20$) Entonces
 Hacer B_{cam} ← 1.20
 {Fin del condicional 4}
6. Leer L_{cr} ← Valor 'Se asigna un valor a la variable L_{cr} '
7. Si ($L_{cr} < 1.50$) Entonces
 Hacer L_{cr} ← 1.50
 {Fin del condicional 6}
8. Escribir 'Suponga pérdidas HP'
9. Leer HP ← Valor 'Se asigna un valor a la variable HP'
10. Hacer Cot_{fcr} ← $Cot_{lca} - B_{lc} - HP$
11. Hacer H_m ← $((Q_{medr} / 1.84 A_c)^{2/3}) + B_{lm} + H_{tp}$.
12. Escribir ' X_s ', ' X_i ', ' B_{cam} ', ' L_{cr} ', ' Cot_{fcr} ', ' H '.

Figura 64. Vistas cámara de recolección



- ✓ **Pantallas de datos.** En la figura 65, se indica la pantalla de datos, obras de captación.

Figura 65. Pantalla de diseño de la cámara de recolección y cálculo de la altura de los muros de contención

Diseño de la cámara de recolección Y Cálculo de la altura de los muros de contención

OBRAS DE CAPTACIÓN

Ingrese Borde libre en la cámara de recolección "Bic"

Bic =

Ingrese Longitud o largo de la cámara de recolección "Lcr"

Lcr =

"Suponga pérdidas (HP):"

Pérdidas en la aducción de la bocatoma al desarenador "HP"

HP =

IMPRIMIR

Alcance del filo superior del chorro (m)	Xs =
Alcance del filo inferior del chorro (m)	Xi =
Ancho de la cámara de recolección	Bcam =
Longitud o largo de la cámara de recolección	Lcr =
Cota en el fondo de de la cámara de recolección	Cotfcr =
Profundidad de la lámina de agua sobre la presa	H =

f. Cálculo del caudal de excesos

- ✓ **Fundamento teórico.** El caudal de excesos se determina teniendo en cuenta que sobre el elemento de captación (rejilla o lámina perforada) de la bocatoma pasará un caudal mayor que el caudal de diseño.

Se producirá entonces una lámina de agua superior a la de diseño. Por esta razón se coloca un vertedero sin contracciones laterales que servirá para separar el caudal de diseño del caudal de excesos. Para cumplir con lo anterior, la cota de la

cresta del vertedero debe coincidir con el nivel del agua necesario para conducir el caudal de diseño al desarenador.

En el diseño de la tubería de excesos, cuyo diámetro mínimo es de 6" (15,2cm), se ha de contemplar la pendiente disponible entre el fondo de la cámara y el punto escogido para la descarga. Este punto debe estar a 15 cm por encima del nivel máximo del río.

✓ Metodología de diseño

Datos.

Todos los datos con los que trabaja el algoritmo fueron calculados anteriormente por los algoritmos respectivos.

El algoritmo:

- Establece el coeficiente de descarga (C_d) perteneciente a la ecuación del caudal a través de un orificio.
- Calcula el caudal captado por el elemento de la bocatoma por medio de la ecuación del caudal a través de un orificio López Cualla²⁶:

$$Q_{\text{captado}} = C_d A_n \sqrt{2gH} \quad [55]$$

- Calcula el caudal de excesos, López Cualla²⁷:

$$Q_{\text{excesos}} = Q_{\text{captado}} - Q \quad [56]$$

- Mediante López Cualla²⁸ la siguiente expresión el algoritmo calcula (H_{exc}):

$$H_{exc} = \left(\frac{Q_{\text{excesos}}}{1.848 C_{am}} \right)^{\frac{2}{3}} \quad [57]$$

²⁶ LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueducto y alcantarillados. 2 ed. Editorial escuela colombiana de ingeniería, p. 103.

²⁷ Ibid.

²⁸ Ibid., pag 97.

- Calcula (**Vexc**):

$$Vexc = \frac{Q_{excesos}}{Hexc * Bcam} \quad [58]$$

- Ahora calcula según López Cualla²⁹ la siguiente expresión (**Xs**):

$$Xs = 0.36Vexc^{\frac{2}{3}} + 0.60Hexc^{\frac{4}{7}} \quad [59]$$

- Calcula la posición del vertedero (**Pv**):

$$Pv = Lcam - (Xs + 0.3) \quad [60]$$

- Muestra al usuario los resultados de (**Qcaptado**), (**Qexcesos**), (**Hexc**), (**Vexc**), (**Xs**) y (**Pv**).

✓ Ejemplo de cálculo.

En este algoritmo el usuario no debe ingresar ningún dato. Este trabaja solo con los datos del ejemplo global determinados por los algoritmos anteriores.

Datos.

La carga sobre el vertedero (**Hmed**) es 0.53m.

El área neta de la rejilla (**An**) es 0.29m².

El caudal de diseño (**Q**) es 0.037219m³/s.

El ancho de la cámara (**Bcam**) de recolección es 0.7435m.

La longitud de la cámara (**Lcr**) es 1.50m.

Solución.

El algoritmo hace que Cd=0.3.

Se calcula (**Qcaptado**):

$$Q_{captado} = 0.3 * 0.29 * \sqrt{2 * 9.81 * 0.53} = 0.28m^3/s$$

Con lo esto se calcula (**Qexcesos**):

$$Q_{excesos} = (0.28 - 0.037219) = 0.2427m^3/s$$

²⁹ LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueducto y alcantarillados. 2 ed. Editorial escuela colombiana de ingeniería, p. 98.

Ahora se calcula (**Hexc**):

$$Hexc = \left(\frac{0.2427}{1.84 * 0.7435} \right)^{\frac{2}{3}} = 0.3157m$$

Se calcula (**Vexc**):

$$Vexc = \left(\frac{0.2427}{0.3157 * 0.7435} \right) = 1.03m/s$$

Se Calcula el alcance del chorro de agua (**Xs**):

$$Xs = 0.36 * (1.03)^{\frac{2}{3}} + 0.60 * (0.3157)^{\frac{4}{7}} = 0.677m$$

Se calcula la posición del vertedero (**Pv**):

$$Pv = 1.50 - (0.677 + 0.3) = 0.523m$$

Por último el algoritmo arroja los resultados obtenidos:

$$Q_{captado} = 0.28m^3/s.$$

$$Q_{excesos} = 0.2427m^3/s.$$

$$Hexc = 0.3157m.$$

$$Vexc = 1.03m/s.$$

$$Xs = 0.677m.$$

$$Pv = 0.523m$$

- ✓ **Diagrama de flujo.** En la figura 66, se indica el diagrama de flujo, cálculo del caudal de excesos.

Listado de variables.

Cd: Coeficiente de descarga perteneciente a la ecuación del caudal a través de un orificio

Qcaptado: Caudal captado a través de la rejilla o lámina perforada.

Qexcesos: Caudal de excesos.

Hexc: Altura de la lámina de agua en el vertedero de excesos.

Vexc: Velocidad del flujo de excesos.

xs: Alcance del chorro (filo superior).

C: Coeficiente de descarga.

An: Área neta de la rejilla o de la lámina perforada.

Hmed: Es la carga sobre el vertedero central cuando se presenta el caudal medio en el río.

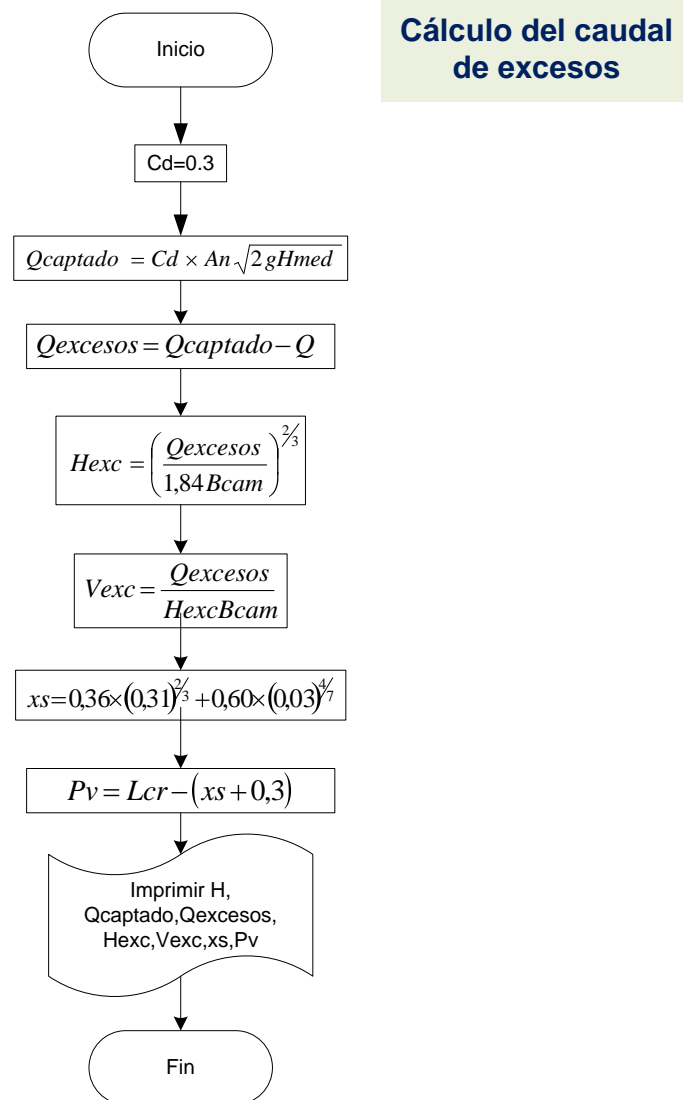
Q: Caudal de diseño (m³/s).

Bcam: Ancho de la cámara de recolección.

Lcr: Longitud de la cámara de recolección.

Pv: posición del vertedero de excesos con respecto a la pared aguas debajo de la cámara de recolección.

Figura 66. Cálculo del caudal de excesos



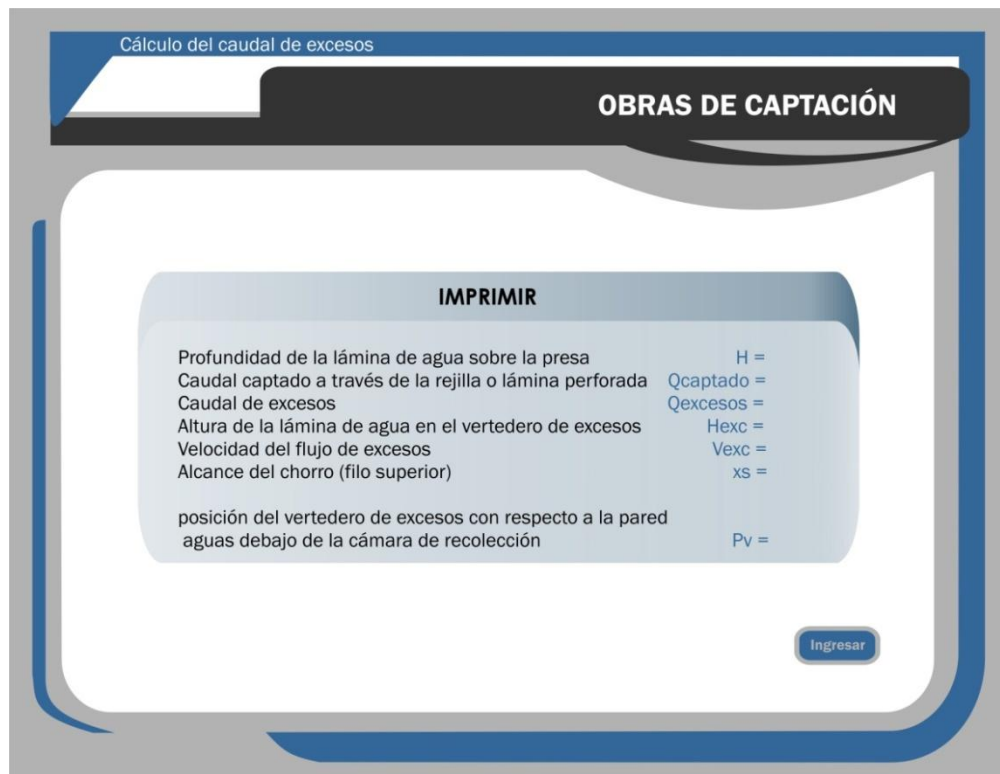
✓ **Pseudocódigo.**

{El algoritmo calcula el caudal de excesos y la posición de este en la cámara de recolección}

1. Hacer $Q_{\text{captado}} \leftarrow C \cdot A_n \sqrt{2gH_{\text{med}}}$
2. Hacer $Q_{\text{excesos}} \leftarrow Q_{\text{captado}} - Q$
3. Hacer $H_{\text{exc}} \leftarrow (Q_{\text{excesos}} / (1.84 \cdot B_{\text{cam}}))^{2/3}$
4. Hacer $V_{\text{exc}} \leftarrow Q_{\text{excesos}} / (H_{\text{exc}} \cdot B_{\text{cam}})$
5. Hacer $X_s \leftarrow 0.36 \cdot (V_{\text{exc}}^{2/3}) + 0.60 \cdot (H_{\text{exc}}^{4/7})$
6. Hacer $P_v \leftarrow L_{\text{cam}} - (X_s + 0.3)$
7. Escribir 'Hmed', 'Qcaptado', 'Qexcesos', 'Hexc', 'Vexc', 'Xs', 'Pv'.

- ✓ **Pantalla de datos.** En la figura 67, se indica la pantalla de datos, obras de captación.

Figura 67. Obras de captación



g. Diseño del perfil del aliviadero

✓ Fundamento teórico.

Vertedores de excedencias (aliviaderos). En el trazado de la sección transversal de las obras de excedencia se busca adoptar la forma más satisfactoria de perfil de agua teniendo en cuenta el flujo de la lámina vertiente. Se ha adoptado un vertedero central que permite el paso del gasto medio de la fuente superficial y un vertedero de crecida que permite el paso del gasto máximo estimado cuando se produce la creciente.

Las obras de excedencia pueden ser de diferentes formas, estas se seleccionan de acuerdo a la topografía del lugar, por la magnitud del caudal de diseño, por el costo y por las condiciones de la cimentación de la estructura. La forma ideal es la que favorece el caudal o descarga y que al mismo tiempo, impide la eventualidad de los efectos nocivos a la estructura, tales como vacío parcial de las pulsaciones de la vena, vibraciones, etc. El trazado de la cresta debe ser hecho para el caudal máximo esperado, o sea, para la mayor carga de diseño.

Para el caso de pequeñas obras de excedencias, en nuestro medio es frecuente utilizar vertederos de planta recta y perfil tipo Creaguer (WES), este vertedero se caracteriza por que adopta a partir de la sección de control la forma del flujo de agua³⁰.

✓ Metodología de diseño.

Los datos necesarios para el desarrollo del algoritmo son: Ancho del cauce (**Ac**), Altura del vertedero de crecientes (**Htp**) y caudal máximo del río (**Qmaxr**).

El algoritmo:

- En el presente trabajo se utilizará solo el vertedero tipo (WES) con la pendiente de la cara aguas arriba en forma vertical. Por lo tanto el algoritmo determina los exponentes de la ecuación del perfil (k) y (n) según la tabla 19.

³⁰ SALAZAR ROBERTO. Acueductos. Universidad de Nariño facultad de ingeniería, 2003. p. 85.

Tabla 19. Pendiente de la cara aguas arriba

Pendiente de la cara aguas arriba	K	n
Vertical	2.0	1.85
3 en 1	1.936	1.836
3 en dos	1.939	1.810
3 en tres	1.873	1.776

- Calcula según la ecuación de Francis la altura (Hd), la cual es determinada respecto al caudal máximo del río (Qmaxr) y al ancho del cauce (Ac). Según Corcho Romero³¹:

$$Hd = \left(\frac{Q_{maxr}}{1.84 \cdot Ac} \right)^{\frac{2}{3}} \quad [61]$$

- Calcula la velocidad del agua (V) en la cresta del vertedero cuando por este pasa el caudal máximo del río, por medio de la ecuación:

$$V = \frac{Q_{maxr}}{Ac \cdot Hd} \quad [62]$$

- Según Corcho Romero (Ha) es la altura o carga producida por la velocidad, se usa para tener en cuenta el efecto de la velocidad en la carga total sobre la cresta del vertedero respecto al caudal máximo en caso de cumplirse la condición $H_{tp}/Hd \leq 1.33$ de lo contrario, este efecto es despreciable. Se calcula la altura producida por la velocidad (Ha), según la siguiente ecuación:

$$Ha = \frac{v^2}{2g} \quad [63]$$

- Verifica según la siguiente relación si es necesario tener en cuenta el efecto de la velocidad (Ha) para determinar la altura total sobre el vertedero³²:

$$\frac{H_{tp}}{Hd} > 1.33 \quad [64]$$

Si se cumple la anterior relación el efecto de la velocidad (Ha) no se tendría en cuenta para determinar la altura total (Ht), de lo contrario si debería sumarse.

- En caso de que la altura producida por la velocidad se tenga en cuenta, es necesario volver a calcular la velocidad del agua (V) en la cresta del

³¹ CORCHO ROMERO y Duque Serna. Acueductos teoría y diseño. Universidad de Medellín: Centro general de investigaciones, 1993. 591 p.

³² Ibid., p. 86.

vertedero cuando por este pasa el caudal máximo del río, por medio de la ecuación:

$$V = \frac{Q_{maxr}}{Ac * Ht} \quad [65]$$

- Bajo los mismos aspectos Calcula la profundidad crítica (Yc) mediante la ecuación:

$$Yc = \sqrt{\frac{Q_{maxr}^2}{g * Ac^2}} \quad [66]$$

- Por consiguiente calcula la velocidad crítica (Vc) con la ecuación:

$$Vc = \sqrt{g * Yc} \quad [67]$$

- Verifica que la velocidad crítica sea mayor que la velocidad sobre la presa si es así el proceso continúa al siguiente paso, de lo contrario, es necesario aumentar el ancho del cauce.
- Para comenzar a trazar el perfil del aliviadero, se inicia con la coordenada X así que (X(l)=0) y el contador (l) se inicializa en 1.
- Se verifica si existe un punto de tangencia (PT), si es así, quiere decir que falta solo un punto para determinar el tramo de tangencia y así obtener la totalidad de los puntos del perfil del aliviadero, de lo contrario, el algoritmo sigue calculando las coordenadas del perfil (X(l) y y(l)).
- Por medio de la siguiente ecuación³³ calcula la coordenada y:

$$Y(l) = \frac{X(l)^{1.85}}{2 * HT^{0.85}} \quad [68]$$

Calcula la pendiente en porcentaje (ip(l)) y asigna a (PT) las coordenadas respectivas (x,y).

Si la pendiente (ip(l)) es mayor al 100% y por el momento no hay punto de tangencia entonces se asigna a estas coordenadas como el punto de tangencia (PT).

Luego se aumenta a X(l) de 0.10 en 0.10.

- Al haber calculado ya el punto de tangencia (PT), calcula el último punto que cierra el tramo de tangencia.
- Después de que todos los puntos del perfil se encuentren calculados el algoritmo grafica e imprime los resultados.

³³ CORCHO ROMERO y Duque Serna. Acueductos teoría y diseño. Universidad de Medellín: Centro general de investigaciones, 1993. p. 85.

✓ **Ejemplo de cálculo**

Datos.

Ancho del cauce igual a 3m.
Caudal máximo del río 2m³/s.
La altura total del dique 1.72m.

Solución.

En primer lugar se determina que las constantes k y n son K=2 y n = 1.85, debido a que en este trabajo solo se tendrá en cuenta que la cara aguas arriba de la presa es vertical.

Luego se asigna un coeficiente de descarga (C=2.225) adoptado del sistema métrico.

Ahora se calcula la altura (Hd):

$$Hd = \left(\frac{2}{1.84 * 3} \right)^{\frac{2}{5}} = 0.5082m$$

Entonces se calcula la velocidad (v):

$$V = \frac{2}{(3 * 0.5082)} = 1.312m/s$$

Ahora la altura que se produce por la velocidad (Ha):

$$Ha = \frac{(1.312)^2}{2 * 9.81} = 0.08773$$

Se evalúa por medio de la siguiente condición:

$$\frac{\text{Altura vertedero de crecientes}}{\text{Altura lámina de agua sobre presa}} = \frac{Htp}{Hd} = \frac{1.72}{0.5082} = 3.38 > 1.33 \text{ OK.}$$

Por lo tanto: $Ht = Hd \rightarrow Ht = 0.5082m$

Entonces la velocidad queda:

$$V = 1.312m/s$$

Se calcula la profundidad crítica así:

$$Y_c = \sqrt[3]{\frac{2^2}{9.81 * (3)^2}} = 0.35m$$

Luego:

$$V_c = \sqrt{9.81 * 0.35} = 1.85m/s$$

$$V < V_c$$

$$1.312 < 1.85 \text{ OK.}$$

Ahora se calcula el perfil del aliviadero iniciando con el contador:

I=1.

$$X(1)=0$$

Obviamente $Y(1)$ e i_p son cero, entonces $l=(1+1)=2$, y $X(2)=X(2-1)+0.10 = 0.10$.

No existe un (PT).

I=2

$$X(2)=0.10.$$

$$Y(2) = \frac{(0.10)^{1.85}}{2 * (0.5082)^{0.85}} = 0.01255m$$

$$i_p(2) = \frac{0.01255}{0.10} * 100 = 12.55\%$$

$$12.55\% > 100 \text{ No}$$

I=3

$$X(3)=(0.10+0.10)m=0.20m.$$

No existe un (PT).

$$Y(3) = \frac{(0.20)^{1.85}}{2 * (0.5082)^{0.85}} = 0.04526m$$

$$i_p(3) = \frac{0.04526}{0.20} * 100 = 22.63\%$$

$$22.63\% > 100 \text{ No}$$

I=4

$$X(4)=(0.20+0.10)m=0.30m.$$

No existe un (PT).

$$Y(4) = \frac{(0.30)^{1.85}}{2 * (0.5082)^{0.85}} = 0.09583m$$

$$ip(4) = \frac{0.09583}{0.30} * 100 = 31.94\%$$

31.94 % > 100 **No**

I=5

$$X(5)=(0.30+0.10)m=0.40m.$$

No existe un (PT).

$$Y(5) = \frac{(0.40)^{1.85}}{2 * (0.5082)^{0.85}} = 0.1631m$$

$$ip(5) = \frac{0.1631}{0.40} * 100 = 40.79\%$$

40.79% > 100% **No**

I=6

$$X(6)=(0.40+0.10)m=0.50m.$$

No existe un (PT).

$$Y(6) = \frac{(0.50)^{1.85}}{2 * (0.5082)^{0.85}} = 0.24656m$$

$$ip(6) = \frac{0.24656}{0.50} * 100 = 49.31\%$$

49.31% > 100% **No**

I=7

$$X(7)=(0.50+0.10)m=0.60m.$$

No existe un (PT).

$$Y(7) = \frac{(0.60)^{1.85}}{2 * (0.5082)^{0.85}} = 0.3454m$$

$$ip(7) = \frac{0.3454}{0.60} * 100 = 57.57\%$$

57.57 % > 100 **No**

I=8

$X(4)=(0.60+0.10)m=0.70m$.

No existe un (PT).

$$Y(8) = \frac{(0.70)^{1.85}}{2 * (0.5082)^{0.85}} = 0.4594m$$

$$ip(8) = \frac{0.4594}{0.70} * 100 = 65.64\%$$

64.64% > 100% **No**

I=9

$X(4)=(0.70+0.10)m=0.80m$.

No existe un (PT).

$$Y(9) = \frac{(0.80)^{1.85}}{2 * (0.5082)^{0.85}} = 0.58824m$$

$$ip(9) = \frac{0.58824}{0.80} * 100 = 73.53\%$$

73.53 % > 100% **No**

I=10

$X(10)=(0.80+0.10)m=0.90m$.

No existe un (PT).

$$Y(10) = \frac{(0.90)^{1.85}}{2 * (0.5082)^{0.85}} = 0.7314m$$

$$ip(10) = \frac{0.7314}{0.90} * 100 = 81.27\%$$

81.27% > 100% **No**

I=11

$X(11)=(0.90+0.10)m=1m$.

No existe un (PT).

$$Y(11) = \frac{(1)^{1.85}}{2 * (0.5082)^{0.85}} = 0.8888m$$

$$ip(11) = \frac{0.8888}{1} * 100 = 88.88\%$$

88.88% > 100% No

I=12

$X(12)=(1+0.10)m=1.10m$.

No existe un (PT).

$$Y(12) = \frac{(1.10)^{185}}{2 * (0.5082)^{0.85}} = 1.060m$$

$$ip(12) = \frac{1.060}{1.10} * 100 = 96.38\%$$

96.38 % > 100% No

I=13

$X(13)=(1.10+0.10)m=1.20m$.

No existe un (PT).

$$Y(13) = \frac{(1.20)^{185}}{2 * (0.5082)^{0.85}} = 1.2454m$$

$$ip(13) = \frac{1.2454}{1.20} * 100 = 103.78\%$$

103.78 % > 100% **Si**

Como cumple con la condición el punto de tangencia está en las coordenadas:

PT=X(13), Y(13)→ PT=(1.20, 1.24).

I=14

$X(14)=(1.20+0.10)m=1.30m$.

Ahora si existe un (PT).

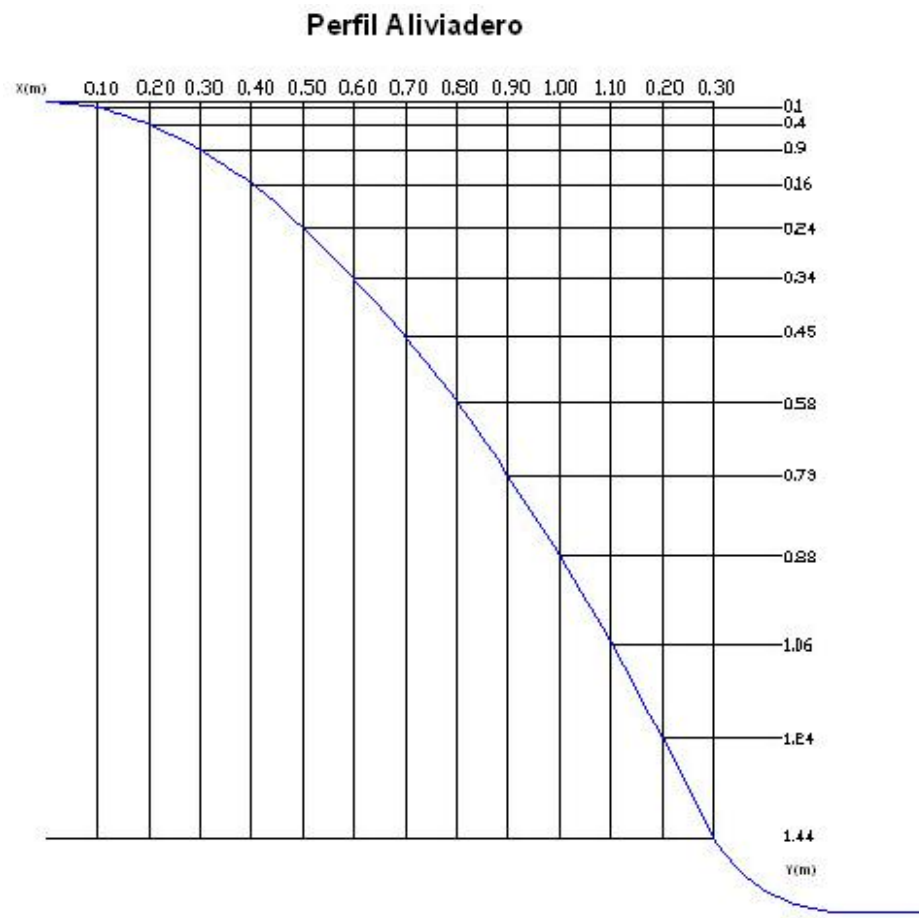
$$Y(14) = \frac{(1.30)^{185}}{2 * (0.5082)^{0.85}} = 1.4442m$$

$$ip(14) = \frac{1.4442}{1.30} * 100 = 111.09\%$$

En la figura 68 se representa el perfil correspondiente a este ejemplo.

X(m)	0.00	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1	1.10	1.20	1.30
Y(m)	0.00	0.01255	0.04526	0.09583	0.1631	0.2465	0.3454	0.4594	0.5882	0.7314	0.888	1.060	1.245	1.44

Figura 68. Perfil aliviadero



- ✓ **Diagrama de flujo.** En la figura 69, se indica el diagrama de flujo, diseño de perfil de aliviadero.

Listado de variables

K y n: Constantes en la ecuación de perfil.

C: Coeficiente de descarga.

Ac: Ancho del cauce o longitud total de la presa.

Qmaxr: Caudal máximo del río.

Ha: Altura o carga producida por la velocidad.

Hd: Altura de la lámina de agua sobre la cresta del vertedero respecto al caudal máximo.

Ht: Carga total sobre la cresta del vertedero respecto al caudal máximo ($H_a + H_d$).

V: Velocidad del flujo en la cresta del vertedero.

Yc: Profundidad crítica.

Vc: Velocidad crítica.

X: punto horizontal correspondiente al perfil del aliviadero.

Y: punto vertical correspondiente al perfil del aliviadero.

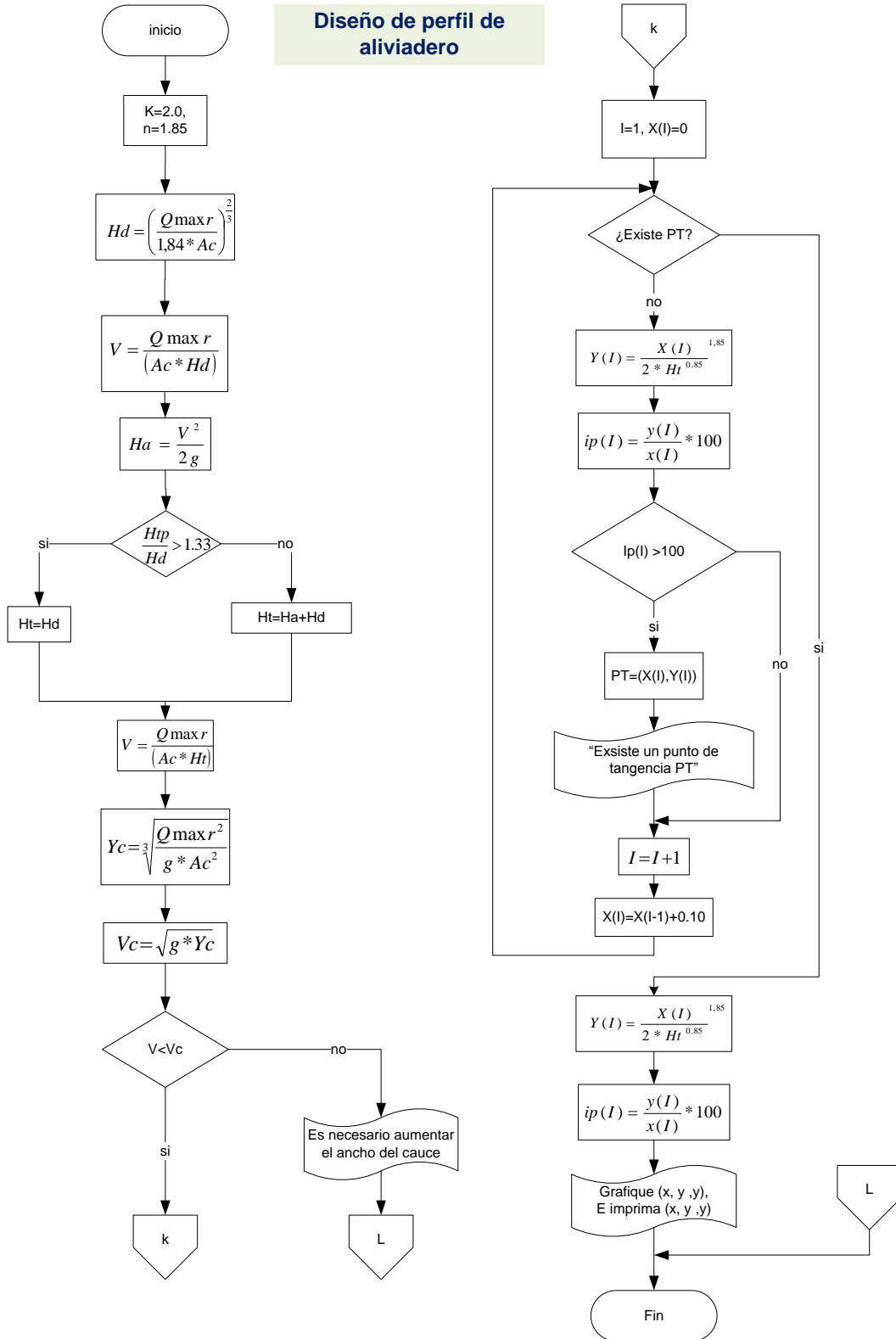
Ip: Pendiente que toma el perfil en los distintos tramos entre x y y.

PT: Punto a partir del cual sigue la cara del dique con pendiente definida en la porción lineal aguas abajo.

Htp: Altura del vertedero de crecientes, en m.

I Variable de tipo entero. Representa la variable de control externo.

Figura 69. Diseño de perfil de aliviadero



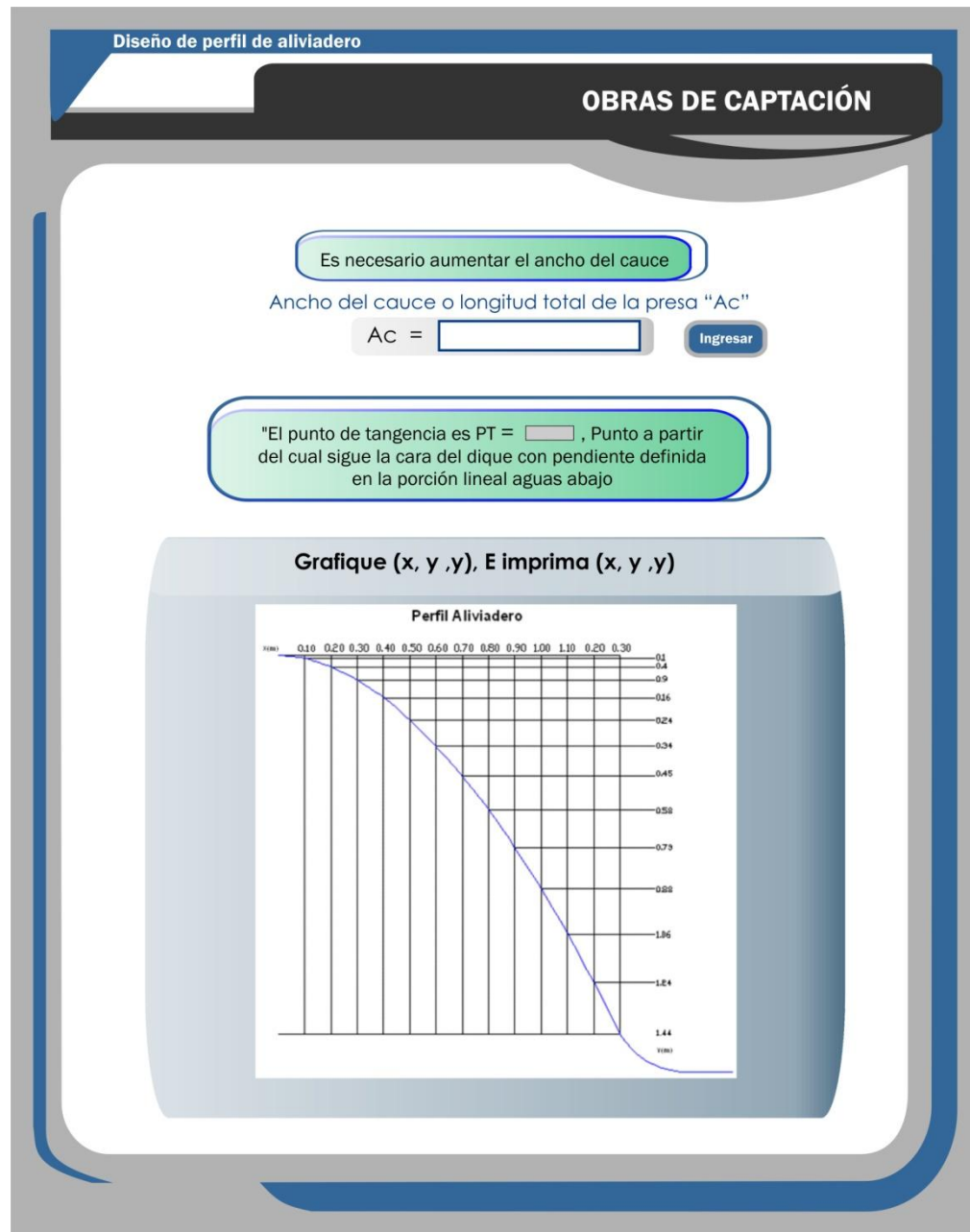
✓ **Pseudocódigo**

{El algoritmo calcula el perfil del aliviadero y la posición del punto de tangencia en el mismo}

1. Hacer K ← 2.0
N ← 1.85
2. Hacer Hd ← $(Q_{maxr}/1.84)^{2/3}$
3. Hacer V ← $(Q_{maxr}/(L*Hd))$
4. Hacer Ha ← $V^2/2g$
5. Si $((H_p/H_d) > 1.33)$
Entonces
Hacer Ht ← Hd
Sino
Hacer Ht ← Ha + Hd
{Fin del condicional 5}
6. Hacer V ← $(Q_{maxr}/(L*H_t))$
7. Hacer Yc ← $\frac{Q_{maxr}^2}{\sqrt{g * A_c^3}}$
8. Hacer Vc ← $\sqrt{g * Y_c}$
9. Si $(V < V_c)$
Entonces
Hacer x(l) ← 0
l ← 1
9.1 Mientras que no exista un (PT) Repetir
Hacer Y(l) ← $(X(l)^{1.85}) / (2 * (H_t^{0.85}))$
Hacer ip(l) ← $(y(l)/x(l)) * 100$
9.1.1 Mientras que(ip (l) > 100))Repetir
Hacer PT ← (X(l), Y(l))
Escribir "El punto de tangencia está en:" X(l) y "Y(l)"
{Fin del condicional 9.1.1}
Hacer l ← l+1
Hacer X(l) ← X(l-1)+0.10
9.2 {Fin del condicional 9.1}
9.3 Hacer Y(l) ← $(X(l)^{1.85}) / (2 * (H_t^{0.85}))$
9.4 Hacer ip(l) ← $(y(l)/x(l)) * 100$
Escribir (X, Y)
Graficar (X, Y)
Sino
Escribir "Es necesario aumentar el ancho del cauce"
10. {Fin del paso 9}.

- ✓ **Pantalla de datos.** En la figura 70, se indica la pantalla de datos, obras de captación.

Figura 70. Obras de captación



h. Diseño del pozo de amortiguación

✓ **Fundamento teórico.** El pozo de amortiguación consiste en una estructura corta pavimentada, situada al pie del aliviadero con el objeto de producir y retener el resalto hidráulico, y para convertir el flujo supercrítico en subcrítico. Esta condición es necesaria para evitar la socavación de la estructura aguas abajo del sector no pavimentado.

✓ **Metodología de diseño**

Datos. Este algoritmo trabaja con (Htp), (Ht), (Qmaxr) y (Ac). Todas las variables están explicadas mas adelante.

El algoritmo.

- Determina la altura del agua medida desde el nivel máximo aguas arriba hasta el pozo de aquietamiento según el ejemplo 2.5 Corcho Romero³⁴.

- Calcula (V1) , la siguiente ecuación:

$$V1 = \sqrt{2g(Z - 0.5Ht)} \quad [69]$$

- Con esto se calcula la altura Y1 por medio de la siguiente ecuación:

$$Y1 = \frac{Q_{maxr}}{V1 * Ac} \quad [70]$$

- Luego Calcula el número de Froude Corcho Romero:

$$F = \frac{V1}{(g * Y1)^{\frac{1}{2}}} \quad [71]$$

- Se calcula el valor de la altura (Y2) por medio de la ecuación:

$$Y2 = \frac{1}{2} [\sqrt{1 + 8F^2} - 1] \quad [72]$$

³⁴ CORCHO ROMERO y Duque Serna. Acueductos teoría y diseño. Universidad de Medellín: Centro general de investigaciones, 1993. p. 87-89.

Esta fórmula se utiliza para no utilizar la gráfica recomendada por Foster y Skrinde. *Relaciones analíticas entre F y h/y1 para un vertedero de cresta ancha, lo cual hace más sencillo el trabajo del algoritmo y pertenece a otra alternativa de cálculo expuesta por dicha bibliografía*³⁵.

- Pide al usuario estimar la altura (h) para después comprobarla de la siguiente ecuación:

$$2.667F^2 \left[\underbrace{1 + \frac{h/Y1}{Y2/y1}}_{1 \text{ Ec}} \right] = \underbrace{\left[\frac{Y2}{Y1} - \frac{h}{Y1} \right]^3}_{2 \text{ Ec}} \quad [73]$$

Al comparar (1Ec) con (2Ec) deben tener el mismo valor si es así continua con el siguiente paso, de lo contrario, el usuario debe ingresar nuevamente el valor de h.

- Para asegurar las condiciones de producción y retención del resalto hidráulico y el régimen subcrítico aguas abajo de la estructura se estima el valor de (Y3) por medio de la expresión³⁶

$$Y3 = \left[\frac{2Y2+h}{3} \right] \quad [74]$$

- Verifica que la altura (Y2) se encuentre entre las alturas (h) y (Y2), si es así, *el algoritmo continua y calcula la longitud del pozo considerando que la caída del agua se produce en condiciones libres*³⁷:

$$Lj = 6.9(Y2 - Y1) \quad [75]$$

Y además imprime (Y1), (Y2), (h), (Y3) y Lj).

De lo contrario el diseño debe ser revisado.

³⁵ CORCHO ROMERO y Duque Serna. Acueductos teoría y diseño. Universidad de Medellín: Centro general de investigaciones, 1993. p. 88

³⁶ CORCHO ROMERO y Duque Serna. Acueductos teoría y diseño. Ecuación 2.51. Universidad de Medellín: Centro general de investigaciones, 1993. p. 89

³⁷ CORCHO ROMERO y Duque Serna. Acueductos teoría y diseño. Ecuación 2.46. Universidad de Medellín: Centro general de investigaciones, 1993. p. 90

✓ **Ejemplo de cálculo**

Datos.

Altura total del muro de contención (**Htp**) = 1.72m.

La carga sobre el vertedero respecto al caudal máximo es (**Ht**)= 0.5082m.

El caudal máximo del río (**Qmaxr**) es = 2m³/s.

Ancho del cauce (**Ac**)= 3m.

Solución.

Se calcula la altura Z:

$$Z = 1.72 - 0.5082 = 1.2118m$$

$$V1 = \sqrt{2 * 9.81(1.2118 + (0.5 * 0.5082))} = 5.36m/s$$

$$Y1 = \left(\frac{2}{5.36 * 3} \right) = 0.1243m$$

Ahora se halla el número de Froude:

$$F = \frac{5.361}{\sqrt{9.81 * 0.1243}} = 4.85$$

$$Y2 = \frac{0.1243}{2} * \left[\sqrt{1 + 8(4.85)^2} - 1 \right] = 0.7926m$$

Se estima un h de 20 cm por lo tanto se hace:

$$1Ec = 2.667 * (4.85)^2 \left[1 + \frac{0.20/0.1243}{0.7926/0.1243} \right] = 78.56$$

$$2Ec = \left[\frac{0.7926}{0.1243} - \frac{0.20}{0.1243} \right]^3 = 108.36$$

1Ec ≠ 2Ec por lo tanto se debe ingresar otro valor de h.

Se estima un valor de 40cm para h:

$$1Ec = 2.667 * (4.85)^2 \left[1 + \frac{0.40/0.1243}{0.7926/0.1243} \right] = 94.39$$

$$2Ec = \left[\frac{0.7926}{0.1243} - \frac{0.40}{0.1243} \right]^3 = 31.50$$

$1E_c \neq 2E_c$ por lo tanto se debe ingresar otro valor de h.
Se estima un valor de 25cm para h:

$$1E_c = 2.667 * (4.85)^2 \left[1 + \frac{0.25/0.1243}{0.7926/0.1243} \right] = 83.30$$

$$2E_c = \left[\frac{0.7926}{0.1243} - \frac{0.25}{0.1243} \right]^3 = 83.18$$

$1E_c \approx 2E_c$ por lo tanto $h=0.25m$ **OK**.

Con lo anterior se hace calcula:

$$Y_3 = \left[\frac{2 * (0.7926) + 0.25}{3} \right] = 0.61m$$

Se verifica la altura Y_3 y se tiene que:

$$h < Y_3 < Y_2 \rightarrow 0.25m < 0.61m < 0.7926m \text{ **OK** .}$$

Por último se calcula:

$$L_j = 6.9 * (0.7926 - 0.1243) = 4.611m$$

Resultados:

La altura $Y_1 = 0.1243m$.

La altura $Y_2 = 0.7926m$.

La altura $h = 0.25m$.

La altura $Y_3 = 0.61m$.

La longitud del pozo (L_j) es = 4.611m.

- ✓ **Diagrama de flujo.** En la figura 71, se indica el diagrama de flujo, diseño de pozo de amortiguación.

Listado de variables

Z: Altura medida desde el nivel máximo aguas arriba de la estructura hasta el nivel del pozo de aquietamiento.

Ht: Carga total sobre la cresta del vertedero respecto al caudal máximo ($H_a + H_d$).

Htp: Altura total del dique hasta la cresta del vertedero, en m.

V1: velocidad en el pie de la presa, en m/s.

Y1: Altura del agua a la salida o pie de la presa.

Y2: Altura máxima del resalto en el pozo.

F: Número de Froude.

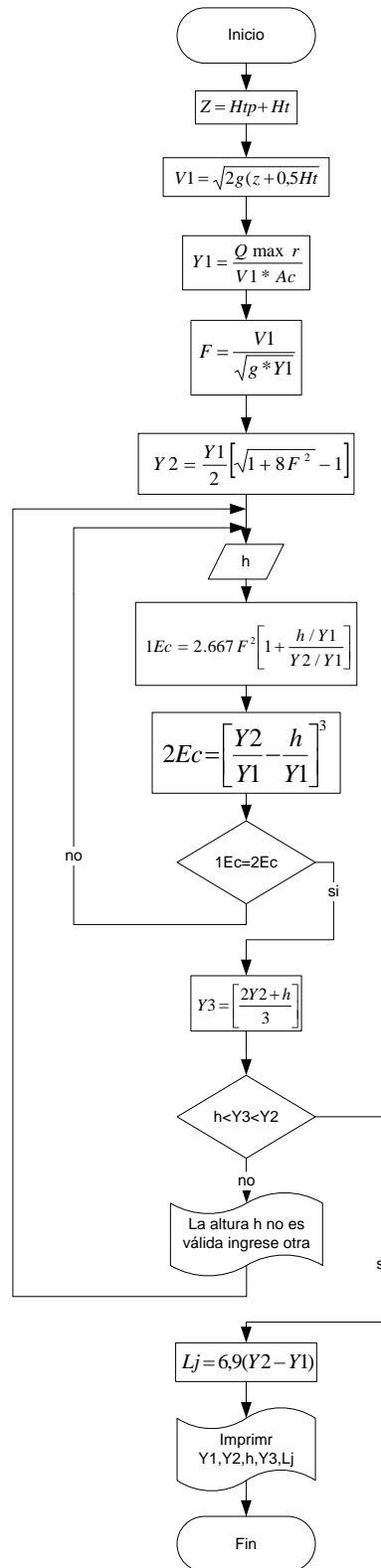
h: Altura del dado.

Y3: Valor de la profundidad del flujo a la salida del pozo de amortiguación.

Lj: Longitud del pozo de amortiguación.

Figura 71. Diseño de pozo de amortiguación

Diseño de pozo de amortiguación

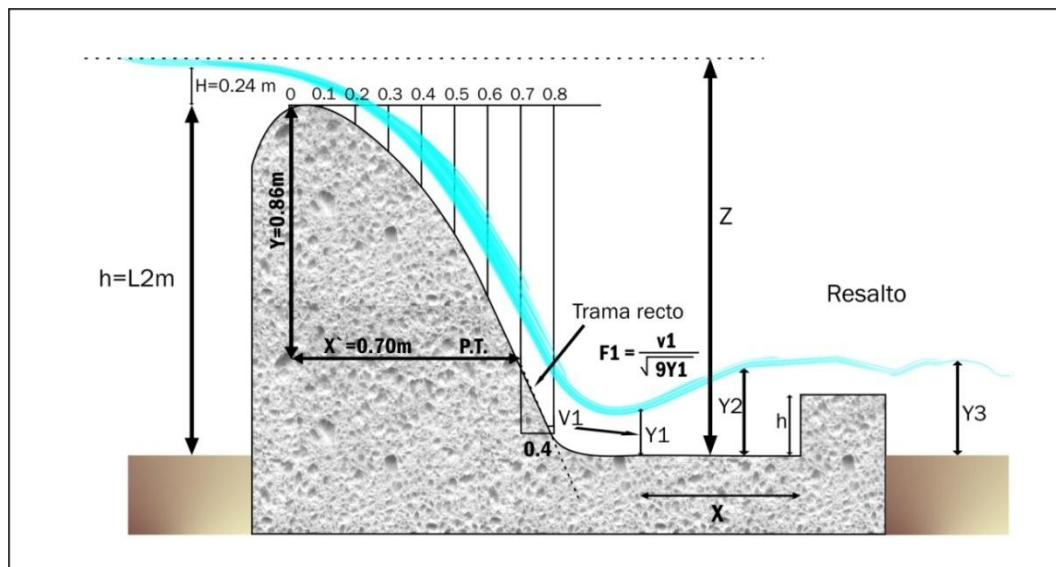


✓ **Pseudocódigo**

{El algoritmo calcula el diseño del pozo de amortiguación}

1. Hacer Z ← $h_{tp} + H_e$.
2. Hacer V_1 ← $\sqrt{2g(Z + 0.5H_e)}$
3. Hacer Y_1 ← $Q_{maxr}/V_1 * A_c$
4. Hacer F ← $V_1/\sqrt{g * Y_1}$
5. Hacer Y_2 ← $((Y_1/2) * \sqrt{1 + 8F^2}) - 1$
6. Mientras ($h \geq y_3 \geq y_2$) repetir
 - 6.1 Escribir 'La latura no es válida ingrese otra'
 - 6.2 Mientras ($1E_c \neq 2E_c$) repetir
 - 6.2.1 Escribir 'Ingres e la altura del dado'
 - 6.2.2 Leer h ← Valor 'Se asigna un valor a la variable h'
 - 6.2.3 Hacer $1E_c$ ← $2.667(F^2) \left[1 + \frac{h/Y_1}{Y_2/Y_1} \right]$
 - 6.2.4 Hacer $2E_c$ ← $\left[\frac{Y_2}{Y_1} + \frac{h}{Y_1} \right]^3$
 - 6.3 {Fin del condicional 6.2}
7. {Fin del condicional 6}
8. Hacer L_j ← $6,9 * (Y_2 - Y_1)$
9. Imprimir "Y1", "Y2", "h", "Y3", "Lj2"

Figura 72. Aliviadero



✓ **Pantalla de datos**

En la figura 73, se indica la pantalla de datos, obras de captación.

Figura 73. Obras de captación, diseño de pozo de amortiguación

Diseño de pozo de amortiguación

OBRAS DE CAPTACIÓN

Ingrese Altura del dado "h"

h =

La altura no es válida, ingrese otra

Ingresar

IMPRIMIR

Altura del agua a la salida o pie de la presa.	Y1 =
Altura máxima del resalto en el pozo	Y2 =
Altura del dado	h =
Valor de la profundización del flujo a la salida del pozo de amortiguación	Y3 =
Longitud del pozo de amortiguación	Lj =

i. Cálculo de cotas

- ✓ **Fundamento teórico.** Para el diseño de la tubería de excesos se debe contar con el perfil del río, ya que ésta se inicia desde el fondo de la cámara de recolección hasta 30 cm por encima del nivel máximo del río. Generalmente resulta ser una condición a flujo libre.

✓ Metodología de diseño

Para el desarrollo de este algoritmo se necesitan los datos calculados en los anteriores algoritmos como (Cotfr), (H), (Htp), (Qmaxr), (Ac), (Qmed), (BL), (CotscA), (ho), (he), (Cotica), (BLc), (Hexc), y (HP), explicadas mas adelante.

El algoritmo:

- Calcula la cota de diseño teniendo en cuenta la altura del dique mas la lámina de agua, si por el pasa el caudal de diseño:

$$Cotd = Cotfr + H + Htp$$

- Calcula la lámina de agua sobre la presa si sobre este pasa el caudal máximo del rio:

$$Hmaxr = \left(\frac{Qmaxr}{1.84Ac} \right)^{\frac{2}{3}}$$

- Con lo anterior se puede calcular la cota máxima del rio sobre la presa cuando este tiene su caudal máximo:

$$Cotmaxr = Hmaxr + Cotfr + Htp$$

- Igualmente por medio de la formula de Francis se calcula la lámina de agua sobre la presa cuando en este se presenta el caudal medio:

$$Hmedr = \left(\frac{Qmedr}{1.84Ac} \right)^{\frac{2}{3}}$$

- Por lo tanto se determina la cota cuando en el rio se presenta el caudal medio:

$$Cotmedr = Hmedr + Cotfr + Htp$$

- Muestra los resultados de los cálculos del perfil del agua sobre la presa.
- Ahora calcula la altura de los muros de contención:

$$Cotmc = Cotmaxr + BL$$

- Y muestra la altura de los muros de contención.
- Calcula las cotas pertenecientes a la posición de la lámina de agua dentro del canal de aducción tanto en la parte superior como en la parte inferior de este:

$$CotLsa = CotscA + ho$$

$$Cotlica = Cotica + he$$

- Muestra los resultados en el canal de aducción.
- Ahora se calculan las cotas dentro de la cámara de aducción:

$$Cotlcr = Cotlica - BLc$$

$$Cotvexc = Cotlcr - Hexc$$

$$Cotf = Cotvexc - HP$$

$$Cotetecx = Cotf$$

- Y muestra los resultados.

✓ **Ejemplo de cálculo.** Se utiliza el ejemplo global y se determina con sus resultados el perfil del agua en los elementos de la captación:

Datos.

La cota del fondo del río (Cotfr) es 100,00m.

Ancho del cauce (Ac) igual a 3m.

Caudal máximo del río (Qmaxr) 2m³/s.

La altura total del dique (Htp) 1.72m.

Caudal medio del río (Qmedr) es 0.7m³/s.

La altura de la lámina de agua cuando se presenta el caudal de diseño sobre la presa (H) es 0.07423m.

El borde libre para el muro de contención (Blm) es 0.30m.

La profundidad del agua en el canal de aducción aguas arriba (ho) es 0.2362m.

La profundidad del agua en el canal de aducción aguas abajo (he) es 0.2612m.

El borde libre en la cámara de recolección es (Blc) es 0.15m.

Cota del fondo aguas arriba del canal de aducción (CotscA) es 99.614m

Cota del fondo aguas bajo del canal de aducción (Cotica) es 99.355m.

El valor de (HP) es 0.60m.

La altura de la lámina de agua en el vertedero de excesos (Hexc) es 0.3157m.

Solución.

Para comenzar se halla la cota de diseño:

$$Cotd = 100 + 0.07423 + 1.72 = 101.79m$$

$$H_{maxr} = \left(\frac{2}{1.84 * 3} \right)^{\frac{2}{3}} = 0.5082m$$

$$cot_{maxr} = 0.5082 + 100 + 1.72 = 102.2282m$$

$$H_{medr} = \left(\frac{0.7}{1.84 * 3} \right)^{\frac{2}{3}} = 0.2524m$$

$$Cot_{medr} = 0.2524 + 100 + 1.72 = 101.97m$$

Perfil Sobre la presa.

Cota de diseño = 101.79m

Cota máxima del río = 102.22m

Cota promedio del río = 101.97m

Ahora se halla la cota del muro de contención:

$$Cot_{mc} = (102.22 + 0.30)m = 102.52m$$

Altura de los muros de contención.

La corona en los muros de contención es 102.52m.

Luego se calcula el perfil en el canal de aducción:

$$Cot_{Lsca} = 99.614 + 0.2362 = 99.8502m$$

$$Cot_{lica} = 99.355 + 0.261 = 99.616m$$

Perfil en el canal de aducción:

La cota aguas arriba del canal de aducción es 99.614m.

La cota aguas abajo del canal de aducción es 99.355m.

La lámina de agua en la parte superior del canal de aducción es 99.8502m.

La lámina aguas abajo en el canal de aducción es 99.616m.

Por último se calcula el perfil en la cámara de recolección:

$$Cotlcr = 99.616 - 0.15 = 99.46m$$

$$Cotvexc = 99.46 - 0.3157 = 99.14m$$

$$Cotf = 99.14 - 0.60 = 98.54m$$

$$Cotetexc = 98.54m$$

Perfil en la cámara de recolección.

La cota de la lámina de agua en la cámara de recolección es 99.46m.

La cota en la corona del vertedero de excesos es 99.14m.

La cota en el fondo de la cámara de recolección es 98.54m.

La cota en la entrada de la tubería de excesos es 98.54m.

- ✓ **Diagrama de flujo.** En la figura 74, se indica el diagrama de flujo, cálculo de cotas.

Listado de variables

Cotfr: Cota del fondo del río.

H: Altura de la lámina de agua sobre la rejilla para el caudal de diseño.

Htp: Altura total de la presa.

Cotd: Cota de diseño, se refiere a la parte superior del dique más la lámina de agua si sobre este pasa el caudal de diseño.

Hmaxr: Altura de la lámina de agua sobre la rejilla cuando el río tiene un caudal máximo

Qmaxr: Caudal máximo del río.

Ac: Ancho del cauce.

Cotmaxr: Cota cuando el caudal del río es el máximo.

Hmedr: Altura de la lámina de agua sobre la rejilla cuando el río tiene un caudal medio.

Qmedr: Caudal medio del río.

Cotmedr: Cota cuando el río tiene un caudal medio.

Cotmc: Cota superior en la corona del muro de contención

Blm: Borde libre en el muro de contención.

Cotlsca: Cota de la lámina de agua, aguas arriba del canal de aducción.

Cotsca: Cota del fondo aguas arriba del canal de aducción.

ho: profundidad de la lámina de agua aguas arriba del canal de aducción dada en m.

Cotlica: Cota de la lámina de agua, aguas abajo del canal de aducción.

Cotica: Cota del fondo aguas abajo del canal de aducción.

he: profundidad de la lámina de agua aguas abajo del canal de aducción dada en m.

Cotlcr: Cota de la lámina de agua en la cámara de recolección.

Cotvexc: Cota del vertedero de excesos.

BLc: Borde libre en la cámara de recolección.

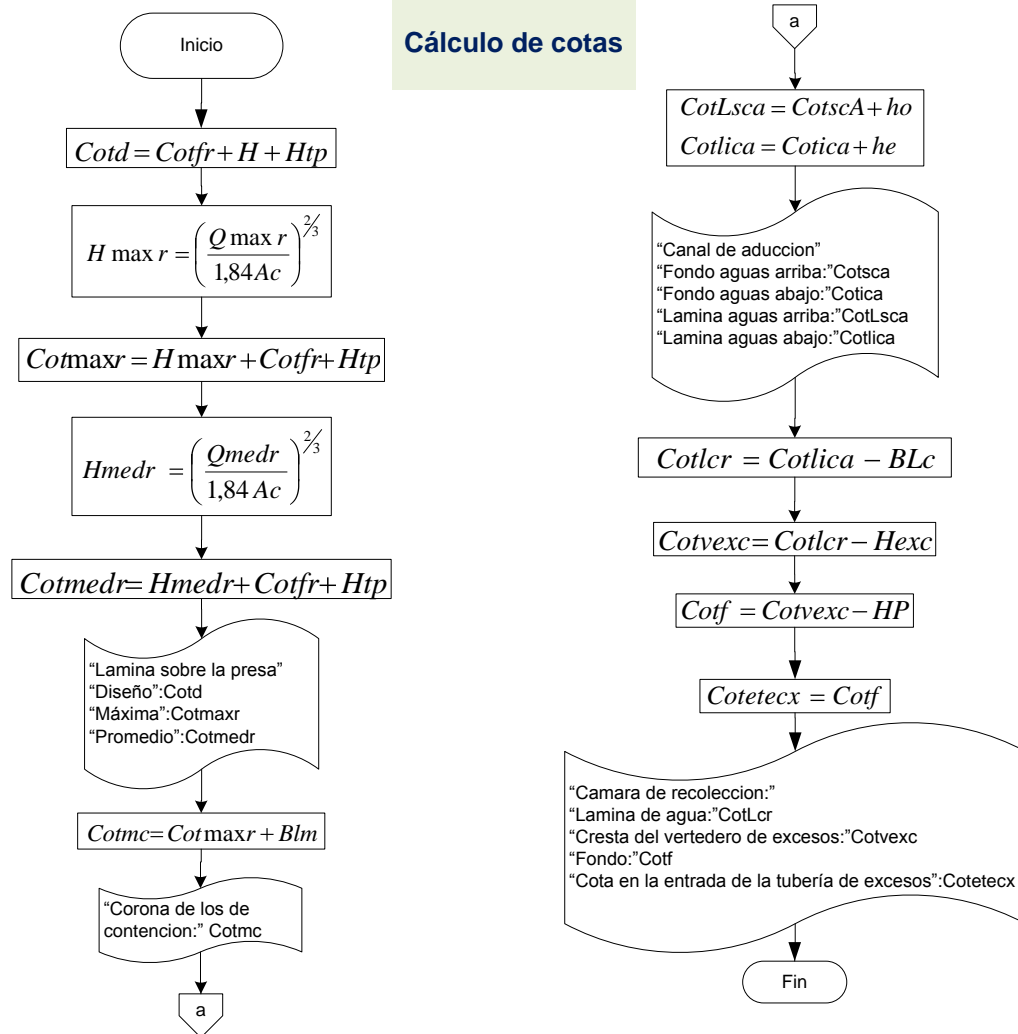
Hexc: Altura de la lámina de agua en el vertedero de excesos.

Cotf: Cota de fondo en el vertedero de excesos.

HP: Pérdidas en la aducción de la bocatoma al desarenador (Valor supuesto por el usuario y que deberá ser corregido al momento de hacer el diseño de la aducción).

Cotetecx: Cota de entrada en la tubería de excesos.

Figura 74. Cálculo de cotas

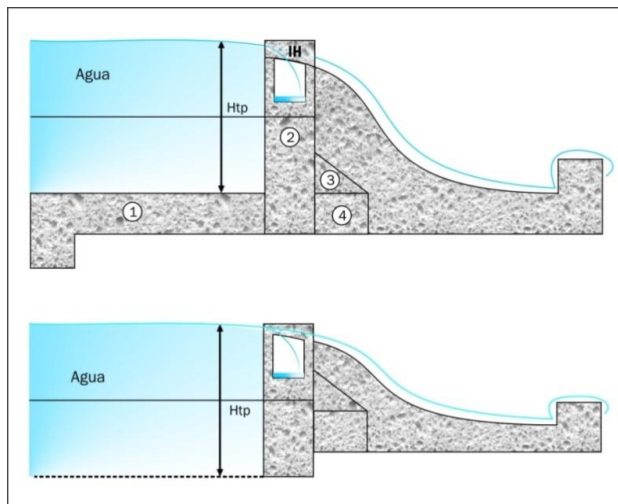


✓ **Pseudocódigo**

{El algoritmo calcula las principales cotas correspondientes a los niveles tanto de agua como de los mismos elementos de la captación}

1. Hacer Cotd ← Cotfr+H+htp
2. Hacer Hmaxr ← $(Q_{maxr}/(1.84*Ac))^2/3$
3. Hacer Cotmaxr ← Hmaxr +Cotfr+htp
4. Hacer Hmedr ← $(Q_{medr}/(1.84*Ac))^2/3$
5. Hacer Cotmedr ← Hmedr+Cotfr+htp
6. Escribir "Lamina sobre la presa"
"Diseno:" Cotd"
"Maxima:" Cotmaxr"
"Promedio:" Cotmedr"
7. Hacer Cotmc ← Cotmaxr + BL
8. Escribir "Corona de los muros de contencion:" Cotmc"
9. Hacer Cotlsca ← CotscA + ho
Cotlica ← Cotica + he
10. Escribir "Canal de aduccion"
"Fondo aguas arriba:" Cotsca"
"Fondo aguas abajo:" Cotica"
"Lamina aguas arriba:" CotLsca"
"Lamina aguas abajo:" Cotlica"
11. Hacer Cotlcr ← Cotlica – BLc
12. Hacer Cotvexc ← Cotlcr – Hexc
13. Hacer cotf ← Cotvexc – HP
14. Hacer Cotetecx ← Cotf
15. Escribir "Camara de recoleccion"
"Lamina de agua:" Cotlcr"
"Cresta del vertedero de excesos:" Cotvexc"
"Fondo:" Cotf"
"Cota en la entrada de la tuberia de excesos" cotetecx"
16. Fin

Figura 75. Esquema bocatoma de fondo



- ✓ **Pantallas de datos.** En la figura 76, se indica la pantalla de datos, obras de captación,

Figura 76. Obras de captación, cálculo de cotas

Cálculo de cotas

OBRAS DE CAPTACIÓN

"LAMINA SOBRE LA PRESA"

Cota de diseño, se refiere a la parte superior del dique más la lámina de agua si sobre este pasa el caudal de diseño
"Diseño":Cotd =

Cota cuando el caudal del rio es el máximo
"Máxima":Cotmaxr =

Cota cuando el rio tiene un caudal medio
"Promedio":Cotmedr =

Cota superior en la corona del muro de contención
"Corona de los de contencion:" Cotmc =

"CANAL DE ADUCCION"

Cota de la lámina de agua, aguas arriba del canal de aducción
"Fondo aguas arriba:"Cotsca =

Cota del fondo aguas bajo del canal de aducción
"Fondo aguas abajo:"Cotica =

Cota de la lámina de agua, aguas arriba del canal de aducción
"Lamina aguas arriba:"CotLsca =

Cota de la lámina de agua, aguas abajo del canal de aducción
"Lamina aguas abajo:"Cotlica =

"CAMARA DE RECOLECCION:"

Cota de la lámina de agua en la cámara de recolección.
"Lamina de agua:"CotLcr =

Cota del vertedero de excesos
"Cresta del vertedero de excesos:"Cotvexc =

Cota de fondo en el vertedero de excesos
"Fondo:"Cotf =

Cota de entrada en la tubería de excesos
"Cota en la entrada de la tubería de excesos":Cotetecx =

7.3.3.2 Cálculo estructural

✓ **Fundamento teórico.** Para la construcción de un Dique toma, es necesario realizar el estudio del comportamiento del conjunto de elementos que lo componen cuando este se encuentre en funcionamiento, teniendo en cuenta, eventos que intervienen en la estabilidad de la estructura como los sólidos flotantes, los materiales con los cuales está construido y las dimensiones de cada elemento, para así poder determinar el peso por unidad de volumen.

El cálculo estructural que se desarrolla a continuación no cuenta con un estudio sísmoresistente.

✓ **Especificaciones de diseño.**

- Peso del hormigón = 2300 kg/m³
- Peso del agua = 1000 kg/ m³
- Peso de sedimentos = 1800 kg/ m³
- Peso de sedimentos sumergidos = 1100 kg/m³

Fuerzas actuantes

- Fuerza debido a los sedimentos
- Fuerzas de empuje del agua
- Fuerza debido al impacto de sólidos flotantes
- Fuerza de subpresión del agua

Fuerzas resistivas

- Peso propio de la estructura
- Peso del agua sobre la pata del toma dique aguas arriba
- Fuerza interna de fricción

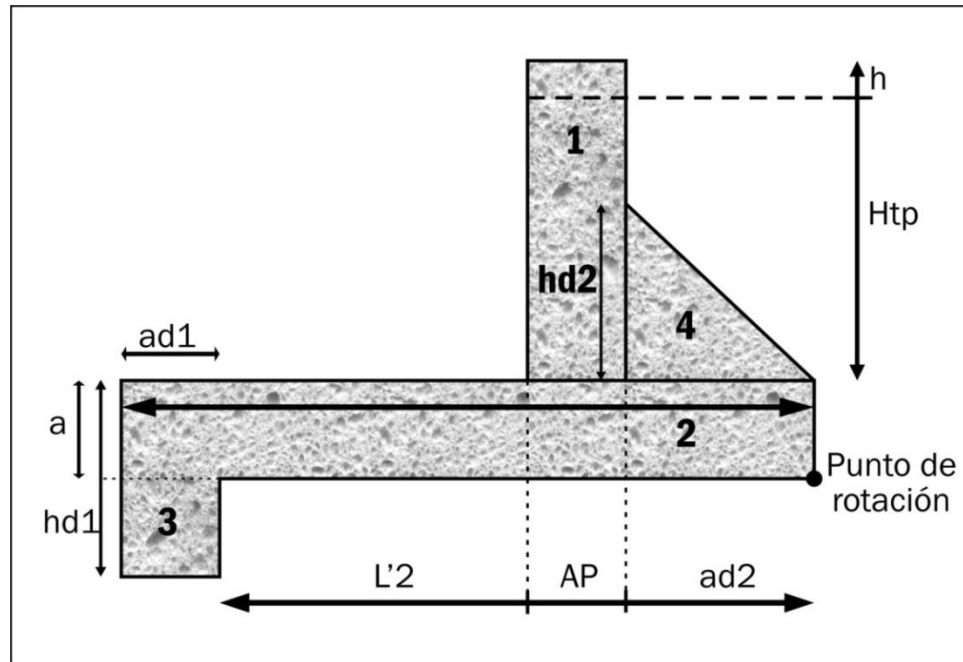
No se consideran las fuerzas debidas al oleaje, fuerzas sísmicas, vientos o deshielo

✓ **Metodología de diseño.**

Los datos necesarios para el desarrollo de este algoritmo a parte de los establecidos en los siguientes pasos son el resultado del desarrollo de los anteriores algoritmos de este trabajo pertenecientes al diseño de los diferentes elementos de una captación o una bocatoma de fondo, los datos son: Ho, B, T, htp, Htp, H, Vr, y Ap.

- Se establecen los pesos específicos del hormigón (PHr), agua (τ_a), sedimentos (τ_s), el de los sedimentos sumergidos (τ_{sum}) y el de los sólidos flotantes.
- Se asigna las diferentes magnitudes de los elementos estructurales de la bocatoma

Figura 77. Elementos estructurales



Fuente: RAS 2000. Ministerio de desarrollo económico de Colombia.

- Se determina las fuerzas actuantes de la siguiente forma según Corcho Romero.³⁸

$$F_s = \frac{\tau_s \times h_{tp} \times x^2}{2} \quad (1)$$

$$FH1 = \frac{\tau_a \times (H_{tp} - H) \times h_{tp}}{2} \quad (2)$$

$$FH2 = \tau_a \times H_{tp} \times H \quad (3)$$

$$m = \frac{w_{arbol}}{g} \quad (4)$$

³⁸ CORCHO ROMERO y Duque Serna. Acueductos teoría y diseño. Universidad de Medellín: Centro general de investigaciones, 1993. 591 p.

$$F_{imp} = Vr \times m \quad (5)$$

Ahora se calcula el brazo vertical de la estructura (HT) sumando:

$$HT = Htp + a$$

- Se calcula la fuerza de subpresión, según ejemplo Corcho Romero³⁹

$$F_{sp} = \frac{\tau HTL^2}{2}$$

- Se calcula la sumatoria de fuerzas horizontales

$$\Sigma FH = F_{imp} + F_s + FH1 + FH2$$

- Se determina la longitud L'2 necesaria para calcular el peso del agua (Wa)
- Se calcula el peso unitario de cada elemento de la estructura y el peso unitario del agua sobre la misma, multiplicando el volumen de cada uno de ellos por su respectivo peso específico.

$$W1 = (Volp1 - Volca) PHr$$

$$W2 = a \times L2 \times PHr$$

$$W3 = hd1 \times ad1 \times PHr$$

$$W4 = (hd2 \times ad2 \times PHr) / 2$$

$$Wa = [(ad1 + L'2) \times (Htp + H)] \times \tau_a$$

- Calcula la sumatoria de pesos unitarios

$$\Sigma W = w1 + w2 + w3 + w4 + wa$$

- Calcula los momentos ocasionados por las fuerzas horizontales según la forma en que estas intervienen en la estructura con respecto al punto de rotación, según el cuadro del ejemplo de Corcho Romero.⁴⁰

$$MF_{imp} = F_{imp} \times HT$$

$$MF_s = F_s \times \left(\frac{1}{3} htp + a \right)$$

$$MH1 = FH1 \times \left(\frac{1}{3} htp + a \right)$$

³⁹ CORCHO ROMERO y Duque Serna. Acueductos teoría y diseño. Universidad de Medellín: Centro general de investigaciones, 1993. p. 123.

⁴⁰ Ibid., 123.

$$MH2 = FH2 \times \left(\frac{htp}{2} + a \right)$$

$$MFSP = FSP \times \frac{2}{3} L2$$

- Luego calcula el momento de volcamiento (Momv) sumando los momentos calculados anteriormente.

$$\mathbf{Momv} = Mfimp + MFs + MH1 + MH2 + MFsp$$

- Calcula los momentos ocasionados por las fuerzas verticales según la forma en que estas intervienen en la estructura con respecto al punto de rotación y la sumatoria de estos (MomR).

$$Mw1 = w1 \times \left(ad2 + \frac{Ap}{2} \right)$$

$$Mw2 = w2 \times \left(\frac{L2}{2} \right)$$

$$Mw3 = w3 \times \left(\frac{Ad1}{2} + L'2 + Ap + ad2 \right)$$

$$Mw4 = w4 \times \frac{2}{3} ad2$$

$$Mwa = wa \times \left(\frac{ad1 + L'2}{2} \right) + Ap + ad2$$

$$\mathbf{MomB} = Mw1 + Mw2 + Mw3 + Mw4 + Mwa$$

- Halla la posición de la resultante, “según ejemplo de Corcho Romero” ⁴¹, y la excentricidad

$$Pr = \frac{MomR - Momv}{\Sigma w - fsp}$$

$$e = \frac{l2}{2}$$

- Se verifica el volcamiento según la condición $Fr \frac{\Sigma MR}{\Sigma Mv} \geq 2$

De no cumplirse debe aumentarse la suma de momentos resistentes, para ello se incrementa W3.

- Ahora verifica el deslizamiento según la condición

⁴¹ CORCHO ROMERO y Duque Serna. Acueductos teoría y diseño. Universidad de Medellín: Centro general de investigaciones, 1993. p. 123

$$Fd = \frac{u \times (\Sigma w - Fsp)}{\Sigma FH} \geq 1,5$$

De no cumplirse se debe rediseñar la estructura aumentada de tamaño, los elementos como el elemento 2, el 3, o el elemento 4.

✓ **Ejemplo de cálculo.**

Datos de entrada.

El algoritmo asigna a las siguientes variables los respectivos valores así:

$$PHr = 2400 \text{ Kg}/m^3$$

$$Warbol = 500 \text{ Kg } m/s^2$$

$$\tau_a = 1000 \text{ Kg}/m^3$$

$$\tau_s = 1800 \text{ Kg}/m^3$$

$$\tau_{sum} = 1100 \text{ Kg}/m^3$$

$$u = 0,7$$

El usuario debe ingresar los siguientes datos. Para el ejemplo se tiene:

$$a = 0,30 \text{ m}$$

$$L2 = 2,9 \text{ m}$$

$$hd2 = 0,70 \text{ m}$$

$$ad2 = 1,20 \text{ m}$$

$$Hd1 = 0,70 \text{ m}$$

$$Ad1 = 0,70 \text{ m}$$

Las siguientes variables fueron obtenidas de los anteriores algoritmos pertenecientes al ejemplo global del diseño de una captación de fondo:

$$\mathbf{H_{tp} = 1,72 \text{ m}}$$

$$\mathbf{A_p = 0,66 \text{ m}}$$

$$\mathbf{H_o = 0,3862 \text{ m}}$$

$$\mathbf{B = 0,46 \text{ m}}$$

$$\mathbf{T = 0,258 \text{ m}}$$

$$\mathbf{h_{tp} = 1,2 \text{ m}}$$

$$\mathbf{V_r = 0,51 \text{ m/s}}$$

$$\mathbf{H = 0,07423}$$

Cálculo del volumen unitario de la presa (Volp1).

$$\mathbf{Volp1 = 1,72 \times 0,66 \times 1 = 1,1352 \text{ m}^3}$$

Cálculo del volumen unitario del canal de aducción (Volca).

$$\mathbf{Volca = (0,3862 \times 1 \times 0,46) + \left[\left(\frac{0,258 \times 1}{2} \right) \times 0,46 \right]}$$

$$\mathbf{Volca = 0,2369 \text{ m}^3}$$

Cálculo de la fuerza debido a los sedimentos (Fs).

$$\mathbf{F_s = \frac{1800 \times (1,2)^2}{2} = 1296 \text{ kg/m}}$$

Cálculo de la fuerza de empuje del agua (FH1).

$$\mathbf{FH1 = \frac{1000 \times (1,72 - 0,07423) \times 1,2}{2}}$$

$$\mathbf{FH1 = 987,46 \text{ Kg/m}}$$

Cálculo de la fuerza de empuje de lo sedimentos sumergidos (FH2).

$$\mathbf{FH2 = 1000 \times 1,72 \times 0,07423}$$

$$\mathbf{FH2 = 127,6756 \text{ kg/m}}$$

Cálculo de la fuerza de impacto (Fimp) de los sólidos flotantes, en este caso de un árbol.

$$m = \frac{500}{9,81} = 51 \text{ kg}$$

$$F_{imp} = 0,51 \times 51 \text{ kg} = 26,01 \text{ Kg m/s}$$

Cálculo de la fuerza de subpresión (FSP).

$$HT = 1,72 + 0,30 \text{ m} = 2,02 \text{ m}$$

$$FSP = \frac{1000 \times 2,02 \times 2,9}{2} = 2929 \text{ kg}$$

La fuerza total soporta la estructura horizontalmente es:

$$\Sigma FH = 26,01 + 1296 + 987,46 + 127,67 = 2437,14$$

Se determina la longitud (L'2) y se calcula el peso de cada elemento que compone la estructura de captación.

$$L'2 = 2,9 - 0,70 - 0,66 - 1,20$$

$$L'2 = 0,34$$

$$W1 = (1,1352 - 0,2369) \times 2400 = 2155,92 \text{ Kg}$$

$$W2 = 0,30 \times 2,9 \times 2400 = 2088 \text{ Kg}$$

$$W3 = 0,70 \times 0,70 \times 2400 = 1176 \text{ Kg}$$

$$W4 = 0,70 \times 1,20 \times 2400 = 2016 \text{ Kg}$$

$$Wa = (0,70 + 0,34) \times (1,72 + 0,07423) \times 1000 = 1866 \text{ Kg}$$

Se determina el peso total de la estructura

$$\Sigma w = 2155,92 + 2088 + 1176 + 2016 + 1866$$

$$\Sigma w = 9301,92 \text{ Kg}$$

Cálculo de los momentos ocasionados por las diferentes fuerzas horizontales y su sumatoria (momento de volcamiento):

$$M_{fim} = 26,01 \times 2,02 = 52,5402 \text{ Kg m}$$

$$M_{fs} = 1296 \times \left(\frac{1}{3} 1,2 + 0,30 \right) = 907,2 \text{ Kg m}$$

$$\mathbf{MH1} = 987,46 \times \left(\frac{1}{3} 1,2 + 0,30\right) = 691,22 \text{ Kg m}$$

$$\mathbf{MH2} = 127,6756 \left(\frac{1,2}{2} + 0,30\right) = 114,90 \text{ Kg m}$$

$$\mathbf{MFsp} = 2929 \times \frac{2}{3} \times 2,9 = 5662,73 \text{ Kg m}$$

$$\mathbf{Momv} = 52,5402 + 907,2 + 691,22 + 114,90 + 5662,73$$

$$\mathbf{Momv} = 7428,6 \text{ Kg m}$$

Cálculo de momentos ocasionados por las diferentes fuerzas verticales:

$$\mathbf{Mw1} = 2155,92 \times \left(1,20 + \frac{0,66}{2}\right) = 3298,55 \text{ Kg m}$$

$$\mathbf{Mw2} = 2088 \times \left(\frac{2,9}{2}\right) = 3027,6 \text{ Kg m}$$

$$\mathbf{Mw3} = 1176 \times \left(\frac{0,70+0,34}{2}\right) + 0,66 + 1,20 = 2798,88 \text{ Kg m}$$

$$\mathbf{Mw4} = 2016 \times \frac{2}{3} 1,20 = 1612,8 \text{ Kg m}$$

$$\mathbf{Mwa} = 1866 \times \left(\frac{0,70 + 0,34}{2}\right) + 0,66 + 1,20 = 4441,08 \text{ Kg m}$$

Se suma y se halla el momento resultante

$$\mathbf{MomR} = 3298,55 + 3027,6 + 2798,88 + 1612,8 + 4441,08$$

$$\mathbf{MomR} = 15178,91 \text{ Kg m}$$

Cálculo de la posición de la resultante.

$$\mathbf{Pr} = \frac{15178,91 - 7428,6}{9301,92 - 2929} = 1,2161 \text{ m}$$

Excentricidad

$$\mathbf{e} = \frac{2,9}{2} - 1,2161 = 0,234$$

Verificación del volcamiento

$$\mathbf{Fv} = \frac{15178,91}{7428,26} = 2,043$$

$$\mathbf{Fd} \geq 2 \rightarrow 2,043 \geq 2 \text{ OK}$$

Verificación del deslizamiento

$$Fd = \frac{0,7 \times (9301,92 - 2929)}{2437,14} = 1,8304$$

$$Fd \geq 1,5 \rightarrow 1,83 \geq 1,5$$

- ✓ **Diagrama de flujo.** En las figuras 78 y 79, se indica el diagrama de flujo, cálculo estructural.

Listado de variables.

Ap	=	Ancho de la presa o elemento 1
B	=	Ancho del canal de aducción
PHr	=	Peso del hormigón reforzado
Volca	=	Volumen del canal de aducción.
Volp1	=	Volumen unitario de la presa.
PHr	=	Peso del hormigón reforzado
Warbol	=	Peso de un árbol flotante
τa	=	Peso específico del agua
τs	=	Peso de sedimentos
τsum	=	Peso de sedimentos sumergidos
Ac	=	Ancho del cauce
U	=	Coefficiente de fricción hormigón –roca
http	=	Altura total del vertedero de crecientes
Ap	=	Ancho de la presa o elemento 1
hd1	=	Altura del elemento 3 (dentellón)
hd2	=	Altura del elemento 4 (elemento inclinado).
Ad1	=	Ancho del elemento 1 (dentellón)
ad2	=	Ancho de elemento 4 (elemento inclinado).
Fs	=	Fuerza debida a los sedimentos
Htp	=	Altura del vertedero de crecientes.
Htp	=	Altura del vertedero central.
H	=	Profundidad de la lámina de agua sobre la presa.
He	=	Altura del muro anterior en la parte inferior del canal de aducción.
Ho	=	Altura del muro anterior en la parte superior del canal de aducción.
M	=	masa del árbol
Fimp	=	Fuerza debida al impacto de sólidos flotantes
Vr	=	Velocidad superficial del río
HT	=	Altura total del brazo vertical de la estructura que sirve para determinar la fuerza de subpresión del agua.
A	=	Espesor del elemento 2
L2	=	Longitud del elemento 2
FH1	=	Fuerzas de empuje del agua
FH2	=	Fuerza de empuje de los sedimentos sumergidos.
W1	=	Peso del elemento 1.

W2 = Peso del elemento 2.
W3 = Peso del elemento 3.
W4 = Peso del elemento 4.
Wa = Peso del agua.
L'2 = Longitud libre del elemento 2.
Fsp = Fuerza de supresión del agua.
Mfim = Momento producido por la fuerza de impacto.
MFsp = Momento producido por la fuerza debido a la subpresión.
MomV = Momento de volcamiento.
MFs = Momento producido por la fuerza debido a los sedimentos.
MH1 = Momento producido por la fuerza de empuje del agua.
MH2 = Momento producido por la fuerza de empuje de los sedimentos sumergidos.
MW1 = Momento producido por W1.
MW2 = Momento producido por W2.
MW3 = Momento producido por W3.
MW4 = Momento producido por W4.
Mwa = Momento producido por peso del agua.
W1 = Peso del elemento 1.
W2 = Peso del elemento 2.
W3 = Peso del elemento 3.
W4 = Peso del elemento 4.
Wa = Peso del agua.
MomR = Momento resistente.
Pr = Posición de la resultante.
 ΣW = Es la sumatoria de los pesos de los elementos.
E = Excentricidad.
Fv = Factor de fuerza volcamiento.
Fd = Factor de deslizamiento.
T = Desnivel de la parte derecha del muro anterior (H_e) con respecto a la parte izquierda (H_o) del mismo
 ΣFH = Es la sumatoria de las fuerzas actuantes horizontales sobre la presa.

Figura 78. Cálculo estructural

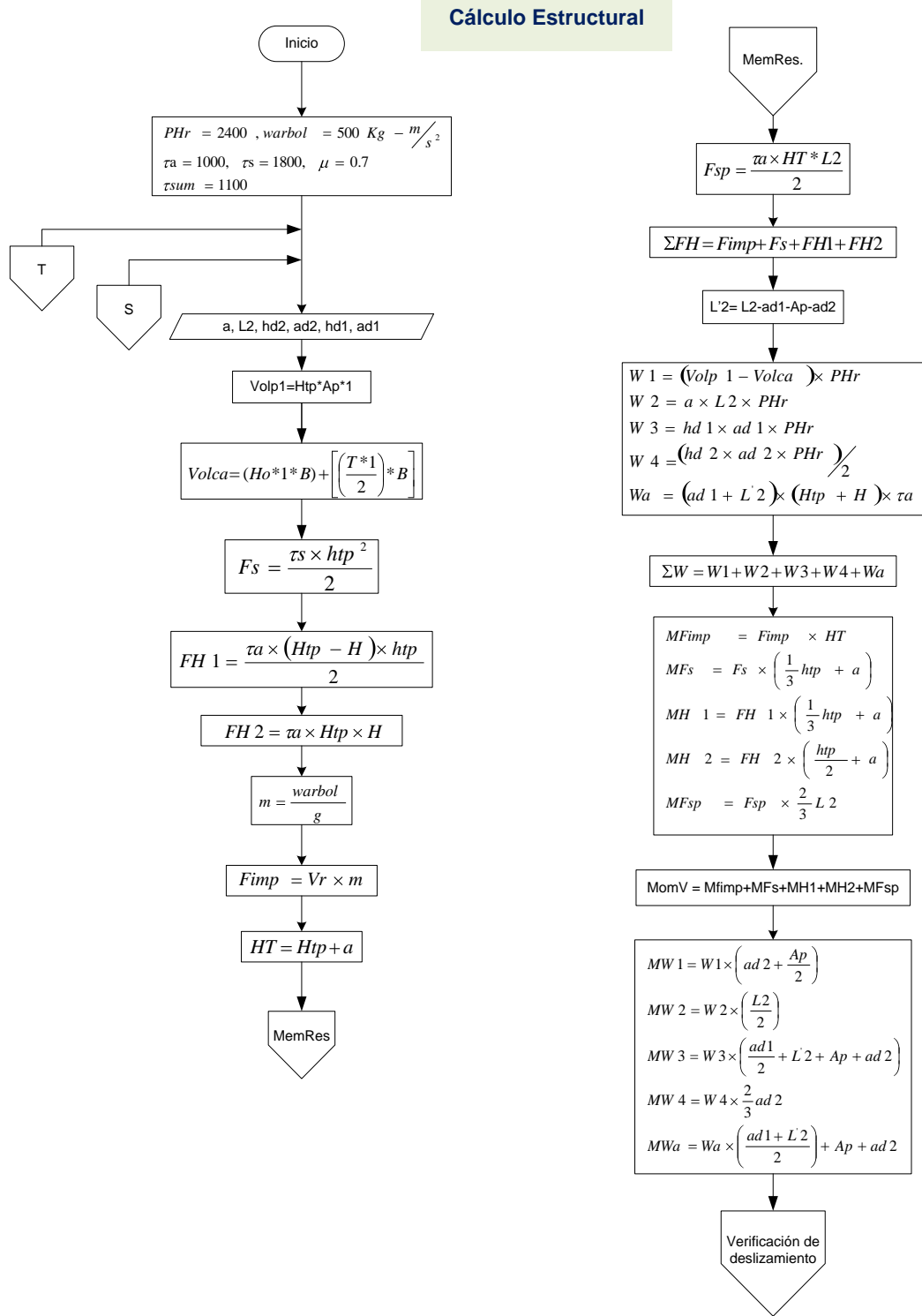
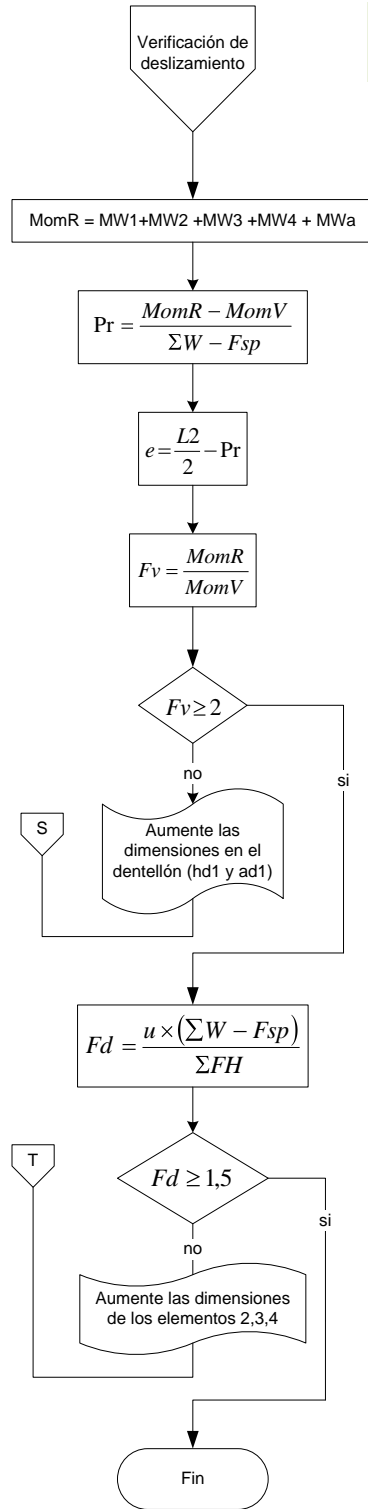


Figura 79. Cálculo estructural

Cálculo Estructural



✓ **Pseudocodigo**

- Hacer PHr ← 2400
warbol ← 500
 τ_a ← 1000
 τ_s ← 1800
u ← 0,7
 τ_{sum} ← 1100
- Mientras Fd < 1,5 Repetir

2.1 Escribir “Aumente las dimensiones de w3”

2.2 Mientras Fr < 2 Repetir

2.2.1 Escribir “Aumente las dimensiones de w3”

- 2.2.2** Leer a ← valor ‘Se asigna un valor a la variable a’
L2 ← Valor ‘Se asigna un valor a la variable L2’
hd2 ← Valor ‘Se asigna un valor a la variable hd2’
ad2 ← Valor ‘Se asigna un valor a la variable ad2’
hd1 ← Valor ‘Se asigna un valor a la variable hd1’
ad1 ← Valor ‘Se asigna un valor a la variable ad1’

2.2.3 Hacer volp1 ← Htp x Ap x 1

2.2.4 Hacer volca ← $(Ho \times B) + \left[\left(\frac{T \times 1}{2} \right) \times B \right]$

2.2.5 Hacer Fs ← $\frac{\tau_s \times htp^2}{2}$

2.2.6 Hacer FH1 ← $\frac{\tau_a \times (Htp - H) \times htp}{2}$

2.2.7 Hacer FH2 ← $\tau_a \times Htp \times H$

2.2.8 Hacer m ← $\frac{warbol}{g}$

2.2.9 Hacer Fimp ← Vr x m

2.2.10 Hacer HT ← Htp + a

2.2.11 Hacer Fsp ← $\frac{\tau_a \times HT \times L2}{2}$

2.2.12 Hacer L'2 ← L2 – ad1 + Ap + ad2

2.2.13 Hacer w1 ← (volp1 – volca) x PHr

$$W2 \leftarrow a \times L2 \times PHr$$

$$W3 \leftarrow hd1 \times ad1 \times PHr$$

$$W4 \leftarrow (hd2 \times ad2 \times PHr) / 2$$

$$Wa \leftarrow (ad1 + L'2) \times (Htp + H) \times \tau_a$$

2.2.14 Hacer $\sum w \leftarrow w1 + w2 + w3 + w4 + wa$

2.2.15 Hacer Mfimp ← Fimp*HT

$$MFs \leftarrow Fs \times (1/3htp + a)$$

$$MH1 \leftarrow FH1 \times ((1/3htp) + a)$$

$$MH2 \leftarrow FH2 \times ((htp/2) + a)$$

$$MFsp \leftarrow Fsp \times 2/3 \times L2$$

2.2.16 Hacer $Momv \leftarrow Mfimp+MFs+MH1+MH2+MFsp$

2.2.17 Hacer $Mw1 \leftarrow w1*(ad2+(Ap/2))$

$Mw2 \leftarrow w2*(L2/2)$

$Mw3 \leftarrow w3*((ad1/2)+L'2+Ap+ad2)$

$Mw4 \leftarrow w4*2/3*ad2$

$Mwa \leftarrow wa*((ad1+L'2)/2)+Ap+ad2)$

2.2.18 Hacer $MomR \leftarrow Mw1+Mw2+Mw3+Mw4+Mwa$

2.2.19 Hacer $Pr \leftarrow (MonR-Momv) / (\sum w-Fsp)$

2.2.20 Hacer $e \leftarrow (L2/2)-Pr$

2.2.21 Hacer $F1 \leftarrow MomR/Momv$

2.3 {Fin del condicional 2.2}

2.4 $Fd \leftarrow (\mu*(\sum w-Fsp))/\sum FH$

3 {Fin del condicional 2}

✓ **Pantalla de datos.** En las figuras 80, 81 y 82, se indica la pantalla de datos, cálculo estructural

Figura 80. Cálculo estructural

CÁLCULO ESTRUCTURAL

INGRESE

Espesor del elemento 2 (a)
a =

Ancho de elemento 4
(elemento inclinado) ad2
ad2 =

Longitud del elemento 2 (L2)
L2 =

Altura del elemento 3 (dentellón)(hd1)
hd1 =

Altura del elemento 4
(elemento inclinado) (hd2)
hd2 =

Ancho del elemento 1 (dentellón) (ad1)
ad1 =

Ingresar

Figura 81. Cálculo estructural

CÁLCULO ESTRUCTURAL

NO SE PUDO INGRESAR, el factor de fuerza volcamiento es menor a 2,
aumente las dimensiones en el dentellón (hd1 y ad1)

INGRESE

Espesor del elemento 2 (a) a = <input style="width: 80%;" type="text"/>	Ancho de elemento 4 (elemento inclinado) ad2 ad2 = <input style="width: 80%;" type="text"/>
Longitud del elemento 2 (L2) L2 = <input style="width: 80%;" type="text"/>	Altura del elemento 3 (dentellón)(hd1) hd1 = <input style="width: 80%;" type="text"/>
Altura del elemento 4 (elemento inclinado) (hd2) hd2 = <input style="width: 80%;" type="text"/>	Ancho del elemento 1 (dentellón) (ad1) ad1 = <input style="width: 80%;" type="text"/>

Figura 82. Cálculo estructural

CÁLCULO ESTRUCTURAL

NO SE PUDO INGRESAR, el factor de deslizamiento es menor a 1,5,
aumente todas las dimensiones

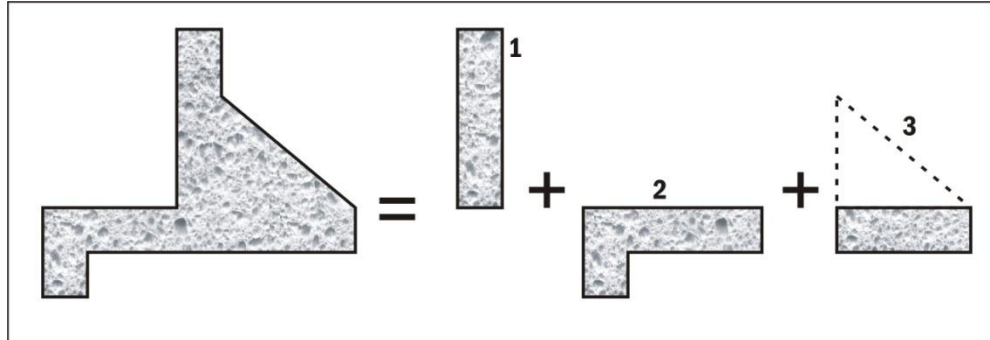
INGRESE

Espesor del elemento 2 (a) a = <input style="width: 80%;" type="text"/>	Ancho de elemento 4 (elemento inclinado) ad2 ad2 = <input style="width: 80%;" type="text"/>
Longitud del elemento 2 (L2) L2 = <input style="width: 80%;" type="text"/>	Altura del elemento 3 (dentellón)(hd1) hd1 = <input style="width: 80%;" type="text"/>
Altura del elemento 4 (elemento inclinado) (hd2) hd2 = <input style="width: 80%;" type="text"/>	Ancho del elemento 1 (dentellón) (ad1) ad1 = <input style="width: 80%;" type="text"/>

7.3.3.3 Diseño estructural

- ✓ **Fundamento teórico.** Según Corcho Romero⁴², para analizar las fuerzas internas, se divide la estructura en tres partes, asimilando cada una de ellas a una viga voladizo como indica figura 83.

Figura 83. Descomposición de la estructura de captación en partes para análisis



Fuente: ROMERO CORCHO, Freddy Hernán. Acueductos teoría y diseño. Medellín: Universidad de Medellín 1993. p. 591

Y se analizan las sollicitaciones de cada elemento.

- ✓ **Especificaciones de diseño**

La ΣF_v no incluye la supresión del agua (F_{sp})

$$\tau_s = 1800$$

- ✓ **Metodología de diseño**

Los pasos utilizados para el proceso del diseño estructural vienen del resultado del proceso de los algoritmos anteriores, en este trabajo estos datos son:

Σw , F_{sp} , e , L_2 , A_c , ad_2 , A_p , τ_s , F_s , H_{tp} , FH_1 , FH_2 , F_{imp} , H , ad_1 y L'_2 y están explicados más adelante.

El procedimiento utilizado esta basado según Corcho Romero⁴³, por lo cual el algoritmo:

⁴² CORCHO ROMERO y Duque Serna. Acueductos teoría y diseño. Ejemplo 2.5.5.3.1. Universidad de Medellín: Centro general de investigaciones, 1993. p. 121

- Calcula la sumatoria de las fuerzas verticales
- Calcula el esfuerzo máximo y mínimo bajo la estructura mediante la expresión:

$$\Sigma F_v = \Sigma w - F_{sp}$$

$$\delta_{\max, \min} = \frac{\Sigma F_v}{L2Ac} \left[1 \pm \frac{6e}{L2} \right]$$

- 8 “Calcula la diferencia entre el esfuerzo máximo bajo la estructura (δ_{\max}) y el esfuerzo mínimo bajo la misma. (δ_{\min}) Para luego calcular la magnitud del esfuerzo en el punto (L2 - ad2) cuando (δ_{\min}) es cero y (Y1) despejando (Y1) de la expresión”⁴⁴.

$$\delta(m) = \delta_{\max} - \delta_{\min}$$

$$Y1 = \frac{(ad1+L'2) \times \delta(+)}{L2}$$

- 9 Establece la magnitud total del esfuerzo en (L2 – ad2) ya que es uno de los puntos críticos de la estructura.

$$\delta 1 = Y1 + \delta_{\min}$$

- 10 “Igualmente procede a calcular las magnitudes del otro punto crítico ubicado en L – (ad2 + Ap), se despeja y2 de la expresión”⁴⁵.

$$Y2 = \frac{(ad2+Ap) \times \delta(+)}{L2}$$

Y se calcula ($\delta 2$)

$$\delta 2 = Y2 + \delta_{\min}$$

- 11 Ahora calcula la fuerza de Subpresión en los puntos críticos de la estructura teniendo en cuenta el peso específico de los sedimentos τ s.

$$F_{sP2} = \frac{(ad2+AP) \times \tau_s}{L2}$$

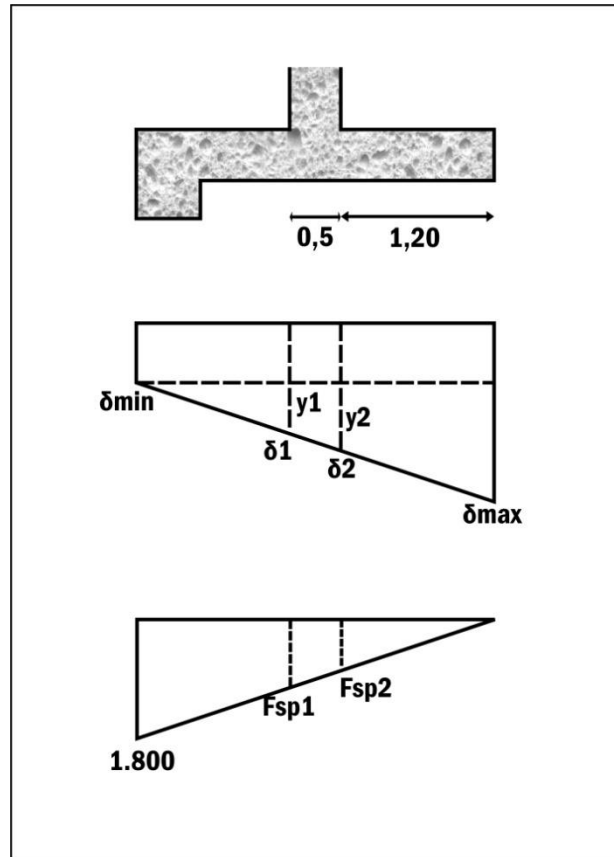
⁴³ CORCHO ROMERO y Duque Serna. Acueductos teoría y diseño. Ejemplo 2.5.5.3.1. Universidad de Medellín: Centro general de investigaciones, 1993. p. 121

⁴⁴ Ibid., p. 126.

⁴⁵ Ibid

$$F_{sp1} = \frac{\alpha d^2}{L^2} \times \tau_s$$

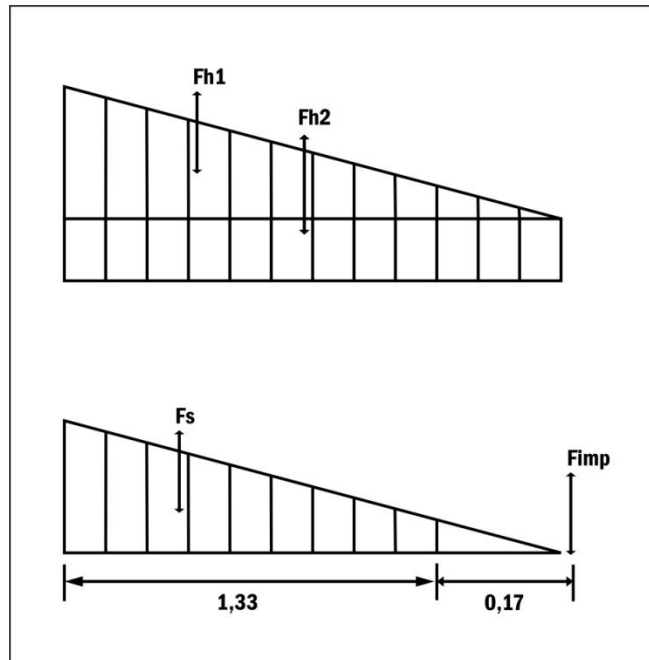
Figura 84. Subpresión (Puntos Críticos)



Fuente: ROMERO CORCHO, Freddy Hernán. Acueductos teoría y diseño. Medellín: Universidad de Medellín 1993. p. 591

- 12** Procede a realizar el análisis del elemento 1, calculando momento y cortante en el punto crítico para cada estado de carga.

Figura 85. Estado de carga de el elemento



Fuente: ROMERO CORCHO, Freddy Hernán. Acueductos teoría y diseño. Medellín: Universidad de Medellín 1993. p. 591

Según Corcho Romero⁴⁶,

- 13** Se calcula primero la carga triangular. Producida por los sedimentos la cortante máxima se presenta al inicio del elemento en la distancia cero por lo tanto: en la expresión:

$$R = V_o S = F_s$$

- 14** También calcula el momento máximo, producido por la carga de los sedimentos.

$$M_o S = \frac{F_s \times h_{tp}}{3}$$

- 15** Ahora con las cargas producidas por el agua (FH1) y (FH2) tanto triangular como uniforme, calcula la cortante y el momento respectivo. Para la fuerza triangular FH1 se tiene:

⁴⁶ CORCHO ROMERO y Duque Serna. Acueductos teoría y diseño. Universidad de Medellín: Centro general de investigaciones, 1993. p. 126.

$$V_{oH1} = FH1$$

$$M_{oH1} = \frac{FH1 \times htp}{3}$$

16 Para la fuerza uniforme FH2 se tiene:

$$V_{oH2} = FH2$$

$$M_{oH2} = \frac{FH2 \times (htp)^2}{2}$$

17 Para la fuerza de impacto (Fimp). Se calcula cortante y momento.

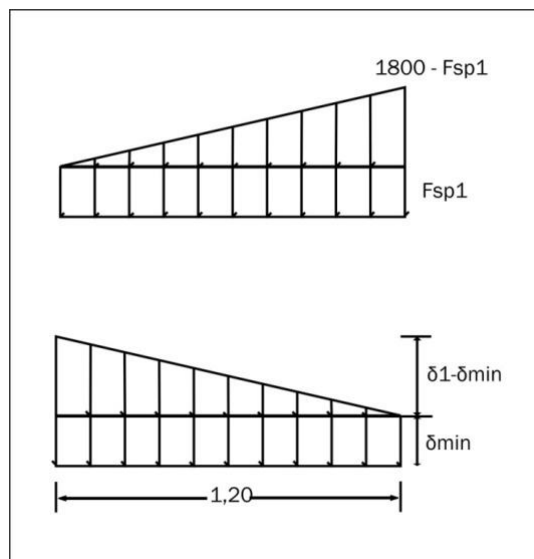
$$V_{imp} = F_{imp}$$

$$M_{imp} = F_{imp} \times (htp + H)$$

18 Para este elemento por último calcula el total cortante y el total momento en la cara crítica.

19 Realiza el análisis del elemento 2.

Figura 86. Estado de carga elemento 2



Fuente: ROMERO CORCHO, Freddy Hernán. Acueductos teoría y diseño. Medellín: Universidad de Medellín 1993. p. 591

- 20 Calcula las cortantes y los momentos producidos por las cargas uniformes (δ_{min}) y (F_{sp}): de acurdo con las expresiones:

$$V_{omin} = \delta_{min} (ad1 + L'2)$$

$$M_{omin} = \frac{\delta_{min} (ad1 + L'2)^2}{2}$$

$$V_{sp1} = F_{sp1} \times (ad1 + L'2)$$

$$M_{sp1} = \frac{F_{sp1} \times (ad1 + L'2)^2}{2}$$

- 21 Calcula las cortantes y los momentos producidos por las cargas triangulares:

$$V_{oy1} = \frac{Y1 \times (ad1 + L'2)^2}{2}$$

$$M_{oy1} = \frac{Vol \times (ad1 + L'2)^2}{3}$$

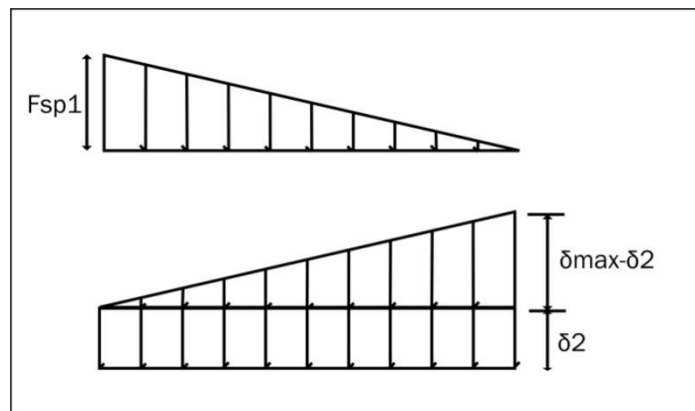
$$V_{oTs} = \frac{(Ts - F_{sp}) \times (ad1 + L'2)^2}{2}$$

$$M_{oTs} = \frac{V_{oTs} \times (ad1 + L'2)^2 \times 2}{3}$$

- 22 Calcula la sumatoria tanto de cortantes como de momentos en elemento 2.

- 23 Analiza el elemento 3.

Figura 87. Estado de carga elemento 3



Fuente: ROMERO CORCHO, Freddy Hernán. Acueductos teoría y diseño. Medellín: Universidad de Medellín 1993. p. 591

24 Calcula la cortante y el momento producido por la carga uniforme (δ_2):

$$V_{\delta_2} = \delta_2 \times ad_2$$

$$M_{\delta_2} = \frac{\delta_2 \times (ad_2)^2}{2}$$

25 Igualmente calcula las cortantes y los momentos producidos por las cargas triangulares (F_{SP2}) y ($\delta_{max} - \delta_2$).

$$V_{oSP2} = \frac{F_{SP2} \times (ad_2)}{2}$$

$$M_{oSP2} = \frac{V_{SP2} \times (ad_2)}{3}$$

$$V_{om\delta} = \frac{(\delta_{max} - \delta_2) \times ad_2}{2}$$

$$M_{om\delta} = \frac{V_{om\delta} \times ad_2}{3}$$

26 Por último calcula la sumatoria de cortantes y momentos.

✓ Ejemplo de cálculo

Datos de entrada.

Sumatoria de los pesos de los elementos (Σw): 930 l, 92 Kg

Fuerza debida a la Subpresión (F_{sp}): 2929 Kg

Brazo horizontal (L_2): 2,9 m

Ancho del cauce (A_c): 3m

Excentricidad (e): 0,234

Ancho del elemento inclinado (ad_2): 1,20 m

Ancho de la presa (AP): 0,66 m

Peso específico de los sedimentos (γ_s): 1800 Kg/m³

Altura de la presa central (h_{tp}): 1,2 m

Fuerza debido a los sedimentos (F_s): 1296 Kg/m

Fuerza de empuje del agua (F_{H1}): 987,46 Kg/m

Fuerza de empuje de los sedimentos sumergidos (F_{H2}): 127,67 Kg/m

Altura de la lámina de agua en condiciones de diseño (H): 0,07423 m

Fuerza de impacto de los sólidos flotantes (Fimp): 26,01 Kg - m/sg

Ancho de dentellón (ad1): 0,70 m

Longitud libre del elemento 2 (L'2): 0,34 m

Solución.

Cálculo de la fuerza vertical (ΣFV):

$$\Sigma FV = 930 \text{ l, } 92 - 2929 = 6372,92 \text{ Kg}$$

El esfuerzo máximo bajo la estructura es:

$$\delta_{\max} = \frac{6372,92}{2,9 \times 3} \left[1 + \frac{6 \times (0,234)}{2,9} \right]$$

$$\delta_{\max} = 1087,16 \text{ Kg/m}^2$$

$$\delta_{\min} = \frac{6372,92}{2,9 \times 3} \left[1 - \frac{6 \times (0,234)}{2,9} \right]$$

$$\delta_{\min} = 377,88 \text{ Kg/m}^2$$

La diferencia entre las magnitudes (δm) entre (δ_{\max}) y (δ_{\min}) es:

$$\delta m = 1087,16 - 377,88$$

$$\delta m = 709,28 \text{ Kg/m}^2$$

Por lo tanto el esfuerzo es el punto crítico ubicado a 1,04 mts es:

$$Y1 = \frac{(0,70 + 0,34) \times 709,28}{2,9} = 254,36 \text{ Kg/m}^2$$

$$\delta 1 = 254,36 + 377,88 = 632,24 \text{ Kg/m}^2$$

El esfuerzo en el punto crítico ubicado a 1,7 m es:

$$Y2 = \frac{1,7 \times 709,28}{2,9} = 415,78 \text{ Kg/m}^2$$

$$\delta 2 = 415,78 + 377,88 = 793,66 \text{ Kg/m}^2$$

La fuerza de subpresión en los puntos críticos es:

$$FsP1 = \frac{1,7 \times 1800}{2,9} = 1055,17 \text{ Kg/m}^2$$

$$F_{sP2} = \frac{1,04 \times 1800}{2,9} = 645,51 \text{ Kg/m}^2$$

- **Análisis del elemento 1**

a) Carga triangular (FS)

Cortante

$$V_{oS} = FS \quad \Rightarrow \quad V_{oS} = 1296 \text{ Kg}$$

Momento

$$M_{oS} = \frac{1296 \times 1,2}{3} = 518,4 \text{ Kg - m}$$

b) Carga triangular (FH1)

Cortante

$$V_{oH1} = 987,46 \text{ Kg}$$

Momento

$$M_{oH1} = \frac{987,46 \times 1,2}{3} = 394,984 \text{ Kg - m}$$

c) Carga uniforme (FH2)

Cortante

$$V_{oH2} = 127,67 \text{ Kg}$$

Momento

$$M_{oH2} = \frac{127,67 \times (1,2)^2}{2} = 91,92 \text{ Kg - m}$$

d) Carga puntual (Fimp)

Cortante

$$V_{imp} = 26,01 \text{ Kg en el momento de impacto}$$

Momento

$$M_{imp} = 26,01 \times (1,2 + 0,07423) = 33,14 \text{ K - m /m}$$

Total cortante en la cara crítica. VTcc1 = 2437,14 Kg

Total momento en la cara crítica. MTcc1 = 1038,44 Kg - m

e) Análisis del elemento 2 cargas uniformes

Para (δ_{min})

Cortante

$$V_{omin} = 377,88 \times (0,70 + 0,34) = 392,99 \text{ Kg}$$

Momento

$$M_{omin} = \frac{377,88 \times (0,70 + 0,34)^2}{2} = 204,35 \text{ Kg} - \text{m}$$

Para (FsP1)

Cortante

$$V_{sP1} = 1055,17 \times (0,70 + 0,34) = 1097,37 \text{ Kg}$$

Momento

$$M_{sP1} = \frac{1055,17 \times (0,70 + 0,34)^2}{2} = 570,63 \text{ Kg} - \text{m}$$

Para (Y1)

Cortante

$$V_{oy1} = \frac{254,36 \times (0,70 + 0,34)}{2} = 132,2672 \text{ Kg}$$

Momento

$$M_{oy1} = \frac{132,2672 \times (0,70 + 0,34)}{3} = 45,8526 \text{ Kg} - \text{m}$$

Para (τ_s – FP1)

Cortante

$$V_{o\tau_s} = \frac{(1800 - 1055,17) \times (0,70 + 0,34)}{2} = 387,31 \text{ Kg}$$

Momento

$$M_{o\tau_s} = \frac{387,31 \times (0,70 + 0,34) \times 2}{3} = 268,53 \text{ Kg} - \text{m}$$

Sumatoria de cortantes en el elemento z y sumatoria de momentos en el mismo

$$VT_{cc2} = (392,99 + 1097,37 + 132,2672 + 387,31) \text{ Kg} = 2009,9372 \text{ kg}$$

$$MT_{cc2} = (204,35 + 570,63 + 45,8526 + 268,53) \text{ Kg} - \text{m} = 1089,3626 \text{ Kg} - \text{m}$$

Total cortante en la cara crítica del elemento 2. $VT_{cc2} = 2009,93 \text{ Kg}$

Total momento en la cara crítica del elemento 2. $MT_{cc2} = 1089,3626 \text{ Kg} - \text{m}$

f) Análisis del elemento 3

Para (δ_2)

Cortante

$$V_{\delta_2} = 793,66 \times 1,20 = 952,392$$

Momento

$$M_{\delta_2} = \frac{793,66 \times (1,20)^2}{2} = 571,43$$

Para (F_{sP2})

Cortante

$$V_{oSP2} = \frac{645,51 \times (1,20)}{2} = 387,306$$

Momento

$$M_{oSP2} = \frac{387,306 \times (1,20)}{3} = 154,9224$$

Para ($\delta_{\max} - \delta_2$)

Cortante

$$V_{om\sigma} = \frac{(1087,16 - 793,66) \times 1,20}{2} = 176,1$$

Momento

$$M_{om\sigma} = \frac{176,1 \times 1,20}{3} = 70,44$$

Total cortante en la cara crítica del elemento 3.

$$VT_{cc3} = 952,392 + 387,306 + 176,1 = 1515,8$$

$$VT_{cc3} = 1515,8 \text{ Kg}$$

Total momentos

$$MT_{cc3} = 571,43 + 154,9224 + 70,44 = 796,7924$$

$$MT_{cc3} = 796,7924 \text{ K - m}$$

- ✓ **Diagrama de flujo.** En la figura 88, 89, 90 y 91, se indica el diagrama de flujo, diseño estructural y diseño estructural elemento 1.

Listado de variables.

ΣF_v = Fuerza de volcamiento sin FSP

F_{sp} = Fuerza de supresión del agua

δ_{max} = Esfuerzo máximo bajo la estructura

L_2 = Brazo horizontal

A_c = Ancho de cauce

e = Excentricidad

δ_{min} = Esfuerzo mínimo bajo la estructura

Y_1 = Magnitud del esfuerzo en ad_2 cuando δ_{min} es cero

ad_2 = Ancho de elemento 4 (elemento inclinado)

$\delta(m)$ = Esfuerzo máximo bajo la estructura, si se tiene que el esfuerzo mínimo bajo la misma es cero o resultante de la resta entre δ_{max} y δ_{min} . Es la diferencia de magnitudes entre δ_{max} y δ_{min} .

δ_1 = Magnitud total del esfuerzo en ad_2

Y_2 = Magnitud del esfuerzo en (ad_2+Ap) cuando δ_{min} es cero

δ_2 = Magnitud total del esfuerzo en (ad_2+Ap)

F_{sP1} = Fuerza de supresión en ad_2

F_{sP2} = Fuerza de supresión en (ad_2+Ap)

τ_s = Peso específico de los sedimentos

V_{oS} = Cortante debido a F_s (Fuerza debido a sedimentos)

M_{oS} = Momento generado por F_s

V_{oH1} = Cortante debido a F_{H1} (Fuerza de empuje del agua)

M_{oH1} = Momento generado por F_{H1}

V_{oH2} = Cortante generada por la fuerza de empuje del agua F_{H2}

M_{oH2} = Momento generado por F_{H2} .

V_{imp} = Cortante debida al impacto de sólidos flotantes.

M_{imp} = Momento generado por la fuerza de impacto

VTcc 1 = Sumatoria de las cortantes en la cara crítica del elemento 1
MTcc1 = Sumatoria de los momentos en la cara crítica del elemento 1
Vomin = Cortante generada por la fuerza debido a δ_{min} (rectangular)
Momin = Momento generado por la fuerza producida por δ_{min} (rectangular)
Vsp1 = Cortante debido a la supresión del agua en la distancia $(ad1+L'2)$
 (rectangular)
Msp1 = Momento debido a la supresión del agua generada en la distancia
 $(ad1+L'2)$
Voy1 = Cortante producida por la fuerza aplicada en $(ad1+L'2)$ denominada $y1$
 (Triangular)
Moy1 = Momento producido por $y1$
VoTs = Cortante producida por la carga triangular referente a la diferencia entre $\bar{I} s$
 y $Fsp1$ producida por la suspensión del agua $(ad1+L'2)$
MoTs = Momento producido por la carga $(\bar{I} s-Fsp1)$ resultante.
VTcc2 = Sumatoria de cortantes en el elemento 2.
MTcc2 = Sumatoria de momentos en el elemento2.
V σ 2 = Cortante debido a la fuerza σ 2.
M σ 2 = Momento generado por la fuerza σ 2.
VoSP2 = Cortante generada por la fuerza de supresión SP2.
MoSP2 = Momento generado por la fuerza de supresión SP2
Vom σ = Cortante generada por la fuerza equivalente a la diferencia entre δ_{max} y
 $r2$
Mom σ = Momento generado por la fuerza equivalente a la diferencia entre δ_{max}
 y $r2$
VTcc3 = Sumatoria de cortantes en el elemento 3
MTcc3 = Sumatoria de momentos en el elemento 3
Ap = Ancho de la presa

Figura 88. Diseño estructural

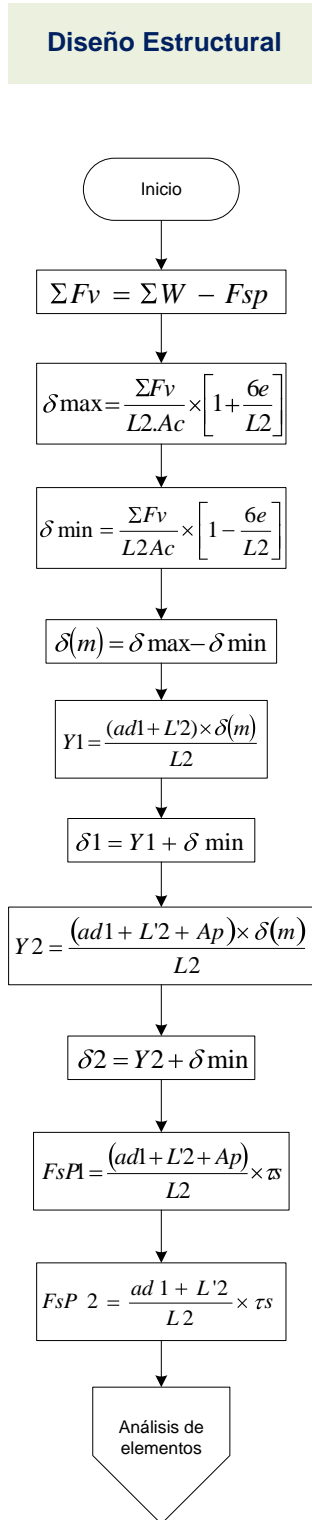


Figura 89. Diseño estructural elemento 1

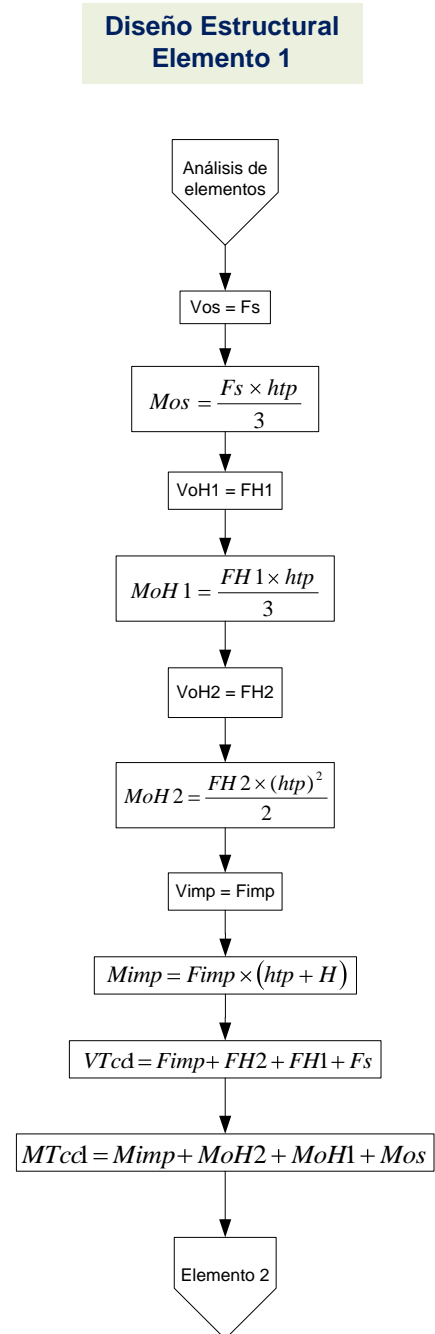


Figura 90. Diseño estructural elemento 2

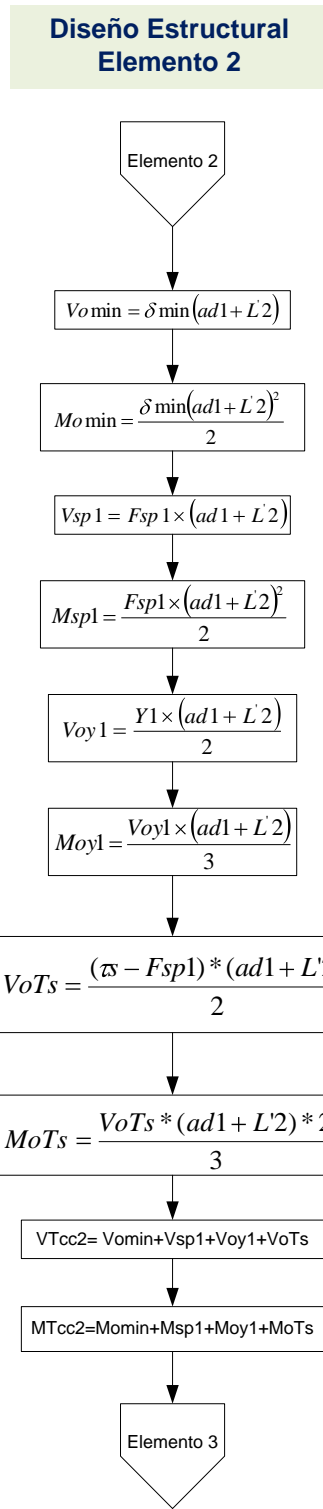
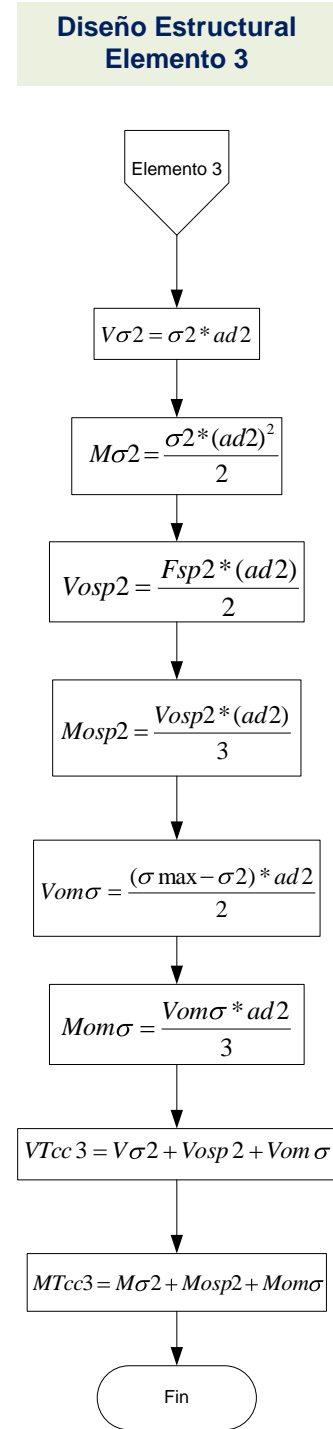


Figura 91. Diseño estructural elemento 3



✓ **Pseudocódigo**

Algoritmo. El algoritmo determina las fuerzas y calcula los momentos producidos por estas en cada elemento de la estructura.

4.3.3	Hacer Fv	→	$\Sigma w - FsP$
4.3.4	Hacer δ_{max}	→	$\frac{\Sigma Fv}{L2 \cdot Ac} \left[1 - \frac{6e}{L2} \right]$
4.3.5	Hacer δ_{min}	→	$\frac{\Sigma Fv}{L2 \cdot Ac} \left[1 - \frac{6e}{L2} \right]$
4.3.6	Hacer δ_m	→	$\delta_{max} - \delta_{min}$
4.3.7	Hacer Y1	→	$\frac{(ad1 + L'2) \times \delta_m}{L2}$
4.3.8	Hacer V1	→	$V1 + \delta_{min}$
4.3.9	Hacer Y1	→	$\frac{(ad1 + L'2 + AP) \times \delta_m}{L2}$
4.3.10	Hacer V2	→	$V2 + \delta_{min}$
4.3.11	Hacer Y2	→	$\frac{(ad1 + L'2 + AP) \times \tau_s}{L2}$
4.3.12	Hacer FsP1	→	$\frac{(ad1 + L'2) \times \tau_s}{L2}$
4.3.13	Hacer VoS	→	FS
4.3.14	Hacer MoS	→	$\frac{FS \times htp}{3}$
4.3.15	Hacer VoH1	→	FH1
4.3.16	Hacer MoH1	→	$\frac{FH1 \times htp}{3}$
4.3.17	Hacer VoH2	→	FH2
4.3.18	Hacer MoH2	→	$\frac{FH2 \times (htp)^2}{2}$
4.3.19	Hacer Vimp	→	Fimp
4.3.20	Hacer Mimp	→	Fimp x (htp + H)
4.3.21	Hacer VTcc1	=	Fimp + FH2 + FH1 + FS
4.3.22	Hacer MTcc1	=	Mimp + MoH2 + MoH1 + MoS
4.3.23	Hacer Vomin	→	$\delta_{min} (ad1 + L'2)$
4.3.24	Hacer Momin	→	$\frac{\delta_{min} (ad1 + L'2)^2}{2}$
4.3.25	Hacer VsP1	→	$\frac{FsP1 \times (ad1 + L'2)^2}{2}$
4.3.26	Hacer MsP1	→	$\frac{FsP1 \times (ad1 + L'2)^2}{2}$
4.3.27	Hacer Voy1	→	$\frac{Y1 \times (ad1 + L'2)}{2}$
4.3.28	Hacer Moy1	→	$\frac{VoY1 \times (ad1 + L'2)}{2}$

4.3.29	Hacer	$V_o \tau_s$	\longrightarrow	$\frac{(\tau_s - F_{sp1}) x (ad1 + L/2)}{2}$
4.3.30	Hacer	$M_o \tau_s$	\longrightarrow	$\frac{V_o \tau_s x (ad1 + L/2) x 2}{2}$
4.3.31	Hacer	V_{Tcc2}	\longrightarrow	$V_{min} + V_{sp1} + V_{oy1} + V_{oTs}$
4.3.32	Hacer	M_{Tcc2}	\longrightarrow	$M_{min} + M_{sp1} + M_{oy1} + M_{oTs}$
4.3.33	Hacer	$V_{\sigma 2}$	\longrightarrow	$\sigma 2 x ad 2$
4.3.34	Hacer	$M_{\sigma 2}$	\longrightarrow	$\frac{\sigma 2 x (ad 2)^2}{2}$
4.3.35	Hacer	V_{oSP2}	\longrightarrow	$\frac{F_{sP2} x (ad 2)}{2}$
4.3.36	Hacer	M_{oSP2}	\longrightarrow	$\frac{V_{oSP2} x (ad 2)}{3}$
4.3.37	Hacer	$V_{om\sigma}$	\longrightarrow	$\frac{(\sigma_{max} - \sigma 2) x ad 2}{2}$
4.3.38	Hacer	$M_{om\sigma}$	\longrightarrow	$\frac{V_{om\sigma} x ad 2}{3}$
4.3.39	Hacer	V_{Tcc3}	\longrightarrow	$V_{\sigma 2} + V_{oSP2} + V_{om\sigma}$
4.3.40	Hacer	M_{Tcc3}	\longrightarrow	$M_{\sigma 2} + M_{oSP2} + M_{om\sigma}$

7.3.3.4 Diseño a flexión

✓ **Fundamento teórico.** Es básicamente el cálculo de la cuantía del acero por metro lineal de cada elemento que compone la estructura de captación y consiste en la comparación de la cuantía mínima establecida y la cuantía calculada con el momento y la sección de cada elemento.

Según NSR-98

Refuerzo de acero

- El refuerzo debe ser corrugado. El refuerzo liso solo puede utilizarse en estribos, espirales o tendones, y refuerzo de reparación y temperatura. El refuerzo que consista de acero estructural o de tubería estructural, puede ser utilizado como se especifica en el presente Título de este Reglamento.

– **Refuerzo corrugado** el refuerzo corrugado debe cumplir con las normas de calidad que se dan a continuación y se designan para efectos de este Reglamento como se indica en las tablas 21 y 22. La

comprobación de la designación de la barra se realiza por medio de su peso por metro de acuerdo con los valores dados en las tablas 21 y 22.

Las barras corrugadas para refuerzo deben cumplir con las normas NTC 2289 (ASTM A 706). Además deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- a) La resistencia a la fluencia debe corresponder a la determinada por ensayos sobre barras de tamaño completo. Los esfuerzos obtenidos por medio del ensayo de tracción deben calcularse utilizando el área nominal de la barra tal y como se indica en las tablas 21 y 22.
- b) No se permite el uso de acero corrugado de refuerzo fabricado bajo la norma NTC 245, ni ningún otro tipo de acero que haya sido trabajado en frío o trefilado, a menos que esté explícitamente permitido por la norma bajo la cual se fabrica cualquiera de los materiales permitidos por el reglamento.⁴⁷

Tabla 20. Dimensiones nominales de las barras de refuerzo. (Diámetros basados en milímetros)

Designación de la barra (véase la Nota)	DIMENSIONES NOMINALES			Masa Kg/m
	Diámetro mm	Área mm ²	Perímetro mm	
6 M	6.0	28.3	18.85	0.222
8 M	8.0	50.3	25.14	0.394
10 M	10.0	78.5	31.42	0.616
12 M	12.0	113.1	37.70	0.887
16 M	16.0	201.1	50.27	1.577
18 M	18.0	254.5	56.55	1.996
20 M	20.0	314.2	62.83	2.465
22 M	22.0	380.1	69.12	2.982
25 M	25.0	490.9	78.54	3.851
32 M	32.0	804.2	100.53	6.309
45 M	45.0	1590.4	141.37	12.477
55 M	55.0	2375.8	172.79	18.638

Nota: La M indica que son diámetros nominales en mm

Fuente: NSR-98 – Capítulo C.3 – Materiales

⁴⁷ NSR – 98. Normas Colombianas de diseño y construcción sismo resistente. Refuerzo de acero. En: Capítulo C.3. Materiales. Asociación colombiana de ingeniería sísmica “SIS”, 1998. p. c-14. tomo1.

Tabla 21. Dimensiones nominales de las barras de refuerzo. (Diámetros basados en octavos de pulgada).

Designación de la barra (véase la Nota)	Diámetro de referencia en pulgadas	DIMENSIONES NOMINALES			Masa Kg/m
		Diámetro mm	Área mm ²	Perímetro mm	
Nº 2	1/4"	6.4	32	20.0	0.250
Nº 3	3/8"	9.5	71	30.0	0.560
Nº 4	1/2"	12.7	129	40.0	0.994
Nº 5	5/8"	15.9	199	50.0	1.552
Nº 6	3/4"	19.1	284	60.0	2.235
Nº 7	7/8"	22.2	387	70.0	3.042
Nº 8	1"	25.4	510	80.0	3.973
Nº 9	1-1/8"	28.7	645	90.0	5.060
Nº 10	1-1/4"	32.3	819	101.3	6.404
Nº 11	1-3/8"	35.8	1006	112.5	7.907
Nº 14	1-3/4"	43.0	1452	135.1	11.380
Nº 18	2-1/4"	57.3	2581	180.1	20.240

Nota: La Nº de la barra indica el número de octavos de pulgada del diámetro de referencia

Fuente: NSR-98 – Capítulo C.3 – Materiales

4.3.4.1 Especificaciones de diseño

$$F'c = 280 \text{ Kg/cm}^2 \approx 4.000 \text{ PSI}$$

$$F_y = 420 \text{ Kg/cm}^2 \approx 60.000 \text{ PSI}$$

$$\theta = 0,90$$

$$\text{Refuerzo mínimo } \frac{14}{F_y}$$

Como mínimo debe utilizarse el recubrimiento para el refuerzo indicado para muros y paredes expuesto o en contacto permanente con el agua, la intemperie o la tierra que es de 5cm, según la norma NSR-98⁴⁸.

⁴⁸ NSR - 98, Normas Colombianas de diseño y construcción sismo resistente. Asociación colombiana de ingeniería sísmica "SIS", 1998. tomo1.

✓ **Metodología de diseño**

- En primer lugar se determina la resistencia nominal concreto $F'c$ y la resistencia nominal a la fluencia del acero Fy .
- Se hace referencia al elemento en estudio
- Luego se diseña por metro lineal el elemento en estudio, por lo tanto la base se la establece en 100 cm y a la distancia o espesor del elemento, se le resta el recubrimiento que según las normas NSR-98 debe ser de 5 cm
- Teniendo en cuenta el momento total en la cara crítica de cada elemento ($MTcc$) se tiene que:

Según Corcho Romero⁴⁹

$$MTcc = Kbd^2 \quad [99]$$

$$K = \theta \Gamma Fy \left[1 - \frac{0,59 \Gamma Fy}{F'c} \right] \quad [100]$$

Por lo tanto la cuantía es:

$$\Gamma = \frac{1 - \sqrt{1 - \left(4 \times 0,59 \times \frac{MTcc}{F'c b d^2} \right)}}{2 \times 0,59 \frac{Fy}{F'c}} \quad [101]$$

- También según Corcho Romero⁵⁰, el refuerzo mínimo es

$$\Gamma_{min} = \frac{14}{Fy} \quad [102]$$

- Se compara las cuantías y se trabaja con la mayor entre Γ_{min} y Γ
- Se realiza el cálculo del acero requerido así:

$$As = \Gamma b d \quad [103]$$

⁴⁹ CORCHO, Op. Cit., p. 131.

⁵⁰ Ibid., p. 131.

- Después de que el usuario selecciona el número de varilla con el que desea trabajar, el algoritmo lo relaciona con la tabla anterior, tabla 20 y obtiene el área correspondiente (A_b).
- Luego se calcula el número de barras necesarias en 1 metro lineal del elemento.
- Se debe tener en cuenta el espesor de 5cm en cada lado para determinar la longitud en la cual se distribuirá el acero y determinar así por medio de una regla de tres simple el número total de barras.
- También es necesario calcular el espaciamiento entre barras.
- Y por último se realiza el cálculo de la longitud total del acero necesario en el elemento en estudio.
- El área del acero requerido para retracción, fraguado y para ser utilizado no por requerimientos estructurales, si no por motivos de construcción se determina por medio de:

Según Corcho Romero⁵¹

$$A_s = 0,0009 A_q$$

[104]

Donde A_q es el área bruta del hormigón y A_s área del refuerzo

- ✓ Según Corcho Romero para obtener el acero de construcción en el elemento 1 se estima que h es igual h_{d2} , o sea:

$A_q = h_{d2} \cdot b$ Siendo h_{d2} la altura del elemento inclinado y b la base del elemento

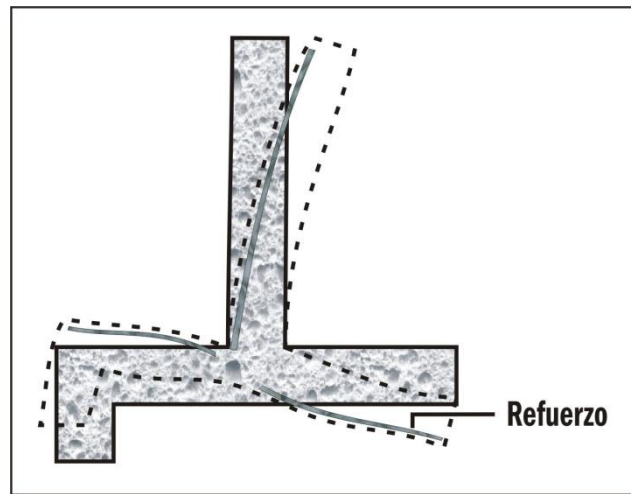
Se hace

$$A_s = 0,0009 \times A_q$$

- ✓ En el elemento 2 se calcula la longitud de las varillas sometidas a tracción, las cuales se colocan en las fibras superiores debido a la deformación sufrida por la estructura como un todo al ser sometida al empuje del agua y sedimentos aguas arriba. En la cara inferior se colocará el mismo refuerzo aprovechando el refuerzo a flexión del elemento 3.

⁵¹ Ibid., p. 133.

Figura 92. Esquema de deformación de la estructura para determinar el refuerzo a flexión debido al empuje del agua



Fuente: ROMERO CORCHO, Freddy Hernán. Acueductos teoría y diseño. Universidad de Medellín. pag. 132

$$L_{var} = 0,15 + (L - 0,10)$$

\downarrow \downarrow
 Gancho Recubrimiento

- ✓ En el elemento 3 se coloca el refuerzo en la parte inferior, ya que las fibras inferiores están sometidas a tracción; en la cara superior se colocará el mismo refuerzo aprovechando el refuerzo a flexión del elemento 2.

- ✓ **Ejemplo de cálculo.** Siguiendo con el ejemplo global de este trabajo, con los datos obtenidos en los algoritmos anteriores, los datos específicos de diseño y los suministrados por el usuario son:

$F'c$	=	280 kg/cm ²
Fy	=	4.200 kg/cm ²
θ	=	0,90
Ap	=	0,66 m
MT_{cc1}	=	1038,44 K - m
Ac	=	3 m
MT_{cc2}	=	1089,3626 K - m
htp	=	1,2 m
a	=	0,30 m
D	=	0,08 m

$$\begin{aligned}hd2 &= 0,70 \text{ m} \\L2 &= 2,9 \text{ m} \\MT_{cc3} &= 796,7924 \text{ K - m}\end{aligned}$$

Luego se establece el diseño a flexión de cada uno de los elementos de la estructura

a) Solución.

Se hace

$$\begin{aligned}F'_c &= 280 \text{ Kg/cm}^2 \\F_y &= 4.200 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

Se realiza el análisis al elemento 1

Para trabajar por metro lineal se hace

$$\begin{aligned}b1 &= 100 \text{ cm} \\d1 &= [(0,66 \times 100) - 8] \text{ cm} = 58 \text{ cm} \\ \theta &= 0,9\end{aligned}$$

A hora se calcula la cuantía para este elemento, después de pasar el momento a Kg – cm

$$\begin{aligned}MT_{cc1} &= 1038,44 \times 100 = 103844 \text{ kg -cm} \\ \Gamma_1 &= \frac{1 - \sqrt{1 - \left(4 \times 0,59 \times \frac{103844}{280 \times 0,9 \times 100 \times (58)^2}\right)}}{2 \times 0,59 \times \frac{4.200}{280}} = 0,0000817236\end{aligned}$$

A hora se calcula la cuantía mínima

$$\Gamma_{\min} = \frac{14}{4.200} = 0,00333$$

Como Γ_{\min} es mayor que Γ_1 , se utilizará en adelante Γ_{\min} para encontrar el área de acero requerida para el elemento en estudio.

$$\begin{aligned}As1 &= 0,00333 \times 100 \times 58 \\As1 &= 19,314 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

Se utiliza varillas N° 4 entonces, según la tabla 22, se tiene que esta varilla tiene un área A_b de 129 mm^2 , por lo tanto

$$A_{b1} = \frac{129}{(10)^2} = 1,29 \text{ cm}^2$$

El número de varillas en un metro lineal del elemento 1 es:

$$\#1 = \frac{19,314 \text{ cm}^2}{1,29 \text{ cm}^2} = 14,97 \approx 15 \text{ varillas N}^\circ 4 \text{ en cada metro lineal}$$

Ahora se tiene que la longitud del elemento 1 es:

$$L_{m1} = 3\text{m} - 0,08\text{m} = 2,92\text{m}$$

Por lo tanto se obtiene el número real de varillas que se necesitan por medio de una regla de tres.

$$\frac{\#b}{L_m} = \frac{\#1}{1\text{m}} \quad \text{Entonces}$$

$$\#b1 = \left(\frac{L_m \times \#1}{1\text{m}} \right) + 1$$

$$\#b1 = (2,92\text{m} \times 15) + 1 = 44,8 \approx 45 \text{ varillas}$$

El espaciamiento entre las varillas es:

$$E_{b1} = \frac{2,92}{45} = 0,064\text{m} \approx 0,06$$

Ahora se calcula la longitud de cada varilla, que se debe colocar a tracción

$$L_{var1} = [(1,2 + 0,30) - 0,1] + 0,15 = 1,55 \text{ m}$$

Se ubican 44 varillas N° 4 de longitud 1,55 m c/u separadas entre sí cada 6cm y se ponen a 4cm de la cara a tracción.

Luego la longitud de las varillas que se deben colocar en la cara a flexión es:

$$L_{varo1} = [(1,2 + 0,30) - 0,08 - 0,1] + 0,15 = 1,47 \text{ m}$$

$$L_{varo1} = 1,47 \text{ m}$$

Se ubica en total 44 varillas N° 4 de longitud 1,47 m c/u separadas cada 7 cm y se ponen a 4 cm de la cara a flexión.

Ahora calcula la longitud total del acero por flexión y tracción en el elemento # 1

$$LTvar1 = (44 \times 1,55) + (44 \times 1,47) = (68,2 + 64,68) = 132,88 \text{ m}$$

Ahora se realiza el cálculo del acero de construcción en el elemento 1

Según Corcho Romero⁵², se puede observar que las varillas constructivas del elemento 1 se toman iguales al refuerzo transversal del elemento inclinado.

Se trabaja con varillas N° 4

Por lo tanto según, la tabla 22

$$Ab_c = 129 \text{ mm}^2 = Ab_c = \frac{129}{(10)^2} = 1,29 \text{ cm}^2$$

$$Asc = 0,70 \times 3 \times 0,0009 \rightarrow Asc = 0,00189 \text{ m}^2$$

$$Asc = 0,00189 \text{ m}^2 \times (100)^2 = 18,9 \text{ cm}^2$$

Se calcula la cantidad de acero:

$$\#c = \frac{18,9 \text{ cm}^2}{1,29} = 14,65 \approx 15 \text{ varillas}$$

Ahora se obtiene el espaciamiento E_c :

$$E_c = \frac{Ac \times 100}{15} = 20 \text{ cm}$$

Se calcula la longitud de cada varilla de construcción, teniendo en cuenta siempre un recubrimiento en cada lado de 4 cm y ganchos de 10 cm en cada lado.

$$L_c = (0,66\text{m} - 0,08) + 0,2$$

⁵² CORCHO ROMERO y Duque Serna. Acueductos teoría y diseño. Ecuación 2.106. Universidad de Medellín: Centro general de investigaciones, 1993. 591 p.

$$L_c = 0,78 \text{ m}$$

Se ubican 15 varillas Nº 4 de 78 cm de longitud cada 20 cm y se ponen a 4 cm de la cara de a tracción, se calcula la longitud total del acero de construcción:

$$LT_c = 15 \times 0,78 \text{ m} = 11,7 \text{ mts}$$

b) Elemento 2

$$b_2 = 100 \text{ cm}$$

$$d_2 = [(0,30 \times 100) - 8] \text{ cm} = 22 \text{ cm}$$

Luego

$$MT_{cc2} = 1089,3626 \times 100 \Rightarrow 108936,26 \text{ Kg} - \text{cm}$$

$$\Gamma_2 = \frac{1 - \sqrt{1 - \left(4 \times 0,59 \times \frac{108936,26}{280 \times 0,9 \times 100 \times (22)^2} \right)}}{2 \times 0,59 \times \frac{4,200}{280}} = 0,000598607$$

$$\Gamma_2 = 0,000598607$$

Como Γ_{min} es mayor que Γ_2 entonces se utiliza Γ_{min}

$$A_{s2} = 0,0033 \times 100 \times 22 = 7,26 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Se utilizan varillas No. 4:

Por lo tanto según la tabla 20, $A_{b2} = 129 \text{ mm}^2$

$$A_{b2} = \frac{129}{(10)^2} = 1,29 \text{ cm}^2$$

Entonces el número de varillas por metro lineal es

$$\#2 = \frac{7,26}{1,29} = 5,76 \approx 6 \text{ varillas por metro lineal}$$

La longitud real en donde se distribuirán las varillas y teniendo en cuenta el recubrimiento es:

$$L_{m2} = 3 - 0,08 = 2,92 \text{ m}$$

Ahora

$$\#b_2 = (2,92 \times 6) + 1 = 18,52 \approx 19 \text{ varillas}$$
$$Eb_2 = \frac{2,92}{19} = 0,1536 \text{ m} \approx 15$$

Ahora se calcula la longitud de cada varilla asumiendo el recubrimiento de 5 cm en cada lado y un gancho de 15 cm.

$$Lvar2 = 0,15 + (2,9 - 0,10) = 2,95 \text{ m}$$

Se ubica en total 19 varillas de longitud 2,95 m cada una separadas entre sí cada 15 cm y se ubican a 4 cm de la cara a tracción.

Por último se calcula la longitud total del acero a tracción en el elemento 1.

$$LTvar2 = 19 \times 2,95 = 56,05 \text{ m de acero}$$

c) Elemento 3

$$b_3 = 100 \text{ cm}$$

$$d_3 = [(0,30 \times 100) - 8] = 22 \text{ cm}$$

Ahora

$$MTcc3 = 796,7924 \times 100 = 79679,24 \text{ Kg - cm}$$

$$\Gamma_3 = \frac{1 - \sqrt{1 - \left(4 \times 0,59 \times \frac{79679,24}{280 \times 0,9 \times 100 \times (22)^2}\right)}}{2 \times 0,59 \times \frac{4200}{280}} = 0,0004372116$$

$$\Gamma_3 = 0,0004372116$$

Se trabaja con Γ_{min}

$$As_3 = 0,0033 \times 100 \times 22 = 7,26 \text{ cm}^2$$

Se utiliza varillas No. 4 por lo tanto $Ab = 129 \text{ mm}^2$

$$Ab_3 = \frac{129}{(10)^2} = 1,29 \text{ cm}^2$$

Entonces el número de varillas por metro lineal es

$$\#3 = \frac{7,26}{1,29} = 5,76 \approx 6 \text{ varillas por metro lineal}$$

La longitud real en donde se distribuirán las varillas y teniendo en cuenta el recubrimiento es:

$$Lm3 = 3 - 0,08 = 2,92 \text{ m}$$

Ahora

$$\#b3 = (2,92 \times 6) + 1 = 18,52 \approx 19 \text{ varillas}$$

$$Eb3 = \frac{2,92}{19} = 0,1536 \text{ m} \approx 15$$

Ahora se calcula la longitud de cada varilla asumiendo el recubrimiento de 5 cm en cada lado y un gancho de 15 cm.

$$Lvar3 = 0,15 + (2,9 - 0,10) = 2,95 \text{ m}$$

Se ubica en total 19 varillas de longitud 2,95 m cada una separadas entre sí cada 15 cm y se ubican a 4 cm de la cara a tracción.

Por último se calcula la longitud total del acero a tracción en el elemento 1.

$$LTvar3 = 19 \times 2,95 = 56,05 \text{ m de acero}$$

✓ **Diagrama de flujo.** En las figuras 93, 94 y 95, se indica el diagrama de flujo, diseño a flexión.

Listado de variables.

F'c = Resistencia nominal del concreto a la compresión

Fy = Resistencia nominal a la fluencia del acero de refuerzo

b1 = Dimensión referente a la base del hormigón tomada como 1mt en el diseño por metro lineal del refuerzo a flexión en el elemento1.

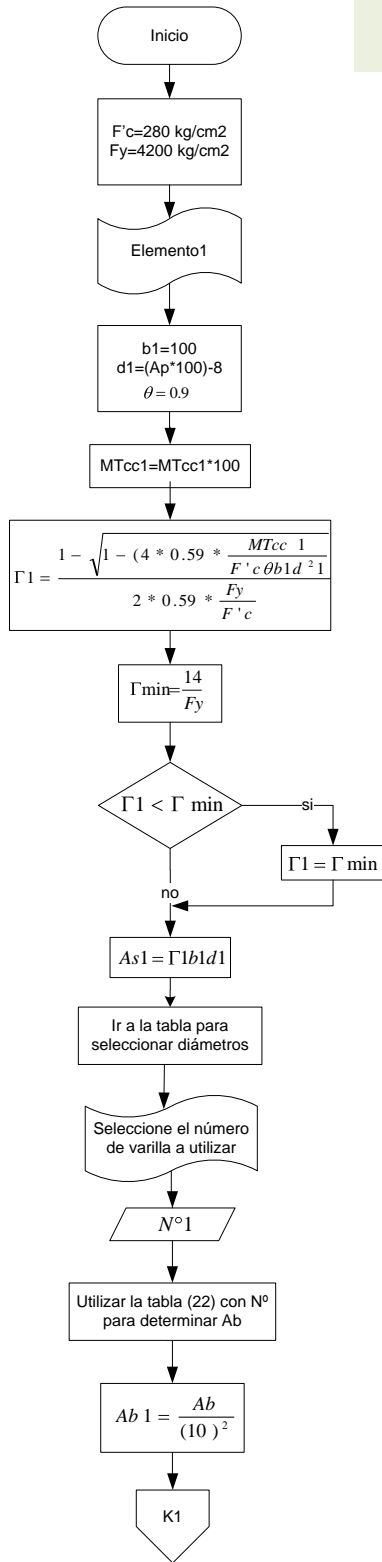
d1= Dimensión referente a la altura de hormigón estimada para determinar el área de acero requerida como refuerzo a flexión en el elemento 1.

Ap = Ancho de la presa o elemento 1

MTcc1= Sumatoria de los momentos en la cara crítica del elemento 1.
 Γ 1= Cuantía en el elemento 1
 Γ min = Cuantía mínima.
As1 = Área del acero requerido en el elemento 1.
N°1 = Pertenece al número de la varilla escogido por el usuario dentro de la tabla (3-2)
 Θ = Coeficiente de reducción (Coeficiente que toma en cuenta las desviaciones inevitables entre la resistencia nominal del elemento, la forma y consecuencia de su tipo de falla).
Ab1 = Es el área de la barra que depende del número No1 de varilla que se escoja para el elemento 1.
#1 = ES el número de barras necesarias en un metro lineal del elemento 1.
Ac = Ancho del cause
Lm1 = Longitud de repartición del acero en el elemento 1.
#b1 = Es el número real de barras del elemento 1 de acuerdo a la longitud Lm1.
Eb1 = Es el espaciamiento entre las barras del elemento 1.
Lvar1 = Longitud de cada varilla perteneciente al grupo que se ubica en la cara a tracción del elemento 1
Lvaro1 = Longitud de cada varilla de la cara a flexión del elemento 1.
LTvar1 = Es la longitud total de acero que se utiliza en la sección transversal del elemento 1.
N°c= Pertenece al número de la varilla de construcción escogido por el usuario dentro de la tabla 22 de acuerdo a su diámetro.
Abc= Es el área de la barra de construcción que depende del número N°c de varilla que se escoja.
Asc= Área del acero de construcción requerido.
#c = Es el número real de barras de construcción que se pondrán a lo largo de Ac.
hd2= altura del elemento inclinado.
Lc = Longitud de cada varilla de construcción del elemento 1.
Ec= Espaciamiento entre varillas de construcción del elemento 1.
LTc= Longitud total del acero de construcción en el elemento 1.
b2 = Dimensión referente a la base del hormigón tomada como 1mt en el diseño por metro lineal del refuerzo a flexión en el elemento2.
d2= Dimensión referente a la altura de hormigón estimada para determinar el área de acero requerida como refuerzo a flexión en el elemento 2.
a = Espesor del elemento 2.
MTcc2= Sumatoria de momentos en el elemento2.
 Γ 2= Cuantía en el elemento 2.
As2 = Área del acero requerido en el elemento 2.
N°2 = Pertenece al número de la varilla escogido por el usuario dentro de la tabla (3-2) para el elemento 2.
Ab2 = Es el área de la barra que depende del número No1 de varilla que se escoja para el elemento 2.
#2 = ES el número de barras necesarias en un metro lineal del elemento 2.
Lm2 = Longitud de repartición del acero en el elemento 2.

#b2 = Es el número real de barras del elemento 2 de acuerdo a la longitud Lm2.
Eb2 = Es el espaciamiento entre las barras del elemento 2.
Lvar2 = Longitud de varillas de refuerzo transversal en el elemento 2
LTvar2 = Longitud total del acero transversal utilizado en el elemento 2
b3 = Dimensión referente a la base del hormigón tomada como 1mt en el diseño por metro lineal del refuerzo a flexión en el elemento3.
d3= Dimensión referente a la altura de hormigón estimada para determinar el área de acero requerida como refuerzo a flexión en el elemento 3.
a = Espesor del elemento 2.
MTcc3= Sumatoria de momentos en el elemento 3
Γ 3= Cuantía en el elemento 3.
As3 = Área del acero requerido en el elemento3.
N°3 = Pertenece al número de la varilla escogido por el usuario dentro de la tabla (3-2) para el elemento 3.
Ab3 = Es el área de la barra que depende del número No1 de varilla que se escoja para el elemento3.
#3 = ES el número de barras necesarias en un metro lineal del elemento 3.
Lm3 = Longitud de repartición del acero en el elemento 3.
#b3 = Es el número real de barras del elemento 3 de acuerdo a la longitud Lm3.
Eb3 = Es el espaciamiento entre las barras del elemento 3.
Lvar3 = Longitud de varillas de refuerzo transversal en el elemento 3.
LTvar3 = Longitud total del acero transversal utilizado en el elemento 3.

Figura 93. Diseño a flexión



Diseño a Flexión

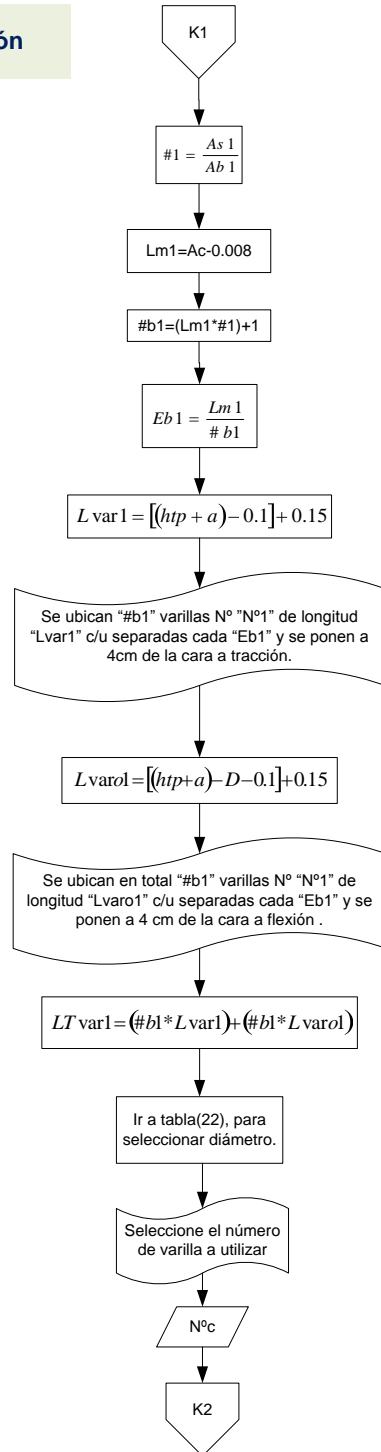


Figura 94. Diseño a flexión

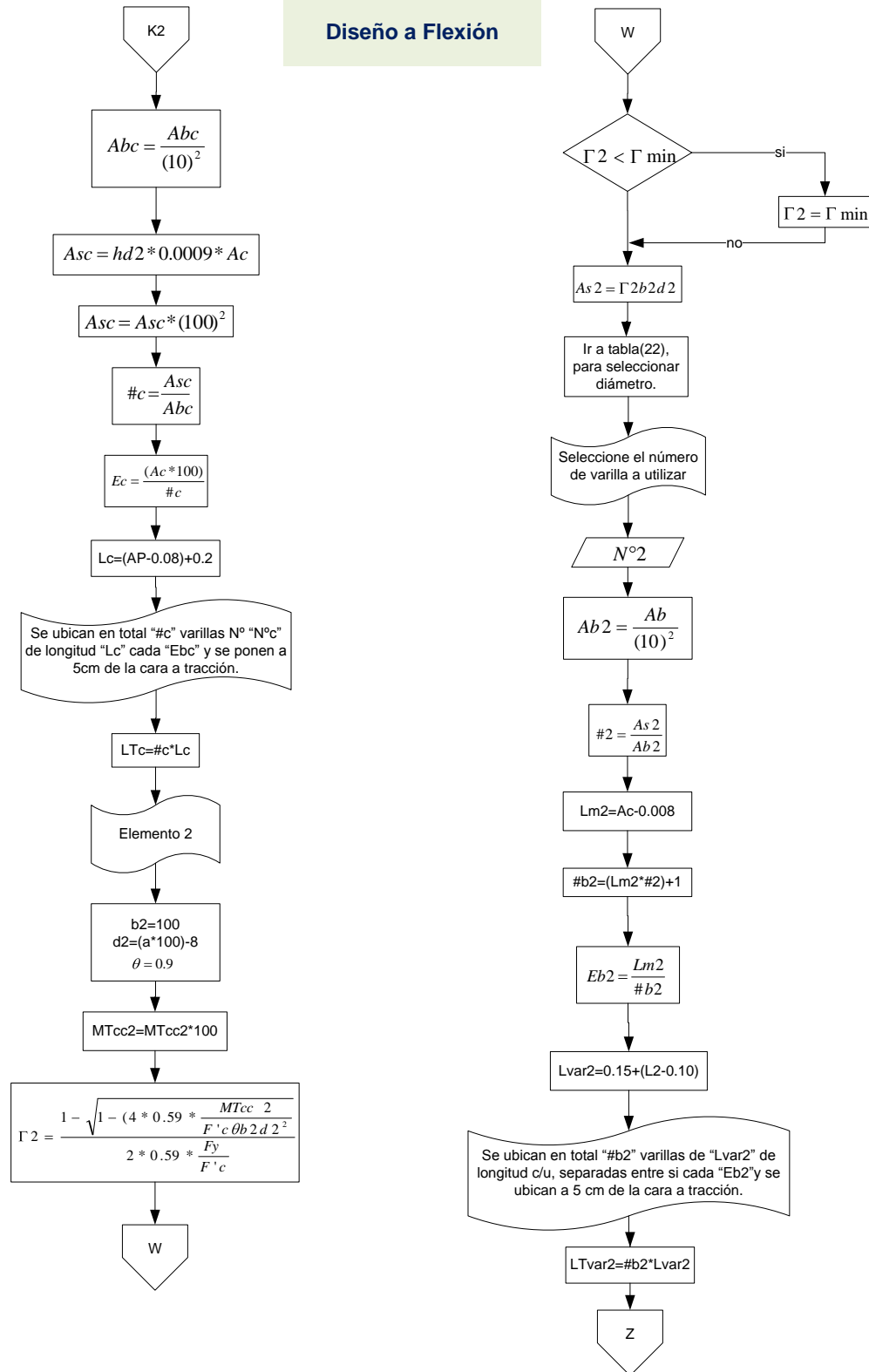
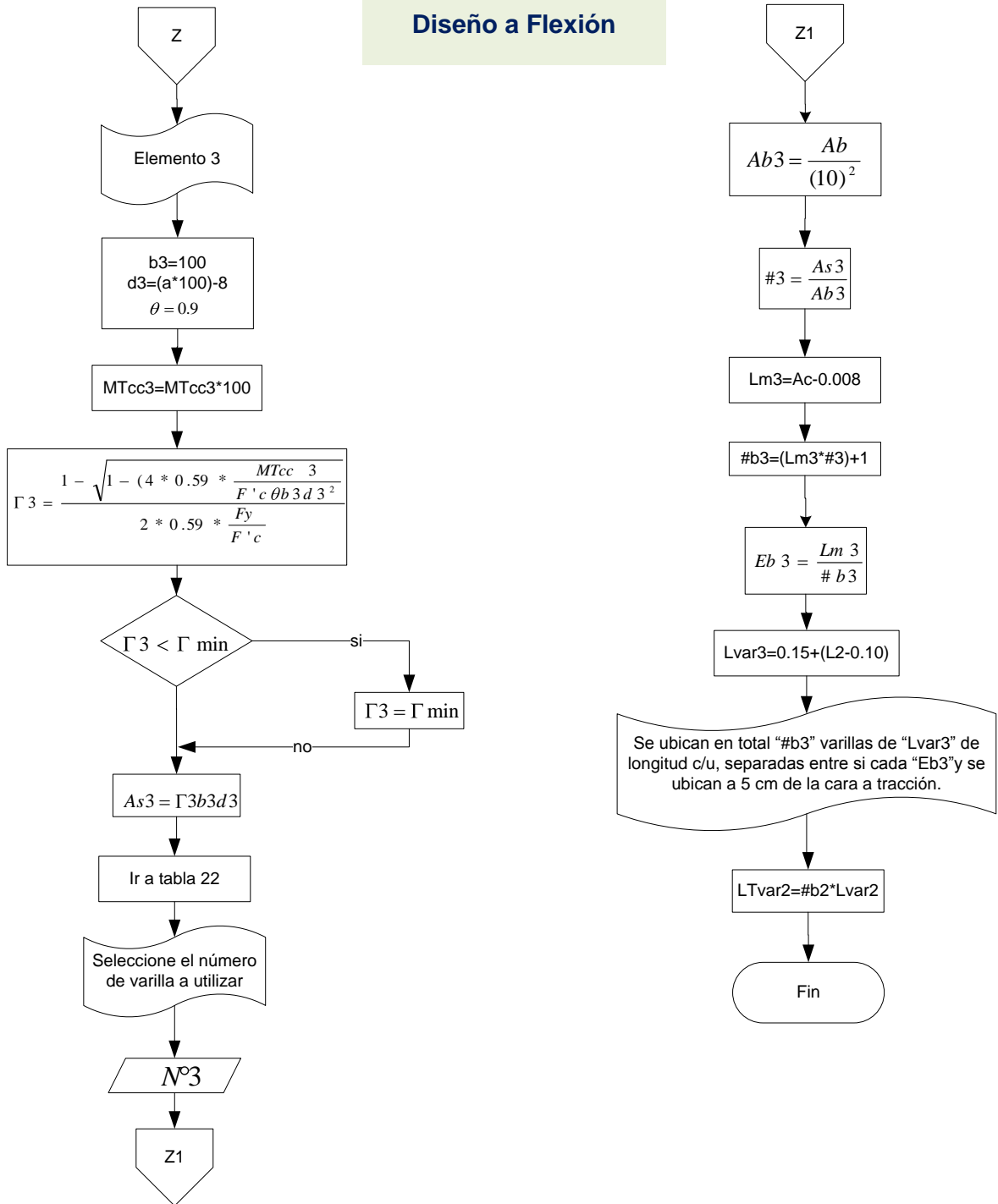


Figura 95. Diseño a flexión

Diseño a Flexión



✓ **Pseudocódigo**

{El algoritmo calcula la cantidad de acero que lleva la estructura de cada uno de sus elementos y su distribución en ellos}

1. Escribir "Elemento 1"
2. Hacer $F'c$ \longrightarrow 280
 Fy \longrightarrow 4200
3. Hacer $b1$ \longrightarrow 100
 $d1$ \longrightarrow $(AP \times 100) - 8$
 θ \longrightarrow 0,9
4. Hacer $MTcc1$ \longrightarrow $MTcc1 \times 100$
5. Hacer Γ_1 \longrightarrow
$$\frac{1 - \sqrt{1 - \left(4 \times 0,59 \times \frac{MTcc1}{F'c \times b \times d1^2}\right)}}{2 \times 0,59 \times \frac{Fy}{F'c}}$$
6. Hacer Γ \longrightarrow $\frac{14}{Fy}$
7. Si $(\Gamma_1 < \Gamma_{min})$ entonces
 7.1 Hacer Γ_1 \longrightarrow Γ_{min}
8. {Fin del condicional}
9. Hacer $As1$ \longrightarrow $\Gamma1 \times b1 \times d1$
10. Escribir "Seleccione el número de la varilla con el que desea trabajar entre las siguientes opciones No3, No4, No5, No6, No7, No8, No9, No10, No11, No14, No18,".
11. Leer $N^\circ 1$ \longleftarrow valor se asigna un valor a la variable No.
12. El algoritmo busca en la tabla 22 el área correspondiente (Ab) al número No ingresada.
13. Hacer $Ab1$ \longleftarrow $\frac{Ab1}{(10)^2}$
14. Hacer $\#1$ \longleftarrow $\frac{As1}{Ab1}$
15. Hacer $Lm1$ \longleftarrow $Ac - 0,08$
16. Hacer $\#b1$ \longleftarrow $(Lm1 \times \#1) - 1$
17. Hacer $Eb1$ \longleftarrow $\frac{Lm1}{\#b1}$
18. Hacer $Lvar1$ \longleftarrow $[(htp + a) - 0,1] + 0,15$
19. Escribir "Se ubican en total "#b" varillas No "No" de "Lvar1" de longitud cada una separadas entre sí cada "Eb" y se ponen a 4 cm de la cara a tracción"

20. Hacer Lvaro1 ← $[(htp + a) - 1 - o,1] + 0,15$
21. Escribir "Se ubican en total "#b" varillas No "No" de "Lvaro1" de longitud cada una separadas entre sí cada "Eb" y se ponen a 5 cm de la cara a flexión"
22. Hacer Ltvar1 ← $(\#b \times Lvar1) + (\#b \times Lvar2)$
23. Escribir "Seleccione el número de la varilla con el que desea trabajar entre las siguientes opciones No3, No4, No5, No6, No7, No8, No9, No10, No11, No14, No18,".
24. Leer N^oc ← valor se asigna un valor a la variable N^oc.
25. El algoritmo busca en la tabla 22 el área correspondiente (Abc) al número N^oc ingresado por el usuario.
26. Hacer Abc ← $\frac{Abc}{(10)^2}$
27. Hacer Asc ← $Asc \times (100)^2$
28. Hacer #c ← $\frac{Asc}{Abc}$
29. Hacer Ec ← $\frac{Ac \times 100}{\#c}$
30. Hacer Lc ← $(Ap - 0,08) + 0,2$
31. Escribir "Se ubican en total "#c" varillas No "N^oc" de "Lc" de longitud cada una separadas entre sí cada "Eb" y se ponen a 5 cm de la cara de a tracción y a 4 cm de la cara a flexión"
32. Hacer LTc ← $\#c \times Lc$
33. Escribir "Elemento 2"
34. Hacer b2 ← 100
 θ ← 0,9
 $d2$ ← $(A \times 100) - 8$
35. Hacer MTcc2 ← $MTcc2 \times 100$
36. Hacer $\Gamma2$ ← $\frac{1 - \sqrt{1 - \left(4 \times 0,59 \times \frac{MTcc2}{F_c \times b \times b2 \times d2^2}\right)}}{2 \times 0,59 \times \frac{F_y}{F_c}}$
37. Si ($\Gamma2 < \Gamma_{min}$) entonces
 37.1 Hacer $\Gamma2$ ← Γ_{min}
38. {Fin del condicional}
39. Hacer As2 ← $\Gamma2 \times b2 \times d2$

40. Escribir "Seleccione el número de la varilla con el que desea trabajar entre las siguientes opciones No3, No4, No5, No6, No7, No8, No9, No10, No11, No14, No18,".
41. Leer N°2 ← valor se asigna un valor a la variable No.
42. El algoritmo busca en la tabla 22 el área correspondiente (Ab) al número No ingresado por el usuario.
43. Hacer Ab2 ← $\frac{Ab2}{(10)^2}$
44. Hacer #2 ← $\frac{As2}{Ab2}$
45. Hacer Lm2 ← Ac – 0,08
46. Hacer #b2 ← (Lm2 x #2) + 1
47. Hacer Eb2 ← $\frac{Lm2}{\#b2}$
48. Hacer Lvar2 ← 0,15 + (L2 – 0,10)
49. Escribir "Se ubican en total "#b" varillas No "No" de "Lvaro2" de longitud cada una separadas entre sí cada "Eb" y se ponen a 5 cm de la cara a tracción"
50. Hacer LTvar2 ← #b2 x Lvar2
51. Escribir "Elemento 3"
52. Hacer b3 ← 100
- θ ← 0,9
- d3 ← (A x 100) – 8
53. Hacer MTcc3 ← MTcc3 x 100
54. Hacer Γ3 ← $\frac{1 - \sqrt{1 - \left(4 \times 0,59 \times \frac{MTcc3}{F_c \times b \times b3 \times d3^2}\right)}}{2 \times 0,59 \times \frac{F_y}{F_c}}$
55. Si (Γ3 < Γmin) entonces
- 55.1 Hacer Γ3 ← Γmin
56. {Fin del condicional}
57. Hacer As3 ← Γ3 x b3 x d3
58. Escribir "Seleccione el número de la varilla con el que desea trabajar entre las siguientes opciones No3, No4, No5, No6, No7, No8, No9, No10, No11, No14, No18,".

59. Leer N°3 ← valor se asigna un valor a la variable No.
60. El algoritmo busca en la tabla 22 el área correspondiente (Ab) al número No ingresado por el usuario.
61. Hacer Ab3 ← $\frac{Ab3}{(10)^2}$
62. Hacer #3 ← $\frac{As3}{Ab3}$
63. Hacer Lm3 ← Ac – 0,08
64. Hacer #b3 ← (Lm3 x #3) + 1
65. Hacer Eb3 ← $\frac{Lm3}{\#b3}$
66. Hacer Lvar3 ← 0,15 + (L3 – 0,10)
67. Escribir “Se ubican en total “#b” varillas Nro “No” de “Lvaro3” de longitud cada una separadas entre sí cada “Eb” y se ponen a 5 cm de la cara a tracción”
68. Hacer LTvar3 ← #b3 x Lvar3

- ✓ **Pantallas de datos.** En las figuras desde la 96 a la 103, se indica la pantalla de datos, diseño a flexión.

Figura 96. Diseño a flexión, elemento 1

The screenshot shows a software window titled "DISEÑO A FLEXIÓN". Inside, there is a section labeled "ELEMENTO 1" with the instruction "Seleccione el número de varilla a utilizar". Below this, it says "Número de la varilla, según su diámetro comercial". There are two columns of checkboxes for bar numbers: N° 2 through N° 7 on the left, and N° 8 through N° 18 on the right. The checkbox for N° 9 is checked. To the right of these columns is a text input field labeled "N° 1 =" with "N° 9" entered. At the bottom right, there is a button labeled "Ingresar".

Figura 97. Diseño a flexión, elemento 1

The screenshot shows the same software window "DISEÑO A FLEXIÓN". The "ELEMENTO 1" section now contains two text boxes summarizing the reinforcement layout. The first box states: "Se ubican "#b1" varillas N°, "N°1" de longitud "Lvar1" c/u separadas cada "Eb1" y se ponen a 4cm de la cara a tracción." The second box states: "Se ubican en total "#b1" varillas N° "N°1" de longitud "Lvar1" c/u separadas cada "Eb1" y se ponen a 4 cm de la cara a flexión ."

Figura 98. Diseño a flexión, elemento 1

DISEÑO A FLEXIÓN

ELEMENTO 1

Seleccione el número de varilla a utilizar como varilla de construcción de acuerdo a su diámetro comercial "N°c"

<input type="checkbox"/> N° 2	<input type="checkbox"/> N° 8
<input type="checkbox"/> N° 3	<input type="checkbox"/> N° 9
<input checked="" type="checkbox"/> N° 4	<input type="checkbox"/> N° 10
<input type="checkbox"/> N° 5	<input type="checkbox"/> N° 11
<input type="checkbox"/> N° 6	<input type="checkbox"/> N° 14
<input type="checkbox"/> N° 7	<input type="checkbox"/> N° 18

N°c =

Ingresar

Figura 99. Diseño a flexión, elemento 1

DISEÑO A FLEXIÓN

ELEMENTO 1

Se ubican en total "#c" varillas N° "N°c" de longitud "Lc" cada "Ebc" y se ponen a 5cm de la cara a tracción.

Figura 100. Diseño a flexión, elemento 2

The screenshot shows a software window titled "DISEÑO A FLEXIÓN". Inside, there is a section labeled "ELEMENTO 2" with the instruction "Seleccione el número de varilla a utilizar". Below this, it says "Número de la varilla, según su diámetro comercial". There are two columns of checkboxes for bar numbers: the first column contains N° 2 through N° 7, and the second column contains N° 8 through N° 18. The checkbox for N° 7 is checked. To the right, there is a text input field containing "N°2 = N°7". At the bottom right, there is a button labeled "Ingresar".

Figura 101. Diseño a flexión, elemento 2

The screenshot shows the same software window "DISEÑO A FLEXIÓN". In the "ELEMENTO 2" section, there is a text box containing the following instruction: "Se ubican en total "#b2" varillas de "Lvar2" de longitud c/u, separadas entre si cada "Eb2"y se ubican a 5 cm de la cara a tracción."

Figura 102. Diseño a flexión, elemento 3

DISEÑO A FLEXIÓN

ELEMENTO 3

Seleccione el número de varilla a utilizar

Número de la varilla, según su diámetro comercial

<input type="checkbox"/> Nº 2	<input type="checkbox"/> Nº 8
<input type="checkbox"/> Nº 3	<input type="checkbox"/> Nº 9
<input type="checkbox"/> Nº 4	<input type="checkbox"/> Nº 10
<input type="checkbox"/> Nº 5	<input type="checkbox"/> Nº 11
<input type="checkbox"/> Nº 6	<input checked="" type="checkbox"/> Nº 14
<input type="checkbox"/> Nº 7	<input type="checkbox"/> Nº 18

Nº 3 =

Ingresar

Figura 103. Diseño a flexión, elemento 3

DISEÑO A FLEXIÓN

ELEMENTO 3

Se ubican en total "#b3" varillas de "Lvar3" de longitud c/u, separadas entre si cada "Eb3" y se ubican a 5 cm de la cara a tracción.

7.3.3.5 Acero de retracción y fraguado

✓ **Fundamento teórico.**

Acero de Retracción y fraguado. Son aquellas barras instaladas en las losas donde la armadura por flexión tiene un sólo sentido. Se instalan en ángulo recto con respecto a la armadura principal y se distribuyen uniformemente, con una separación no mayor a 3 veces el espesor de la losa o menor a 50 cm entre sí, con el objeto de reducir y controlar las grietas que se producen debido a la retracción durante el proceso de fraguado del hormigón, y para resistir los esfuerzos generados por los cambios de temperatura⁵³.

✓ **Especificaciones de diseño.** Según la Norma NSR – 98 como mínimo debe utilizarse el recubrimiento para el refuerzo indicado para muros y paredes expuestos o en contacto permanente con el agua, la intemperie, o la tierra de 5 cm.

✓ **Metodología de diseño**

Datos. Este algoritmo trabaja con los datos arrojados de anteriores algoritmos y con datos suministrados por el usuario, como el número del tipo de varilla que se utilizarán en cada elemento. Este algoritmo analiza uno a uno los elementos que componen la estructura para determinar la cantidad de acero debido a la retracción y fraguado que necesita cada una de éstos.

Análisis del elemento en estudio.

- En primer lugar se determina el área bruta de hormigón en cada elemento teniendo en cuenta la altura y la base del mismo:

$$AqR = h * b \quad [105]$$

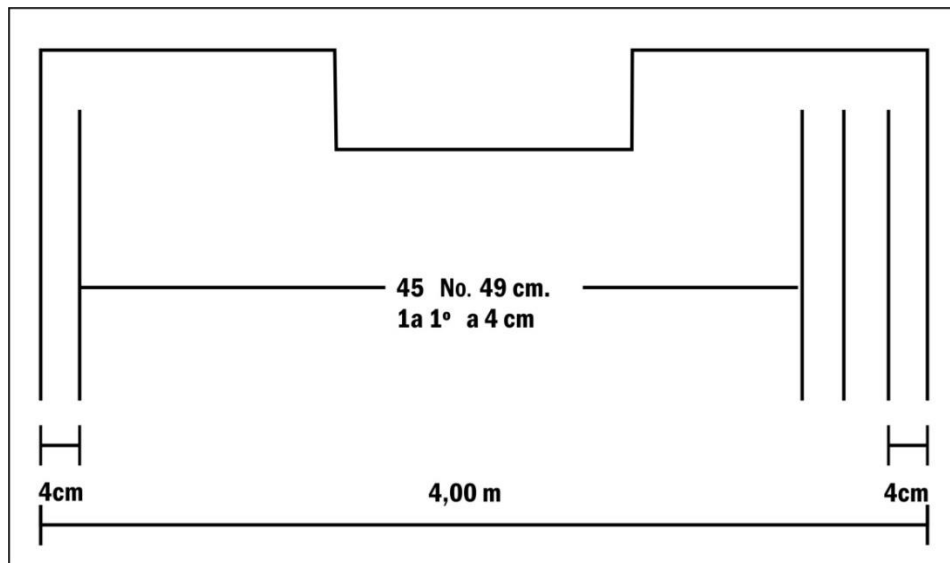
- Se calcula según Corcho Romero⁵⁴ el área requerida en el elemento.
- Después de usarlo debe ingresar el número que identifica el acero con el que desea trabajar, este puede ser: N.3, N.4, N.5, N.6, N.7, N.8, N.9, N.10, N.11, N.14, N.18.

⁵³ WIKIPEDIA LA enciclopedia libre. Acero de Retracción y fraguado.

⁵⁴ CORCHO, Op. cit., p.123.

- De acuerdo con el número de varilla ingresado por el usuario, se determina A_b , que es el área que tiene cada barra de este tipo, según la tabla 22.
- Luego ya con el área requerida y el área de acero a utilizar se obtiene la cantidad de acero.
- Ahora es necesario calcular la longitud de cada varilla, esto de acuerdo a la altura que tenga el elemento y al recubrimiento en cada lado.

Figura 104. Distribución del acero de retracción y fraguado en el elemento 1



$$L_v = h - 0,10$$

- Se calcula también la separación entre varillas para una distribución adecuada:

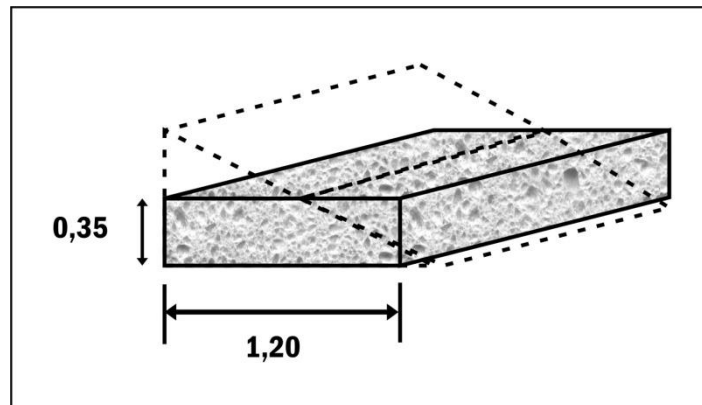
$$E_{bR} = \frac{L_v}{\#v}$$

- Se muestran los resultados y
- Por último se determina la longitud total que requiere cada elemento multiplicando la cantidad de varillas por su longitud.

$$L_{TV} = \#v * L_v$$

- Según Corcho Romero⁵⁵ se coloca también refuerzo por temperatura en ambas direcciones para el elemento inclinado. Para el cálculo se considera una sección de la siguiente forma:

Figura 105. Sección del elemento inclinado



Fuente: LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueducto y alcantarillados. Editorial escuela colombiana de ingeniería, 546 pag. 2ed.

Por lo tanto la altura h_l se la toma así:

$$h_l = \frac{h_e}{2}$$

y la altura h_T se toma así:

$$h_T = \frac{h_e}{2}$$

Siendo:

h_e : altura real del elemento.

h_l : altura asumida para calcular el refuerzo longitudinal.

h_T : altura asumida para calcular el refuerzo transversal.

- Para calcular el área de acero transversal requerido en el dentellón se utiliza la fórmula:

$$A_s = \Gamma_{\min} * b * d$$

[106]

⁵⁵ Ibid., p. 133.

Y se diseña este elemento por metro lineal como lo explicado en el diseño a flexión.

✓ **Ejemplo de cálculo**

a) Datos

$$h_{tp} = 1,2\text{m}$$

$$AP = 0,66\text{m}$$

$$a = 0,30\text{m}$$

$$L^2 = 0,34$$

$$ad_1 = 0,70\text{m}$$

$$ad_2 = 1,20\text{m}$$

$$Ac = 3\text{m}$$

$$hd_1 = 0,70$$

$$hd_2 = 0,70$$

b) Solución.

ANÁLISIS DEL ELEMENTO 1.

$$A_{q_{RF1}} = 1,2 * 0,66 = 0,792\text{m}_2$$

$$A_{S_{RF1}} = 0,0009 * 0,792 = 0,0007128\text{m}^2$$

Se escoge una varilla No. 4, por lo tanto $Ab_{RF1} = 129\text{mm}^2$

$$Ab_{RF1} = \frac{129\text{mm}^2}{10\text{mm}^2} = 1,29\text{cm}^2$$

$$\#_{RF1} = = \frac{0,0007128 * (100)^2}{1,29} = 5,52 \approx 6 \text{ varillas.}$$

La longitud en la cual se repartirán las varillas es:

$$L_{RF1} = 1,2\text{m} - 0,10\text{m} = 1,1 \text{ m}$$

Por lo tanto el espaciamiento es:

$$E_b = \frac{1,12}{6} = 0,1833\text{m} \approx 18\text{cm}$$

La longitud de cada varilla es:

$$L_{V_{RF1}} = (3 - 0,10) \text{ m} = 2,9\text{m}$$

Se colocan 6 varillas No. 4 de 2,9m de longitud cada uno y separadas entre sí cada 18cm en cada cara.

La longitud total de este tipo de varillas es:

$$L_{T_{RF1}} = (2,9*6) * 2 = 34,8\text{m}.$$

ANÁLISIS DEL ELEMENTO 2.

Primero se calcula el área bruta de hormigón A_q .

$$A_{q_{RF2}} = 0,30 * (0,34 + 0,70)$$

$$A_{q_{RF2}} = 0,312\text{m}^2$$

Ahora el acero requerido:

$$A_{S_{RF2}} = 0,0009 * 0,312 = 0,0002808\text{m}^2$$

Se ingresa una varilla No. 4, por lo tanto $A_{b_{RF2}} = 129\text{mm}^2$.

$$A_{b_{RF2}} = \frac{129}{10^2} = 1,29\text{cm}^2$$

$$\# = \frac{0,0002808 * (100)^2}{1,29} = 2,1767 \approx 3 \text{ varillas}$$

$$L_{RF2} = (0,34 + 0,70) - 0,10 = 0,94\text{m}$$

$$E_{b_{RF2}} = \frac{0,94}{3} = 0,3133 \approx 31\text{cm}$$

$$L_{V_{RF2}} = (3 - 0,10) = 2,9\text{m}$$

Se colocan 3 variables No. 4 de 2,9m de longitud y separadas entre sí 31cm cada cara y a 5cm del borde respectivo.

$$L_{T_{RF2}} = 2 * (3 * 2,9) = 17,4 \text{ m}$$

ANÁLISIS DEL ELEMENTO 3.

Se calcula el área del concreto bruto A_q :

$$A_{q_{RF3}} = 0,30 * 1,20 = 0,36m^2$$

Luego el área requerida de acero.

$$A_{s_{RF3}} = 0,0009 * 0,36 = 0,000324m^2$$

Se elige una varilla No. 4, por lo tanto $A_{b_{RF3}} = 129mm^2$

$$A_b = \frac{129}{10^2} = 1,29cm^2$$

Por lo tanto:

$$\#_{RF3} = \frac{0,000324 * (100)^2}{1,29} = 2,51 \approx 3 \text{ varillas.}$$

$$L_{RF3} = 1,20 - 0,10 = 1,1$$

$$E_b = \frac{1,1}{3} = 0,3666 \approx 36cm$$

Ahora se determina la longitud de cada varilla:

$$L_{V_{RF3}} = 3 - 0,10 = 2,9m$$

Se colocan 3 varillas No. 4 de 2,9m de longitud cada una, esparcidas entre sí 36cm y se deben colocar en cada cara a 5cm del borde.

La longitud total de las varillas necesarias en el elemento 3 debido a la Refracción y fraguado es:

$$L_{T_{RF3}} = 2 * (3 * 2,9) = 17,4m$$

ANÁLISIS DEL ELEMENTO INCLINADO

Primero se realiza el análisis del refuerzo longitudinal en este elemento.

$$h_{EI} = \frac{0,70}{2} = 0,35$$

Luego se coloca el área bruta de hormigón.

$$A_{q_{LEI}} = 0,35 * 1,20 = 0,42M^2$$

Por lo tanto,

$$A_{s_{LEI}} = 0,0009 * 0,42 = 0,000378m^2$$

Se utiliza varillas No. 4, por lo tanto $A_b = 129mm^2$

$$A_{b_{LEI}} = \frac{129}{10^2} = 1,29cm^2$$

Número de varillas.

$$\#_{LEI} = \frac{0,000375 * (100)^2}{1,29} = 2,906 \approx 3 \text{ varillas.}$$

$$L_{LEI} = 1,20 - 0,10 = 1,1m$$

Ahora:

$$E_{b_{LEI}} = \frac{1,1}{3} = 0,3666 \approx 36cm$$

$$L_{V_{LEI}} = 3 - 0,10 = 2,9m$$

Se colocan 3 varillas No. 4 de 2,9 mts de longitud cada una, esparcidas entre sí 36cm y colocadas a 5cm del borde en cada lado.

Por último,

$$L_{T_{LEI}} = 3 * 2,9 = 8,7m.$$

c) Refuerzo transversal en el elemento inclinado

ANÁLISIS DEL REFUERZO TRANSVERSAL.

Se calcula el área bruta de hormigón.

$$A_q = 0,35 * 3 = 1,05m^2$$

Por lo tanto,

$$A_s = 0,0009 * 1,05 = 0,000945m^2$$

Se utiliza varillas No. 4 por lo cual $A_b = 129\text{mm}^2$, entonces:

$$A_b = \frac{129}{10^2} = 1,29\text{m}^2.$$

Ahora

$$\#_{\text{TEI}} = \frac{0,00095 * (100)^2}{1,29} = 7,36 \approx 8 \text{ varillas.}$$

Se distribuirán así:

$$L_{\text{TEI}} = 3 - 0,10 = 2,9\text{m}$$

Entonces,

$$E_{b_{\text{TEI}}} = \frac{2,9}{8} = 0,3625 \approx 36\text{cm}$$

La longitud de cada varilla es:

$$L_{V_{\text{TEI}}} = 1,1 + 0,2 = 1,3\text{m}$$

Se colocan 8 varillas No. 4 de 1,3m de longitud cada una y esparcidas entre sí 36cm.

Por último la longitud total del acero utilizado en este elemento es:

$$L_{\text{TEI}} = 8 * 1,3 = 10,4\text{m.}$$

ANÁLISIS EN EL DENTELLÓN.

Primero se realiza el análisis del refuerzo transversal en el dentellón. Para trabajar por metro lineal se hace:

$$\begin{aligned} b_{\text{Td}} &= 100\text{cm} \\ d_{\text{Td}} &= (0,70 * 100) - 10 = 60\text{cm} \end{aligned}$$

Ahora el área del acero es:

$$A_{s_{\text{Td}}} = 0,0033 * 100 * 60 = 19,8\text{cm}^2$$

Se escoge varillas No. 4, por lo tanto $A_b = 129\text{mm}^2$, entonces:

$$A_{b_{\text{Td}}} = \frac{129}{10^2} = 1,29\text{cm}^2$$

Por lo tanto, el número de varillas por metro lineal es:

$$\#_{Td} = \frac{19,8}{1,29} = 15,34 \approx 16 \text{ varillas.}$$

La longitud en la que se debe distribuir el acero es:

$$L_{Td} = 3 - 0,10 = 2,9$$

El número total de varillas es:

$$\#_{Td} = (2,9 * 16) + 1 = 47,4 \approx 48 \text{ varillas.}$$

$$Eb_{Td} = \frac{2,9 * 100}{48} = 6,4 \approx 6 \text{ cm}$$

$$Lv_{Td} = \frac{60}{100} + 0,30 = 0,9 \text{ m}$$

Se colocan 48 varillas No. 4 de 1,07m de longitud esparcidas entre sí 6 cm en cada cara.

La longitud del acero transversal que requiere el dentellón es:

$$L_{Td} = 0,9 * 48 * 2 = 86,4 \text{ m}$$

ANÁLISIS DEL REFUERZO LONGITUDINAL EN EL DENTELLÓN.

Se calcula el área bruta de hormigón:

$$Aq_{ld} = (0,70 * 0,70) = 0,49 \text{ m}^2$$
$$As_{ld} = 0,0009 * 0,49 = 0,000441 \text{ m}^2$$

Se elige varillas No. 4, por lo tanto $Ab_{ld} = 129 \text{ mm}^2$, entonces:

$$Ab_{ld} = \frac{129}{10^2} = 1,29$$

$$\#_{ld} = \frac{0,000441 * (100)^2}{1,29} = 3,41 \approx 4 \text{ varillas.}$$

La longitud de distribución es:

$$L_{ld} = (0,70 + 0,30) - 0,10 = 0,9$$

$$EP = \frac{0,9}{4} = 0,225 = 22\text{cm}$$

La longitud de cada varilla es:

$$Lv_{ld} = 3 - 0,10 = 2,9$$

Se colocan 4 varillas No. 4 de 2,9m de longitud y separadas entre sí 22cm en ambas caras.

La longitud total del acero longitudinal requerido en el dentellón es:

$$LT_{ld} = (2,9 * 4) * 2 = 23,2\text{m}$$

✓ **Diagrama de flujo.** En las figuras 106, 107, 108 y 109, se indica el diagrama de flujo, retracción y fraguado.

Listado de variables

Γ_{min} = Cuantía mínima.

Ac = Ancho del cauce.

Aqrf1= Área bruta del hormigón en el elemento 1.

Asrf1 = Área del acero requerido para retracción y fraguado en el elemento 1.

N^orf1= Pertenece al número de la varilla escogido por el usuario dentro de la tabla (3-2) para retracción y fraguado en el elemento 1.

Abrf1 = Área de la barra que depende del número N^orf1 escogido para retracción y fraguado en el elemento 1.

#rf1 = Es el número de barras necesarios para retracción y fraguado en el elemento 1.

Lrf1 = Longitud disponible para la repartición del acero de retracción y fraguado del elemento 1.

Ebrf1 = Espaciamiento del refuerzo de retracción y fraguado en el elemento 1.

Lvrf1= Longitud de cada varilla de retracción y fraguado del elemento 1.

LTvrf1= Longitud total del acero de retracción y fraguado en el elemento1.

Aqrf2= Área bruta del hormigón en el elemento 2.

Asrf2 = Área del acero requerido para retracción y fraguado en el elemento 2.

N^orf2= Pertenece al número de la varilla escogido por el usuario dentro de la tabla (3-2) para retracción y fraguado en el elemento 2.

Abrf2 = Área de la barra que depende del número N^orf2 escogido para retracción y fraguado en el elemento 2.

#rf2 = Es el número de barras necesarios para retracción y fraguado en el elemento 2.

Lrf2 = Longitud disponible para la repartición del acero de retracción y fraguado del elemento 2.

Ebrf2 = Espaciamiento del refuerzo de retracción y fraguado en el elemento 2.

Lvrf2= Longitud de cada varilla de retracción y fraguado del elemento 2.

LTvrf2 = Longitud total del acero de retracción y fraguado en el elemento2.

Aqrf3= Área bruta del hormigón en el elemento 3.

Asrf3 = Área del acero requerido para retracción y fraguado en el elemento 3.

Nºrf3= Pertenece al número de la varilla escogido por el usuario dentro de la tabla (3-2) para retracción y fraguado en el elemento 3.

Abrf3 = Área de la barra que depende del número Nºrf3 escogido para retracción y fraguado en el elemento 3.

#rf3 = Es el número de barras necesarios para retracción y fraguado en el elemento 1.

Lrf3 = Longitud disponible para la repartición del acero de retracción y fraguado del elemento 3.

Ebrf3 = Espaciamiento del refuerzo de retracción y fraguado en el elemento 3.

Lvrf3= Longitud de cada varilla de retracción y fraguado del elemento 3.

LTvrf3 = Longitud total del acero de retracción y fraguado en el elemento3.

hei = Es la altura que se asume debido a que el elemento es inclinado.

Aqlei= Área bruta del hormigón en el elemento inclinado utilizada para obtener los requerimientos del acero longitudinal.

Aslei = Área del acero longitudinal requerido para retracción y fraguado en el elemento inclinado.

Nºlei= Pertenece al número de la varilla escogido por el usuario dentro de la tabla (3-2) para retracción y fraguado longitudinal en el elemento inclinado.

Ablei = Área de la barra que depende del número Nºrf2 escogido para retracción y fraguado longitudinal en el elemento inclinado.

#lei = Es el número de barras necesarios para retracción y fraguado longitudinal en el elemento inclinado.

Llei = Longitud disponible para la distribución del las varillas de refuerzo longitudinal para retracción y fraguado en el elemento inclinado.

Eblei = Espaciamiento del refuerzo de retracción y fraguado longitudinal en el elemento iclinado.

Lvlei= Longitud de cada varilla de refuerzo longitudinal para retracción y fraguado en el elemento inclinado.

LTvlei = Longitud total del acero longitudinal para retracción y fraguado en el elemento inclinado.

Aqtei= Área bruta del hormigón en el elemento inclinado utilizada para obtener los requerimientos del acero transversal.

Astei = Área del acero transversal requerido para retracción y fraguado en el elemento inclinado.

Nºtei= Pertenece al número de la varilla escogido por el usuario dentro de la tabla (3-2) para retracción y fraguado transversal en el elemento inclinado.

Abtei = Área de la barra que depende del número Nºrf2 escogido para retracción y fraguado transversal en el elemento inclinado.

#tei = Es el número de barras necesarios para retracción y fraguado transversal en el elemento inclinado.

Ltei = Longitud disponible para la distribución del las varillas de refuerzo transversal para retracción y fraguado en el elemento inclinado.

Ebtei = Espaciamiento del refuerzo de retracción y fraguado transversal en el elemento iclinado.

Lvtei= Longitud de cada varilla de refuerzo transversal para retracción y fraguado en el elemento inclinado.

LTvtei = Longitud total del acero transversal para retracción y fraguado en el elemento inclinado.

brtd = Dimensión referente a la base del hormigón tomada como 1mt en el diseño por metro lineal del refuerzo transversal para retracción y fraguado en el dentellón.

drtd= Dimensión referente a la altura de hormigón estimada para determinar el área de acero requerida como refuerzo transversal para retracción y fraguado en el dentellón.

Asrtd = Área del acero transversal requerido para retracción y fraguado en el dentellón.

Nºrtd= Pertenece al número de la varilla escogido por el usuario dentro de la tabla (3-2) para retracción y fraguado transversal en el dentellón.

Abtrtd = Área de la barra que depende del número Nºrf2 escogido para retracción y fraguado transversal en el dentellón.

#1td = Es el número de barras de acero transversal necesarios para retracción y fraguado en 1 metro lineal del dentellón.

Lrtd = Longitud disponible para la distribución del las varillas de refuerzo transversal para retracción y fraguado en el dentellón.

#rtd = Es el número **real** de barras de acero transversal necesarios para retracción y fraguado en el dentellón.

Ebrtd= Espaciamiento entre las varillas del refuerzo transversal para retracción y fraguado en el dentellón.

Lvrtd= Longitud de cada varilla de refuerzo transversal para retracción y fraguado en el dentellón.

LTvrtd = Longitud total del acero transversal para retracción y fraguado en el dentellón.

Aqltd= Área bruta del hormigón en el dentellón utilizada para obtener los requerimientos del acero longitudinal.

Asld = Área del acero longitudinal requerido para retracción y fraguado en el dentellón.

Nºld= Pertenece al número de la varilla escogido por el usuario dentro de la tabla (3-2) para retracción y fraguado longitudinal en el dentellón.

Abld = Área de la barra que depende del número Nºrf2 escogido para retracción y fraguado longitudinal en el dentellón.

#ld = Es el número de barras de acero longitudinal necesarios para retracción y fraguado en el dentellón.

Lld = Longitud disponible para la distribución del las varillas de refuerzo longitudinal para retracción y fraguado en el dentellón.

E_{ld}= Espaciamiento entre las varillas del refuerzo longitudinal para retracción y fraguado en el dentellón.

L_{ld}= Longitud de cada varilla de refuerzo longitudinal para retracción y fraguado en el dentellón.

L_{Tld} = Longitud total del acero longitudinal para retracción y fraguado en el dentellón.

Figura 106. Retracción y fraguado

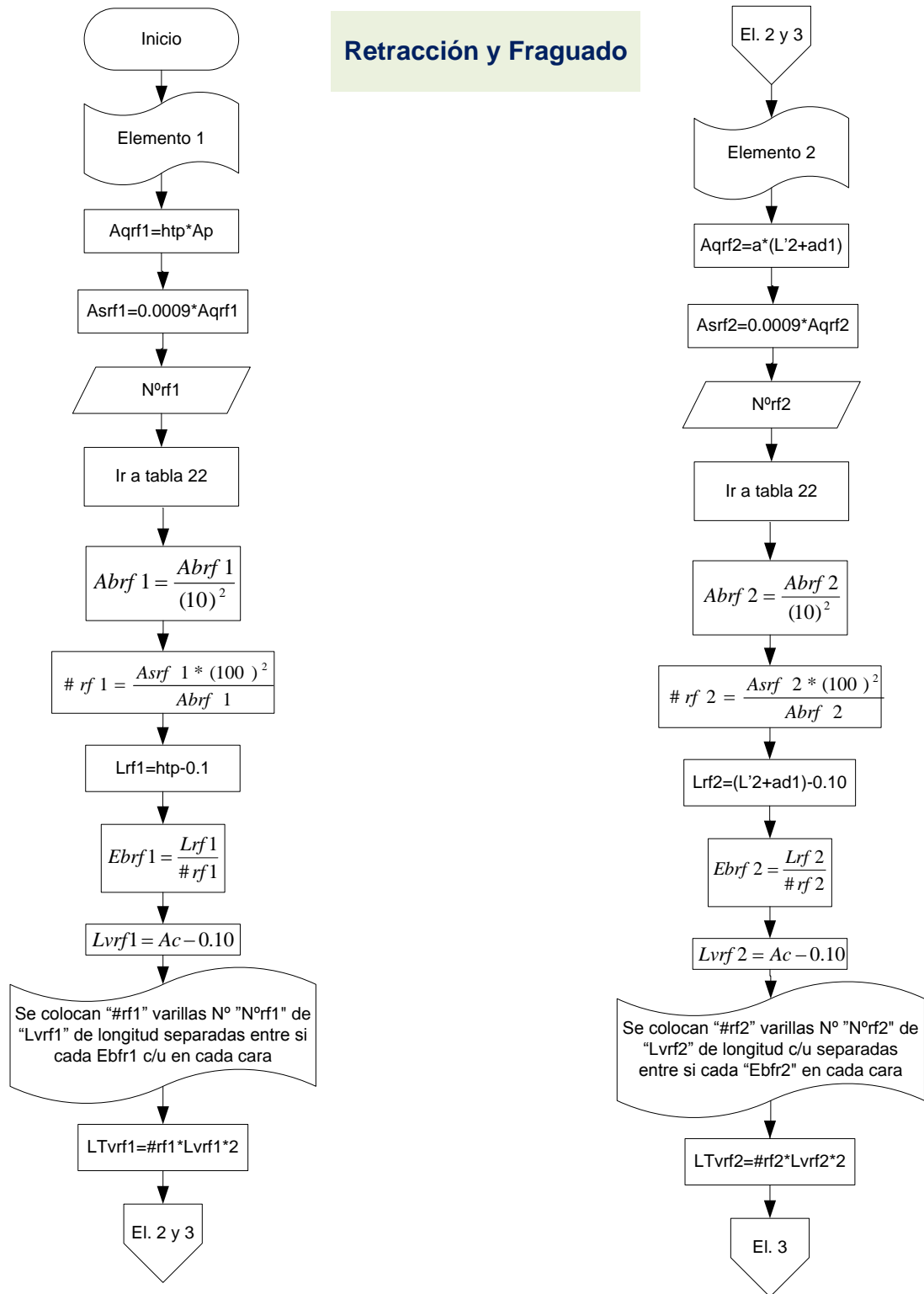


Figura 107. Retracción y fraguado

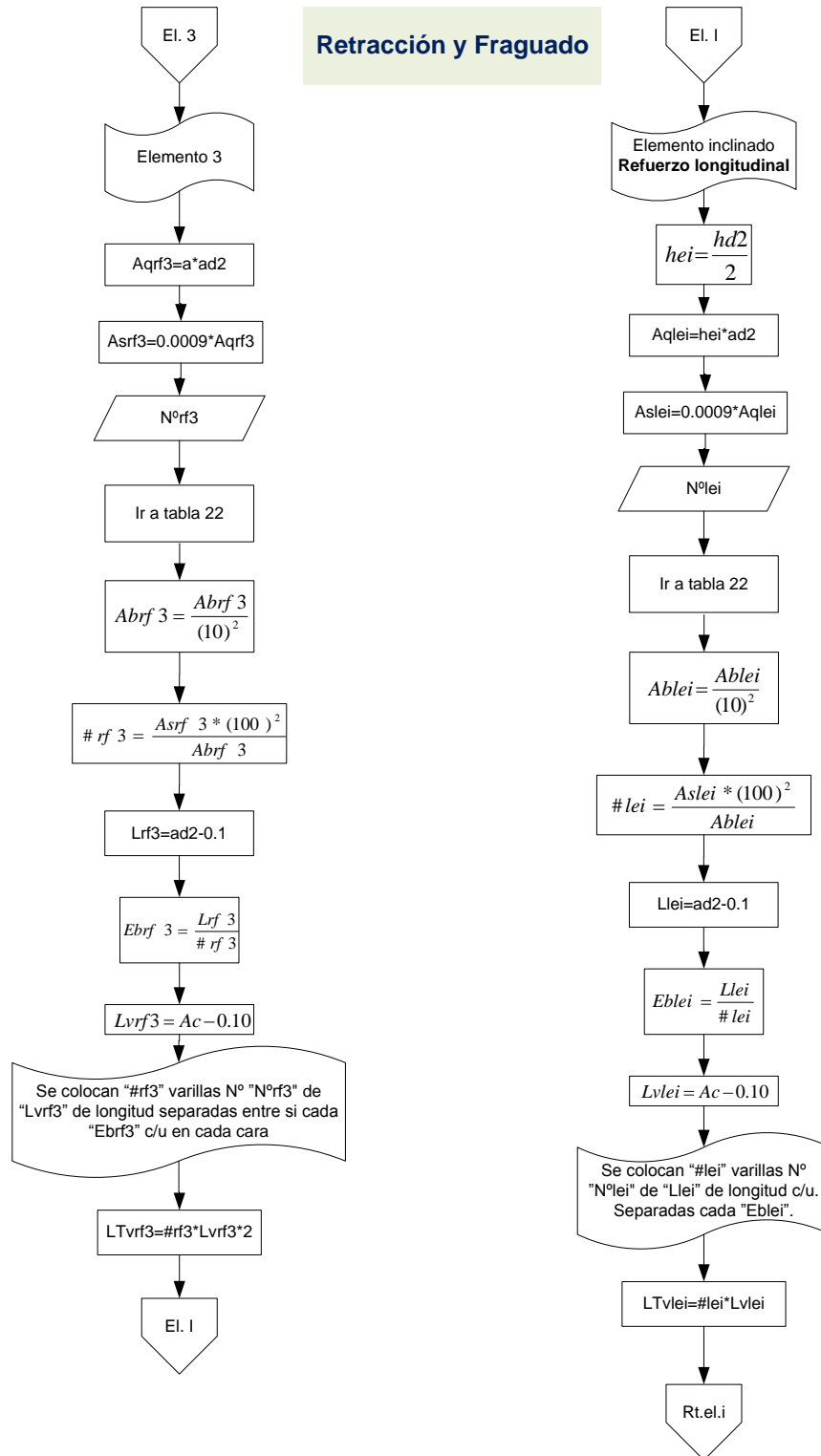


Figura 108. Retracción y fraguado

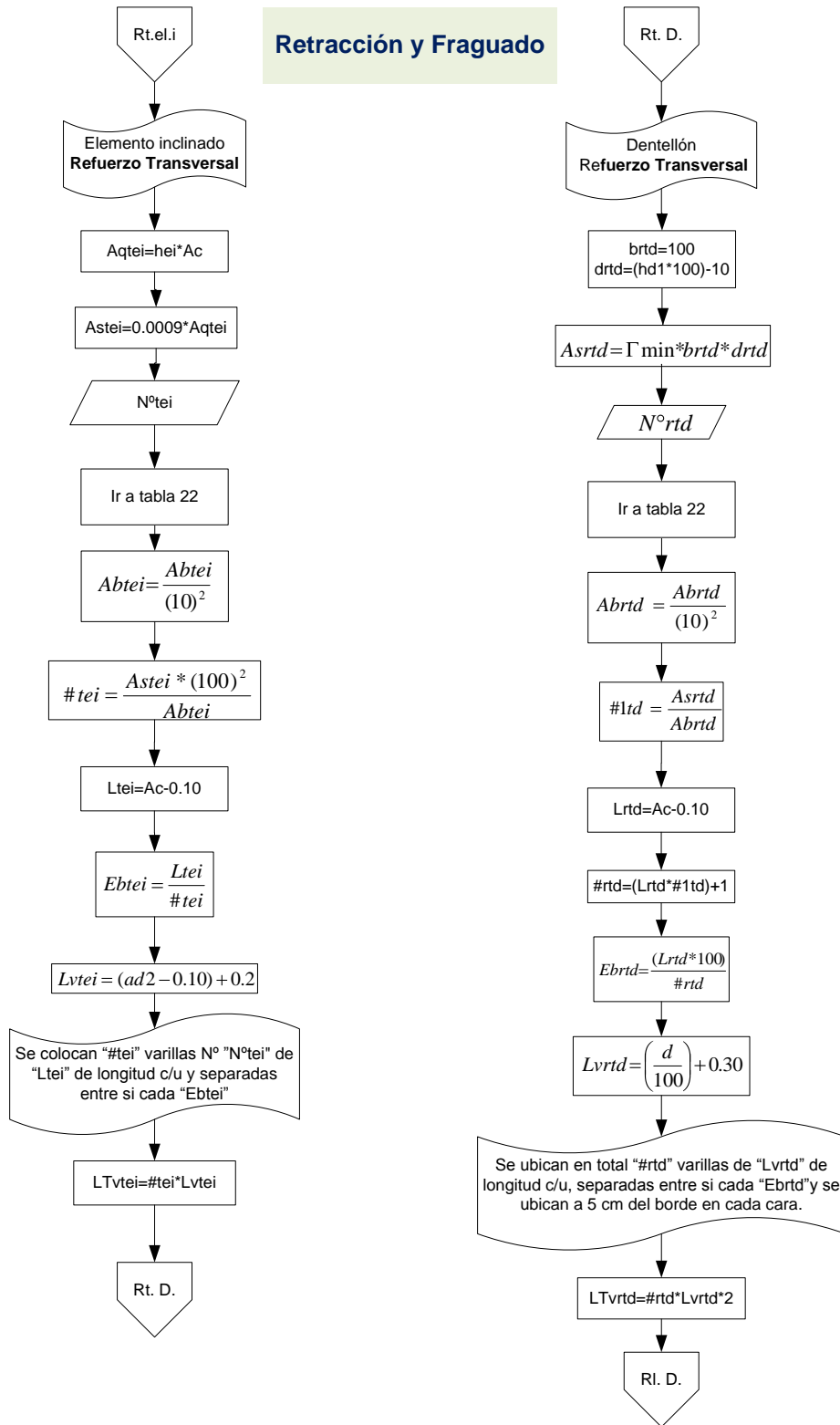
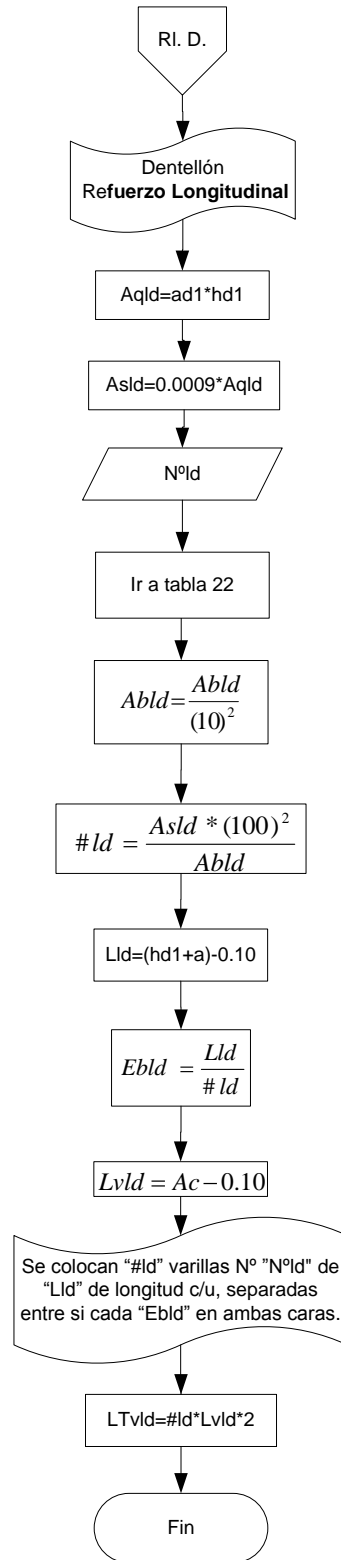


Figura 109. Retracción y fraguado

Retracción y Fraguado



✓ **Pseudocódigo.** Este algoritmo calcula la cantidad de acero requerido por refracción y fraguado, así como la ubicación del mismo en la conformación de cada elemento de la bocatoma.

1. Escribir "elemento 1"
2. Hacer $AqrF_1 \leftarrow htp * AP$
3. Hacer $AsrF_1 \leftarrow 0,0009 * AqrF_1$
4. Leer $N^{\circ} rF_1 \leftarrow$ Valor (se asigna un valor a la variable $N^{\circ} rF_1$).
5. El algoritmo busca en la tabla 22 el área correspondiente (Ab).
6. Hacer $AbrF_1 \leftarrow \frac{Ab}{10^2}$
7. Hacer $\#rF_1 \leftarrow \frac{AsrF_1 * (100)^2}{AbrF_1}$
8. Hacer $LrF_1 \leftarrow htp - 0,10$
9. Hacer $EbrF_1 \leftarrow \frac{LrF_1}{\#rF_1}$
10. Hacer $LvrF_1 \leftarrow Ac - 0,10$
11. Escribir "Se colocan $\#rF_1$ número de varillas $N^{\circ} "N^{\circ}rF_1"$ de " $LvrF_1$ " de longitud cada una, separadas entre sí " $EbrF_1$ " cada cara.
12. Hacer $LTvrF_1 \leftarrow \#rF_1 * LvrF_1 * 2$
13. Escribir "elemento 2"
14. Hacer $AqrF_2 \leftarrow a * (L'2 + ad1)$
15. Hacer $AsrF_2 \leftarrow 0,0009 * AqrF_2$
16. Leer $N^{\circ}rF_2 \leftarrow$ Valor "se asigna un valor a la variable $N^{\circ}rF_2$ "
17. El algoritmo busca en la tabla 22 el área correspondiente ($AbrF_2$).
18. Hacer $AbrF_2 \leftarrow \frac{Ab}{10^2}$
19. Hacer $\#rF_2 \leftarrow \frac{AsrF_2 * (100)^2}{AbrF_2}$
20. Hacer $LrF_2 \leftarrow (L'2 + ad1) - 0,10$
21. Hacer $EbrF_2 \leftarrow \frac{LrF_2}{\#rF_2}$
22. Hacer $LvrF_2 \leftarrow Ac - 0,10$
23. Escribir "Se colocan $\#rF_2$ número de varillas $N^{\circ} "N^{\circ}rF_2"$ de " $LvrF_2$ " de longitud cada una, separadas entre sí " $EbrF_2$ " en cada cara.
24. Hacer $LTvrF_2. \leftarrow \#rF_2 * LvrF_2 * 2$
25. Escribir "Elemento 3".
26. Hacer $AqrF_3 \leftarrow a * ad_2$

27. Hacer $AsrF_3 \leftarrow 0,0009 * AqrF_3$
28. Leer $N^o rF_3 \leftarrow$ Valor “se asigna un valor a la variable $N^o rF_3$ ”
29. El algoritmo busca en la tabla 22 el área correspondiente (Ab).
30. Hacer $AbrF_3 \leftarrow \frac{Ab}{10^2}$
31. Hacer $\#rF_3 \leftarrow \frac{AsrF_3 * (100)^2}{AbrF_3}$
32. Hacer $LrF_3 \leftarrow ad_2 - 0,10$
33. Hacer $EbrF_3 \leftarrow \frac{LrF_3}{\#rF_3}$
34. Hacer $LvrF_3 \leftarrow Ac - 0,10$
35. Escribir “Se colocan $\#rF_3$ número de varillas $N^o “N^o rF_3”$ de “ $LvrF_3$ ” de longitud cada una, separadas entre sí “ $EbrF_3$ ” en cada cara.
36. Hacer $LTvrF_3 \leftarrow \#rF_3 * LvrF_3 * 2$
37. Escribir “Elemento inclinado refuerzo longitudinal”.
38. Hacer $h_{EI} \leftarrow \frac{hd_2}{2}$
39. Hacer $aql_{EI} \leftarrow hei * ad_2$
40. Hacer $asl_{EI} \leftarrow 0,0009 * Aql_{EI}$
41. Leer $N^o l_{EI} \leftarrow$ Valor “se asigna un valor a la variable $N^o l_{EI}$ ”
42. El algoritmo busca en la tabla 22 el área correspondiente (Ab).
- Hacer $Ab_{EI} \leftarrow \frac{Ab}{10^2}$
43. Hacer $\#l_{EI} \leftarrow \frac{Asl_{EI} * (100)^2}{Ab_{EI}}$
44. Hacer $Ll_{EI} \leftarrow ad_2 - 0,10$
45. Hacer $Ebl_{EI} \leftarrow \frac{Ll_{EI}}{\#l_{EI}}$
46. Hacer $Lvl_{EI} \leftarrow Ac - 0,10$
47. Escribir “se colocan “ $\#l_{EI}$ varillas $N^o “N^o l_{EI}”$ de “ Ll_{EI} ” de longitud cada una, separadas entre sí cada “ Ebl_{EI} ”.
48. Hacer $LTvl_{EI} \leftarrow \#l_{EI} * Lvl_{EI}$
49. Escribir “Elemento inclinado refuerzo transversal”.
50. Hacer $Aqt_{EI} \leftarrow h_{EI} * Ac$
51. Hacer $Ast_{EI} \leftarrow 0,0009 * Aqt_{EI}$
52. Leer $N^o t_{EI} \leftarrow$ “Valor” “se asigna un valor a la variable $N^o t_{EI}$ ”
53. El algoritmo busca en la tabla 22 el área correspondiente (Ab).

54. Hacer $Abt_{EI} \leftarrow \frac{Ab}{10^2}$
55. Hacer $\#l_{EI} \leftarrow \frac{Ast_{EI} * (100)^2}{Abt_{EI}}$
56. Hacer $Lt_{EI} \leftarrow Ac - 0,10$
57. Hacer $Ebt_{EI} \leftarrow \frac{Lt_{EI}}{\#t_{EI}}$
58. Hacer $Lvt_{EI} \leftarrow (ad_2 - 0,10) + 0,2$
59. Escribir “se colocan “ $\#t_{EI}$ varillas “ $N^{\circ}t_{EI}$ ” de “ Lt_{EI} ” de longitud cada una, separadas entre sí cada “ Ebt_{EI} ”.
60. Hacer $LTvt_{EI} \leftarrow \#t_{EI} * Lvt_{EI}$
61. Escribir “Dentellón refuerzo transversal”
62. Hacer $brtd \leftarrow 100$
 $drt d \leftarrow (hdl * 100) - 10$
63. Hacer $Asrtd \leftarrow \Gamma_{min} * brtd * drtd$
64. Leer $N^{\circ} rtd \leftarrow$ “se asigna un valor a la variable $N^{\circ} rtd$ ”
65. El algoritmo busca en la tabla 22 el área correspondiente (Ab).
66. Hacer $Abrtd \leftarrow \frac{Ab}{10^2}$
67. Hacer $\#1td \leftarrow \frac{Asrtd * (100)^2}{Abrtd}$
68. Hacer $Lrtd \leftarrow Ac - 0,10$
69. Hacer $\#rtd \leftarrow (Lrtd * \#rtd) + 1$
70. Hacer $Ebrtd \leftarrow \frac{Lrtd * 100}{\#rtd}$
71. Hacer $Lvrtd \leftarrow \frac{d}{100} + 0,30$
72. Escribir “Se ubican en total $\#rtd$ varillas de “ $Lvrtd$ ” de longitud cada una, separadas entre sí cada “ $Ebrtd$ ”, y se ubican a 5 cm del borde en cada cara.
73. Hacer $LTvrtd \leftarrow \#rtd * Lvrtd * 2$
74. Escribir “Dentellón refuerzo longitudinal”
75. Hacer $Aqld \leftarrow adl * hdl$
76. Hacer $Asld \leftarrow 0,0009 * Aqld$
77. Leer $N^{\circ}ld \leftarrow$ “Se asigna un valor a la variable $N^{\circ}ld$ ”
78. El algoritmo busca en la tabla 22 el área correspondiente (Ab) según $N^{\circ}ld$
79. Hacer $Abld \leftarrow \frac{Ab}{10^2}$

80. Hacer $l_d \leftarrow \frac{A_{sld} * (100)^2}{A_{bld}}$
81. Hacer $L_{ld} \leftarrow (h_{dl} + a) - 0,10$
82. Hacer $E_{bld} \leftarrow \frac{L_{ld}}{\#l_d}$
83. Hacer $L_{vld} \leftarrow A_c - 0,10$
84. Escribir "Se colocan $\#l_d$ varillas N° "N° l_d " de "L l_d " de longitud cada una, separadas entre sí cada "E bld " en ambas caras.
85. Hacer $L_{Tvld} \leftarrow \#l_d * L_{vld} * 2$
86. FIN.

Figura 110. Bocatoma de fondo



- ✓ **Pantalla de datos.** En las figuras 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, y 118, se indica la pantalla de datos, acero de retracción y fraguado.

Figura 111. Acero de retracción y fraguado

The screenshot shows a software window titled "ACERO DE RETRACCIÓN Y FRAGUADO". Inside, there is a section labeled "Elemento 1". The main instruction is "Seleccione el número de varilla a utilizar para retracción y fraguado 'Nºrf1'". Below this, it says "Número de la varilla, según su diámetro comercial". There are two columns of radio buttons for selecting a rebar number: Nº 2, 3, 4, 5, 6, 7 on the left; and Nº 8, 9, 10, 11, 14, 18 on the right. The Nº 9 option is selected. To the right, there is a text input field "Nºrf1 =" containing "Nº 9" and an "Ingresar" button. Below the selection area is a "RESULTADO" box with the text: "Se colocan [] varillas Nº []", "De [] Longitud, separadas entre si", and "Cada [] en cada cara". At the bottom, a note reads: "Nota: La Nº de la barra indica el número de octavos de pulgada del diámetro de referencia".

Figura 112. Acero de retracción y fraguado

The screenshot shows a software window titled "ACERO DE RETRACCIÓN Y FRAGUADO". Inside, there is a section labeled "Elemento 2". The main instruction is "Seleccione el número de varilla a utilizar para retracción y fraguado 'Nºrf2'". Below this, it says "Número de la varilla, según su diámetro comercial". There are two columns of radio buttons for selecting a rebar number: Nº 2, 3, 4, 5, 6, 7 on the left; and Nº 8, 9, 10, 11, 14, 18 on the right. The Nº 14 option is selected. To the right, there is a text input field "Nºrf2 =" containing "Nº 14" and an "Ingresar" button. Below the selection area is a "RESULTADO" box with the text: "Se colocan [] varillas Nº []", "De [] Longitud, separadas entre si", and "Cada [] en cada cara". At the bottom, a note reads: "Nota: La Nº de la barra indica el número de octavos de pulgada del diámetro de referencia".

Figura 113. Acero de retracción y fraguado

ACERO DE RETRACCIÓN Y FRAGUADO

Elemento 3

Seleccione el número de varilla a utilizar para retracción y fraguado "Nºrf3"

Número de la varilla, según su diámetro comercial

<input type="checkbox"/> Nº 2	<input type="checkbox"/> Nº 8
<input checked="" type="checkbox"/> Nº 3	<input type="checkbox"/> Nº 9
<input type="checkbox"/> Nº 4	<input type="checkbox"/> Nº 10
<input type="checkbox"/> Nº 5	<input type="checkbox"/> Nº 11
<input type="checkbox"/> Nº 6	<input type="checkbox"/> Nº 14
<input type="checkbox"/> Nº 7	<input type="checkbox"/> Nº 18

Nºrf3 =

Ingresar

RESULTADO

Se colocan varillas Nº

De Longitud, separadas entre si

Cada en cada cara

Nota: La Nº de la barra indica el número de octavos de pulgada del diámetro de referencia

Figura 114. Acero de retracción y fraguado

ACERO DE RETRACCIÓN Y FRAGUADO

Elemento inclinado refuerzo longitudinal

Seleccione el número de varilla a utilizar para retracción y fraguado "Nºlei"

Número de la varilla, según su diámetro comercial

<input type="checkbox"/> Nº 2	<input type="checkbox"/> Nº 8
<input type="checkbox"/> Nº 3	<input checked="" type="checkbox"/> Nº 9
<input type="checkbox"/> Nº 4	<input type="checkbox"/> Nº 10
<input type="checkbox"/> Nº 5	<input type="checkbox"/> Nº 11
<input type="checkbox"/> Nº 6	<input type="checkbox"/> Nº 14
<input type="checkbox"/> Nº 7	<input type="checkbox"/> Nº 18

Nºlei =

Ingresar

RESULTADO

Se colocan varillas Nº

De Longitud, separadas entre si

Cada en cada cara

Nota: La Nº de la barra indica el número de octavos de pulgada del diámetro de referencia

Figura 115. Acero de retracción y fraguado

ACERO DE RETRACCIÓN Y FRAGUADO

Elemento inclinado refuerzo transversal

Seleccione el número de varilla a utilizar para retracción y fraguado "N°teí"

Número de la varilla, según su diámetro comercial

- N° 2
- N° 3
- N° 4
- N° 5
- N° 6
- N° 7

- N° 8
- N° 9
- N° 10
- N° 11
- N° 14
- N° 18

N°teí =

Ingresar

RESULTADO

Se colocan varillas N°

De Longitud, separadas entre si

Cada en cada cara

Nota: La N° de la barra indica el número de octavos de pulgada del diámetro de referencia

7.4 BOMBAS

7.4.1 Bombas y estaciones de bombeo

7.4.1.1 Fundamento teórico

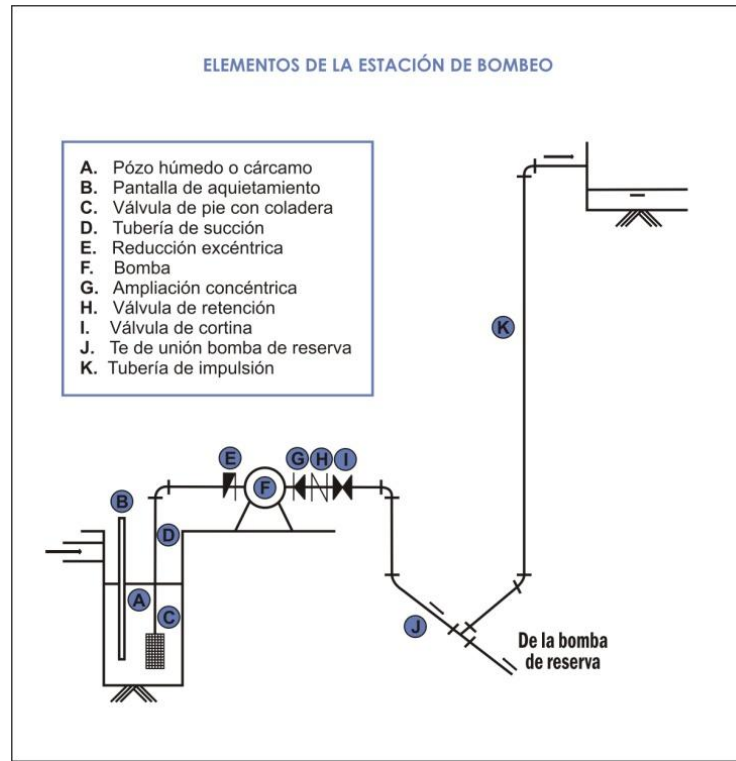
Diseño de estaciones de bombeo. Cuando haya necesidad de utilizar el bombeo en un sistema de acueducto, se debe tener en cuenta que esta alternativa resultará más costosa desde el punto de vista de operación y mantenimiento, en comparación con las alternativas posibles de conducción por gravedad.

En la figura 116 se presenta un esquema de los elementos constitutivos más importantes de una estación de bombeo, cuya numeración se explica a continuación.

Elementos de la estación de bombeo.

- A.** Pozo húmedo o cárcamo.
- B.** Pantalla de quietamiento.
- C.** Válvula de pie con coladera.
- D.** Tubería de succión.
- E.** Reducción excéntrica.
- F.** Bomba.
- G.** Ampliación concéntrica.
- H.** Válvula de retención.
- I.** Válvula de cortina.
- J.** Te de unión bomba de reserva.
- K.** Tubería de impulsión.

Figura 116. Elementos de la estación de bombeo



Fuente: LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Diseño del bombeo

✓ **Diseño del bombeo.** Para hacer el diseño hidráulico del bombeo debe tenerse siempre en cuenta el esquema de bombeo utilizado. En otras palabras, la ecuación planteada dependerá, entre otros factores, de si hay succión positiva o negativa y si se descarga al aire libre o no.

Por lo general, se deben considerar los siguientes términos:

Altura estática de succión (h_s). Es la distancia existente entre el nivel del agua en el pozo húmedo y el eje de la bomba. Se le suele llamar succión negativa si en el nivel del agua se encuentra por debajo del eje de la bomba (caso más común en acueductos), o succión positiva si el nivel del agua se encuentra por encima del eje de la bomba (caso más común en alcantarillados).

Altura estática de impulsión (h_i). Es la diferencia entre el nivel de descarga de la bomba y el eje del rotor.

Altura estática total (Hest). Es la diferencia entre los niveles del agua en el pozo húmedo y la descarga, es decir, la suma de las alturas estáticas de succión e impulsión.

Altura de fricción (hfs, hfi). Es la altura adicional que debe suministrarse para vencer las pérdidas por fricción en las tuberías de impulsión (hfi) y de succión (hfs). Pueden calcularse mediante la ecuación de Darcy – Weisbach o Hazen Williams.

Altura de velocidad ($V^2/2g$). Representa la energía cinética del fluido en cualquier punto del sistema.

Altura de pérdidas menores (hms, hmi). Es la altura de agua adicional para vencer las pérdidas debidas a los accesorios, tales como codos, válvulas y otros. Pueden calcularse como un factor de la altura de velocidad o como una longitud equivalente de tubería.

Altura dinámica total (Ht). Es la altura total contra la cual debe trabajar la bomba, teniendo en cuenta todos los factores anteriores. Para obtener la altura dinámica total, es necesario establecer la ecuación de Bernoulli entre los niveles del agua en la succión y la impulsión.

En la figura 117 se muestra un caso típico de bombeo con succión negativa.

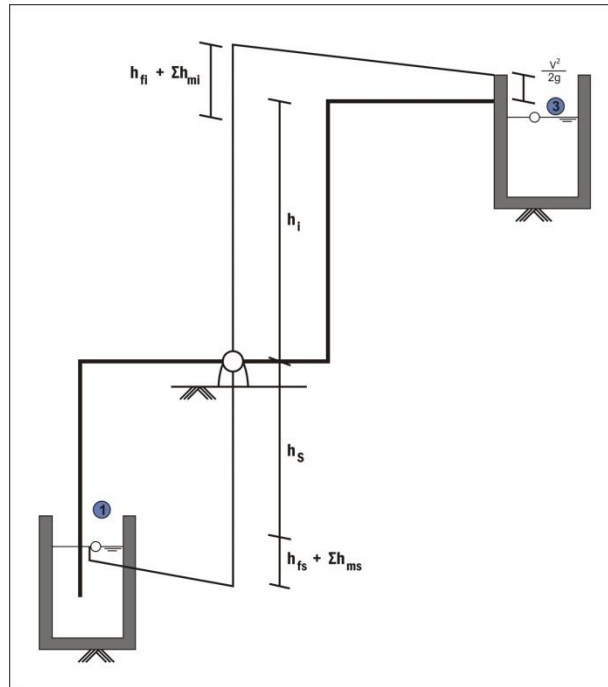
Planteando Bernoulli entre los puntos 1 y 3, se tiene:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + H_t - (h_{fs} + \sum h_{ms}) - (h_{fi} + \sum h_{mi}) = \frac{P_3}{\gamma} + \frac{V_3^2}{2g} + Z_3 \quad [107]$$

En la ecuación anterior, los términos de presión son iguales a cero y la velocidad del líquido en el pozo de succión se puede despreciar. Despejando el valor de la altura dinámica total y reemplazando los valores por la nomenclatura utilizada anteriormente, se tiene:

$$H_t = h_s + h_i + (h_{fs} + \sum h_{ms}) + (h_{fi} + \sum h_{mi}) + \frac{V_1^2}{2g} \quad [108]$$

Figura 117. Línea de energía en el esquema de bombeo con cabeza de succión negativa



Fuente: LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Diseño del bombeo

✓ **Curvas características**

Curva característica de la bomba. La curva característica se da para una determinada velocidad del motor y diámetro del rotor. Para otras velocidades y diámetros, puede establecerse a partir de las leyes de afinidad definidas a continuación:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad [109]$$

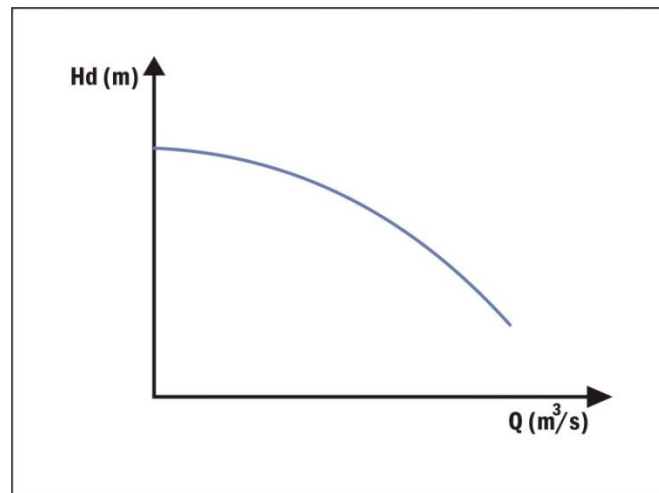
$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 \quad [110]$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^3$$

[111]

en donde: Q_1 y Q_2 = caudal de la bomba (m^3/s)
 H_1 y H_2 = altura dinámica (m)
 P_1 y P_2 = potencia de la bomba (W)

Figura 118. Curva característica de la bomba

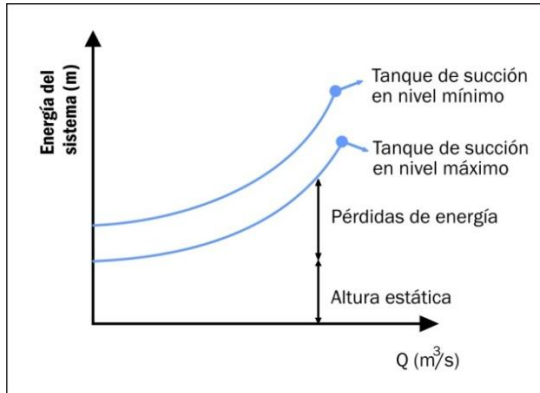


Fuente: LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Curva características de la bomba

Las curvas características pueden ser planas o inclinadas. Una curva plana implica, que al variar la altura dinámica, la variación en caudal es grande en comparación con el caso de una curva inclinada en donde la variación en caudal es menor. Las bombas operadas en serie producen el mismo caudal, incrementando la altura dinámica del sistema. Las bombas operadas en paralelo producen la misma altura dinámica, incrementando el caudal del sistema.

Curva característica de operación del sistema. La curva característica del sistema representa la cantidad de energía que hay que suministrar para salvar la altura estática y las pérdidas de energía en la estación de bombeo con diferentes caudales. En la medida en que el caudal es mayor, las pérdidas por fricción y accesorios son mayores. Por otra parte, la curva característica del sistema depende de los niveles de agua en los tanques, produciendo entonces más de una curva característica del sistema.

Figura 119. Curvas características de operación del sistema

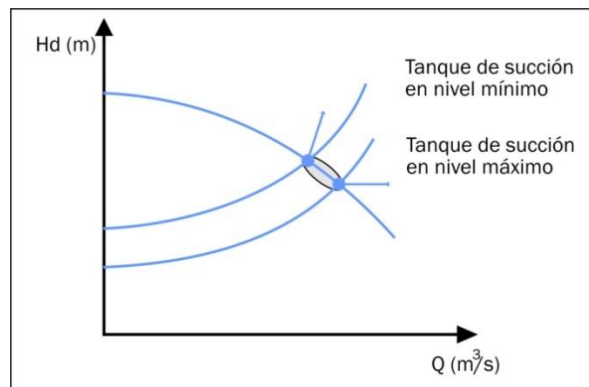


Fuente: LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Curva característica de operación del sistema

Punto de operación. Cuando la curva característica de la bomba y la de operación del sistema se sobreponen en una sola gráfica (figura 119), se encuentra el rango de operación de la bomba, el cual indica los puntos extremos de operación del sistema en términos de caudales y altura dinámica.

En el rango de operación de la bomba, se deben presentar eficiencias de operación superiores al 60%, de lo contrario, es conveniente modificar los diámetros de las tuberías o cambiar la bomba. Al variar el diámetro de la tubería de impulsión o succión, se modifica la curva característica del sistema, incrementando o disminuyendo las pérdidas de energía.

Figura 120. Rango de operación de la estación de bombeo



Fuente: LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueducto y alcantarillados. Editorial escuela colombiana de ingeniería, 546 pag. 2ed.

7.4.1.2 Especificaciones de diseño

Tabla 22. Periodo de diseño de las estaciones de bombeo

Nivel de complejidad del sistema	Periodo de Diseño
Bajo	15 años
Medio	20 años
Medio Alto	25 años
Alto	30 años

Fuente: RAS 2000. Ministerio de desarrollo económico de Colombia.

Ubicación de la estación. En el caso de la captación de agua por bombeo, la estación debe colocarse aguas arriba de cualquier descarga de aguas residuales. Así mismo, hay que estudiar la disponibilidad de energía eléctrica o combustible y el acceso a las instalaciones.

Periodo y caudal de diseño. El caudal de diseño de la estación de bombeo se determina teniendo en cuenta el número de horas de bombeo al día:

- Bombeo de 24 horas al día: el caudal de diseño es el caudal máximo diario.
- Bombeo menor de 24 horas al día: el caudal de diseño es el caudal máximo diario dividido por el porcentaje de tiempo que se bombea al día.

Pozo húmedo. Es el tanque al cual llega el agua que se va a bombear. Debe diseñarse con el caudal de diseño de la bomba y su construcción tiene que realizarse en una sola etapa. El periodo de retención del agua en el tanque no debe ser superior a los cinco minutos, con el fin de evitar la posible sedimentación de partículas en el tanque. El área mínima del pozo debe ser de cinco veces el diámetro de la tubería de succión y no de sección circular. Este pozo debe tener un sistema de desagüe y limpieza adecuado.

La sumergencia recomendada es:

$$S = 2,5D_s + 0,1 \quad [112]$$

Siendo,

S = sumergencia (m). Mínimo 0,5m
D = diámetro de la tubería de succión (m)

Se recomienda que la distancia entre las paredes laterales o el fondo del pozo a la coladera estén entre 0,5 y 1,5 veces el diámetro de la tubería de succión, con un mínimo de 25 centímetros.

Tubería de succión. El diámetro de la tubería de succión nunca debe ser inferior al diámetro de la tubería de impulsión ni tampoco menor que el diámetro del orificio de entrada de la tubería de succión a la bomba. Se recomienda utilizar el diámetro comercial inmediatamente superior al de la tubería de impulsión.

Hay que diseñar esta tubería lo más recta y corta posible, evitando codos, uniones, T horizontales, con el fin de minimizar las pérdidas de energía. La velocidad mínima en la tubería de succión es de 0,45m/s. La velocidad máxima se establece por medio de la ecuación [113] determinada por la interpolación de la tabla 23, con el fin de reducir los problemas de cavitación.

Tabla 23. Velocidad máxima en la tubería de succión

Diámetro de la tubería de succión (mm)	Velocidad máxima (m/s)
50	0,75
75	1,00
100	1,30
150	1,45
200	1,60
250	1,60
300	1,70
Mas que 400	1,80

Fuente: LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Tubería de succión

$$Velmax = 0,519386 + 0,00744255 * Ds - 0,0000108847 * Ds^2 \quad [113]$$

Tubería de impulsión. Se recomienda que para mantener dentro de valores normales la sobrepresión por golpe de ariete, la velocidad está en el rango de 1,0 a 3,0 m/s. En todo caso debe hacerse la evaluación por golpe de ariete según la teoría de columna elástica, bien sea por el método de las características o de los elementos finitos. (K= 0,7 a 1,6).

Tabla 24. Clases de tuberías según el material, diámetro y longitudes (presentación comercial usual)

Tipos de tuberías según el material	Diámetro en pulgadas	Longitud en metros
Asbesto-cemento o AC	2, 3 , 4, 6, 8, 10 ,12 ,14 ,16 ,18 ,20 ,24 ,28	4
Cloruro de polivinilo o PVC	1/2, 3/4, 1, 1¼, 2, 2¼, 3, 4, 6, 8, 10, 12	6
Plástico flexible PF + UAD	1/2, 3/4	Rollo 90
Cobre	3/8,1/2,3/4,1,1¼,1½,2	Rollo 90 o mas
Cilindro de Acero y Concreto ACCP	10 en adelante sobre pedido hasta 78	5 y 10
Hierro acerado o lamina de acero H.A	1½,2,3,4,6,8,10,12. En adelante sobre pedido	5 y 10
Hierro fundido H.F	3,4,6,8,10,12,14,18,24,30,36.	6
Hierro Dúctil- H.D	4, 6, 8, 10, 12, 14 ,16 ,18 ,20 ,24	6 y 12
Hierro galvanizado H.G	1/8,1/4,3/8,1/2, 1½,3/4,1, 1¼,2,2½,3,4,6,8,10,12	6
Polietileno de alta calidad	1/2 a 8	100

Fuente: SENA. Tuberías de acueducto. Curso: Técnico profesional en construcción. Santiago de Cali. 2006

“Para evitar el riesgo de cavitación por presión de succión se debe cumplir que la cabeza neta positiva de succión disponible sea superior a la requerida en 20%, por lo menos. En todo caso, se debe cumplir que”⁵⁶:

$$CNPS_d - CNPS_r \geq 0,5m \quad [114]$$

7.4.1.3 Metodología de diseño

- Se determina el periodo de diseño de las estaciones de bombeo según el artículo 93⁵⁷

⁵⁶ LÓPEZ CUALLA, Op. Cit., 546 p.

⁵⁷ RAS 2000. Ministerio de desarrollo económico de Colombia. Reglamento técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), Títulos A “Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico” y B “Sistemas de acueducto”. Revisión 1, Bogotá. Ministerio de desarrollo económico 2000. 126 p.

- Ahora e determina el año de proyección según el periodo de diseño de la estación de bombeo.
- Es necesario que el usuario ingrese los datos que dependen particularmente de las condicione topográficas en donde se desea implementar la estación de bombeo, de la forma y el funcionamiento que el diseñador quiera darle a la estación y de los materiales que se desean utilizar en la misma, según esto la variables a ingresar son:

Cot maxP, Cot minP, Cot bomba, Cot ta, mats, mati, Lhs, Lhi, Lvs, Lvi, Hu, T^o, hsnm, las cuales se encuentran explicados en el listado de variables.

- Luego se determina el diámetro de la tubería de impulsión dependiendo de las horas de bombeo al dia (hv), según Lopez Cualla⁵⁸.
- Se compara el diámetro de impulsión calculado con el diámetro comercial, y según esto el usuario debe seleccionar el diámetro comercial mayor más cercano. De acuerdo al material de la tubería deseado en la impulsión
- Se transforma las unidades del diámetro comercial a metros para luego obtener la velocidad según:

$$Vi = \frac{Q \cdot 4}{\pi (Di)^2} \quad [115]$$

- Si la velocidad de impulsión cumple o esta dentro del rango determinado en las especificaciones de diseño se pasa a calcular la tubería de succión.
- El usuario escoge y determina el diámetro comercial de la succión según las tablas de diámetros comerciales del material escogido para esta tubería.
- Se calcula la velocidad máxima (Velmax), según la ecuación 113.
- Luego se transforman las unidades del diámetro comercial a metros para después determinar la velocidad y establecer si esta cumple con las condiciones de velocidad mínima y velocidad máxima.
- Se calcula la sumergencia según la ecuación 112.
- Se calcula según los datos ingresados desacuerdo a la topografía, la altura dinámica de elevación y la longitud de la tubería tanto de succión como de impulsión.
- El usuario selecciona el tipo de accesorios que se desean en las tuberías de impulsión y succión, y se calculan sus respectivas pérdidas localizadas en longitud equivalente, según interpolación de la tabla 26.

⁵⁸ LÓPEZ CUALLA, Op. Cit., 546 p.

Tabla 26. Pérdidas localizadas en longitudes equivalentes (en metros de tubería recta)

Elemento	mm	13	19	25	32	38	50	63	75	100	125	150	200	250	300	350
	pulg	1/2	3/4	1	1¼	1½	2	2½	3	4	5	6	8	10	12	14
Codo 90°																
Radio largo		0,3	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,6	2,1	2,7	3,4	4,3	5,5	6,1	7,3
Radio medio		0,4	0,6	0,7	0,9	1,1	1,4	1,7	2,1	2,8	3,7	4,3	5,5	6,7	7,9	9,5
Radio corto		0,5	0,7	0,8	1,1	1,3	1,7	2,0	2,5	3,4	4,5	4,9	6,4	7,9	9,5	10,5
Codo 45°																
		0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,2	1,5	1,9	2,3	3,0	3,8	4,6	5,3
Curva 90°																
R/D: 1½		0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,3	1,6	1,9	2,4	3,0	3,6	4,4
R/D: 1		0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,0	1,3	1,6	2,1	2,5	3,3	4,1	4,8	5,4
Curva 45°																
		0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,1	1,5	1,8	2,2	2,5
Entrada																
Normal		0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,6	2,0	2,5	3,5	4,5	5,5	6,2
De borda		0,4	0,5	0,7	0,9	1,0	1,5	1,9	2,2	3,2	4,0	5,0	6,0	7,5	9,0	11,0
Válvula																
Compuerta		0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,4	1,7	2,1	2,4
Globo		4,9	6,7	8,2	11,3	13,4	17,4	21,0	26,0	34,0	45,3	51,0	6,7	85,0	102	120
Ángulo		2,6	3,6	4,6	5,6	6,7	8,5	10,0	13,0	17,0	21,0	26,0	34,0	43,0	51,0	60,0
de pie		3,6	5,6	7,3	10,0	11,6	14,0	17,0	20,0	23,0	31,0	39,0	52,0	65,0	78,0	90,0
Retención																
T. liviano		1,1	1,6	2,1	2,7	3,2	4,2	5,2	6,3	6,4	10,4	12,5	16,0	20,0	24,0	38,0
T. pesado		1,6	2,4	3,2	4,0	4,8	6,4	8,1	9,7	12,9	16,1	19,3	25,0	32,0	38,0	45,0
Te de paso																
Directo		0,3	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,6	2,1	2,7	3,4	4,3	5,5	6,1	7,3
Lateral		1,0	1,4	1,7	2,3	2,8	3,5	4,3	5,2	6,7	8,4	10,0	13,0	16,0	19,0	22,0
Te de salida																
Bilateral		1,0	1,4	1,7	2,3	2,8	3,5	4,3	5,2	6,7	8,4	10,0	13,0	16,0	19,0	22,0
Salida de tubería																
		0,4	0,5	0,7	0,9	1,0	1,5	1,9	2,2	3,2	4,0	5,0	6,0	7,5	9,0	11

Fuente: LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Ejemplo de diseño

CODO DE 90°

- **Radio largo**

$$L.Equivalente = -0,0443694 + 0,0230635x Ds - 0,00000638299xDs^2 \quad [116]$$

- **Rad**

- **io medio**

$$L.Equivalente = 0,0182946 + 0,0285406x Ds - 0,000005443xDs^2 \quad [117]$$

- **Radio corto**

$$L.Equivalente = -0,0381008 + 0,0358915x Ds - 0,0000157696xDs^2 \quad [118]$$

- **Cod**

- **o 45°**

$$L.Equivalente = 0,0172898 + 0,0150306x Ds + 3,58537E-7xDs^2 \quad [119]$$

CURVA DE 90°

- **R/D:1_{1/2}**

$$L.Equivalente = 0,0530936 + 0,0117881x Ds + 0,00000106356xDs^2 \quad [120]$$

- **R/D**

- **:1**

$$L.Equivalente = 0,050335 + 0,0169439x Ds - 0,00000418276xDs^2 \quad [121]$$

- **Curva 45°**

$$L.Equivalente = 0,0636467 + 0,00681365x Ds + 6,5691E-7xDs^2 \quad [122]$$

ENTRADA

- **Normal**

$$L.Equivalente = -0,152166 + 0,0173832x Ds + 0,00000334328xDs^2 \quad [123]$$

- **Bor**

- **da**

$$L.Equivalente = -0,0718587 + 0,0316683x Ds - 0,00000213384xDs^2 \quad [124]$$

VÁLVULA

- **Compuerta**

L.Equivalente= $-0,00543983+0,00725405x Ds - 0,00000106416xDs^2$ [125]
• **Glo**

bo

L.Equivalente = $0,381475+0,338131x Ds + 0,00000586978xDs^2$ [126]

• **Ángulo**

L.Equivalente= $0,268363+0,0166589x Ds+0,000011561xDs^2$ [127]

• **De**

pie

L.Equivalente = $1,22567+0,242639x Ds+0,0000379864xDs^2$ [128]

Retención

• **Te liviano**

L.Equivalente= $1,38089+0,041219x Ds+0,000156278xDs^2$ [129]

• **Te**

pesado

L.Equivalente = $0,0469354+0,126575x Ds+0,00000323634xDs^2$ [130]

TE DE PASO

• **Directo**

L.Equivalente= $-0,0443694+0,0230635x Ds - 0,00000638299xDs^2$ [131]

• **Lat**

eral

L.Equivalente = $0,144876+0,0674792x Ds - 0,0000149426xDs^2$ [132]

Te de salida

• **Bilateral**

L.Equivalente= $0,144876+0,0674792x Ds-0,0000149426xDs^2$ [133]

SALIDA

• **Tubería**

L.Equivalente= $-0,0718587+0,0316683x Ds - 0000002,3384xDs^2$ [134]

- Luego según Hazzen Williams y de acuerdo al material de la tubería (tabla 27) se calcula la carga total:

Tabla 27. Valor del coeficiente de rugosidad de Hazen William para distintos materiales.

Material del conducto	Coeficiente C
Tubos de acero	100
Tubos de acero con recubrimiento en concreto centrifugado	140
Tubos de HF con recubrimiento en concreto centrifugado	140
Tubos de HF	100
Tubos de HG	100-120
Tubos de AC	140
Tubos de AP	140
Tubos de PVC	150
Cobre	130-140
Hierro dúctil (HD)	120

Fuente. SALAZAR ROBERTO. Ecuación de William-Hazen

$$J = \left(\frac{Q}{0,2785 * C * D^{2,635}} \right)^{1,852} \quad [135]$$

- Por lo tanto las perdidas en la succión y en la impulsión se determinan según la siguiente expresión:

$$P = J * L_{et} \quad [136]$$

donde J= Cargo total - L_{et} = longitud equivalente total

- Se calcula la altura producida por la velocidad de impulsión:

$$h_{vi} = \frac{v_i^2}{2g} \quad [137]$$

- Ahora se calcula la altura de dinámica de elevación máxima y mínima sumando las anteriores alturas:

$$h_{de\ max} = h_{vi} + P_i + P_s + h_{et\ max} \quad [138]$$

$$h \text{ de min} = h_{vi} + P_i + P_s + h_{et \text{ min}}$$

[139]

- Se imprime Q, h de máx., h de min.
- Ahora se ingresan los datos suministrados por el fabricante, que son la eficiencia de bomba (eb), la velocidad del rotor (Nr), la altura neta positiva de succión requerida (C NPSr) y el numero de datos de la bomba (Np).
- Luego se procede a ingresar uno a uno los caudales de la bomba con sus respectivas alturas para que la curva sea graficada mas adelante.
- Es necesario ingresar varios caudales (por lo general 4) menores al caudal de diseño y varios mayores a este, para obtener los datos que permitan realizar l curva de operación.
- Se calcula periodos de carga (J), las pérdidas totales (impulsión, succión) (P), la velocidad (Vi) y la altura generada por la velocidad (hvi), para calcular (h de max), (h de min) y (h prom) en cada causal ingresado y por medio de las respectivas formulas citadas anteriormente.
- Los anteriores resultados se imprimen en una tabla.
- Se grafica la curva de la bomba y las curvas de operación(h dinámica vis caudal)
- Si al observan en la grafica el caudal esta dentro del rango de las curvas de operación se debe ingresar el caudal promedio (Qp), la altura promedio (h pr). El caudal mínimo de operación y el caudal máximo de operación.
- Según esto se determina la eficiencia de la bomba (ehp).
- Se calcula la potencia de la bomba según

López Cualla⁵⁹:

$$Ph = \frac{\gamma \cdot Q_{Pr} \cdot h_{Pr}}{ebP}$$

[140]

- Debido a que según se recomienda usar motores con potencia de 1,15 a 1,20 veces la potencia de la bomba para evitar se recalentamiento y tener en cuenta las perdidas mecánicas de transmisión de energía, se hace:

$$P_m = Ph * 1,20$$

[141]

- Se determina la altura barométrica (Abr) según la siguiente expresión:

⁵⁹ Ibid., p. 148.

$$Abr = 10,33 - \frac{1,2 * hsnm}{1000} \quad [142]$$

- Ahora para evitar que se presente cavitación en el sistema es necesario calcular la altura estática total cuando se trabaje con el caudal mínimo en la tubería de succión, para esto se calcula la pérdida de carga total (Pop), la velocidad (Vsmo) y la altura de la velocidad.
- Se calcula la presión de vapor (Pv) determinada según la ecuación (124).

$$Pv = 4,7603 * e^{(0,0645 * T^0)} \quad [143]$$

- Se calcula la altura neta positiva de succión disponible o (cavitación disponible) según López Cualla⁶⁰

$$CNPs_d = [Abr - Hs - Pv] \quad [144]$$

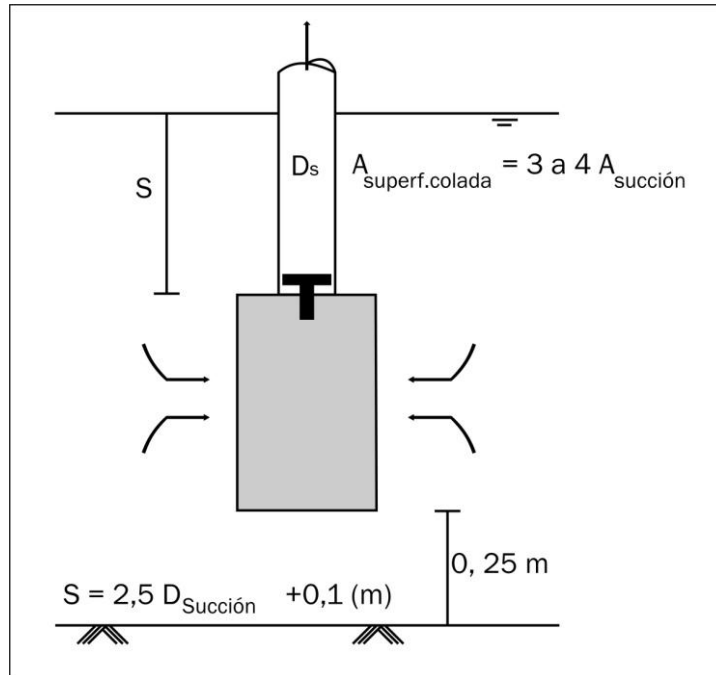
- La diferencia entre la altura neta positiva de succión disponible y la requerida debe ser mayor que 0.5 si no es así se debe rediseñar, si es así se va al siguiente paso.
- Se calcula la velocidad del rotor (ns) según Lopez Cualla:

$$ns = \frac{Nr \sqrt{QPr}}{hPr^{3/4}} \quad [145]$$

- Ahora se ingresa el valor de la velocidad limite del rotor (valor suministrado por el fabricante) la cual debe ser mayor a l velocidad del rotor calculada, de no ser así se debe rediseñar, si es así se imprime el diámetro y la longitud total de la tubería tanto de succión como de impulsión y su respectivo material, la potencia de la bomba, la potencia del motor, y la lista de accesorios en impulsión y succión.

⁶⁰ Ibid., p.. 139.

Figura 121. Válvula de pie con coladera



Fuente. LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueducto y alcantarillados. Editorial escuela colombiana de ingeniería, 546 pag. 2ed.

7.4.1.4 Ejemplo de cálculo

Datos.

- $N_{cj} = \text{medio}$
- Número de horas de bombeo al día (h_u) = 12.
- pantalla datos de salida

Figura 122. Pantalla datos de salida

PANTALLA DATOS DE SALIDA

Año	PfP	DN	CT	K1	K2	Qp	Qmaxd	Qmaxh
2003	5095	2.24L/hab*día	344	1.3	1.6	22.90L/s	29.77L/s	42.17L/s
2008	5574	2.45L/hab*día	355	1.3	1.6	20.28L/s	26.36L/s	47.63L/s
2013	6104	2.46L/hab*día	335	1.3	1.6	23.66L/s	30.75L/s	49.2L/s
2018	6760	2.47L/hab*día	318	1.3	1.6	24.88L/s	32.34L/s	51.74L/s
2023	7557	2.48L/hab*día	304	1.3	1.6	26.59L/s	34.56L/s	55.29L/s
2028	8562	2.51L/hab*día	293	1.3	1.6	29.03L/s	37.73L/s	60.36L/s
2033	9904	2.59L/hab*día	287	1.3	1.6	32.90L/s	42.77L/s	68.43L/s

Aceptar

- Altura sobre el nivel del mar (hsnm) = 1.500 m.s.n.m
- Temperatura del agua (T°).
- La cota máxima posible en el pozo humedo (cotmaxP) = 97,54m
- La cota mínima posible en el pozo humedo (cotminP) = 97m
- La cota en donde se encuentra ubicada la bomba (cotbomba) = 100m
- La cota de llegada al tanque es (cotta) = 138m
- La tubería de succión y la de impulsión son PVC.
- La longitud horizontal de succión (Lhs) = 0,5m
- La longitud horizontal de impulsión (Lhi) = 154m
- La longitud vertical adicional en la succión (Lvs) = 0
- La longitud vertical adicional en la impulsión (Lvi) = 1

Solución. El nivel de complejidad (Ncj) es medio, por lo tanto el periodo de diseño (PD) es de 20 años y teniendo en cuenta que el año inicial de proyección (To)=2003, se tiene:

$$2003 + 20 = 2023$$

Por lo tanto se toma el (Qmaxd) correspondiente al 2023 que es 34,56L/sg. (hu) es menor que 24, por lo tanto el porcentaje de utilización (h%) es:

$$\%h = \frac{12}{24} * 100 = 50\%.$$

López Cualla⁶¹

El caudal de diseño (Cd) según es:

$$Cd = \left(\frac{34,56}{50} \right) * 100 = 69,12L/sg$$

Se tiene:

$$X = \frac{12}{24} = 0,5$$

Se necesita el caudal de diseño en m³:

$$Q = \frac{69,12}{1000} = 0,06912m^3.$$

Y se obtiene el diámetro de la tubería de impulsión:

$$Di = 13 * (0,5)^{1/4} \sqrt{0,06912} = 0,2874m.$$

Para buscar un diámetro comercial se hace:

$$Di = \frac{0,2874}{0,0254} = 11,31'' \text{ pulgadas.}$$

El diámetro comercial (Dic) mayor más cercano es 12''.

$$11,31'' \approx 12'' = Dic$$

Ahora:

$$Di = 12 * 0,0254 = 0,3048m$$

Se calcula la velocidad en la tubería:

$$Vi = \frac{0,06912m^3 * 4}{\pi * 0,3048^2} = 0,9472 \text{ m/s}$$

⁶¹ Ibid., p. 140

Debido a que la velocidad en la tubería debe estar entre 1 y 3, la velocidad no es aceptada por lo cual es necesario cambiar el diámetro y reducirlo al diámetro menor cercano que es de 10".

Se calcula nuevamente la velocidad y se tiene:

$$D_i = 10 * 0,0254 = 0,254m$$

$$V_i = \frac{0,06912m^3 * 4}{\pi * 0,254^2} = 1,3641m/s$$

Tubería de Succión. Por lo general el diámetro de la tubería de succión se determina tomando el mismo diámetro de la tubería de impulsión o un diámetro comercial superior en este caso se toma el mismo diámetro. 10" entonces

$$D_s = 10 * 0.0254 = 0.254 \text{ mts}$$

$$V_s = \frac{0.06912 \text{ m}^3 * 4}{\pi * (0.254)^2} = 1.36 \text{ m/s}$$

$$D_s = 0.254 * 1000 = 254mm$$

Al entrar a la tabla con este diámetro y verificar la velocidad esta se encuentra dentro del rango permitido.

Por último se calcula la sumergencia (sum) que debe tener la coladera.

$$Sum = \left[2.5 * \left(\frac{2.54}{1000} \right) \right] + 0.1 = 0.735 \text{ mts}$$

Altura dinámica de elevación.

$$h_s \text{ min} = 100 - 97,54 = 2,46m$$

$$h_s \text{ max} = 100 - 97 = 3m$$

$$h_i = 138 - 100 = 38m$$

Altura estática.

$$h_{et} \text{ max} = 3 + 38 = 41m$$

$$h_{et} \text{ min} = 2,46 + 38 = 40,46m$$

Longitud de la tubería recta de succión.

$$L_{trs} = 0.735 + 3 + 0.5 + 0 = 4.235$$

Los accesorios que se escogen en la succión de acuerdo al diámetro D_s son:

(Laccs)

• Válvula de pie con coladera	—————→	65.00
• Codo de radio largo a 90	—————→	7.90
• Reducción excéntrica (GD)	—————→	1.52
• Entrada (borda)	—————→	7.59
	Sumaccs	81.92

La longitud equivalente total de succión es:

$$L_{et_s} = 81.92 + 4.235 = 86.155$$

Como la tubería es en PVC. El coeficiente (C) de rugosidad de Hazen Williams es según la tabla 27:

$$C=150$$

Por lo tanto la pérdida de carga en la succión es:

$$J_s = \left(\frac{0.06912}{0.2785 * 150 * (0.254)^{2.63}} \right)^{1.852}$$
$$J_s = \left(\frac{0.06912}{1.136656221} \right)^{1.852} = 0.005596 \text{ m/m}$$

Las pérdidas en la succión de tubería recta son:

$$P_s = 0.005596 * 86.155 = 0.4821 \text{ m}$$

Ahora se calculan las pérdidas en la impulsión.

Se selecciona para un diámetro de 10" los siguientes accesorios:

- Expansión Concéntrica. (12D) —————→ 3.05
- Válvula de resistencia horizontal. —————→ 32.00
- Válvula de cortina —————→ 1.70

- Codo de radio largo 90° (cuatro codos) → 31.60
- Te con cambio de dirección → 16.00

$$\text{Sumacci} = 84.35$$

Se calcula la tubería recta de impulsión (Ltri)

$$Ltri = 154 + 1 + 38 = 193m$$

La longitud equivalente total de impulsión es:

$$Leti = 84,35 + 193 = 277,35m$$

Como el material de la tubería de impulsión es un PCV, según la tabla 27 de coeficientes de rugosidad de Hazen Williams:

$$C=150$$

La pérdida de carga en la impulsión es:

$$Ji = \left(\frac{0,06912}{0,2785 * 150 * (0,254)^{2,63}} \right) = 0.005596$$

Las pérdidas de carga representados en tubería recta son:

$$Pi = 0.005596 * 277,35 = 1,5520mts$$

Ahora se calcula la altura generada por la velocidad de descarga (hvi)

$$hvi = \frac{(1,3641)^2}{2 * 9.81} = 0.09484mts$$

Por lo tanto la altura dinámica de elevación máxima y mínima para el caudal de diseño de $0.06912 \frac{m^3}{s}$ es:

$$hdemax: 0.09484 + 1,5520 + 0,4821 + 41 = 43,13m$$

$$hdemin = 0,09484 + 1,5520 + 0,4821 + 40,46 = 42,59m$$

Ahora se trabaja con los siguientes datos:

- Según el fabricante quien se basa en los catálogos la altura neta positiva de succión requerida (CNPSr)= 2,50m.

- La velocidad del rotor es de 1750 rpm.
- La eficiencia de la bomba se estima en 76%
- Se utiliza una bomba con una curva característica compuesta de 5 caudales y sus respectivas alturas:

Tabla 28. Curva característica de la bomba

$Q(m^3/s)$	H(m)
$Q_B(1) 0,045$	45,80
$Q_B(2) 0,055$	45,40
$Q_B(3) 0,063$	44,50
$Q_B(4) 0,067$	43,40
$Q_B(5) 0,071$	41,80

Fuente: LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueducto y alcantarillados. Editorial escuela colombiana de ingeniería, 546 pag. 2ed.

Ahora es necesario ingresar datos de caudales inferiores y superiores al caudal de diseño para establecer condiciones de operación promedio de la estación de bombeo se utilizan entonces 4 caudales menores al caudal de diseño y 4 caudales mayores a este primero se ingresan los caudales menores.

- Caudal 1 $\rightarrow Q(1)=0$
 $J_s(1)=0$
 $P_s(1)=0$
 $J_i(1)=0$
 $P_i(1)=0$
 $V_i(1)=0$
 $H_{vi}(1)=0$
 $H_{de\ max}(1) = 0 + 0 + 0 + 41m$
 $H_{de\ min}(1) = 0 + 0 + 0 + 40.46m$
 $H_{prom}(1) = \left(\frac{41-40.46}{2}\right) + 40.46 = 40,73m$
- Caudal 2 $\rightarrow Q(2) = 0,045$

$$J_s (2) = \left(\frac{0,045}{0,2785 \times 150 \times (0,254)^{2,63}} \right)^{1,852} = 0,00252$$

$$P_s (2) = 0,00252 \times 86,155 = 0,21$$

$$J_i (2) = 0,00252$$

$$P_i (2) = 0,00252 \times 277,35 = 0,6989$$

$$V_i (2) = \frac{0,045 \times 4}{\pi \times (0,254)^2} = 0,88 \text{ m/s}$$

$$H_{vi} (2) = \frac{(0,88)^2}{2 \times (9,81)} = 0,040 \text{ m}$$

$$H \text{ de max (2)} = 0,040 + 0,6989 + 0,21 + 41 = 41,94 \text{ m}$$

$$H \text{ de min (2)} = 0,040 + 0,6989 + 0,21 + 40,46 = 41,40 \text{ m}$$

$$H \text{ prom (2)} = \left(\frac{41,94 - 41,40}{2} \right) + 41,40 = 41,67 \text{ m}$$

- Caudal 3 → $Q (3) = 0,050 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

$$J_s (3) = \left(\frac{0,050}{0,2785 \times 150 \times (0,254)^{2,63}} \right)^{1,852} = 0,003072$$

$$P_s (3) = 0,003072 \times 86,155 = 0,2646$$

$$J_i (3) = 0,003072$$

$$P_i (3) = 0,003072 \times 277,35 = 0,8520$$

$$V_i (3) = \frac{0,050 \times 4}{\pi \times (0,254)^2} = 0,9867 \text{ m/s}$$

$$H_{vi} (3) = \frac{(0,9867)^2}{2 \times (9,81)} = 0,049 \text{ m}$$

$$H \text{ de max (3)} = 0,049 + 0,8520 + 0,2646 + 41 = 42,16 \text{ m}$$

$$H \text{ de min (3)} = 0,049 + 0,8520 + 0,2646 + 40,46 = 41,62 \text{ m}$$

$$H \text{ prom (3)} = \left(\frac{42,16 - 41,62}{2} \right) + 41,62 = 41,89 \text{ m}$$

- Caudal 4 → $Q (4) = 0,055 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

$$J_s (4) = \left(\frac{0,055}{0,2785 \times 150 \times (0,254)^{2,63}} \right)^{1,852} = 0,003665$$

$$P_s (4) = 0,003665 \times 86,155 = 0,3157$$

$$J_i (4) = 0,003665$$

$$P_i (4) = 0,003665 \times 277,35 = 1,0164$$

$$V_i (4) = \frac{0,055 \times 4}{\pi \times (0,254)^2} = 1,0854 \text{ m/s}$$

$$H_{vi} (4) = \frac{(1,0854)^2}{2 \cdot (9,81)} = 0,060\text{m}$$

$$H \text{ de max } (4) = 0,060 + 1,0164 + 0,3157 + 41 = 42,3921\text{m}$$

$$H \text{ de min } (4) = 0,060 + 1,0164 + 0,3157 + 40,46 = 41,85\text{m}$$

$$H \text{ prom } (4) = \left(\frac{42,3921 - 41,85}{2} \right) + 41,85 = 42,1210\text{m}$$

Luego se ingresan los caudales mayores

- Caudal 5 $\rightarrow Q (5) = 0,060 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

$$J_s (5) = \left(\frac{0,060}{0,2785 \cdot 150 \cdot (0,254)^{2,688}} \right)^{1,852} = 0,004306$$

$$P_s (5) = 0,004306 \cdot 86,155 = 0,3709$$

$$J_i (5) = 0,004306$$

$$P_i (5) = 0,004306 \cdot 277,35 = 1,194$$

$$V_i (5) = \frac{0,060 \cdot 4}{\pi \cdot (0,254)^2} = 1,1841\text{m/s}$$

$$H_{vi} (5) = \frac{(1,1841)^2}{2 \cdot (9,81)} = 0,071\text{m}$$

$$H \text{ de max } (5) = 0,071 + 1,194 + 0,3709 + 41 = 42,63\text{m}$$

$$H \text{ de min } (5) = 0,071 + 1,194 + 0,3709 + 40,46 = 42,09\text{m}$$

$$H \text{ prom } (5) = \left(\frac{42,63 - 42,09}{2} \right) + 42,09 = 42,36\text{m}$$

- Caudal 6 $\rightarrow Q (6) = 0,065 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

$$J_s (6) = \left(\frac{0,065}{0,2785 \cdot 150 \cdot (0,254)^{2,688}} \right)^{1,852} = 0,004994$$

$$P_s (6) = 0,004994 \cdot 86,155 = 0,4302$$

$$J_i (6) = 0,004994$$

$$P_i (6) = 0,004994 \cdot 277,35 = 1,3850$$

$$V_i (6) = \frac{0,065 \cdot 4}{\pi \cdot (0,254)^2} = 1,2827\text{m/s}$$

$$H_{vi} (6) = \frac{(1,2827)^2}{2 \cdot (9,81)} = 0,08387\text{m}$$

$$H \text{ de max } (6) = 0,08387 + 1,3850 + 0,4302 + 41 = 42,9\text{m}$$

$$H \text{ de min } (6) = 0,08387 + 1,3850 + 0,4302 + 40,46 = 42,35\text{m}$$

$$H \text{ prom } (6) = \left(\frac{42,9 - 42,35}{2} \right) + 42,35 = 42,62\text{m}$$

- Caudal 7 $\rightarrow Q(7) = 0,070 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

$$J_s(7) = \left(\frac{0,070}{0,2785 \times 150 \times (0,254)^{2,65}} \right)^{1,852} = 0,005792$$

$$P_s(7) = 0,005792 \times 86,155 = 0,5$$

$$J_i(7) = 0,005792$$

$$P_i(7) = 0,005792 \times 277,35 = 1,6064$$

$$V_i(7) = \frac{0,070 \times 4}{\pi \times (0,254)^2} = 1,3814 \text{ m/s}$$

$$H_{vi}(7) = \frac{(1,2827)^2}{2 \times (9,81)} = 0,09727 \text{ m}$$

$$H \text{ de max}(7) = 0,09727 + 1,6064 + 0,5 + 41 = 43,20 \text{ m}$$

$$H \text{ de min}(7) = 0,09727 + 1,6064 + 0,5 + 40,46 = 42,66 \text{ m}$$

$$H \text{ prom}(7) = \left(\frac{43,20 - 42,66}{2} \right) + 42,66 = 42,93 \text{ m}$$

- Caudal 8 $\rightarrow Q(8) = 0,075 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

$$J_s(8) = \left(\frac{0,075}{0,2785 \times 150 \times (0,254)^{2,65}} \right)^{1,852} = 0,006510$$

$$P_s(8) = 0,006510 \times 86,155 = 0,5608$$

$$J_i(8) = 0,006510$$

$$P_i(8) = 0,006510 \times 277,35 = 1,80$$

$$V_i(8) = \frac{0,075 \times 4}{\pi \times (0,254)^2} = 1,4801 \text{ m/s}$$

$$H_{vi}(8) = \frac{(1,4801)^2}{2 \times (9,81)} = 0,1116 \text{ m}$$

$$H \text{ de max}(8) = 0,1116 \text{ m} + 1,80 + 0,5608 + 41 = 43,47 \text{ m}$$

$$H \text{ de min}(8) = 0,1116 \text{ m} + 1,80 + 0,5608 + 40,46 = 42,93 \text{ m}$$

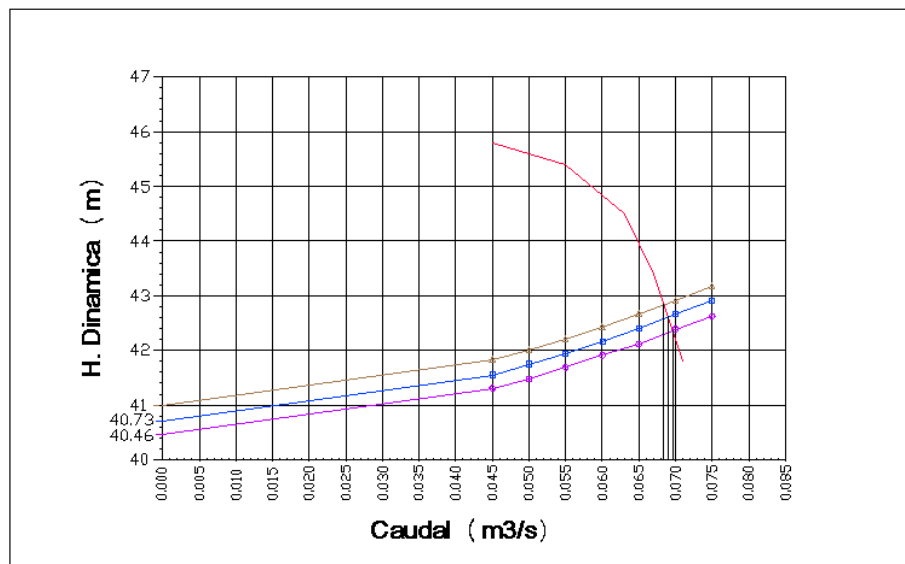
$$H \text{ prom}(8) = \left(\frac{43,47 - 42,93}{2} \right) + 42,93 = 43,2 \text{ m}$$

Tabla 29. Curva característica de la bomba y operación del sistema=10”

Q	Altura Hvi(J)	Altura dinámica de elevación		Hprom(J)
		Hdemin(J)	Hdemax(J)	
0.000	0.00	40.46	41.00	40.73
0.045	0.045	41.40	41.94	41.67
0.050	0.049	41.62	42.16	41.89
0.055	0.060	41.85	42.39	42.12
0.060	0.071	42.09	42.63	42.36
0.065	0.083	42.35	42.9	42.62
0.070	0.097	42.66	43.20	42.93
0.075	0.111	42.93	43.47	43.2

Fuente: LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueducto y alcantarillados. Editorial escuela colombiana de ingeniería, 546 pag. 2ed.

Figura 123. Curva característica de la bomba y operación del sistema. Diámetro de impulsión = 10”



Se puede observar que el caudal de diseño queda por fuera del rango de operación como al disminuir las pérdidas del sistema el rango de operación se desplaza a caudales mayores se procede a repetir los cálculos con una tubería de succión en 12”(0,3048) y tubería de impulsión en 10”(0,254) entonces:

Tubería de Impulsión

$$D_i = 10 * 0.0254 = 0.254 \text{ mts}$$

$$V_i = \frac{0,06912 * 4}{\pi * (0.254)^2} = 1.3641 \text{ m/s}$$

Tubería de Succión

$$D_s = 12 * 0.0254 = 0.3048 \text{ mts}$$

$$V_s = \frac{0,06912 * 4}{\pi * (0.3048)^2} = \frac{0,2764}{0,2418} = 0,9474 \text{ m/s}$$

$$D_s = 0.3048 * 1000 = 304.8 \text{ mm}$$

Al entrar a la tabla con este diámetro y verificar la velocidad esta se encuentra dentro del rango permitido.

Ahora se calcula la sumergencia (Sum) que debe tener la coladera:

$$Sum = \left[2.5 * \left(\frac{304,8}{1000} \right) \right] + 0.1 = 0.862 \text{ mts}$$

Altura dinámica de elevación

$$h_s \text{ min} = 100 - 97,54 = 2,46 \text{ m}$$

$$h_s \text{ max} = 100 - 97 = 3 \text{ m}$$

$$h_i = 138 - 100 = 38 \text{ m}$$

Altura estática.

$$h_{et} \text{ max} = 3 + 38 = 41 \text{ m}$$

$$h_{et} \text{ min} = 2,46 + 38 = 40,46 \text{ m}$$

Longitud de la tubería recta de succión.

$$L_{trs} = 0.735 + 3 + 0.5 + 0 = 4.235$$

Los accesorios que se escogen en la succión de acuerdo al diámetro (Ds) son:

(Laccs)

• Válvula de pie con coladera	—————→	78 m
• Codo de radio largo a 90	—————→	6,1 m
• Reducción excéntrica (GD)	—————→	2,2 m
• Entrada (borda)	—————→	9,0 m
	Suma accs	<u>95,3 m</u>

La longitud equivalente total de succión es:

$$L_{ets} = 95,3 + 4.235 = 99,535$$

El coeficiente (C) de rugosidad de Hazen Williams. En la tabla 27:

$$C=150$$

Por lo tanto la pérdida de carga en la succión es:

$$J_s = \left(\frac{0.06912}{0.2785 * 150 * (0.3048)^{2.63}} \right)^{1.852} = 0,0023027$$

$$P_s = 0,0023027 * 99,535 = 0.2292m$$

Ahora se calculan las perdidas en la impulsión.

Se selecciona para un diámetro de 10" los siguientes accesorios:

- Expansión Concéntrica. (12D) —————→ 3.05
- Válvula de resistencia horizontal. —————→ 32.00
- Válvula de cortina —————→ 1.70
- Codo de radio largo 90° (cuatro codos) —————→ 31.60
- Te con cambio de dirección —————→ 16.00

$$\text{Sumacci} = 84.35$$

Se calcula la tubería recta de impulsión (Ltri)

$$L_{tri} = 154 + 1 + 38 = 193m$$

La longitud equivalente total de impulsión es:

$$L_{eti} = 84,35 + 193 = 277,35m$$

Como el material de la tubería de impulsión es un PCV, Por lo tanto el coeficiente de rugosidad de Hazen Williams: $C=150$

La pérdida de carga en la impulsión es:

$$J_i = \left(\frac{0,06912}{0,2785 * 150 * (0,254)^{2,63}} \right) = 0,005596$$

Las pérdidas de carga representados en tubería recta son:

$$P_i = 0,005596 * 277,35 = 1,5520mts$$

Ahora se calcula la altura generada por la velocidad de descarga (h_{vi})

$$h_{vi} = \frac{(1,3641)^2}{2 * 9,81} = 0,09484mts$$

Por lo tanto la altura dinámica de elevación máxima y mínima para el caudal de diseño de $0,06912 \frac{m^3}{s}$ es:

$$h_{demax}: 0,09484 + 1,5520 + 0,4821 + 41 = 43,13m$$

$$h_{demin} = 0,09484 + 1,5520 + 0,4821 + 40,46 = 42,59m$$

Tabla 30. Los datos de la bomba

$Q (m^3/s)$	H(m)
$Q_B(1) 0,045$	45,80
$Q_B(2) 0,055$	45,40
$Q_B(3) 0,063$	44,50
$Q_B(4) 0,067$	43,40
$Q_B(5) 0,071$	41,80

Ahora se realiza el cálculo para caudales menores

- Caudal 1 $\rightarrow Q(1)=0$

$$J_s(1)=0$$

$$P_s(1)=0$$

$$J_i(1)=0$$

$$P_i(1)=0$$

$$V_i(1)=0$$

$$H_{vi}(1)=0$$

$$H_{\text{de max}}(1) = 41\text{m}$$

$$H_{\text{de min}}(1) = 40.46\text{m}$$

$$H_{\text{prom}}(1) = 40,73\text{m}$$

- Caudal 2 $\rightarrow Q(2) = 0,045$

$$J_s(2) = \left(\frac{0,045}{0,2785 \times 150 \times (0,3048)^{2,63}} \right)^{1,852} = 0,001040$$

$$P_s(2) = 0,001040 \times 99,535 = 0,1035$$

$$J_i(2) = 0,00252$$

$$P_i(2) = 0,00252 \times 277,35 = 0,6989$$

$$V_i(2) = \frac{0,045 \times 4}{\pi \times (0,254)^2} = 0,88\text{m/s}$$

$$H_{vi}(2) = \frac{(0,88)^2}{2 \times (9,81)} = 0,040\text{m}$$

$$H_{\text{de max}}(2) = 0,040 + 0,6989 + 0,1035 + 41 = 41,84\text{m}$$

$$H_{\text{de min}}(2) = 0,040 + 0,6989 + 0,1035 + 40.46 = 41,30\text{m}$$

$$H_{\text{prom}}(2) = \left(\frac{41,84 - 41,30}{2} \right) + 41,30 = 41,57\text{m}$$

- Caudal 3 $\rightarrow Q(3) = 0,050 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

$$J_s(3) = \left(\frac{0,050}{0,2785 \times 150 \times (0,3048)^{2,63}} \right)^{1,852} = 0,001264$$

$$P_s(3) = 0,001264 \times 99,535 = 0,1258$$

$$J_i(3) = 0,003072$$

$$P_i(3) = 0,003072 \times 277,35 = 0,8520$$

$$V_i(3) = \frac{0,050 \times 4}{\pi \times (0,254)^2} = 0,9867\text{m/s}$$

$$H_{vi}(3) = \frac{(0,9867)^2}{2 \times (9,81)} = 0,049\text{m}$$

$$H_{\text{de max}}(3) = 0,049 + 0,8520 + 0,1258 + 41 = 42,02\text{m}$$

$$H_{\text{de min}}(3) = 0,049 + 0,8520 + 0,1258 + 40.46 = 41,48\text{m}$$

$$H \text{ prom (3)} = \left(\frac{42,02 - 41,48}{2} \right) + 41,48 = 41,75\text{m}$$

- Caudal 4 $\rightarrow Q(4) = 0,055 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

$$J_s(4) = \left(\frac{0,055}{0,2785 \times 150 \times (0,3048)^{2,63}} \right)^{1,852} = 0,001508$$

$$P_s(4) = 0,001508 \times 99,535 = 0,1501$$

$$J_i(4) = 0,003665$$

$$P_i(4) = 0,003665 \times 277,35 = 1,0164$$

$$V_i(4) = \frac{0,055 \times 4}{\pi \times (0,254)^2} = 1,0854\text{m/s}$$

$$H_{vi}(4) = \frac{(1,0854)^2}{2 \times (9,81)} = 0,060\text{m}$$

$$H \text{ de max (4)} = 0,060 + 1,0164 + 0,1501 + 41 = 42,22\text{m}$$

$$H \text{ de min (4)} = 0,060 + 1,0164 + 0,1501 + 40,46 = 41,68\text{m}$$

$$H \text{ prom (4)} = \left(\frac{42,22 - 41,68}{2} \right) + 41,68 = 41,95\text{m}$$

Luego se ingresan los caudales mayores

- Caudal 5 $\rightarrow Q(5) = 0,060 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

$$J_s(5) = \left(\frac{0,060}{0,2785 \times 150 \times (0,3048)^{2,63}} \right)^{1,852} = 0,001771$$

$$P_s(5) = 0,001771 \times 99,535 = 0,1763$$

$$J_i(5) = 0,004306$$

$$P_i(5) = 0,004306 \times 277,35 = 1,194$$

$$V_i(5) = \frac{0,060 \times 4}{\pi \times (0,254)^2} = 1,1841\text{m/s}$$

$$H_{vi}(5) = \frac{(1,1841)^2}{2 \times (9,81)} = 0,071\text{m}$$

$$H \text{ de max (5)} = 0,071 + 1,194 + 0,1763 + 41 = 42,44\text{m}$$

$$H \text{ de min (5)} = 0,071 + 1,194 + 0,1763 + 40,46 = 41,90\text{m}$$

$$H \text{ prom (5)} = \left(\frac{42,44 - 41,90}{2} \right) + 41,90 = 42,17\text{m}$$

- Caudal 6 $\rightarrow Q(6) = 0,065 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

$$J_s(6) = \left(\frac{0,065}{0,2785 \times 150 \times (0,3048)^{2,63}} \right)^{1,852} = 0,002055$$

$$P_s(6) = 0.002055 * 99.535 = 0,2045$$

$$J_i(6) = 0.004994$$

$$P_i(6) = 0.004994 * 277,35 = 1,3850$$

$$V_i(6) = \frac{0,065 * 4}{\pi * (0,254)^2} = 1,2827 \text{ m/s}$$

$$H_{vi}(6) = \frac{(1,2827)^2}{2 * (9,81)} = 0,08387 \text{ m}$$

$$H \text{ de max (6)} = 0,08387 + 1,3850 + 0,2045 + 41 = 42,67 \text{ m}$$

$$H \text{ de min (6)} = 0,08387 + 1,3850 + 0,2045 + 40,46 = 42,13 \text{ m}$$

$$H \text{ prom (6)} = \left(\frac{42,67 - 42,13}{2} \right) + 42,13 = 42,4 \text{ m}$$

- Caudal 7 → $Q(7) = 0,070 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

$$J_s(7) = \left(\frac{0,070}{0,2785 * 150 * (0,3048)^{2,63}} \right)^{1,852} = 0.002357$$

$$P_s(7) = 0.002357 * 99.535 = 0,2346$$

$$J_i(7) = 0.005792$$

$$P_i(7) = 0.005792 * 277,35 = 1,6064$$

$$V_i(7) = \frac{0,070 * 4}{\pi * (0,254)^2} = 1,3814 \text{ m/s}$$

$$H_{vi}(7) = \frac{(1,3814)^2}{2 * (9,81)} = 0,09727 \text{ m}$$

$$H \text{ de max (7)} = 0,09727 + 1,6064 + 0,2346 + 41 = 42,93 \text{ m}$$

$$H \text{ de min (7)} = 0,09727 + 1,6064 + 0,2346 + 40,46 = 42,39 \text{ m}$$

$$H \text{ prom (7)} = \left(\frac{42,93 - 42,39}{2} \right) + 42,39 = 42,66 \text{ m}$$

- Caudal 8 → $Q(8) = 0,075 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

$$J_s(8) = \left(\frac{0,075}{0,2785 * 150 * (0,3048)^{2,63}} \right)^{1,852} = 0.002678$$

$$P_s(8) = 0.002678 * 99.535 = 0,2666$$

$$J_i(8) = 0.006510$$

$$P_i(8) = 0.006510 * 277,35 = 1,80$$

$$V_i(8) = \frac{0,075 * 4}{\pi * (0,254)^2} = 1,4801 \text{ m/s}$$

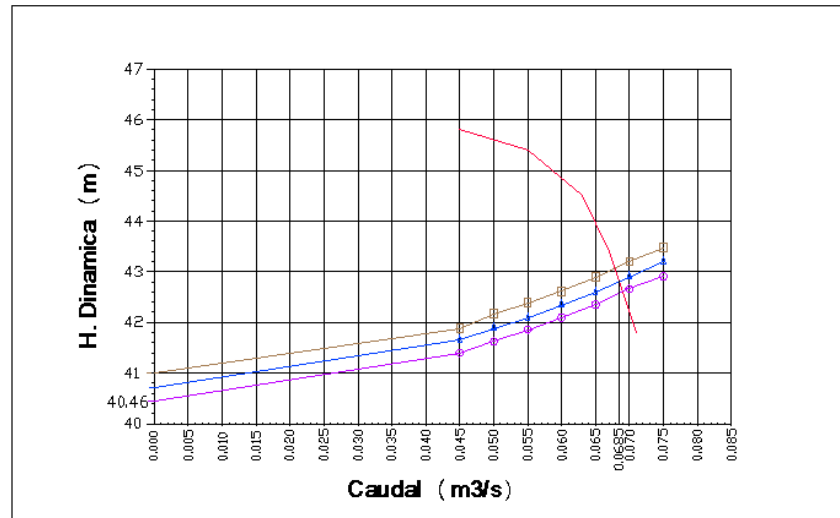
$$H_{vi}(8) = \frac{(1,4801)^2}{2 * (9,81)} = 0,1116 \text{ m}$$

$$H \text{ de max (8)} = 0,1116 \text{ m} + 1,80 + 0,2666 + 41 = 43,1782 \text{ m}$$

$$H \text{ de min (8)} = 0,1116\text{m} + 1,80 + 0,2666 + 40,46 = 42,6382\text{m}$$

$$H \text{ prom (8)} = \left(\frac{43,1782 - 42,6382}{2} \right) + 42,6382 = 42,9082\text{m}$$

Figura 124. Curva característica de la bomba y operación del sistema=8"y 10"



El rango de operación se encuentra entre 68,3 Lt/sg y 69,7 Lt/sg rango que cubre el caudal de diseño de 69,12 Lt/sg

Se observa que para las condiciones de operación promedio corresponde un caudal de 69 Lt/sg y una altura dinámica de 42,62 m.

La eficiencia es:

$$e = 80\%$$

El caudal promedio según la grafica es de 69 Lt/sg

La altura promedio según la grafica es de 42,62m

El caudal máximo de operación según la grafica es 69,7 Lt/sg

El caudal mínimo de operación según la grafica es 68,31 Lt/sg

La temperatura es de 14°C por lo tanto según la tabla el peso específico es 98 KN /m³

La potencia de la bomba es:

$$P_b = \frac{9,81 \text{KN/m}^3 * 0,069 \text{m}^3/\text{s} * 42,62 \text{m}}{0,8} = 36,06 \text{KW}$$

La potencia del motor es:

$$P_m = 36,06 \text{KW} * 1,20 = 43,27 \text{KW}$$

La altura barométrica es:

$$A_{br} = 10,33 - \frac{1,2 * 1500}{1000} = 8,53$$

Las pérdidas en la succión para el caudal mínimo de operación son:

$$J_{op} = \left(\frac{0,0683}{0,2785 * 150 * (0,3084)^{2,63}} \right)^{1,852} = 0,002252$$

$$P_{op} = 0,002252 * 99,535 = 0,2241 \text{m}$$

$$V_{smo} = \frac{0,0683 * 4}{\pi * (0,3084)^2} = 0,9360$$

$$H_{vsmo} = \frac{(0,9360)^2}{2 * (9,81)} = 0,04465$$

Para una temperatura de 14°C según las tablas se tiene una presión de vapor de 0,18m

$$P_v = 0,18 \text{m}$$

$$H_s = 3 \text{m} + 0,2241 \text{m} + 0,04465 \text{m} = 3,2687 \text{m}$$

$$CNPS_d = 8,53 - 3,2687 - 0,18 = 5,0813$$

$$Div = 5,0813 - 2,50 = 2,5813 \text{m}$$

La diferencia entre el valor disponible y el requerido es de 2,58m y el valor mínimo es de 0,5m. Por lo tanto no hay riesgos de cavitación por presión de succión.

Ahora se calcula la velocidad del rotor (ns):

$$n_s = \frac{1750 * \sqrt{0,069}}{(42,62)^{3/4}} = 27,55 (\text{Sistema Internacional})$$

Luego con ($H_s=3,2687$) y con ($h_{ir}=42,62$) se entra a las tablas para encontrar (n_{slim}).

7.4.1.5 Diagrama de flujo

De las figuras 126 a la 133 se representa los diagramas de flujo de bombas, cada figura esta puntualizada con el nombre o descripción de su respectivo diagrama.

Listado de variables

hv: Número total de horas de bombeo al día

K : Constante de la bomba cuando esta ópera de manera continua.

Q_{maxd}: Caudal máximo diario en el periodo de diseño.

%h: Porcentaje de utilización de la bomba en el día.

T° : Temperatura del agua.

mati: Material de la tubería de impulsión

hsnm: altura sobre el nivel del mar

To: Año inicial de proyección.

X: Utilización de la bomba en el día.

Lhs: Longitud horizontal de succión.

Lhi : Longitud horizontal de impulsión.

Lvs: Se refiere a la longitud vertical en la succión cuando entre la bomba y el poso húmedo existen irregularidades en la tubería en cuanto al sentido vertical, por lo que la longitud vertical de la tubería de succión no es posible determinarla solo con la diferencia de cotas y es necesario agregarle este valor.

Lvi: Se refiere a la longitud vertical en la impulsión cuando entre la bomba y el tanque de llegada existen irregularidades en la tubería en cuanto al sentido vertical (sube y baja), por lo que la longitud vertical de la tubería de impulsión no es posible determinarla tan solo con la diferencia de cotas y por lo tanto es necesario agregarle este valor.

Q : caudal de diseño expresada en metros

J : Año de proyección

Dic: Diámetro comercial.

Vi: Velocidad de impulsión.

Ds: Diámetro de la tubería de succión.

Di: Diámetro de la tubería de impulsión.

Sum: Sumergencia.

Cot_{maxP}: Cota máxima en el pozo.

Cot_{minP}: Cota mínima en el pozo.

Cot_{bomba}: Cota en la que se encuentra ubicada la bomba.

Cotta: Cota de llegada al tanque

mats: Material de la tubería de succión.

hi: Altura de impulsión.

h_{smin}: Altura mínima de succión.

h_{smax}: Altura máxima de succión.
h_{etmax}: Altura estática total cuando el pozo está en el nivel mínimo.
h_{etmin}: Altura estática total cuando el pozo está en el nivel mínimo.
L_{trs}: Longitud de tubería recta de succión.
accs : Accesorio o elemento que se utiliza en succión.
L_{accs}: Longitud equivalente de cada accesorio de succión.
J_s: Pérdida de carga en la succión.
P_s: Pérdida de carga en la succión representada en metros de tubería recta.
Sum_{accs}: Suma de las longitudes equivalentes de los accesorios.
c: Coeficiente de rugosidad según el material de Hazen Williams.
L_{ets}: Longitud equivalente total de succión.
acci: accesorios o elementos que se utilizan en la impulsión.
L_{acci}: Longitud equivalente de cada accesorio utilizado en la impulsión.
Sum_{acci}: Sumatoria de las longitudes equivalentes de los accesorios.
J_i: Pérdida de carga en la impulsión.
P_i: Pérdida de carga en la impulsión representado en tubería recta.
h_{vi} : Altura en la velocidad de la descarga.
h_{dmax} : Altura dinámica de elevación máxima.
h_{dmin} : Altura dinámica de elevación máxima.
L_{tri}: Longitud de tubería recta de impulsión.
L_{eti}: Longitud equivalente total de impulsión.
QB (I): Caudal perteneciente a la curva de la bomba.
HB (I): Altura perteneciente al caudal respectivo para obtener la curva de la bomba
ND: Es el número de datos referentes a los caudales y sus respectivas alturas estos datos deben ser suministrados por el fabricante de la bomba.
eb : Eficiencia de la bomba en porcentaje.
N_r : Velocidad del rotor dada en rpm.
CNPS_r: Altura neta positiva de succión requerida; este dato es suministrado por el fabricante de la bomba.
CNPS_d: Altura neta positiva de succión disponible.
N_{cm}: Número de caudales menores a Cd.
Q_m (J): Caudales menores para la curva de operación.
Q_M (J): Caudales mayores para la curva de operación.
C_s: Coeficiente de rugosidad de la tubería de succión.
C_i: Coeficiente de rugosidad de la tubería de impulsión.
Sum_{accs} (J): Suma de las longitudes equivalentes de los accesorios en tubería de succión.
Sum_{accsi} (J): Suma de las longitudes equivalentes de los accesorios en tubería de impulsión.
V_i (J): Velocidad en la tubería de impulsión del caudal menor respectivo para la curva de operación.
h_{vi} (J): Altura de la velocidad en la descarga para del caudal menor respectivo para la curva de operación.

hdemax (J) : Altura dinámica de elevación máxima del caudal menor respectivo para la curva de operación.

hdemin (J): Altura dinámica de elevación máxima del caudal menor respectivo para la curva de operación.

Js (J) : Pérdida de carga en la succión para el caudal menor (J)

Ps (J): Pérdida de carga en la succión representada en metros de tubería recta para el caudal menor.

Ji (J): Pérdida de carga en la impulsión para el caudal menor.

Pi (J): Pérdida de carga en la impulsión representado en tubería recta para el caudal menor (J).

Hprom (J): Altura dinámica de elevación promedio del caudal menor.

NcM: Numero de caudales mayores a Cd.

QM (I): Caudales mayores para la curva de operación.

Sumaccs (I): Suma de las longitudes equivalentes de los accesorios en tubería de succión.

Sumaccsi (I): Suma de las longitudes equivalentes de los accesorios en tubería de impulsión.

vi (I): Velocidad en la tubería de impulsión del caudal mayor respectivo para la curva de operación.

hvi (I): Altura de la velocidad en la descarga para del caudal mayor respectivo para la curva de operación.

hdemax (I): Altura dinámica de elevación máxima del caudal mayor respectivo para la curva de operación.

hdemin (I): Altura dinámica de elevación máxima del caudal mayor respectivo para la curva de operación.

Hprom (I): Altura dinámica de elevación promedio del caudal mayor.

Pv: Presion de vapor

hvsmo: Altura de la velocidad de succión para del caudal mínimo de operación.

Vsmo: Velocidad de succión para del caudal mínimo de operación.

Le : Longitud equivalente total.

hpr : Altura dinámica de elevación promedio según resultado de intersección de gráficos.

Qpr: Caudal promedio obtenido según la intersección de las gráficas.

r: Peso especifico del agua a la temperatura asignada. Expresado en KN/m^3

ebp: Eficiencia de la bomba que depende de los resultados promedio de la gráfica.

Pb: Potencia de la bomba expresada en KW.

Pm: Potencia del motor expresado en KW.

Abr: Altura barométrica.

Jop: Perdida de carga en la succión para en el caudal mínimo de operación.

Qminro: Caudal mínimo de operación según gráfica.

Qmaxro: Caudal máximo de operación según gráfica.

Pop: Perdida de carga en la succión representada en metros de tubería recta para el caudal mínimo de operación.

Hs: Altura estática total de succión.

DPv: Es la diferencia entre la presión de vapor disponible y la presión de vapor requerida.

ns: Velocidad del rotor.

nslim : Velocidad limite o máxima del rotor.

Figura 125. Bombas y estaciones de bombeo

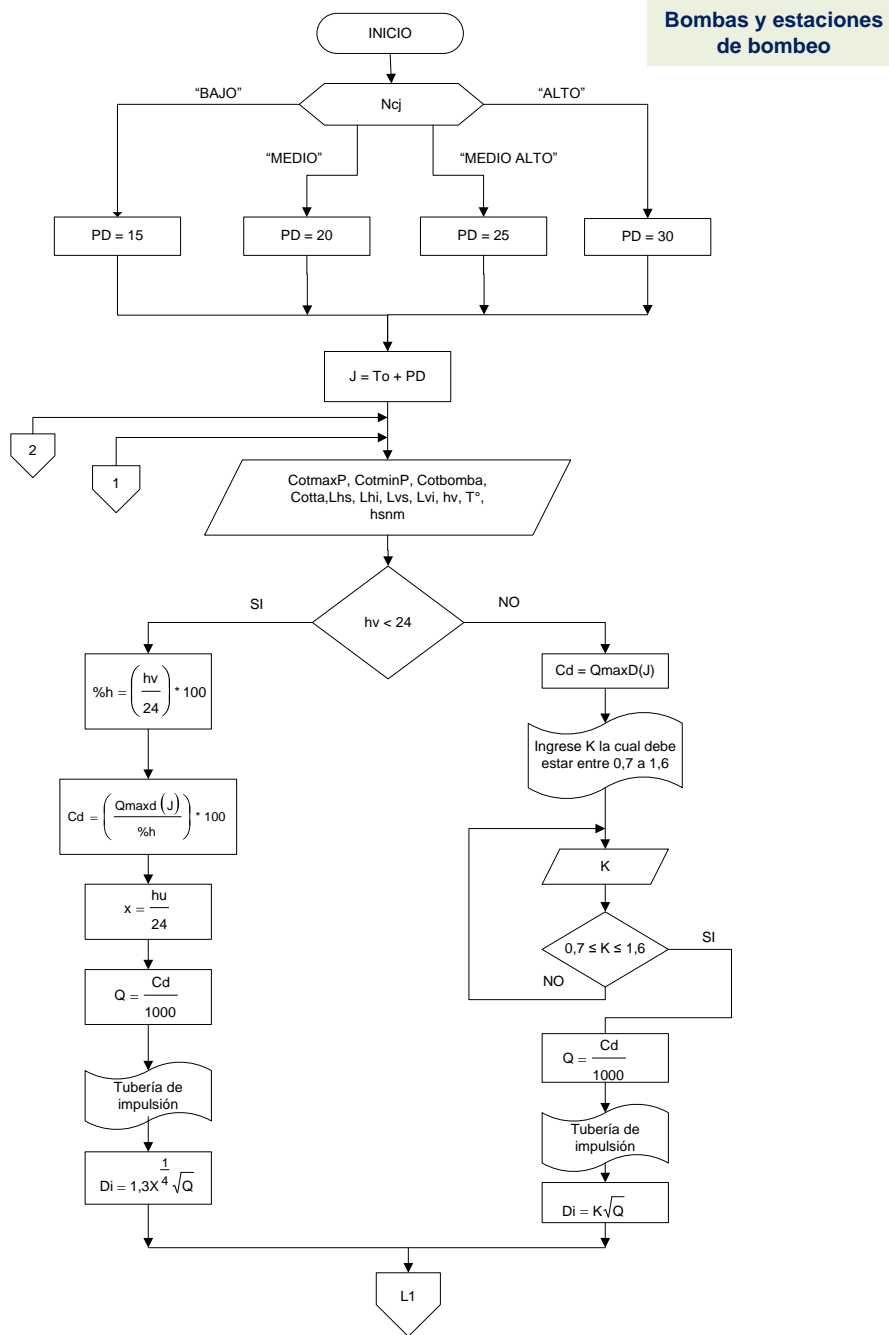


Figura 126. Tubería de impulsión

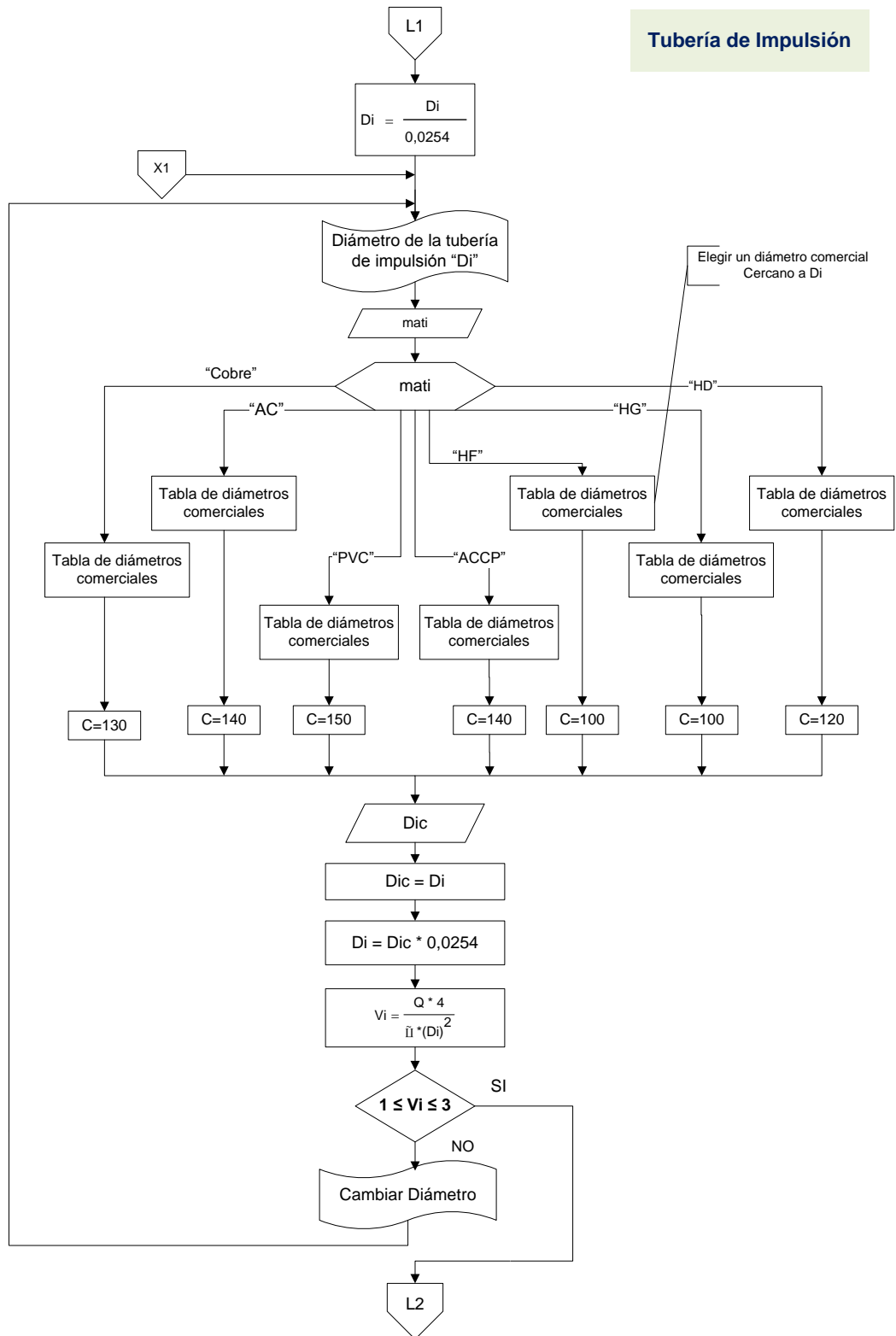


Figura 127. Tubería de succión

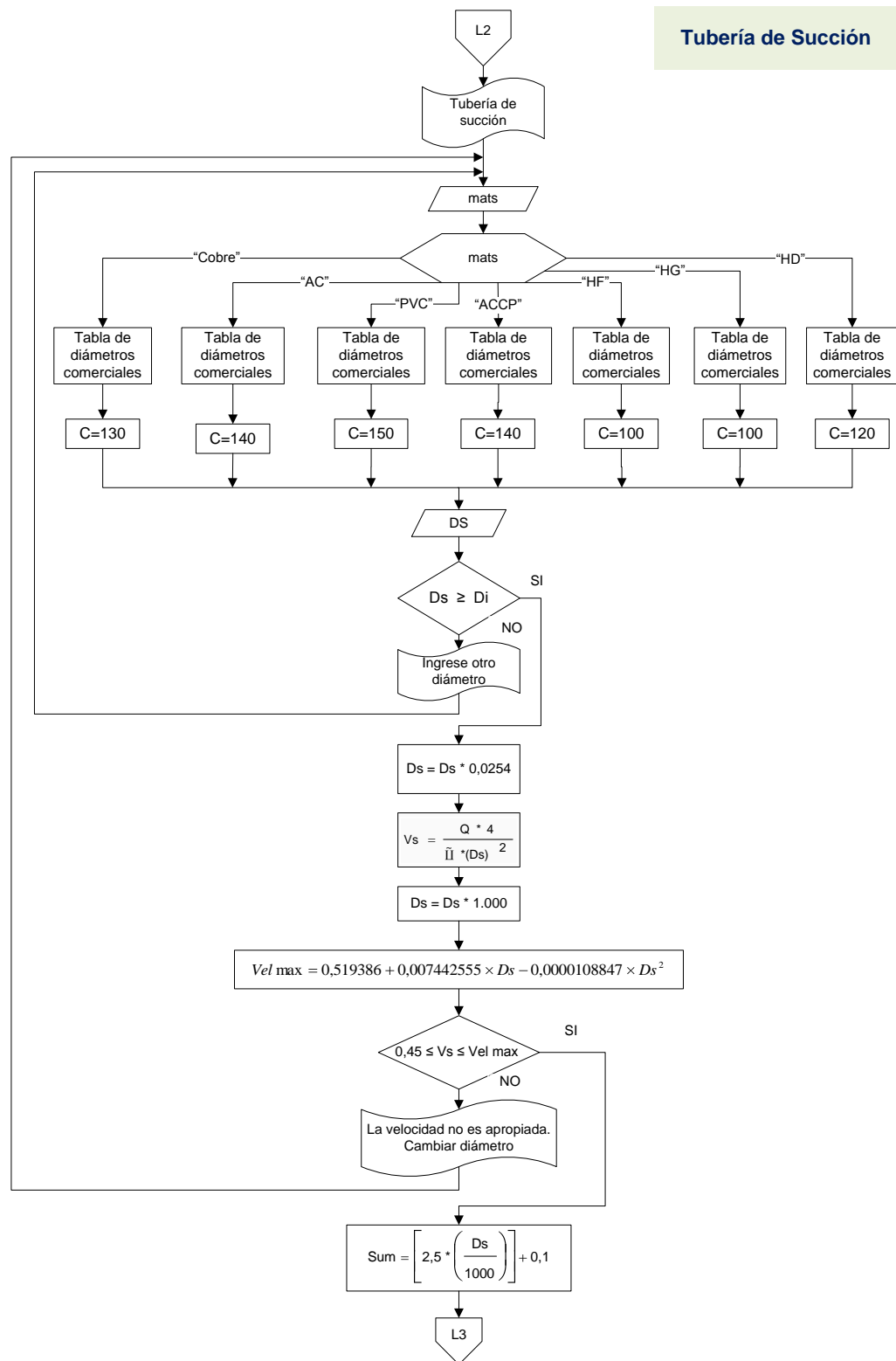


Figura 128. Cálculo de la altura dinámica de elevación y pérdidas en la succión.

Cálculo de la altura dinámica de elevación y pérdidas en la succión

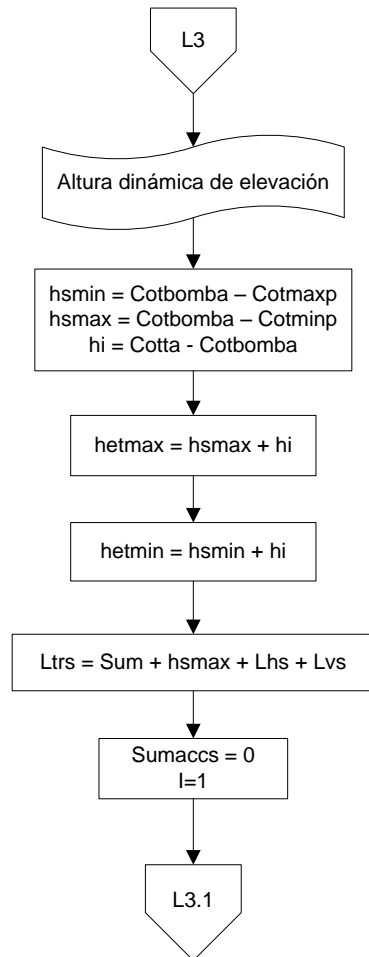


Figura 129. Cálculo de la altura dinámica de elevación y pérdidas en la succión

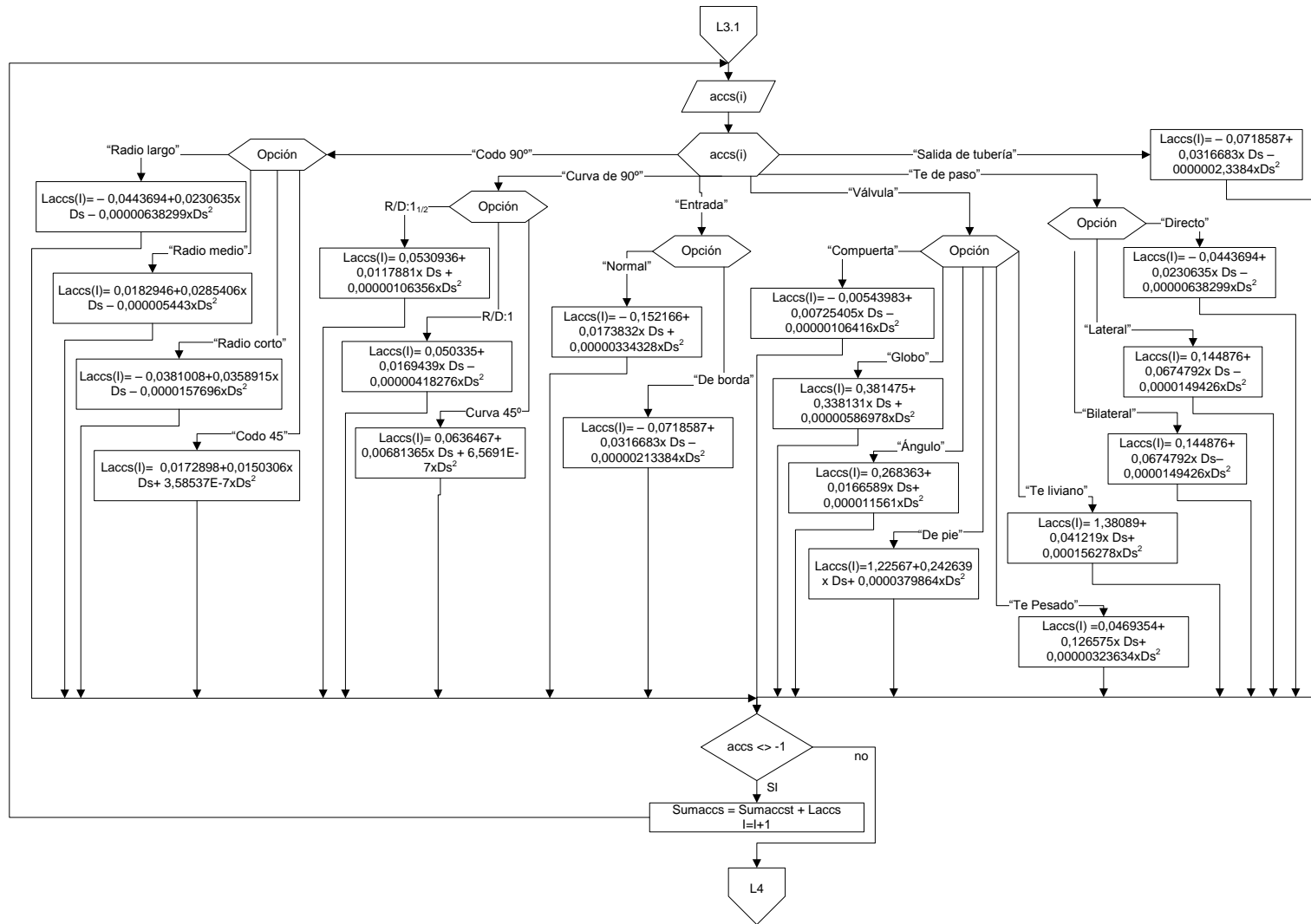


Figura 130. Pérdidas de impulsión

Perdidas en la Impulsión

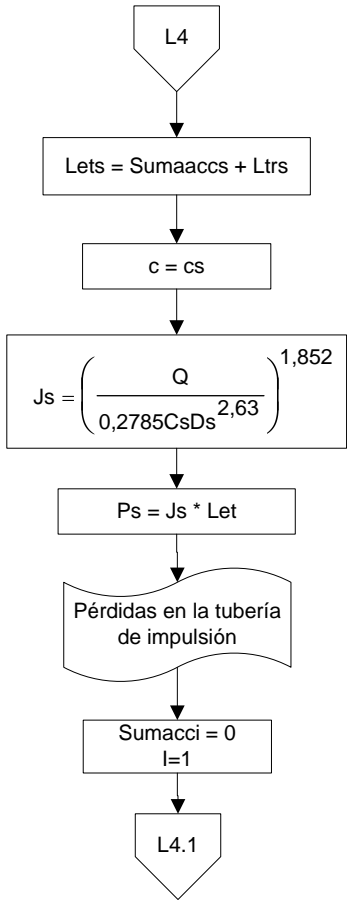


Figura 130. Pérdidas de impulsión

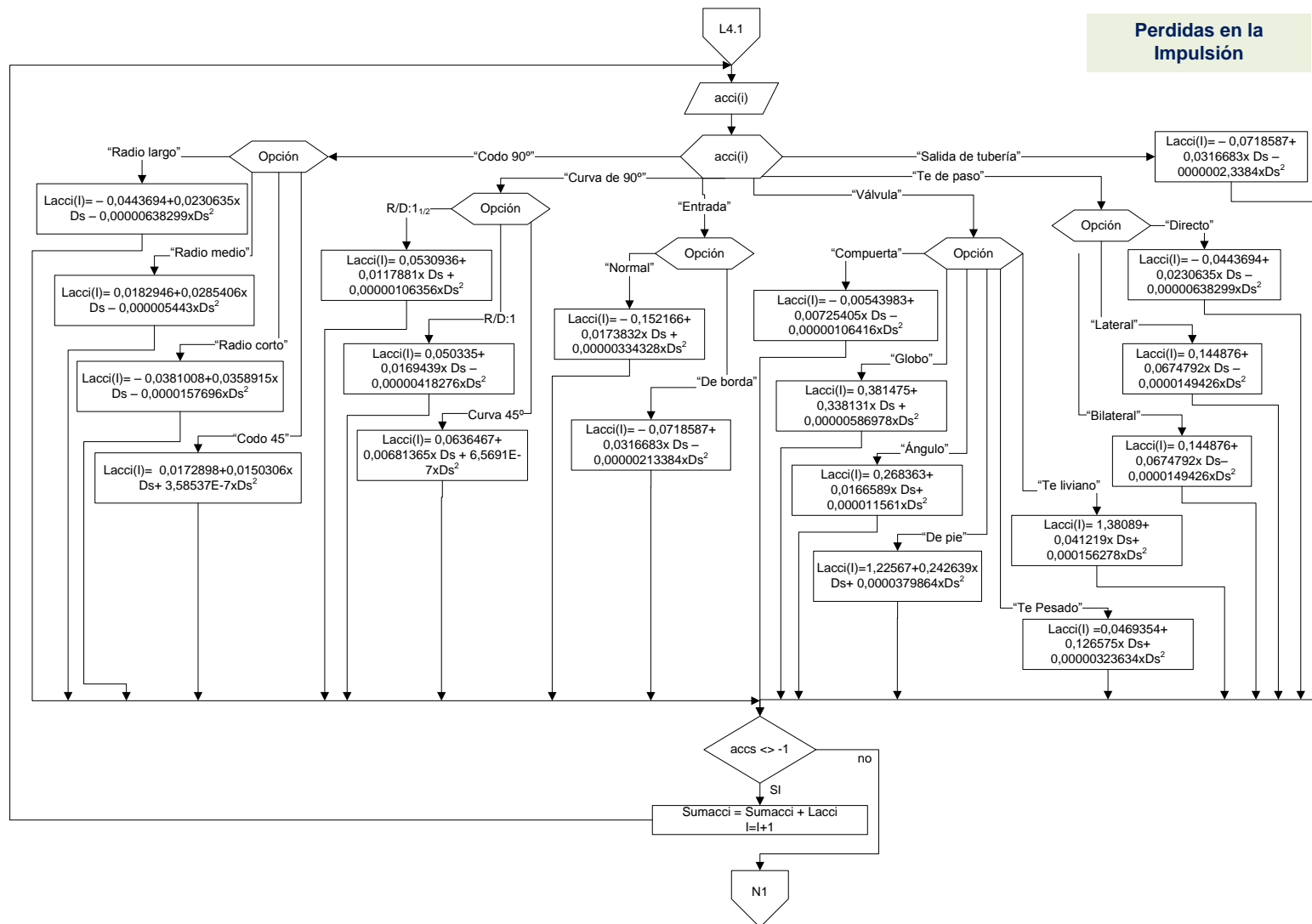
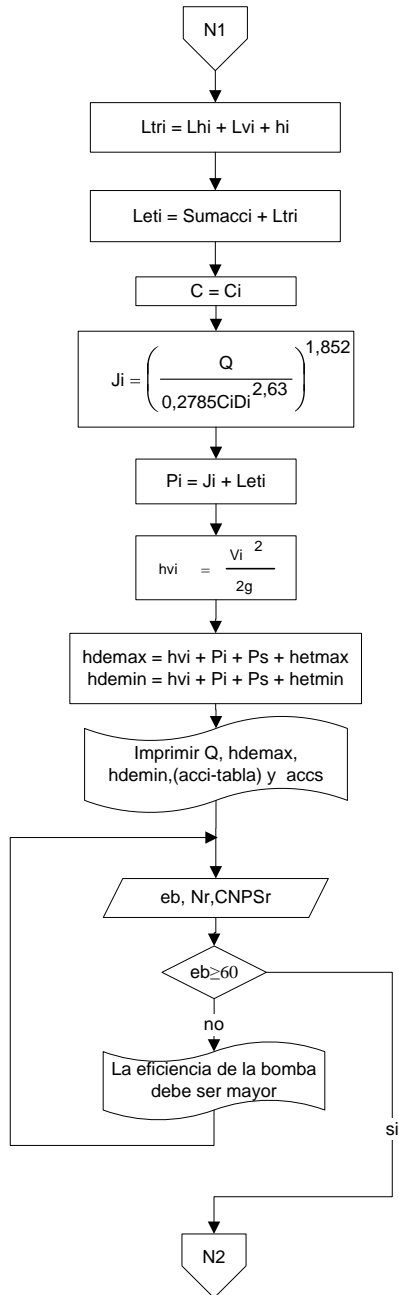


Figura 131. Curva de la bomba



Curva de la bomba

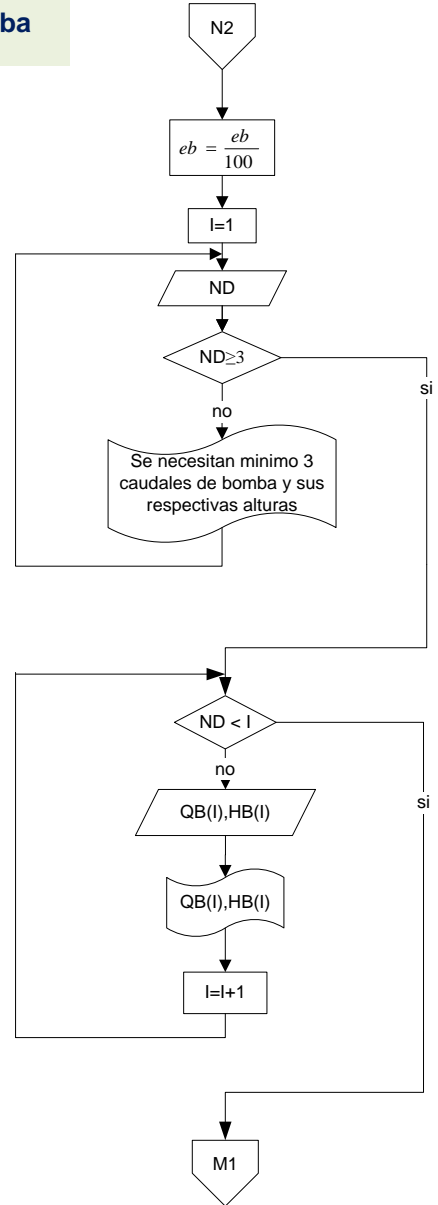


Figura 132. Curva de operación

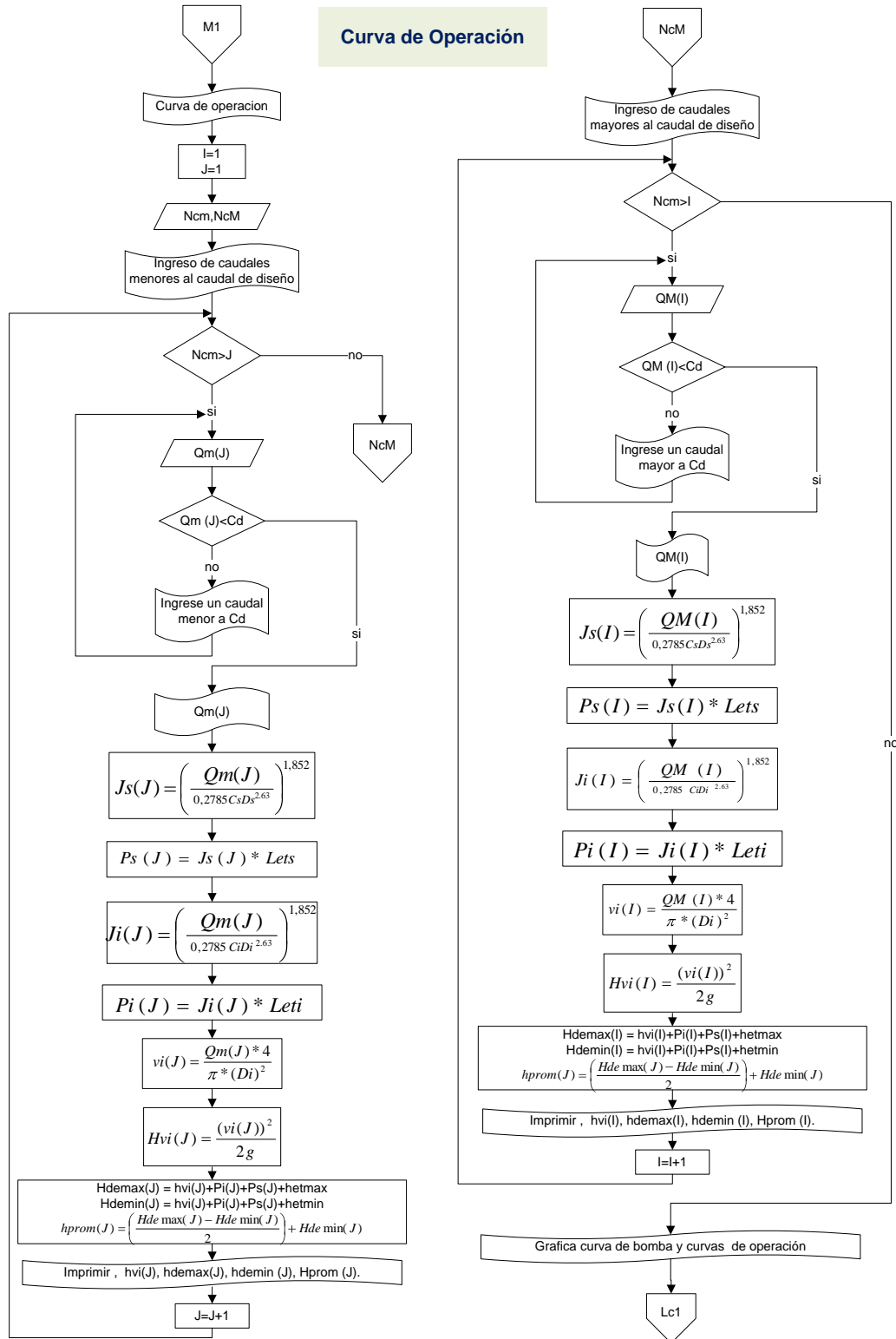
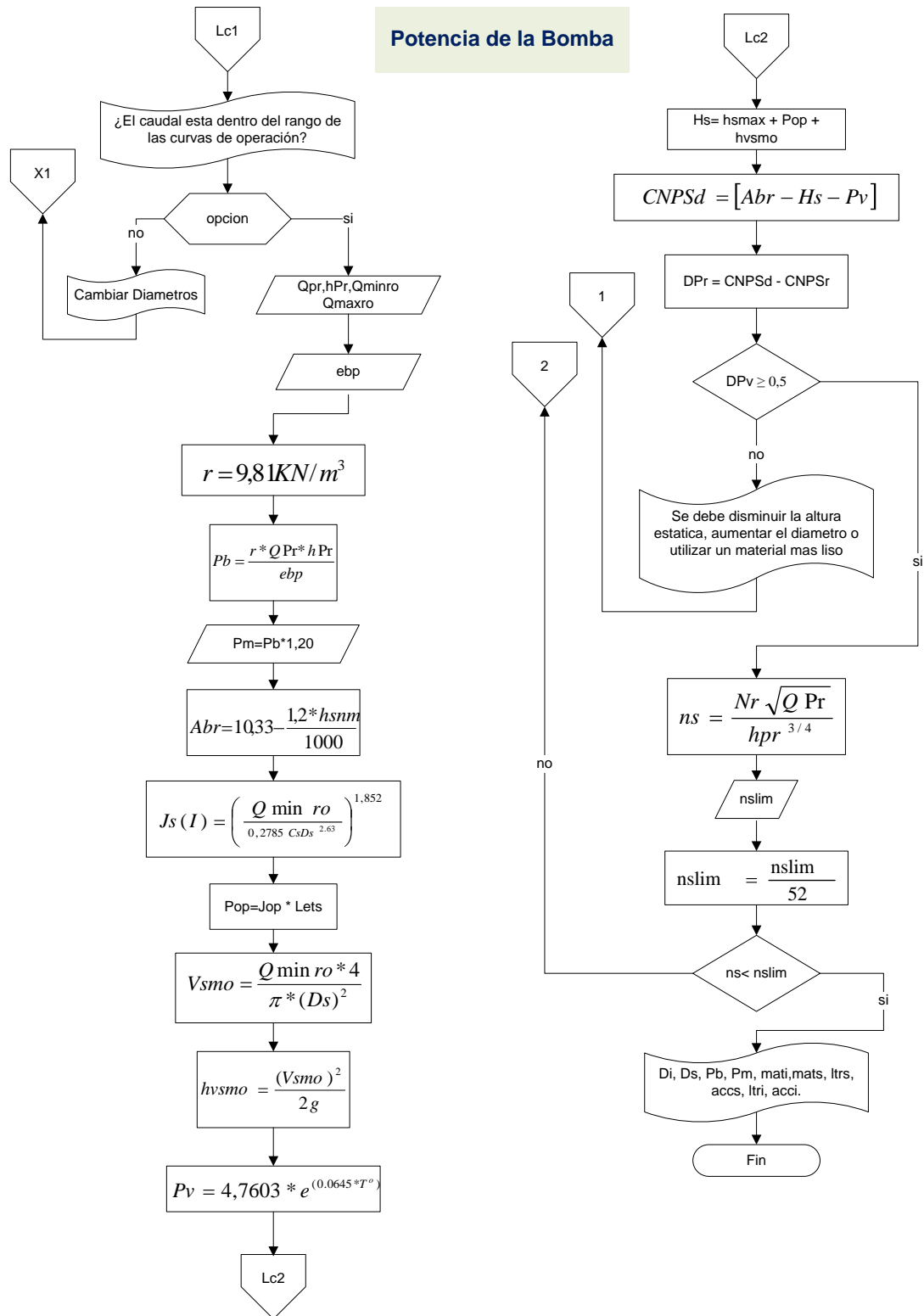


Figura 133. Potencia de la bomba



7.4.1.6 Pseudocódigo.

{El algoritmo establece condiciones para la determinación de los diámetros, la longitud total, el material y los accesorios utilizados en la tubería de impulsión y succión. Además ayuda a calcular la potencia de la bomba y el motor requerido en el sistema}.

1. Si N_{cj} es igual a:
 - 1.1 "Bajo"
Hacer PD \leftarrow 15
 - 1.2 "Medio"
Hacer PD \leftarrow 20
 - 1.3 "Medio Alto"
Hacer PD \leftarrow 25
 - 1.4 "Alto"
Hacer PD \leftarrow 30
2. {Fin de condicional 1}
3. Hacer J \leftarrow To+PD
4. Mientras $n_s \geq n_{slim}$ Repetir
 - 4.1 Mientras $DP_v < 0.5$ Repetir
 - 4.1.1 Escribir "Se debe disminuir la altura estática, aumentar el diámetro o utilizar un material mas liso"
 - 4.1.2 Leer CotmaxP \leftarrow Valor 'Se asigna un valor a la variable CotmaxP'
 CotminP \leftarrow Valor 'Se asigna un valor a la variable CotminP'
 Cotbomba \leftarrow Valor 'Se asigna un valor a la variable Cotbomba'
 Cotta \leftarrow Valor Se asigna un valor a la variable Cotta'
 Lhs \leftarrow Valor 'Se asigna un valor a la variable Lhs'
 Lhi \leftarrow Valor 'Se asigna un valor a la variable Lhi'
 Lvs \leftarrow Valor 'Se asigna un valor a la variable Lvs'
 Lvi \leftarrow Valor 'Se asigna un valor a la variable Lvi'
 Hv \leftarrow Valor 'Se asigna un valor a la variable Hv'
 T° \leftarrow Valor 'Se asigna un valor a la variable T°'
 hsmn \leftarrow Valor 'Se asigna un valor a la variable hsmn'
 - 4.1.3 Si ($h_v < 24$)
Entonces
 - 4.1.3.1 Hacer %h $\leftarrow \left(\frac{h_u}{24}\right) * 100$
 - 4.1.3.2 Hacer Cd $\leftarrow \left(\frac{Q_{maxd(f)}}{\%h}\right) * 100$
 - 4.1.3.3 Hacer X $\leftarrow \frac{h_u}{24}$

4.1.3.4 Hacer $Q \leftarrow \frac{Cd}{1000}$

4.1.3.5 Escribir "Tubería de Impulsión"

4.1.3.6 Hacer $Di \leftarrow 1.3 * \sqrt[4]{Q}$

si no

4.1.3.7 Hacer $cd \leftarrow Q_{maxd}(J)$

4.1.3.8 Escribir 'Ingrese K, esta debe estar entre 0.7 y 1.6'

4.1.3.9 mientras $(0.7 \geq K \geq 1.2)$ Repetir

Leer $K \leftarrow$ valor 'Se asigna un valor a la variable K'

{Fin del condicional 4.1.3.9}

4.1.3.10 Hacer $Q \leftarrow \frac{Cd}{1000}$

4.1.3.11 Escribir "Tubería de Impulsión"

4.1.3.12 Hacer $Di \leftarrow K\sqrt{Q}$

4.1.4 {fin del condicional 4.1.3}

4.1.5 Hacer $Di \leftarrow \frac{Di}{0.0254}$

4.1.6 Si opción es igual

"no:" Repetir

4.1.6.1 Escribir "Cambiar Diámetros"

4.1.6.2 mientras que $(1 \geq Vi \geq 3)$ Repetir

4.1.6.2.1 Escribir 'Diámetro'

4.1.6.2.2 Leer $mati \leftarrow$ Valor 'Se asigna un valor a la variable mati'

4.1.6.2.3 Si mati igual

Acero: (Entrar a tabla de diámetros comerciales de acero)

Leer $Dic \leftarrow$ Valor 'Se asigna un valor a la variable Dic

Asbesto Cementado:(Entrar a tabla diámetros comerciales de asbesto cementado)

Leer $Dic \leftarrow$ Valor 'Se asigna un valor a la variable Dic

PVC: (Entrar a tabla de diámetros comerciales de PVC)

Leer $Dic \leftarrow$ Valor 'Se asigna un valor a la variable Dic

ACCP: (Entrar a tabla de diámetros comerciales de ACCP)

Leer $Dic \leftarrow$ Valor 'Se asigna un valor a la variable Dic

HF: (Entrar a tabla de diámetros comerciales de HF)

Leer $Dic \leftarrow$ Valor 'Se asigna un valor a la variable Dic

HG: (Entrar a tabla de diámetros comerciales de HG)

Leer $Dic \leftarrow$ Valor 'Se asigna un valor a la variable Dic

4.1.6.2.4 {Fin del condicional 4.1.6.2.3}

4.1.6.2.5 Hacer $Dic \leftarrow Di$

- 4.1.6.2.6 Hacer $D_i \leftarrow D_i * 0.0254$
- 4.1.6.2.7 Hacer $V_i \leftarrow V_i = \frac{Q * 4}{\pi * (D_i)^2}$
- 4.1.6.3 {Fin del condicional 4.1.6.2}
- 4.1.6.4 Escribir "Tubería de Succión"
- 4.1.6.5 mientras que $(0.45 \leq V_s \leq vel\ max)$ Repetir
- 4.1.6.5.1 mientras que $(D_s < D_i)$ Repetir
- 4.1.6.5.1.1 Escribir 'Ingrese otro Diámetro'
- 4.1.6.5.1.2 Leer mats \leftarrow Valor 'Se asigna un valor a la variable mats'
- 4.1.6.5.1.3 Si mats igual
- Acero: (Entrar a tabla de diámetros comerciales de acero)
Leer $D_i \leftarrow$ Valor 'Se asigna un valor a la variable D_i
- Asbesto Cementado: (Entrar a tabla de diámetros comerciales de asbesto cementado)
Leer $D_i \leftarrow$ Valor 'Se asigna un valor a la variable D_i
- PVC: (Entrar a tabla de diámetros comerciales de PVC)
Leer $D_i \leftarrow$ Valor 'Se asigna un valor a la variable D_i
- ACCP: (Entrar a tabla de diámetros comerciales de ACCP)
Leer $D_i \leftarrow$ Valor 'Se asigna un valor a la variable D_i
- HF: (Entrar a tabla de diámetros comerciales de HF)
Leer $D_i \leftarrow$ Valor 'Se asigna un valor a la variable D_i
- HG: (Entrar a tabla de diámetros comerciales de HG)
Leer $D_i \leftarrow$ Valor 'Se asigna un valor a la variable D_i
- 4.1.6.5.1.4 {Fin del condicional 4.1.6.5.1.3}
- 4.1.6.5.2 {Fin del condicional 4.1.6.5.1}
- 4.1.6.5.3 Hacer $D_s \leftarrow D_s * 0.0254$
- 4.1.6.5.4 Hacer $V_s \leftarrow V_s = \frac{Q * 4}{\pi * (D_s)^2}$
- 4.1.6.5.5 Hacer $D_s \leftarrow D_s * 1000$
- 4.1.6.5.6 (Entra a tabla (7.3) con D_s y se determina la velocidad máxima en la tubería de succión).
- 4.1.6.6 {Fin del condicional 4.1.6.5}
- 4.1.6.7 Hacer $Sum \leftarrow \left[2,5 * \left(\frac{D_s}{1000} \right) \right] + 0.1$
- 4.1.6.8 Escribir "altura dinámica de elevación"
- 4.1.6.9 Hacer $h_{smin} \leftarrow Cotbomba - CotmaxP$
 $h_{smax} \leftarrow Cotbomba - CotminP$
 $h_i \leftarrow Cotta - Cotbomba$
- 4.1.6.10 Hacer $hetmax \leftarrow h_{smax} + h_i$

- 4.1.6.11 Hacer hetmin \leftarrow hsmín + hi
- 4.1.6.12 Hacer Ltrs \leftarrow Sum + hsmáx + Lhs + Lvs
- 4.1.6.13 Hacer Sumaccs \leftarrow 0
I \leftarrow 1
- 4.1.6.14 mientras ($accs(I) \neq -1$) Repetir
- 4.1.6.14.1 Hacer Sumaccs \leftarrow Sumaccs+Laccs(I)
I \leftarrow I + 1
- 4.1.6.14.2 Leer accs \leftarrow Valor 'Se asigna un valor a la variable accs'
- 4.1.6.14.3 (Entrar a la tabla 7.7 con el nombre del accesorio (accs(I)) y su diámetro (Ds) y según esto encontrar su respectiva longitud equivalente en mts Laccs).
- 4.1.6.14.4 Escribir "accs (I)"
- 4.1.6.15 {Fin del condicional 4.1.6.14}
- 4.1.6.16 (Entrar con mats a la tabla de coeficientes de rugosidad de Hacen Williams y determinar (c))
- 4.1.6.17 Hacer C \leftarrow Ci
- 4.1.6.18 Hacer Js \leftarrow $\left(\frac{Q}{0,2785 C D_s^{2,63}}\right)^{1,852}$
- 4.1.6.19 Hacer Ps \leftarrow Js * Lets
- 4.1.6.20 Escribir 'Perdidas en la tubería de impulsión'
- 4.1.6.21 Hacer I \leftarrow 1
Sumacci \leftarrow 0
- 4.1.6.22 Mientras ($accs(I) \neq -1$) Repetir
- 4.1.6.22.1 Escribir "acci (I)"
- 4.1.6.22.2 Hacer Sumacci \leftarrow Lacci
I \leftarrow I + 1
- 4.1.6.22.3 Leer acci \leftarrow Valor 'Se asigna un valor a la variable acci'
- 4.1.6.22.4 (Entrar a la tabla 7.7 con el diámetro (Di), escoger el accesorio acci(I) y con esto encontrar la respectiva longitud equivalente en mts Lacci)
- 4.1.6.23 {Fin del condicional 4.1.6.21}
- 4.1.6.24 Hacer Ltri \leftarrow Lhi+Lvi+ hi
- 4.1.6.25 Hacer Leti \leftarrow Sumacci+Ltri
- 4.1.6.26 Hacer C \leftarrow Ci
- 4.1.6.27 (Entrar con mati a la tabla de coeficientes de rugosidad de Hacen Williams y determinar (c))
- 4.1.6.28 Hacer Ji \leftarrow $\left(\frac{Q}{0,2785 C D_s^{2,63}}\right)^{1,852}$

- 4.1.6.29 Hacer $P_i \leftarrow J_i * L_{eti}$
- 4.1.6.30 Hacer $h_{vi} \leftarrow \frac{(v_i)^2}{2g}$
- 4.1.6.31 Hacer $h_{dmax} \leftarrow h_{vi} + P_i + P_s + h_{etmax}$
 $h_{demin} \leftarrow h_{vi} + P_i + P_s + h_{etmin}$
- 4.1.6.32 Escribir “Q”, “hdemax”, “hdemin”, y “Tabla de accesorios (acci y accs)”
- 4.1.6.33 mientras (eb<60) Repetir
- 4.1.6.33.1 Escribir “La eficiencia de la bomba debe ser mayor”
- 4.1.6.33.2 Leer eb ← Valor ‘Se asigna un valor a la variable eb’
 Nr ← Valor ‘Se asigna un valor a la variable Nr’
 CNPSr ← Valor ‘Se asigna un valor a la variable CNPSr’
- 4.1.6.34 {Fin del condicional 4.1.6.33}
- 4.1.6.35 Hacer $eb \leftarrow \frac{eb}{100}$
- 4.1.6.36 Hacer I ← 1
- 4.1.6.37 mientras (ND<3) Repetir
- 4.1.6.37.1 Escribir “Se necesita como mínimo 3 caudales de bomba y sus respectivas alturas”
- 4.1.6.37.2 Leer ND ← Valor ‘Se asigna un valor a la variable ND’
- 4.1.6.38 {Fin del condicional 4.1.6.37}
- 4.1.6.39 mientras (ND>I) Repetir
- 4.1.6.39.1 Leer QB (I) ← Valor ‘Se asigna un valor a la variable QB (I)’
 HB (I) ← Valor ‘Se asigna un valor a la variable HB (I)’
- 4.1.6.39.2 Escribir “QB (I),” “HB (I)”
- 4.1.6.39.3 Hacer I ← I + 1
- 4.1.6.40 {Fin del condicional 4.1.6.39}
- 4.1.6.41 Escribir “Curva d operación”
- 4.1.6.42 Hacer I ← 1
 J ← 1
- 4.1.6.43 Leer NCM ← Valor ‘Se asigna un valor a la variable NCM’
 NCM ← Valor ‘Se asigna un valor a la variable NCM’
- 4.1.6.44 Escribir “Ingreso de caudales menores al caudal de diseño”
- 4.1.6.45 Repetir con J desde 1 hasta NCM
- 4.1.6.45.1 mientras (Qm (J)>cd) Repetir
- 4.1.6.45.1.1 Escribir “Ingrese un caudal menor a cd”

4.1.6.45.1.2 Leer Qm (J) ← Valor 'Se asigna un valor a la variable Qm (J)'

4.1.6.45.2 {Fin del condicional 4.1.6.45.1}

4.1.6.45.3 Escribir "QB (J)"

$$4.1.6.45.4 \text{ Hacer } J_s (J) \leftarrow \left(\frac{Q_m(J)}{0.2785 C_s D_s^{2.65}} \right)^{1.852}$$

4.1.6.45.5 Hacer Ps (J) ← Js (J) * Lets

$$4.1.6.45.6 \text{ Hacer } J_i (J) \leftarrow \left(\frac{Q_m(J)}{0.2785 C_i D_i^{2.65}} \right)^{1.852}$$

4.1.6.45.7 Hacer Pi (J) ← Ji (J) * Leti

$$4.1.6.45.8 \text{ Hacer } V_i (J) \leftarrow \frac{Q_m(J) \times 4}{\pi \times (D_i)^2}$$

$$4.1.6.45.9 \text{ Hacer } h_{v_i} (J) \leftarrow \frac{(V_i(J))^2}{2g}$$

4.1.6.45.10 Hacer hdemax (J) ← hvi + Pi + Ps + hetmax

hdemin (J) ← hvi + Pi + Ps + hetmin

$$hdeprom(J) \leftarrow \left(\frac{hdemax(J) - hdemin(J)}{2} \right) + hdemin(J)$$

4.1.6.45.11 Escribir 'Tabla', "Vi (J)", "hvi (J)", "hdemax (J)", "hdemin (J)", "hdeprom (J)"

4.1.6.45.12 Hacer J ← J+1

4.1.6.46 {Fin del condicional 4.1.6.45}

4.1.6.47 Escribir "Ingreso de caudales mayores al caudal de diseño"

4.1.6.48 Repetir con I desde 1 hasta NCM

4.1.6.48.1 mientras (QM (I)>cd) Repetir

4.1.6.48.1.1 Escribir "Ingrese un caudal mayor a cd"

4.1.6.48.1.2 Leer Qm (I) ← Valor 'Se asigna un valor a la variable Qm (I)'

4.1.6.48.2 {Fin del condicional 4.1.6.48.1}

4.1.6.48.3 Escribir "QB (I)"

$$4.1.6.48.4 \text{ Hacer } J_s (I) \leftarrow \left(\frac{Q_m(I)}{0.2785 C_s D_s^{2.65}} \right)^{1.852}$$

4.1.6.48.5 Hacer Ps (I) ← Js (I) * Lets

$$4.1.6.48.6 \text{ Hacer } J_i (I) \leftarrow \left(\frac{Q_m(I)}{0.2785 C_i D_i^{2.65}} \right)^{1.852}$$

4.1.6.48.7 Hacer Pi (I) ← Ji (I) * Leti

$$4.1.6.48.8 \text{ Hacer } V_i (I) \leftarrow \frac{Q_m(I) \times 4}{\pi \times (D_i)^2}$$

$$4.1.6.48.9 \text{ Hacer } h_{v_i} (I) \leftarrow \frac{(V_i(I))^2}{2g}$$

4.1.6.48.10 Hacer hdemax (I) ← hvi + Pi + Ps + hetmax

$$\text{hdemin (I)} \leftarrow \text{hvi} + \text{Pi} + \text{Ps} + \text{hetmin}$$

$$\text{hdeprom(I)} \leftarrow \left(\frac{\text{hdemax (I)} - \text{hdemin (I)}}{2} \right) + \text{hdemin (I)}$$

4.1.6.48.11 Escribir 'Tabla', "Vi (I)", "hvi (I)", "hdemax (I)", "hdemin (I)", "hdeprom (I)"

4.1.6.48.12 Hacer $I \leftarrow I+1$

4.1.6.49 {Fin del condicional 4.1.6.48}

4.1.6.50 Graficar curva de bomba y curva de operacion

4.1.6.51 Escribir "¿El caudal esta dentro del rango de operación?"
"Si"

4.1.7 {Fin del condicional 4.1.3}

4.1.8 Leer QPr \leftarrow Valor 'Se asigna un valor a la variable QPr'

hpr \leftarrow Valor 'Se asigna un valor a la variable hpr'

Qmno \leftarrow Valor 'Se asigna un valor a la variable Qmno'

Qmaxo \leftarrow Valor 'Se asigna un valor a la variable Qmaxo'

4.1.9 Hacer ebp \leftarrow

4.1.10 (Entrar a la tabla ζ con la T⁰ para determinar (r))

4.1.11 Hacer Pb $\leftarrow \frac{r \times QPr \times hpr}{ebp}$

4.1.12 Hacer Pm \leftarrow Pb x 1,20

4.1.13 Hacer Abr $\leftarrow 10,33 - \frac{1,2 \text{ hsnm}}{1000}$

4.1.14 Hacer Jop $\leftarrow \left(\frac{Q_{\text{mino}}}{0,2785 C_s D_s^{2,65}} \right)^{1,852}$

4.1.15 Hacer Pop \leftarrow Jop x Lets

4.1.16 Hacer Vsmo $\leftarrow \frac{Q_{\text{mino}} \times 4}{\pi \times D_s^2}$

4.1.17 Hacer hvsmo $\leftarrow \frac{(V_{\text{smo}})^2}{2g}$

4.1.18 (Entrar con la temperatura a la tabla ζ y determinar la presión de vapor (Pv))

4.1.19 Hacer Hs \leftarrow hsmax + Pop + hvsmo

4.1.20 Hacer CNPsd \leftarrow Abr - Hs - Pv

4.1.21 Hacer DPv \leftarrow CNPsd - CNPSr

4.2 {Fin del condicional 4.1}

4.3 Hacer ns $\leftarrow \frac{Nr \sqrt{Qpr}}{(hpr)^{3/4}}$

4.4 (Entrar a la tablas con (Hst) y (hpr) para encontrar el valor de nslim)

4.5 Hacer nslim $\leftarrow \frac{nslim}{52}$

5. {Fin del condicional 4}

- 6. imprimir “Di”, “Ds”, “Pb”, “Pm”, “mati”, “mats”, “Ltrs”, “accs”, “Ltri”, “acci”
- 7. Fin

7.4.1.7 Pantallas de datos. En las figuras 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, se muestran las pantallas de datos, bombas y estaciones de bombeo.

Figura 134. Bombas y estaciones de bombeo

BOMBAS Y ESTACIONES DE BOMBEO

INGRESE

Cota máxima en el pozo	CotmaxP =	<input type="text"/>
Cota mínima en el pozo	CotminP =	<input type="text"/>
Cota en la que se encuentra ubicada la bomba	Cotbomba =	<input type="text"/>
Cota de llegada al tanque	Cotta =	<input type="text"/>
Longitud horizontal de succión	Lhs =	<input type="text"/>
Longitud horizontal de impulsión	Lhi =	<input type="text"/>
longitud vertical en la succión	Lvs =	<input type="text"/>
longitud vertical en la impulsión	Lvi =	<input type="text"/>
Numero total de horas de bombeo al día	Hv =	<input type="text"/>
Temperatura del agua	T° =	<input type="text"/>
altura sobre el nivel del mar	Hsnm =	<input type="text"/>

Figura 135. Bombas y estaciones de bombeo

BOMBAS Y ESTACIONES DE BOMBEO

INGRESE K

La cual debe estar entre 0,7 a 1,6

Constante de la bomba cuando esta opera de manera continua "K"

K =

Ingresar

Figura 136. Bombas y estaciones de bombeo

BOMBAS Y ESTACIONES DE BOMBEO

Tubería de impulsión

Diámetro de la tubería de impulsión
"Di"

Seleccione el tipo de tubería, de acuerdo al material a utilizar y a Di

Tipos de tuberías según el material	Diámetro en pulgadas
Asbesto-cemento o AC	<input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 8 <input checked="" type="checkbox"/> 10 <input type="checkbox"/> 12 <input type="checkbox"/> 14 <input type="checkbox"/> 16 <input type="checkbox"/> 18 <input type="checkbox"/> 20 <input type="checkbox"/> 24 <input type="checkbox"/> 28
Cloruro de polivinilo o PVC	<input type="checkbox"/> ½ <input type="checkbox"/> ¾ <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 1¼ <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 2¼ <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 10 <input type="checkbox"/> 12
Plástico flexible PF + UAD	<input type="checkbox"/> ½ <input type="checkbox"/> ¾
Cobre	<input type="checkbox"/> 3/8 <input type="checkbox"/> ½ <input type="checkbox"/> ¾ <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 1¼ <input type="checkbox"/> 1½ <input type="checkbox"/> 2
Cilindro de Acero y Concreto ACCP	<input type="checkbox"/> 10 en adelante sobre pedido hasta 78
Hierro acerao o lamina de acero H.A	<input type="checkbox"/> 1½ <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 10 <input type="checkbox"/> 12 <input type="checkbox"/> En adelante sobre pedido
Hierro fundido H.F	<input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 10 <input type="checkbox"/> 12 <input type="checkbox"/> 14 <input type="checkbox"/> 18 <input type="checkbox"/> 24 <input type="checkbox"/> 30 <input type="checkbox"/> 36
Hierro Dúctil- H.D	<input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 10 <input type="checkbox"/> 12 <input type="checkbox"/> 14 <input type="checkbox"/> 16 <input type="checkbox"/> 18 <input type="checkbox"/> 20 <input type="checkbox"/> 24
Hierro galvanizado H.G	<input type="checkbox"/> 1/8 <input type="checkbox"/> ¼ <input type="checkbox"/> 3/8 <input type="checkbox"/> ½ <input type="checkbox"/> 1½ <input type="checkbox"/> ¾ <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 1¼ <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 2½ <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 10 <input type="checkbox"/> 12
Polietileno de alta calidad	<input type="checkbox"/> ½ a 8

Material de la tubería de impulsión "Matl"

Matl =

Inserte el Diámetro comercial "Dic"

Dic =

El diámetro comercial es incorrecto, Cambiar Diámetro

Figura 137. Bombas y estaciones de bombeo

BOMBAS Y ESTACIONES DE BOMBEO

Tubería de succión

Seleccione el tipo de tubería, de acuerdo al material a utilizar

Tipos de tuberías según el material	Diámetro en pulgadas
Asbesto-cemento o AC	<input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 8 <input checked="" type="checkbox"/> 10 <input type="checkbox"/> 12 <input type="checkbox"/> 14 <input type="checkbox"/> 16 <input type="checkbox"/> 18 <input type="checkbox"/> 20 <input type="checkbox"/> 24 <input type="checkbox"/> 28
Cloruro de polivinilo o PVC	<input type="checkbox"/> ½ <input type="checkbox"/> ¾ <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 1¼ <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 2¼ <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 10 <input type="checkbox"/> 12
Plástico flexible PF + UAD	<input type="checkbox"/> ½ <input type="checkbox"/> ¾
Cobre	<input type="checkbox"/> ¾ <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 1¼ <input type="checkbox"/> 1½ <input type="checkbox"/> 2
Cilindro de Acero y Concreto ACCP	<input type="checkbox"/> 10 en adelante sobre pedido hasta 78
Hierro acerao o lamina de acero H.A	<input type="checkbox"/> 1½ <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 10 <input type="checkbox"/> 12 <input type="checkbox"/> En adelante sobre pedido
Hierro fundido H.F	<input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 10 <input type="checkbox"/> 12 <input type="checkbox"/> 14 <input type="checkbox"/> 18 <input type="checkbox"/> 24 <input type="checkbox"/> 30 <input type="checkbox"/> 36
Hierro Dúctil- H.D	<input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 10 <input type="checkbox"/> 12 <input type="checkbox"/> 14 <input type="checkbox"/> 16 <input type="checkbox"/> 18 <input type="checkbox"/> 20 <input type="checkbox"/> 24
Hierro galvanizado H.G	<input type="checkbox"/> 1/8 <input type="checkbox"/> ¼ <input type="checkbox"/> 3/8 <input type="checkbox"/> ½ <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 1¼ <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 2½ <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 10 <input type="checkbox"/> 12
Poliétileno de alta calidad	<input type="checkbox"/> ½ a 8

Material de la tubería de succión "mats"

mats =

Inserte el Diámetro comercial "Ds"

Ds =

La velocidad no es apropiada.
Cambiar diámetro

El diámetro de succión es mayor que el de impulsión,
Inserte otro Diámetro

Figura 138. Bombas y estaciones de bombeo

BOMBAS Y ESTACIONES DE BOMBEO

Altura dinámica de elevación

accesorio o elemento que se utiliza en succión "accs"

Te salida - Bilateral	<input type="button" value="Agregar"/>	Entrada - De borda
Te de paso - Directo		
Entrada - De borda		
Válvula - Retención		
Codo 90° - Radio corto		
Curva 90° - R/D: 1 1/2		

Figura 139. Bombas y estaciones de bombeo

BOMBAS Y ESTACIONES DE BOMBEO

Altura dinámica de elevación

accesorio o elemento que se utiliza en impulsión "acci"

Te salida - Bilateral	<input type="button" value="Agregar"/>	Entrada - De borda
Te de paso - Directo		
Entrada - De borda		
Válvula - Retención		
Codo 90° - Radio corto		
Curva 90° - R/D: 1 1/2		

Figura 140. Bombas y estaciones de bombeo

BOMBAS Y ESTACIONES DE BOMBEO

Resultados

lcaudal de diseño expresada en metros "Q" Altura dinámica de elevación máxima "hdemax"

Q =0.06912m³/s hdemax =43.13 m

Altura dinámica de elevación máxima "hdemin"

hdemin =42.59m

INGRESE

Eficiencia de la bomba en porcentaje "eb" Eb =

Velocidad del rotor dada en rpm "Nr" Nr =

Altura neta positiva de succión requerida; "CNPSr" CNPSr =

La eficiencia de la bomba debe ser mayor

Ingresar

Figura 141. Bombas y estaciones de bombeo

BOMBAS Y ESTACIONES DE BOMBEO

Ingrese el número de datos referentes a los caudales y sus respectivas alturas estos datos deben ser suministrados por el fabricante "ND"

ND =

Se necesitan mínimo 3 caudales de bomba y sus respectivas alturas

INGRESE

Caudal perteneciente a la curva de la bomba "Qb" Altura perteneciente al caudal respectivo, para obtener la curva de la bomba "HB"

Qb = HB =

Agregar

Curva característica de la bomba

Qb	HB
0,045	45,80

Ingresar

Figura 142. Bombas y estaciones de bombeo

BOMBAS Y ESTACIONES DE BOMBEO

Curva de operación

Ingrese número de caudales menores a Cd "Ncm"

Ncm =

Ingrese número de caudales mayores a Cd "NcM"

NcM =

Ingreso de caudales

Ingrese caudales menores para la curva de operación "Qm (J)"

Qm (J) = Agregar

Ingrese un caudal menor a Cd

Ingrese caudales mayores para la curva de operación "QM (I)"

QM (I) = Agregar

Ingrese un caudal mayor a Cd

Qm (J)	QM (I)
0,045	45,80

Ingresar

Figura 143. Bombas y estaciones de bombeo

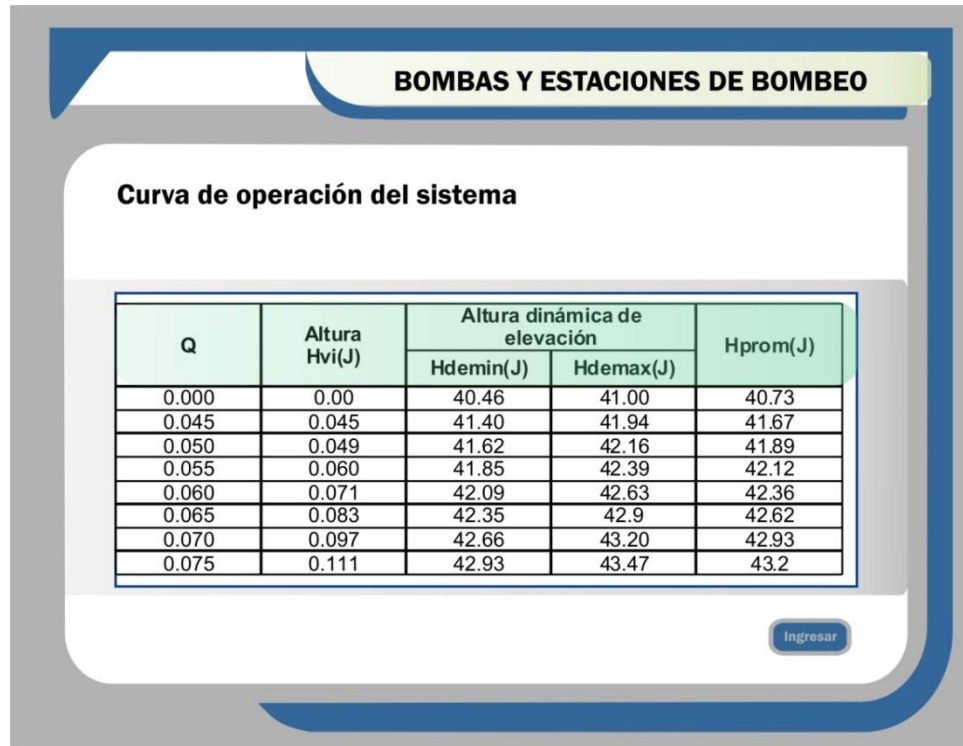


Figura 144. Bombas y estaciones de bombeo

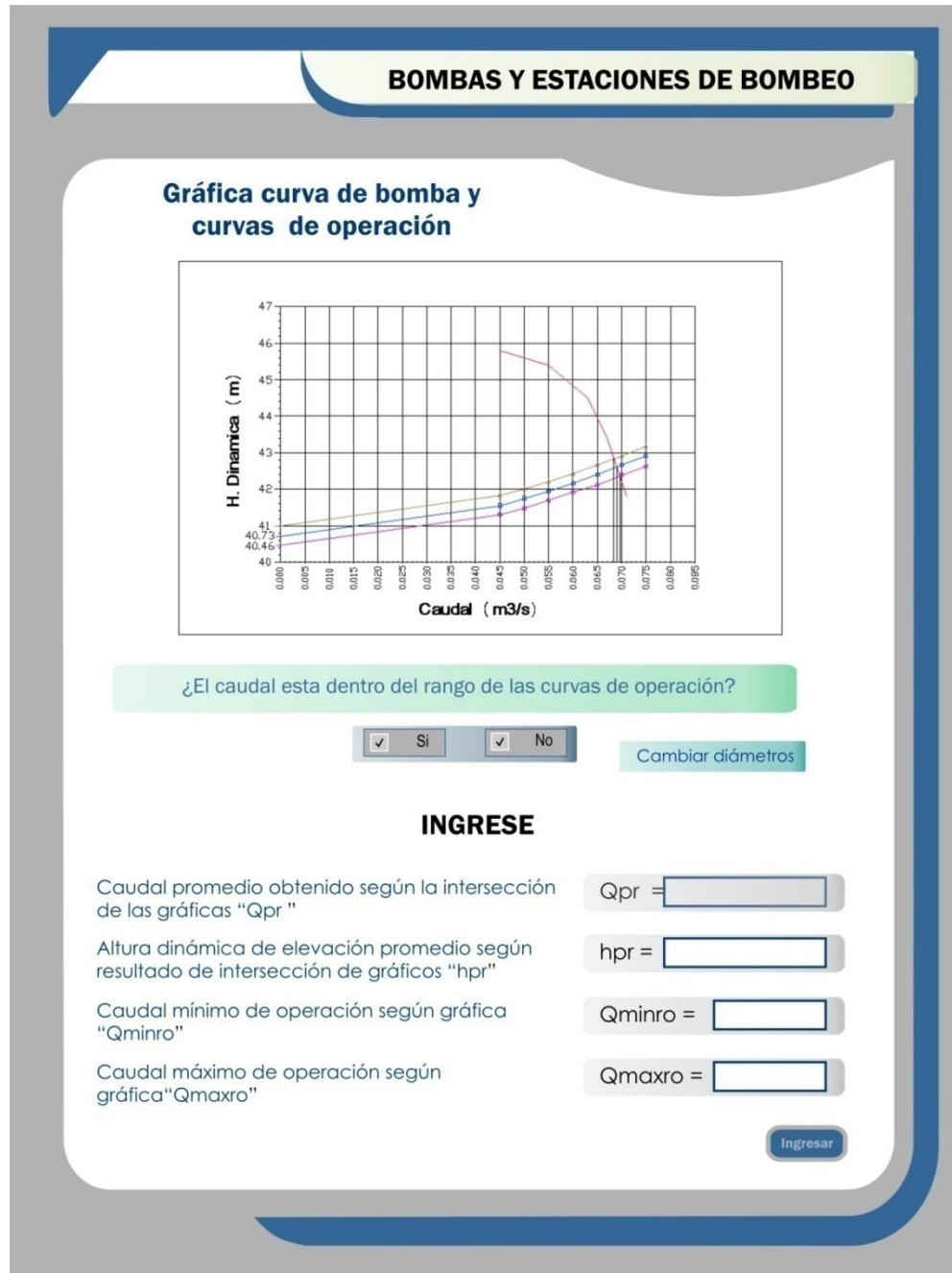


Figura 145. Bombas y estaciones de bombeo

BOMBAS Y ESTACIONES DE BOMBEO

INGRESE

Potencia del motor expresado en KW "Pm"

Pm =43.27Kw

Se debe disminuir la altura
estatica, aumentar el diametro
o utilizar un material mas liso

DATOS

Diámetro de la tubería de impulsión "Di"	Di = <input style="width: 100%;" type="text"/>
Diámetro de la tubería de succión "Ds"	Ds = <input style="width: 100%;" type="text"/>
Potencia de la bomba expresada en KW "Pb"	Pb = <input style="width: 100%;" type="text"/>
Potencia del motor expresado en KW "Pm"	Pm = <input style="width: 100%;" type="text"/>
Material de la tubería de impulsión "mati"	mati = <input style="width: 100%;" type="text"/>
Material de la tubería de succión "Mats"	mats= <input style="width: 100%;" type="text"/>
Longitud de tubería recta de succión "Ltrs"	Ltrs = <input style="width: 100%;" type="text"/>
accesorio o elemento que se utiliza en succión "accs"	accs= <input style="width: 100%;" type="text"/>
Longitud de tubería recta de impulsión "Ltri"	Ltri = <input style="width: 100%;" type="text"/>
accesorios o elementos que se utilizan en la impulsión "acci"	Ltri = <input style="width: 100%;" type="text"/>

7.5 ADUCCIONES (TRANSPORTE DE AGUA)

7.5.1 Fundamento teórico

Conductos cerrados a superficie libre. Este tipo de aducción tiene las mismas ventajas y desventajas que las aducciones abiertas, con excepción de la posible contaminación externa del agua. Los conductos pueden ser prefabricados o construidos en el sitio. El método de cálculo es similar y sólo difiere en cuanto a las recomendaciones de velocidad y pérdidas.

Conductos prefabricados. Comúnmente se trata de tuberías fabricadas en diferentes materiales y diámetros, como por ejemplo:

- Tuberías de gres
- Tuberías de cemento
- Tuberías de PVC

“La tubería de gres y la de cemento se fabrican de hasta 36” (91 cm) de diámetro y la unión entre la campana y el espigo se hace por medio de mortero 1:2, unión asfáltica o anillo de caucho”⁶².

7.5.2 Especificaciones de diseño

El periodo máximo de diseño de las aducciones o conducciones es función del nivel de complejidad del sistema y se debe aplicar el establecido en la siguiente tabla:

Tabla 31. Periodo de diseño de aducciones

Nivel de complejidad del sistema	Periodo de diseño
Bajo	15 años
Medio	20 años
Medio alto	25 años
Alto	30 años

Fuente: RAS 2000. MINISTERIO DE desarrollo económico de Colombia. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (RAS), revisión 1, Bogotá. Ministerio de desarrollo económico 2000. p. 126.

- **Las pérdidas por exfiltración máximas** → 5% Qmedio horario

⁶² Ibid., 546 p.

- **Consumo en la planta de purificación** → (3-5)% del caudal medio diario
- **Diámetro mínimo** → 4" (100mm)
Se debe utilizar para la ecuación del modelo hidráulico el diámetro interno real
- **Velocidad mínima.** Generalmente la velocidad real mínima es de 0,6 m/s. Sin embargo la velocidad mínima esta determinada por esfuerzo cortante.
- **Velocidad máxima.** Se debe limitar según el material del ducto y el material transportado por el agua (consultar catálogos para definir velocidad máxima recomendada).
- **Esfuerzo cortante mínimo.** Para que el flujo sea capaz de resuspender el material sedimentado en el fondo se debe calcular el esfuerzo mínimo.

7.5.3 Metodología de diseño

- Según el nivel de complejidad se determina el periodo de diseño, por medio de este se llega al año de proyección del cual se toma el caudal máximo diario o el caudal máximo horario correspondiente según sean las condiciones del sistema, además se tienen en cuenta las perdidas por exfiltración y el consumo en la planta (CP).
- El usuario mira las opciones que tiene para escoger el material con el cual desea trabajar en la tubería y de acuerdo con esto el algoritmo determina el coeficiente de rugosidad de Manning (n) tabla 32.

Tabla 32. Coeficiente de rugosidad de Manning

COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING	
Material	Coeficiente de rugosidad, n
Asbesto cemento	0,010
Concreto liso	0,012
Concreto rugoso	0,014
Ladrillo	0,016
Ladrillo Vitrificado	0,014
Metal corrugado	0,022
Hierro fundido	0,015
Plástico	0,009

Fuente: LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Coeficiente de rugosidad de Manning

- Se ingresa la longitud total de la aducción (Lad) y la cota en el desarenador (cotd), esto se hace con la ubicación correspondiente en la topografía.
- Se calcula la pendiente que existe entre la bocatoma (cámara de recolección) y el tanque desarenador.

Según López Cualla⁶³

$$S = \frac{Cotf - Cotd}{Lad} \quad [146]$$

- Luego se calcula el diámetro

$$Da = 1,548 \left(\frac{nQ}{S^{1/2}} \right)^{3/8} \quad [147]$$

- Se observa dentro de las tablas de diámetros comerciales (tabla 23) el más cercano y se lo ingresa; de ahora en adelante ese es el diámetro de la tubería de aducción.
- Se establecen las condiciones a flujo lleno:

$$Qo = 0,312 \frac{Da^{8/3} S^{1/2}}{n} \quad [148]$$

$$Vo = \frac{Qo \times 4}{\pi \times (Da)^2} \quad [149]$$

$$Ro = \frac{Do}{4} \quad [150]$$

$$RQ = \frac{Q}{Qo} \quad [151]$$

- Ahora con la relación (RQ) entre el caudal de diseño (Q) y el caudal a tubo lleno (Qo) y el coeficiente de rugosidad de Manning (n), interpolando los datos de la tabla 33 se tiene:

$$\frac{V}{Vo} = 0,32184 + 0,870069 \times RQ + 3,88702n \quad [152]$$

$$\frac{d}{D} = 0,17164 + 0,739119 \times RQ + 0,870725n \quad [153]$$

$$\frac{R}{Ro} = 0,552781 + 0,786717 \times RQ + 1,35257n \quad [154]$$

$$\frac{H}{D} = 0,0124428 + 1,02582 \times RQ + 0,781906n \quad [155]$$

⁶³ LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueducto y alcantarillados. Ecuación 8.1 pag. 169. Editorial escuela colombiana de ingeniería, 546 pag. 2ed.

Tabla 33. Relaciones hidráulicas para conductos circulares (n_0/n variable)

Q/Q0	ReL.	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	V/V ₀	0.000	0.292	0.362	0.400	0.427	0.453	0.473	0.492	0.505	0.520
	d/D	0.000	0.092	0.124	0.148	0.165	0.182	0.196	0.210	0.220	0.232
	R/R0	0.000	0.239	0.315	0.370	0.410	0.449	0.481	0.510	0.530	0.554
0.1	V/V ₀	0.540	0.553	0.570	0.580	0.590	0.600	0.613	0.624	0.634	0.645
	d/D	0.248	0.258	0.270	0.280	0.289	0.298	0.308	0.315	0.323	0.334
	R/R0	0.586	0.606	0.630	0.650	0.668	0.686	0.704	0.716	0.729	0.748
0.2	V/V ₀	0.656	0.664	0.672	0.680	0.687	0.695	0.700	0.706	0.713	0.720
	d/D	0.346	0.353	0.362	0.370	0.379	0.386	0.393	0.400	0.409	0.417
	R/R0	0.768	0.780	0.795	0.809	0.824	0.836	0.848	0.860	0.874	0.886
0.3	V/V ₀	0.729	0.732	0.740	0.750	0.755	0.760	0.768	0.776	0.781	0.787
	d/D	0.424	0.431	0.439	0.447	0.452	0.460	0.468	0.476	0.482	0.488
	R/R0	0.896	0.907	0.919	0.931	0.938	0.950	0.962	0.974	0.983	0.992
0.4.	V/V ₀	0.796	0.802	0.806	0.810	0.816	0.822	0.830	0.834	0.840	0.845
	d/D	0.498	0.504	0.510	0.516	0.523	0.530	0.536	0.542	0.550	0.557
	R/R0	1.007	1.014	1.021	1.028	1.035	1.043	1.050	1.056	1.065	1.073
0.5.	V/V ₀	0.850	0.855	0.860	0.865	0.870	0.875	0.880	0.885	0.890	0.895
	d/D	0.563	0.570	0.576	0.582	0.588	0.594	0.601	0.608	0.615	0.620
	R/R0	1.079	1.087	1.094	1.100	1.107	1.113	1.121	1.125	1.129	1.132
0.6.	V/V ₀	0.900	0.903	0.908	0.913	0.918	0.922	0.927	0.931	0.936	0.941
	d/D	0.626	0.632	0.639	0.645	0.651	0.658	0.666	0.672	0.678	0.686
	R/R0	0.136	1.139	1.143	1.147	1.151	1.155	1.160	1.163	1.167	1.172
0.7.	V/V ₀	0.945	0.951	0.955	0.958	0.961	0.965	0.969	0.972	0.975	0.980
	d/D	0.692	0.699	0.705	0.710	0.719	0.724	0.732	0.738	0.743	0.750
	R/R0	1.175	1.179	1.182	1.184	1.188	1.190	1.193	1.195	1.197	1.200
0.8.	V/V ₀	0.984	0.987	0.990	0.993	0.997	1.001	1.005	1.007	1.011	1.015
	d/D	0.756	0.763	0.770	0.778	0.785	0.791	0.798	0.804	0.813	0.820
	R/R0	1.202	1.205	1.208	1.211	1.214	1.216	1.219	1.219	1.215	1.214
0.9.	V/V ₀	1.018	1.021	1.024	1.027	1.030	1.033	1.036	1.038	1.039	1.040
	d/D	0.826	0.835	0.843	0.852	0.860	0.868	0.876	0.884	0.892	0.900
	R/R0	1.212	1.210	1.207	1.204	1.202	1.200	1.197	1.195	1.192	1.190
1.0.	V/V ₀	1.041	1.042	1.042	1.042						
	d/D	0.914	0.920	0.931	0.942						
	R/R0	1.172	1.164	1.150	1.136						

Fuente: LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueducto y alcantarillados. Editorial escuela colombiana de ingeniería, 546 pag. 2ed.

- Se calcula la velocidad, la lámina de agua y el radio hidráulico cuando se presenta el caudal de diseño (Q), donde se espera que la velocidad sea mayor a 0,6 m/s, de no ser así es necesario cambiar el diámetro.
- Luego se calcula es esfuerzo cortante (τ),

según López Cualla⁶⁴

$$\tau_o = 0,08 D_{75}$$

[156]

Tabla 34. Esfuerzos cortantes críticos dados en N/m^2

Condición	Diámetro medio D75(mm)					
	0,1	0,2	0,5	1,0	2,0	5,0
Agua clara	0,12	0,13	0,15	0,20	0,29	0,68
Agua con sedimentos finos en pequeña cantidad	0,24	0,25	0,27	0,29	0,31	0,81
Agua con sedimentos finos en gran cantidad	0,38	0,38	0,41	0,39	0,54	0,90

Fuente: LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Especificaciones de diseño Aducción Bocatoma - Desarenador

GRAVAS FINAS CON 0<5MM

- **Agua clara**

$$\tau = 0,113896 + 0,0732691 \times D75 + 0,00798202 \times D75^2$$

[157]

- **Agua con sedimentos finos en pequeña cantidad**

$$\tau = 0,256569 + 0,0138241 \times D75 + 0,0248264 \times D75^2$$

[158]

- **Agua con sedimentos Finos en gran cantidad**

$$\tau = 0,367282 + 0,0540904 \times D75 + 0,0105714 \times D75^2$$

[159]

⁶⁴ Ibid., p. 173

Tabla 35. Esfuerzos cortantes críticos para suelos cohesivos en N/m^2

Material cohesivo del lecho	Naturaleza del lecho			
	Muy poco compactado en relación con vacíos de 2,0 a 1,2	Poco compactado en relación con vacíos de 1,2 a 1,6	Compactado en relación con vacíos de 0,6 a 0,3	Muy compactado en relación con vacíos de 0,3 a 0,2
Arcillas arenosas (%de arena inferior a 50%)	0,20	0,77	1,60	3,08
Suelo con grandes cantidades de arcilla	0,15	0,69	1,49	2,75
Arcillas	1,20	0,61	1,37	2,59
Arcillas muy finas	0,10	0,47	1,04	1,73

Fuente: LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Especificaciones de diseño Aducción Bocatoma - Desarenador

SUELOS COHESIVOS

- **Arcillas arenosas (%de arena inferior a 50 %)**

$$\tau = 4,137337 - 4,46929 \times D75 + 1,26055 \times D75 \quad [160]$$

- **Suelos con grandes cantidades de arcilla**

$$\tau = 3,69595 - 3,92178 \times D75 + 1,08243 \times D75^2 \quad [161]$$

- **Arcillas**

$$\tau = 3,82103 - 4,92113 \times D75 + 1,81027 \times D75^2 \quad [162]$$

- **Arcillas muy finas**

$$\tau = 2,31354 - 2,31582 \times D75 + 0,607929 \times D75^2 \quad [163]$$

- Definir o seleccionar tipo de topografía
- Si $\tau > \tau_{min}$ continuar el siguiente paso, de lo contrario es necesario cambiar la cota en el desarenador
- *Se calculan las pérdidas reales entre la bocatoma y el desarenador*

López Cualla⁶⁵

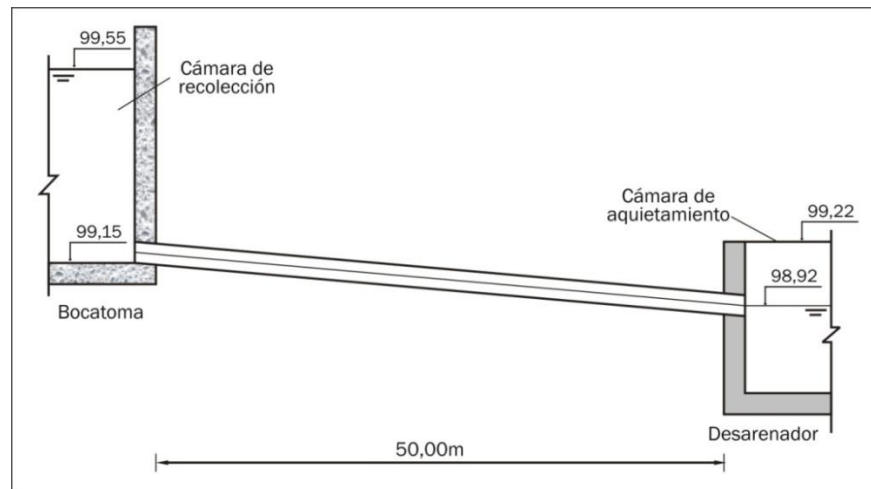
$$HPr = d + 1,5 \frac{v^2}{2g} \quad [164]$$

⁶⁵ Ibid., 546 p.

- Luego es necesario corregir las pérdidas en la aducción asumidas anteriormente (HP), dependiendo de si las pérdidas reales son mayores o menores se aumenta o disminuye la cota del fondo de la cámara de recolección Coff.
- Se determina el caudal de excesos.
- Por último se calculan e imprimen las cotas bateas y clave de la salida de la bocatoma y la llegada al desarenador, también la lámina de agua en la llegada al desarenador.

7.5.4 Ejemplo de cálculo

Figura 146. Aducción bocatoma - desarenador



Fuente: LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueducto y alcantarillados. Editorial escuela colombiana de ingeniería, 546 pag. 2ed.

El nivel de complejidad (NCj) es medio por lo tanto el periodo de diseño (PD) es de 20 años y teniendo en cuenta que el año inicial de proyección (To) es 2003 se tiene:

$$2003 + 20 = 2023$$

Por lo tanto se tiene un caudal máximo diario (Qmaxd) de 34,56 L/sg, el caudal máximo horario (Qmaxh) de 55,29 L/sg y el caudal medio diario es 26,59 L/sg.

El sistema cuenta con tanque de almacenamiento y el consumo en la planta es de 5% se tiene:

$$cd = \left[\left(\frac{5 \times 34,56}{100} \right) + \left(\frac{5 \times 26,59}{100} \right) + 34,56 \right] = 37,6175$$

$$Q = \frac{37,6175}{1000} = 0,03761 \text{ m}^3/\text{s}$$

Datos.

- El es PVC por lo tanto el coeficiente de rugosidad n es = 0,009
- Longitud de la tubería de aducción 50m
- Cota en el fondo de la cámara de recolección = 98,54 m
- Cota en el desarenador = 98,31 m
- HP supuesto 0,6 m

Solución

Se calcula la pendiente (S):

$$S = \frac{98,54 - 98,31}{50} = 0,0046$$

Y con esto el diámetro (Da)

$$Da = 1,548 \left(\frac{0,009 \times 0,03761}{0,0046^{1/2}} \right)^{3/8} = 0,2121 \text{ m}$$

Se aproxima al diámetro comercial cercano:

$$Da = \frac{0,1370}{0,0254} = 8,35 \approx 10''$$

$$Da = 10 \times 0,0254 = 0,254 \text{ m}$$

Se establecen las condiciones de flujo a tubo lleno:

$$Q_0 = 0,312 \times \frac{(0,254)^{8/3} \times 0,0046^{1/2}}{0,009} = 0,06083 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_0 = \frac{0,06083 \times 4}{\pi \times (0,254)^2} = 1,2 \text{ m/s}$$

$$Ro = \frac{0,254}{4} = 0,0635$$

Ahora se calcula la relación entre caudales (RQ)

$$RQ = \frac{0,03761}{0,06083} = 0,6182$$

Valor con el cual se entra a la tabla (33) y se obtiene:

$$\frac{V}{V_o} = 0,903 \quad , \quad \frac{d}{D} = 0,632 \quad , \quad \frac{R}{R_o} = 1,139$$

Por lo tanto:

$$V = 0,903 \times 1,2 = 1,0836 \text{ m/s}$$

$$d = 0,632 \times 0,254 = 0,1605 \text{ m}$$

$$R = 1,139 \times 0,0635 = 0,072 \text{ m}$$

Se evalúa V

$$V = (1,0836 > 0,6) \text{ m/s}$$

Cálculo de esfuerzo cortante (τ)

$$\tau = 9810 \times 0,072 \times 0,0046 = 3,24 \text{ N/m}^2$$

El suelo con el que se trabaja es suelo cohesivo:

- El material cohesivo del lecho tiene grandes cantidades de arcillas y la naturaleza del lecho tiene un material compactado en relación con vacío de 0,3 0,2 por lo tanto, según Lopez Cualla⁶⁶, el esfuerzo cortante crítico $\tau_{\min} = 2,75 \text{ N/m}^2$.
- Ahora debido a que la topografía del terreno es ligeramente accidentada se tiene:

$$\tau_{\min} = 2,75 \times 0,9 = 2,475 \text{ KN/m}^2$$

$$\tau > \tau_{\min}$$

$$3,24 \text{ N/m}^2 > 2,475 \text{ KN/m}^2$$

- Luego se calculan las pérdidas reales (HPr)

$$HPr = 0,1605 + 1,5 \frac{(1,0836)^2}{2(9,81)} = 0,2502$$

⁶⁶ Ibid., p.174.

- Al comparar las perdidas reales y las supuestas entre la bocatoma y el desarenador el valor real difiere del supuesto inicial

$$0,2502 < 0,60$$

- Por lo tanto el fondo de la cámara de recolección se sube unos 18 cm

$$\text{Cotf} = 98,54 + 0,18 = 98,72$$

$$\text{Cotd} = 98,31 - 0,1605 = 98,15$$

- Entonces

$$\text{HP} = 0,18 + 0,1605 = 0,3405$$

- Y se repite el proceso

$$S = \frac{98,72 - 98,15}{50} = 0,0114$$

$$Da = 1,548 \left(\frac{0,009 \times 0,03761}{0,0114^{1/2}} \right)^{3/8} = 0,1789$$

$$Da = \frac{0,179}{0,0254} = 7,04 \approx 8''$$

Porque es el diámetro comercial mayor más cercano

$$Da = 8 \times 0,0254 = 0,2032$$

$$Qo = 0,312 \times \frac{(0,2032)^{8/3} \times (0,0114)^{1/2}}{0,009} = 0,05282$$

$$Vo = \frac{0,05282 \times 4}{\pi \times (0,2032)^2} = 1,6287$$

$$Ro = \frac{0,2032}{4} = 0,0508$$

$$RQ = \frac{0,03761}{0,05282} = 0,7120$$

- Se entra a la tabla (33) y se obtiene:

$$\frac{V}{V_o} = 0,951 \quad , \quad \frac{d}{D} = 0,699 \quad , \quad \frac{R}{R_o} = 1,179$$

- Por lo tanto:

$$V = 0,951 \times 1,62 = 1,54062 \text{ m/s}$$

$$d = 0,699 \times 0,2032 = 0,1420 \text{ m}$$

$$R = 1,179 \times 0,0508 = 0,05989 \text{ m}$$

- Se evalúa V

$$V = (1,5406 > 0,6) \text{ m/s}$$

- Cálculo de esfuerzo cortante (τ)

$$\tau = 9810 \times 0,06 \times 0,0114 = 6,71 \text{ N/m}^2$$

- Esfuerzo cortante que permite el arrastre de la mayor parte de materiales según las tablas

$$6,71 \text{ N/m}^2 > 2,475 \text{ N/m}^2$$

- Se calculan las pérdidas reales (HPr)

$$HPr = 0,1420 + 1,5 \frac{(1,54062)^2}{2 \times 9,81} = 0,3234$$

$$\left. \begin{array}{l} HPr = 0,32 \\ HP = 0,34 \end{array} \right\} \text{ Son aproximado } 0,33$$

- Se calculan el caudal de excesos

$$Q_{\text{excesos}} = 0,05282 - 0,03761 = 0,01521 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Se calculan las cotas:

$$\text{Cotcl} = 98,72 + 0,33 = 99,05$$

$$\text{Cotcld} = 98,15 + 0,33 = 98,48$$

$$\text{Cotla} = 98,15 + 0,1420 = 98,29$$

- Resultados

Cota batea a la salida de la bocatoma = 98,72

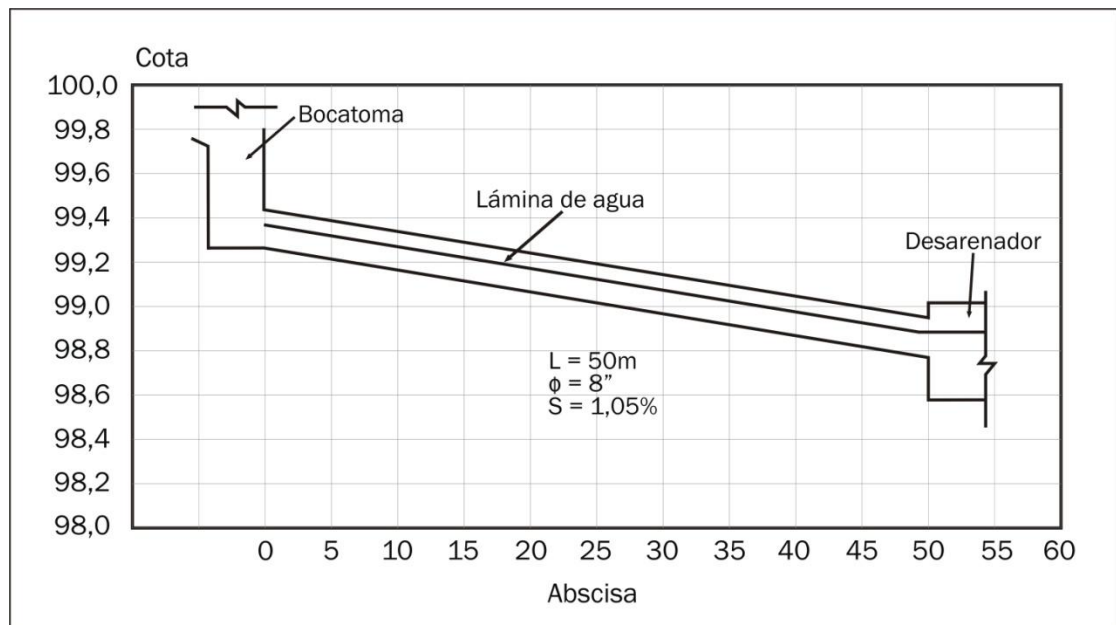
Cota clave a la salida de la bocatoma = 99,05

Cota batea a la llegada al desarenador = 98,15

Cota clave a la llegada al desarenador = 98,48

Cota de la lámina de agua a la llegada al desarenador = 98,29

Figura 147. Perfil de la aducción bocatoma – desarenador. Resultados finales



Fuente: LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueducto y alcantarillados. Editorial escuela colombiana de ingeniería, 546 pag. 2ed.

7.5.5 DIAGRAMA DE FLUJO

En la figura 148, 149, 150, 151, se indica el diagrama de flujo, aducciones.

Listado de variables.

Lad: Longitud de la aducción

Cotd: Cota en el desarenador

Dc: Diámetro comercial
Da: Diámetro de aducción
Q_o: Caudal a tubo lleno en m³/s
V_o: Velocidad a tubo lleno en m/s
Ro: Radio hidráulico a tubo lleno en m
RQ: Relación entre el caudal de diseño y el caudal a tubo lleno
V: Velocidad de diseño
d: Lámina de agua
Q: Caudal de diseño
R: Radio hidráulico al caudal de diseño
H: Profundidad hidráulica
n: Coeficiente de rugosidad de Manning
n_o: Número de Manning a tubo lleno
D: Diámetro de la tubería
τ_{min}: Esfuerzo cortante crítico
τ: Esfuerzo cortante que permite el arrastre de la mayor parte de materiales
HPr: Pérdidas reales en la aducción desde la bocatoma al desarenador
Vct: Variación en metros de la cota del fondo en la cámara de recolección de la bocatoma para aumentar o disminuir la pendiente.
Cotf: Cota en el fondo de la cámara de recolección
Qexcesos: Caudal que habrá que considerar en el diseño de la estructura de excesos del desarenador
D75: Tamaño de partículas que pasa el 75% de granulometría
Hp: Perdidas supuestas en la aducción desde la bocatoma al desarenador
Cotcl: Cota clave a la salida de la bocatoma
Cotcl_d: Cota clave a la llegada al desarenador
Cotla: Cota de la lámina de agua llegada al desarenador
mata: Material de la tubería de aducción

Figura 148. Aducciones

Aducciones

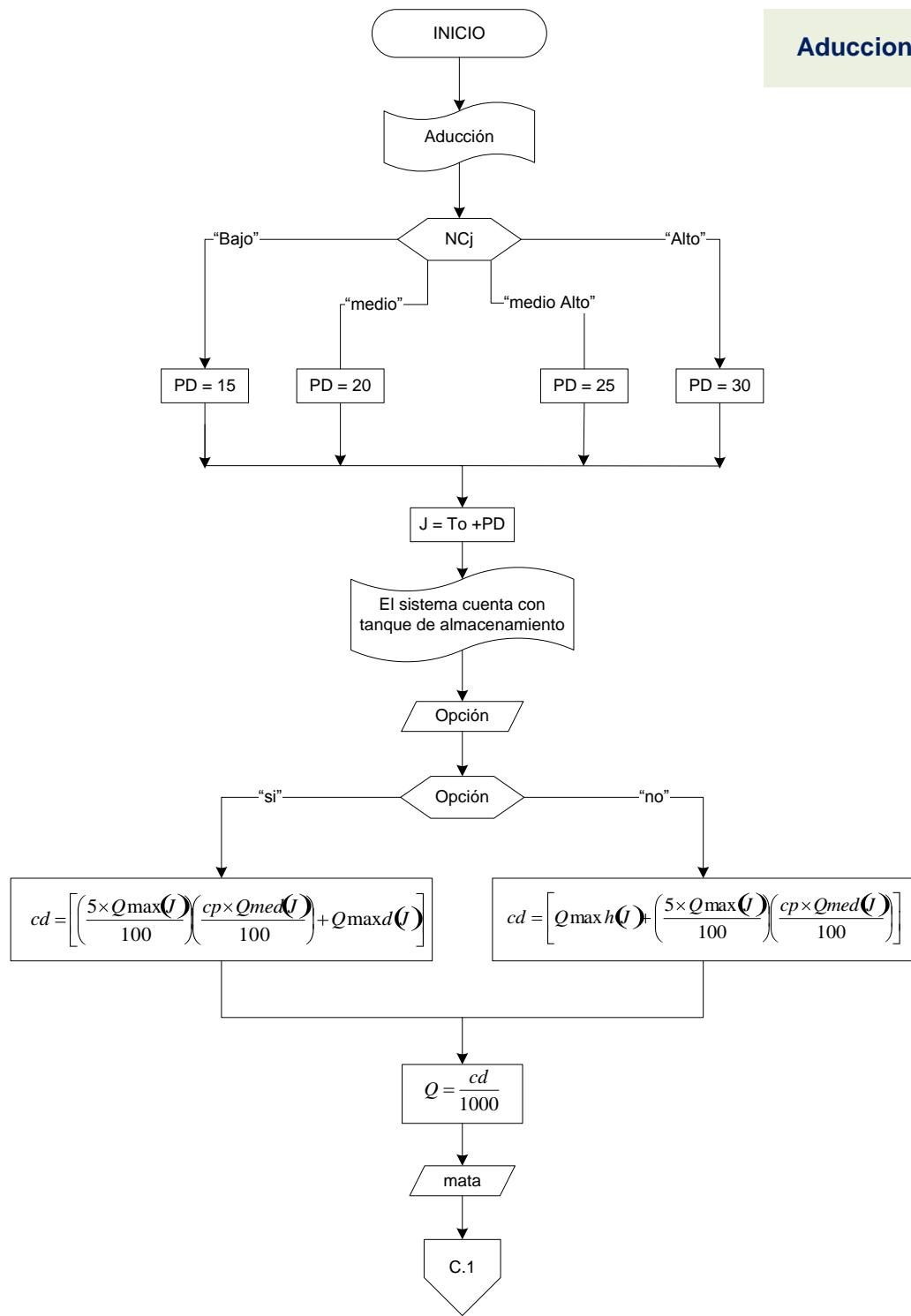


Figura 149. Aducciones

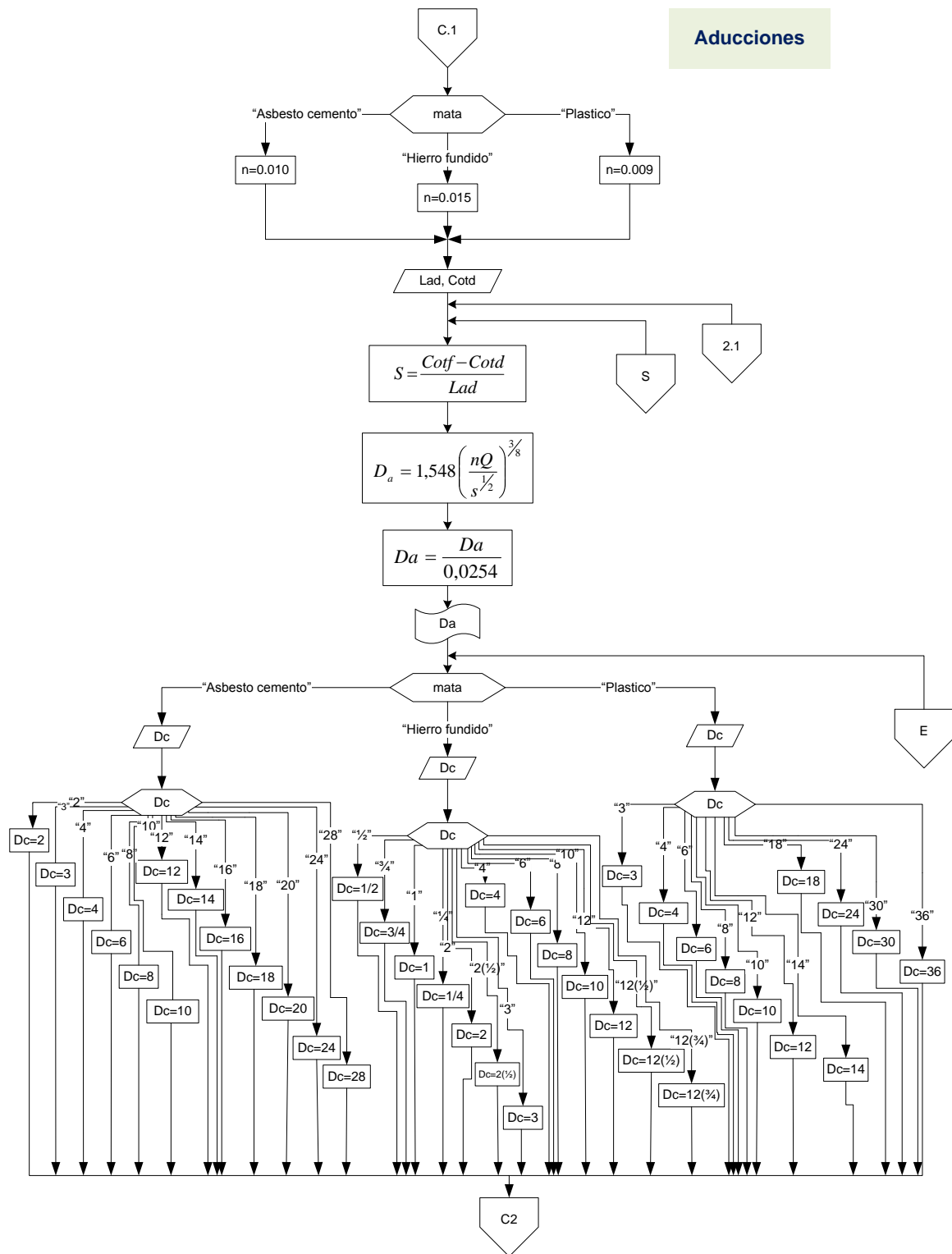


Figura 150. Aducciones

Aducciones

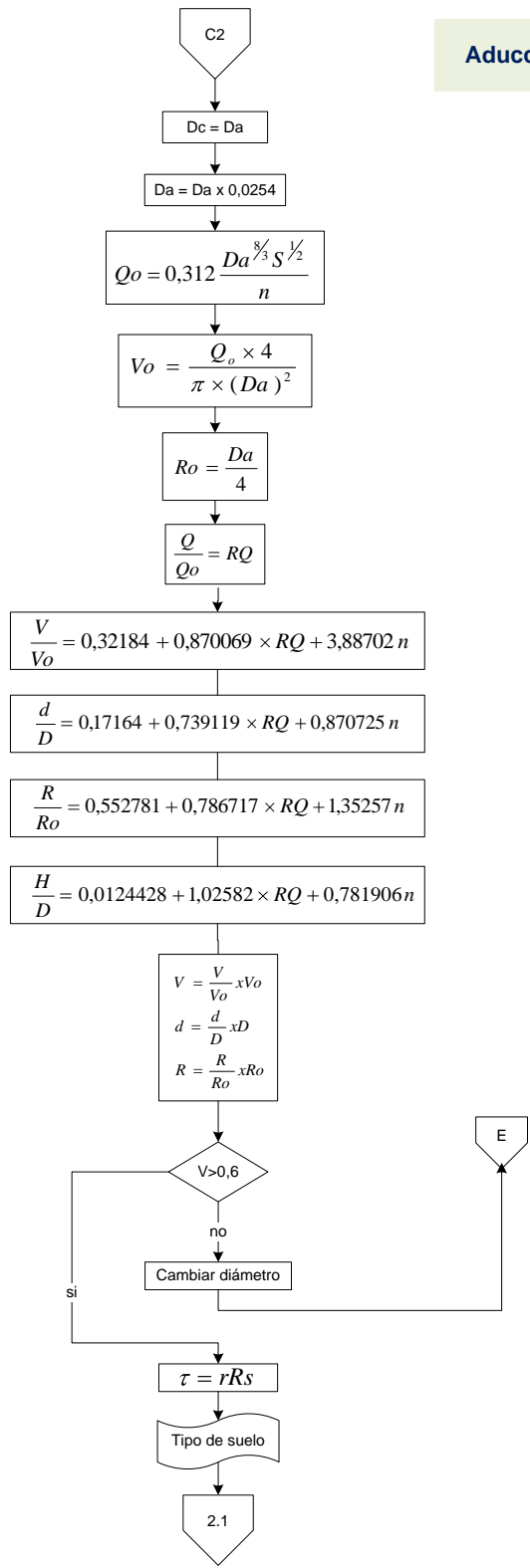


Figura 151. Aducciones

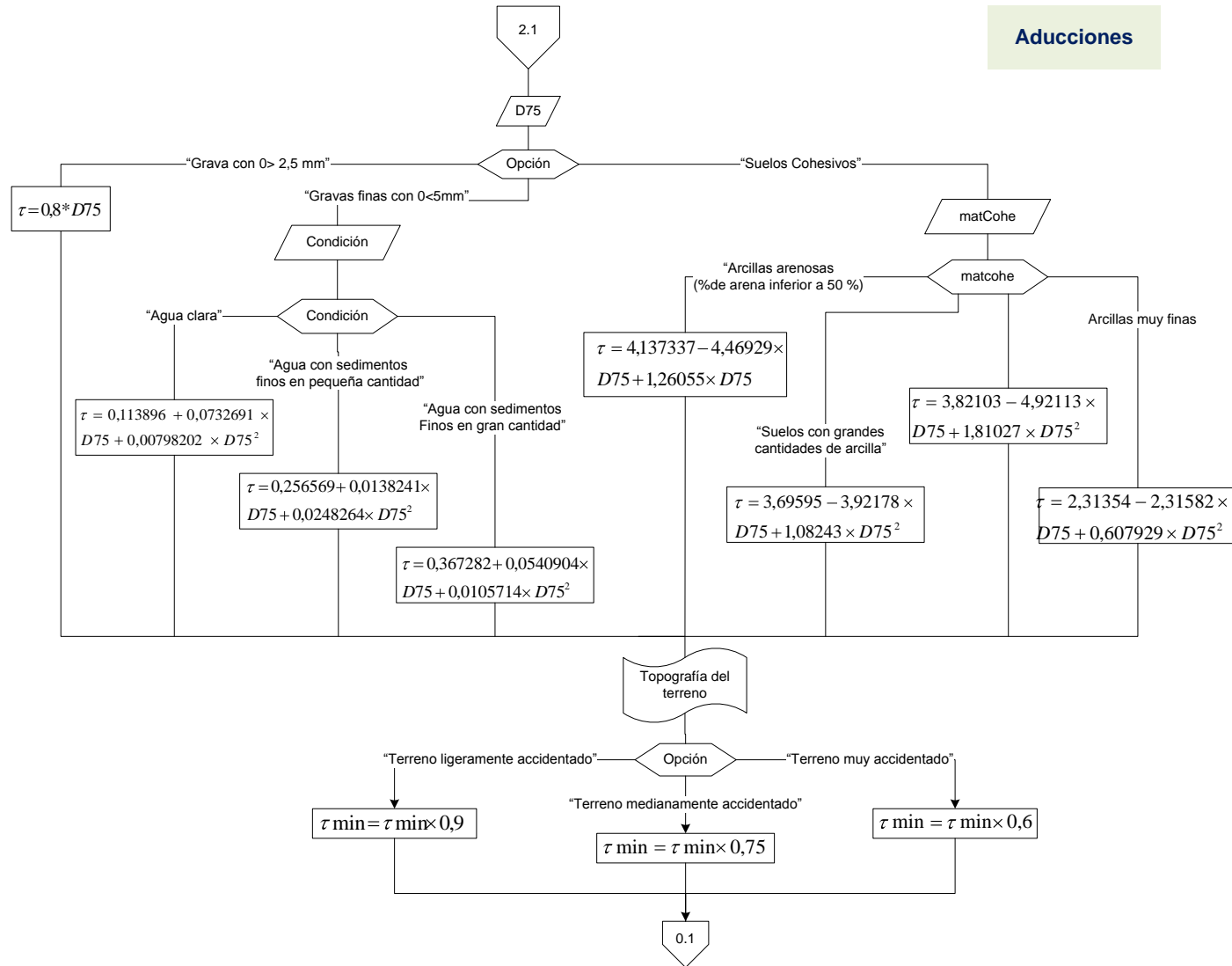
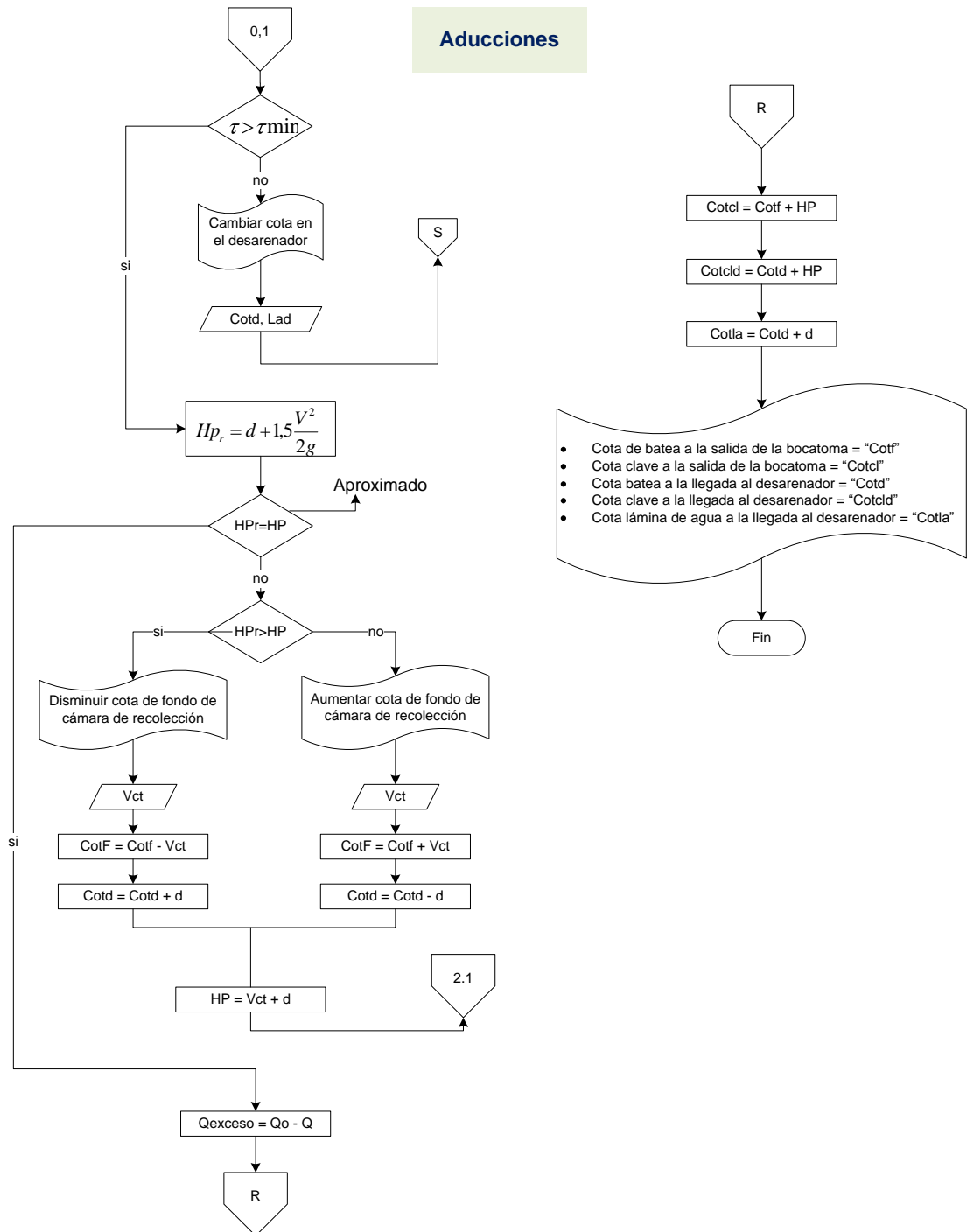


Figura 152. Aducciones



7.5.6 Pseudocodigo

1. Escribir 'Aducción'
2. Si NCj es igual:
 - 2.1 "Bajo": Hacer PD \leftarrow 15
 - 2.2 "medio": Hacer PD \leftarrow 20
 - 2.3 "medio Alto": Hacer PD \leftarrow 25
 - 2.4 "Alto": Hacer PD \leftarrow 30
3. { Fin del condicional }
4. Hacer J \leftarrow To + PD
5. Escribir "¿El sistema cuenta con tanque de almacenamiento?"
6. Leer opción \leftarrow valor 'se asigna un valor a la variable opcion'
7. Si opción es igual:
 - a. "si"
 - i. Hacer cd \leftarrow $\left[\left(\frac{5 \times Q_{max}(J)}{100} \right) + \left(\frac{cp \times Q_{med}(J)}{100} \right) + Q_{maxd}(J) \right]$
 - b. "no"
 - i. Hacer cd \leftarrow $\left[Q_{maxh}(J) + \left(\frac{5 \times Q_{max}(J)}{100} \right) + \left(\frac{cp \times Q_{med}(J)}{100} \right) + \right]$
8. { Fin del condicional 7 }
9. Hacer Q \leftarrow $\frac{cd}{1000}$
10. Leer mata \leftarrow valor 'se asigna un valor a la variable mata'
11. Si mata es igual:
 - 11.1 "Asbesto cemento"
 - 11.1.1 Hacer n \leftarrow 0.010
 - 11.2 "Hierro fundido"
 - 11.2.1 Hacer n \leftarrow 0.015
 - 11.3 "Plástico"
 - 11.3.1 Hacer n \leftarrow 0.009
 {Fin del condicional 11}
12. Leer Lad \leftarrow valor 'Se asigna un valor a la variable Lad'
Cotd \leftarrow valor 'Se asigna un valor a la variable Cotd'
13. Hacer S \leftarrow $\frac{Cotf - Cotd}{Lad}$
14. Hacer Da \leftarrow $1,548 \left(\frac{nQ}{S^{1/2}} \right)^{3/8}$
15. Hacer Da \leftarrow $\frac{Da}{0,0254}$
16. Escribir "Da"
17. Si mata es igual:

- 17.1 “Asbesto cemento”
- 17.1.1 Leer D_c ← valor ‘se asigna un valor a la variable D_c ’
- 17.1.2 Entrar a la tabla de diámetros comerciales de asbesto cemento.
- 17.2 “Hierro fundido”
- 17.2.1 Leer D_c ← valor ‘se asigna un valor a la variable D_c ’
- 17.2.2 Entrar a la tabla de diámetros comerciales de Hierro Fundido.
- 17.3 “Plástico”
- 17.3.1 Leer D_c ← valor ‘se asigna un valor a la variable D_c ’
- 17.3.2 Entrar a la tabla de diámetros comerciales de Hierro Fundido.
- 18 {Fin del condicional 17}
- 19 Hacer D_c ← D_a
- 20 Hacer D_a ← $D_a \times 0,0254$
- 21 Hacer Q_o ← $0,312 \frac{D_a^{8/3} S^{1/2}}{n}$
- 22 Hacer V_o ← $\frac{Q_o \times 4}{\pi \times (D_a)^2}$
- 23 Hacer R_o ← $\frac{D_a}{4}$
- 24 Hacer RQ ← $\frac{Q}{Q_o}$
- 25 Hacer
- $\frac{V}{V_o}$ ← $0,32184 + 0,870069 \times RQ + 3,88702n$
- $\frac{d}{D}$ ← $0,17164 + 0,739119 \times RQ + 0,870725n$
- $\frac{R}{R_o}$ ← $0,552781 + 0,786717 \times RQ + 1,35257n$
- $\frac{H}{D}$ ← $0,0124428 + 1,02582 \times RQ + 0,781906n$
- 26 Hacer V ← $\frac{V}{V_o} \times V_o$
- 27 Hacer d ← $\frac{d}{D} \times D$
- 28 Hacer R ← $\frac{R}{R_o} \times R_o$
- 29 Mientras ($V < 0,6$) Repetir
- 29.1 Escribir “Cambiar Diámetro”
- 29.2 Volver al numeral 17
- 30 {Fin del condicional 29}
- 31 Hacer τ ← rRS
- 32 Escribir “Tipo de suelo”

- 33 Si opción igual:
- “grava con $0 > a 2,5 \text{ mm}$ ”
- 33.1 Leer D_{75} ← Valor ‘Se asigna un valor a la variable D_{75} ’
- 33.2 Hacer τ_{\min} ← $0,8 \times D_{75}$
- “Gravas finas con $0 < 5\text{mm}$ ”
- 33.3 Leer D_{75} ← Valor ‘Se asigna un valor a la variable D_{75} ’
- 33.4 Hacer
- Agua clara
- $$\tau \leftarrow 0,113896 + 0,0732691 \times D_{75} + 0,00798202 \times D_{75}^2$$
- Agua con sedimentos finos en pequeña cantidad
- $$\tau \leftarrow 0,256569 + 0,0138241 \times D_{75} + 0,0248264 \times D_{75}^2$$
- Agua con sedimentos Finos en gran cantidad
- $$\tau \leftarrow 0,367282 + 0,0540904 \times D_{75} + 0,0105714 \times D_{75}^2$$
- “Suelos cohesivos”
- 33.5 Leer D_{75} ← Valor ‘Se asigna un valor a la variable D_{75} ’
- Arcillas arenosas (%de arena inferior a 50 %)
- $$\tau \leftarrow 4,137337 - 4,46929 \times D_{75} + 1,26055 \times D_{75}^2$$
- Suelos con grandes cantidades de arcilla
- $$\tau \leftarrow 3,69595 - 3,92178 \times D_{75} + 1,08243 \times D_{75}^2$$
- Arcillas
- $$\tau \leftarrow 3,82103 - 4,92113 \times D_{75} + 1,81027 \times D_{75}^2$$
- Arcillas muy finas
- $$\tau \leftarrow 2,31354 - 2,31582 \times D_{75} + 0,607929 \times D_{75}^2$$
- {Fin del condicional 33}
- 34 Escribir “Topografía del terreno”
- 35 Si opción igual:
- “Terreno medianamente accidentado”
- 35.1 Hacer τ_{\min} ← $\tau_{\min} \times 0,9$
- “Terreno medianamente accidentado”
- 35.2 Hacer τ_{\min} ← $\tau_{\min} \times 0,75$
- “Terreno muy accidentado”
- 35.3 Hacer τ_{\min} ← $\tau_{\min} \times 0,6$
- 36 {Fin del condicional 36}

- 37 Mientras ($T < T_{\min}$) Repetir
- 37.1 Escribir 'Cambiar cota en el desarenador'
 - 37.2 Leer Cotd \leftarrow Valor 'Se asigna un valor a la variable Cotd'
Lad \leftarrow Valor 'Se asigna un valor a la variable Lad'
 - 37.3 Volver al paso 13
- 38 {Fin del condicional 38}
- 39 Hacer HPr \leftarrow $d + (1,5 v^2 / 2g)$
- 40 Mientras HPr $<>$ HP Repetir
- 40.1 Si (HPr > HP)
Entonces
 - 40.1.1 Escribir 'Disminuir cota de fondo de cámara de recolección'
 - 40.1.2 Leer Vct \leftarrow Valor 'Se asigna un valor a la variable Vct'
 - 40.1.3 Hacer Cotf \leftarrow Cotf - Vct
 - 40.1.4 Hacer Cotd \leftarrow Cotd + d
 - sino
 - 40.1.5 Escribir 'Aumentar cota de fondo de cámara de recolección'
 - 40.1.6 Leer Vct \leftarrow Valor 'Se asigna un valor a la variable Vct'
 - 40.1.7 Hacer Cotf \leftarrow Cotf + Vct
 - 40.1.8 Hacer Cotd \leftarrow Cotd - d
 - 40.2 {Fin del condicional 41.1}
 - 40.3 Hacer HP \leftarrow Vct + d
 - 40.4 Volver al paso 13
- 41 {Fin del condicional 41}
- 42 Hacer Qexceso \leftarrow $Q_0 - Q$
 - 43 Hacer Cotcl \leftarrow Cotf + HP
 - 44 Hacer Cotcld \leftarrow Cotd + HP
 - 45 Hacer Cotla \leftarrow Cotd + d
 - 46 Imprimir "Cotf", "Cotcl", "Cotd", "Cotcld", "Cotla"
 - 47 fin

7.5.7 Pantallas de datos. En las figuras 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159 y 160, se indica la pantalla de datos, aducción.

Figura 153. Aducción

ADUCCIÓN

El sistema cuenta con un tanque de almacenamiento?

Si No

Escoja el material de la tubería de aducción

MATERIAL	COEFICIENTE DE RUGOSIDAD, n
Asbesto cemento	0,010
Hierro fundido	0,015
Plástico	0,009

Mata =

INGRESE

Longitud de la aducción "Lad"

Cota en el desarenador "Cotd"

Figura 154. Aducción

ADUCCIÓN

Diámetro de aducción "Da"

Da =

Según el valor del diámetro de aducción (Da), seleccione el valor mayor aproximado del tipo de tubería que se encuentra habilitado, para obtener el Diámetro comercial "Dc "

Tipos de tubería según material	Diámetros en pulgadas
Asbesto cemento "AC"	<input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 10 <input type="checkbox"/> 12 <input type="checkbox"/> 14 <input type="checkbox"/> 16 <input type="checkbox"/> 18 <input type="checkbox"/> 20 <input type="checkbox"/> 24 <input type="checkbox"/> 28
Cloruro de polivinilo "PVC"	<input type="checkbox"/> ½ <input type="checkbox"/> ¾ <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 1¼ <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 2½ <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 10 <input type="checkbox"/> 12 <input type="checkbox"/> ½ <input type="checkbox"/> ¾
Hierro fundido "H.F"	<input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input checked="" type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 10 <input type="checkbox"/> 12 <input type="checkbox"/> 14 <input type="checkbox"/> 18 <input type="checkbox"/> 24 <input type="checkbox"/> 30 <input type="checkbox"/> 36

Dc =

La velocidad no cumple con lo parámetros establecidos, seleccione un nuevo diámetro Dc

Figura 155. Aducción

The screenshot shows a software interface titled "ADUCCIÓN". It contains two main sections: "Tipo de suelo" and "Topografía del terreno".

Tipo de suelo

- Grava con $\phi > 2,5$ mm
- Gravas finas con $\phi < 5$ mm
- Suelos Cohesivos

Topografía del terreno

- Terreno ligeramente accidentado
- Terreno medianamente accidentado
- Terreno muy accidentado

On the right side, there is a text label: "Tamaño de partículas que pasa el 75% de granulometría "D75"". Below it, a field shows "D75 = Gravas finas con $\phi < 5$ mm".

At the bottom right, there is a button labeled "Ingresar".

Figura 156. Aducción

The screenshot shows a software interface titled "ADUCCIÓN". It contains two input fields for numerical data.

At the top, there is a button labeled "Cambiar cota en el desarenador".

Longitud de la aducción "Lad"

Lad =

Cota en el desarenador "Cotd"

Cotd =

At the bottom right, there is a button labeled "Ingresar".

Figura 157. Aducción

ADUCCIÓN

Disminuir cota de fondo de cámara de recolección

Ingrese un valor en metros (Vct) para restarlo a la cota del fondo en la cámara de recolección de la bocatoma, y así disminuir la pendiente entre bocatoma y desarenador.

Vct =

Ingresar

Figura 158. Aducción

ADUCCIÓN

Aumentar cota de fondo de cámara de recolección

Ingrese un valor en metros (Vct) para sumarlo a la cota del fondo en la cámara de recolección de la bocatoma, y así aumentar la pendiente entre bocatoma y desarenador.

Vct =

Ingresar

Figura 159. Aducción

The image shows a software interface titled "ADUCCIÓN". It contains five text labels on the left and five corresponding input fields on the right, all enclosed in a light yellow box. The labels are: "Cota de batea a la salida de la bocatoma 'Cotf'", "Cota clave a la salida de la bocatoma 'Cotcl'", "Cota batea a la llegada al desarenador 'Cofd'", "Cota clave a la llegada al desarenador 'Cotcid'", and "Cota lámina de agua a la llegada al desarenador 'Cotta'". The input fields are labeled "Cotf =", "Cotcl =", "Cofd =", "Cotcid =", and "Cotta =". A blue button labeled "Ingresar" is located at the bottom right of the interface.

7.6 DESARENADOR

7.6.1 Fundamento teórico. Un desarenador convencional es un tanque construido con el propósito de sedimentar partículas en suspensión por la acción de la gravedad. Este elemento constituye un tratamiento primario, pero en algunos casos es necesario realizar un tratamiento convencional de purificación de aguas.

Como se indico anteriormente, el desarenador debe situarse lo más cerca posible de la bocatoma, con el fin de evitar problemas de obstrucción en la línea de aducción.

El material en suspensión transportado por el agua es básicamente arcilla, arena, o grava fina. A continuación se presenta una clasificación del material, de acuerdo con el tamaño de las partículas, en la tabla 36:

Tabla 36. Clasificación del material en suspensión según su tamaño

Material	Diámetro(mm)	Material	Diámetro(mm)
Gravilla:		Fango:	
Gruesa	>2,0	Grueso	
Fina	2,00-1,00	y medio	0,05-0,01
		Fino	0,01-0,005
Arena:		Arcilla:	
Gruesa	1,00-0,50	Gruesa	
Media	0,50-0,25	y media	0,005-0,001
Fina	0,25-0,10	Fina	0,001-0,0001
Muy fina	0,10-0,05	Coloidal	<0,0001

Fuente: LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueducto y alcantarillados. Editorial escuela colombiana de ingeniería, 546 pag. 2ed.

Un desarenador está dividido en varias zonas, a saber (figura 160):

Zona I: Cámara de aquietamiento. Debido a la ampliación de la sección, se disipa el exceso de energía de velocidad en la tubería de llegada. El paso del agua a la zona siguiente se puede hacer por medio de un canal de repartición con orificios sumergidos. Lateralmente se encuentra un vertedero de excesos que lleva el caudal sobrante de nuevo al río mediante una tubería que se une con la del lavado (Zona IV).

Zona II: Entrada al desarenador. Constituida entre la cámara de aquietamiento y una cortina, la cual obliga a las líneas de flujo a descender con rapidez de manera que se sedimente el material más grueso inicialmente.

Zona III: Zona de sedimentación. Es la zona en donde se sedimentan todas las partículas restantes y en donde se cumple en rigor con las leyes de sedimentación. La profundidad útil de sedimentación es H.

Zona IV: Salida del desarenador. Constituida por una pantalla sumergida, el vertedero de salida y el canal de recolección. Esta zona debe estar completamente tapada, con el fin de evitar la posible contaminación exterior.

Zona V: Almacenamiento de lodos. Comprende el volumen entre la cota de profundidad útil en la zona III y el fondo del tanque. El fondo tiene pendientes longitudinales y transversales hacia la tubería de lavado.

7.6.2 Especificaciones de diseño

Periodo y caudal de diseño. El periodo de diseño del desarenador es en general el mismo de la estructura de captación y puede ampliarse en etapas sucesivas hasta el horizonte de diseño. En el caso de tener dos o más módulos, el dimensionamiento de cada uno debe responder al caudal medio diario. Al quedar un modulo fuera de servicio por mantenimiento, la capacidad hidráulica del sistema debe permitir el paso a la planta de purificación del caudal máximo diario, mas las perdidas en el transporté de agua subsiguiente y las necesidades de consumo en las plantas de purificación. Deben verificarse los parámetros de funcionamiento hidráulico en los periodos final e inicial de cada etapa.

Número de unidades. Se recomienda que el sistema de desarenadores este constituido por un mínimo de dos módulos que funcionen en paralelo. Esto permite una mayor flexibilidad en la operación cuando alguno de ellos este fuera de servicio por razones de limpieza o mantenimiento.

Paso directo. Debe existir de todos modos una tubería de paso directo para el caso de emergencias.

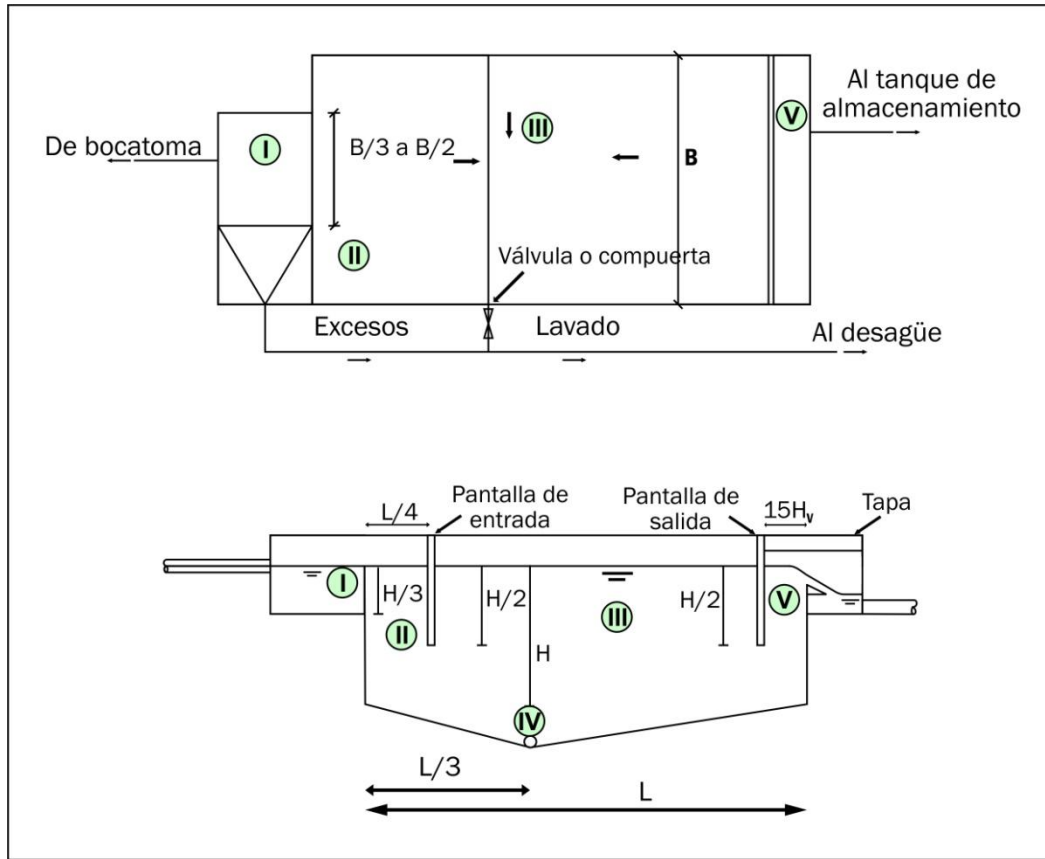
Relación longitud a ancho. Con el fin de aproximarse lo más posible al flujo en pistón, se recomienda un tanque rectangular con una relación de longitud a ancho (L/B) entre 3/1 y 5/1.

Profundidades mínima y máxima. La profundidad mínima específica es de 1,50 m y la máxima, de 4,50 m.

Profundidad de almacenamiento de lodos y pendientes de la placa y de fondo. Se recomienda una relación de longitud a profundidad de almacenamiento de lo dos de aproximadamente 10/1. La profundidad de lodos típica está comprendida entre 0,75 m y 1,50 m, y llega a un máximo de 100% del valor de la profundidad útil de sedimentación.

Las pendientes del fondo deben estar comprendidas entre 5 y 8% con el fin de que los lodos rueden fácilmente hacia la tubería de desagüe y la labor de limpieza manual sea segura para los operarios.

Figura 160. Esquema de zonas del desarenador



7.6.3 Metodología de diseño

Metodología de diseño de periodo de diseño y determinación del diámetro del material en suspensión

- En primer lugar se determina el periodo de diseño según el nivel de complejidad del sistema, según esto el algoritmo busca el año correspondiente de proyección para encontrar los caudales necesarios según las especificaciones de diseño.
- Según los datos recogidos en el campo el usuario define el material en suspensión del sitio donde estará ubicado el desarenador, esto se hace por medio de lo expuesto en la tabla 36⁶⁷

⁶⁷ Ibid., p. 141.

Metodología de diseño de dimensionamiento del desarenador.

El usuario debe ingresar la relación entre la longitud y el ancho del desarenador (L/B), esta relación según López Cualla⁶⁸ de estar en el rango $(\frac{3}{1} - \frac{5}{1})$

- Luego se ingresa el valor de la profundidad útil de sedimentación (H) la cual debe estar entre 1,50 y 4,50 mts.
- Con la temperatura del agua se determina la viscosidad cinemática (μ), por medio de la interpolación, tabla 37.

Tabla 37. Viscosidad cinemática del agua

Temperatura(°C)	Viscosidad cinemática ($cm^2./s$)	Temperatura(°C)	Viscosidad cinemática ($cm^2./s$)
0	0,01792	18	0,01059
2	0,01763	20	0,01007
4	0,01567	22	0,00960
6	0,01473	24	0,00917
8	0,01386	26	0,00876
10	0,01308	28	0,00839
12	0,01237	30	0,00804
14	0,01172	32	0,00772
15	0,01146	34	0,00741
16	0,01112	36	0,00713

Fuente: LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueducto y alcantarillados. 2 ed. Editorial escuela colombiana de ingeniería, 546 p.

$$\mu = \frac{1,792 \times 10^{-6}}{1 + 0,0337 T^0 + 0,00022 (T^0)^2} \quad [165]$$

- Se determina el número de Hazen $(\frac{Vs}{Vo})$, según las condiciones (n) y el porcentaje de remoción (%R), mediante la tabla 38.

⁶⁸ Ibid., p.185.

Tabla 38. Número de Hazen (V_s/V_o)

Condiciones	Remoción (%)							
	87,5	80	75	70	65	60	55	50
n=1	7,00	4,00	3,00	2,30	1,80	1,50	1,30	1,00
n=3	2,75		1,66					0,76
n=4	2,37		1,52					0,73
Máximo teórico	0,88		0,75					0,50

Fuente: LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueducto y alcantarillados. 2 ed. Editorial escuela colombiana de ingeniería, 546 p.

Interpolando la anterior tabla se obtiene:

n=1

$$\frac{V_s}{V_o} = 17,6173 - 0,595798R\% + 0,00538295xR\%^2 \quad [166]$$

n=3

$$\frac{V_s}{V_o} = -1,86286 + 0,0506286xR\% \quad [167]$$

n=4

$$\frac{V_s}{V_o} = -1,435 + 0,042xR\% \quad [168]$$

n=Máximo teórico

$$\frac{V_s}{V_o} = -0,00642857 + 0,0101143xR\% \quad [169]$$

- Se ingresa el peso específico del suelo (Ps)
- Se calcula la velocidad de sedimentación (Vs)

Según López Cualla⁶⁹

⁶⁹ Ibid., p. 189.

$$V_s = \frac{g}{18} \frac{(P_s - P)}{\mu} d_{par}^2 \quad [170]$$

•

$$\frac{\theta}{t} = \frac{V_s}{V_o} \quad [171]$$

- Luego se calcula el tiempo que demora la partícula en llegar al fondo, según López Cualla⁷⁰

$$t = \frac{H}{V_s} \quad [172]$$

- Al despejar la ecuación (171) se obtiene el periodo de retención hidráulico:

$$\theta = \frac{\theta}{t} \times t \quad [173]$$

Este periodo debe estar entre (0,5 y 4) horas

- A hora se calcula las dimensiones del tanque (López Cualla⁷¹), así:

$$\text{Volt} = \theta \times Q \quad [174]$$

$$\text{Asf} = \frac{\text{Volt}}{H} \quad [175]$$

$$B = \sqrt{\frac{\text{Asf}}{L}} \quad [176]$$

$$L = L \times B \quad [177]$$

- Según López Cualla⁷², la carga superficial (q) es igual a la velocidad de sedimentación de la partícula crítica (V_o).

⁷⁰ Ibid., p. 193.

⁷¹ Ibid., p. 193.

⁷² Ibid., 546. P.

$$q = \frac{Q}{A_{sf}} \times 86400 = V_o \quad [178]$$

Y esta debe estar entre 15 y 80 m³/m² .dia

Se pasa a cm:

$$V_o = q \times 100 \quad [179]$$

- Luego se calcula con esta velocidad (Vo) y las condiciones establecidas del agua en diámetro el cual debe ser menor al diámetro de las partículas en suspensión de lo contrario es necesario rediseñar el desarenador, este diámetro de comparación se calcula mediante la siguiente expresión.

$$d_o = \sqrt{\frac{V_o \times 18 \times \mu}{g \times (P_s - P)}} \quad [180]$$

- Se calcula la velocidad horizontal (Vh) y la velocidad horizontal máxima (Vhmax)

$$V_h = \frac{V_o \times L}{H} \quad [181]$$

$$V_{hmax} = 20V_s$$

Aquí la velocidad horizontal debe ser menor que la velocidad máxima horizontal.

- Según las recomendaciones hechas por López Cualla⁷³ la relación $\frac{V_h}{V_o}$ debe estar dentro del rango (9-15) de lo contrario se debe rediseñar.
- Se determinan los valores de las constantes “K” y “F” de las tablas correspondientes y se calcula la velocidad de resuspensión, la cual debe ser mayor que la velocidad horizontal Vh.
- Ahora es necesario revisar el diseño para las condiciones de operación y las condiciones de emergencia, esto se refiere al diseño en el año inicial de proyección (To) y al diseño en condiciones de operación, o sea para el caudal Qe, el cual se calcula así:

⁷³ Ibid., 546. P.

$$Q_e = \left(\frac{Q_{maxd}(J) \times 0,5}{100} \right) + Q_{maxd}(J) \quad [182]$$

- Se utilizan las ecuaciones para determinar las cargas hidráulicas (q_i) y (q_e) y los periodos de retención hidráulica (θ_i) y (θ_e) respectivamente verificando el diseño por medio de los rangos:

$$15 < q \leq 80 \quad \text{y} \quad 0,5 \leq \theta \leq 4$$

Según López Cualla⁷⁴

- Ahora se calcula la altura de la lámina de agua sobre el vertedero de salida (H_v) y su velocidad (V_v)

$$H_v = \left(\frac{Q}{1,84 B} \right)^{2/3} \quad [183]$$

$$V_v = \frac{Q}{B H_v} \quad [184]$$

La velocidad sobre el vertedero debe ser mayor o igual a 0,3 m/s de no ser así se debe rediseñar.

- Según la formula del alcance horizontal de la vena vertiente:

$$X_s = 0,36 (V_v)^{2/3} + 0,60 (H_v)^{4/7} \quad [185]$$

El largo de la cámara de salida es L_{cs} , teniendo en cuenta 0,10 cm libres es:

$$L_{cs} = X_s + 0,10$$

✓ Metodología de diseño de cálculo de los elementos del desarenador

Según Lopez Cualla⁷⁵

se diseña los elementos del desarenador de la siguiente forma:

- La profundidad tanto de la pantalla de entrada como la de salida debe ser de:

⁷⁴ Ibid., p. 195

⁷⁵ Ibid., 546 p.

$$H/2 = HPS \text{ y } HPe$$

- La distancia entre la cámara de quietamiento hasta la pantalla de entrada es:

$$Lca = \frac{L}{4}$$

- La relación entre la longitud y la profundidad de lodos debe ser igual a 10
- La profundidad de los lodos max (P_{fmax}) es:

$$P_{fmax} = \frac{L}{10}$$

- Según López Cualla la profundidad de los lodos max (P_{fmax}) debe ser menor o igual a 1,50 mts.
- Ahora el usuario debe adoptar una profundidad de lodos máxima y una mínima, teniendo en cuenta que la máxima adoptada sea menor que 1,50 mts y mayor que la profundidad mínima adoptada (P_{fmina}) y que esta (P_{fmina}) a su vez sea mayor o igual a 0,75.
- La distancia, desde el punto de salida de lodos hasta la cámara de quietamiento debe ser:

$$Lpslc = \frac{L}{3}$$

- La distancia desde el punto de salida de lodos hasta el vertedero de salida debe ser:

$$Lpslv = 2\frac{L}{3}$$

- La pendiente transversal del desarenador se calcula así:

$$Ptr = \frac{P_{fmaxa} - P_{fmina}}{B}$$

- La pendiente longitudinal en una longitud de L/3 en el desarenador:

$$PL_{L/3} = \frac{P_{fmaxa} - P_{fmina}}{Lpslc}$$

- La pendiente en 2 L/3 en el desarenador es:

$$PL2L/3 = \frac{Pfmaxa - Pfmina}{Lpslv}$$

- PL L/3 y PL 2L/3 deben estar dentro del rango (5% - 8%) Para permitir la fácil circulación de los lodos hacia la tubería de desagüe.

Según Lopez Cualla⁷⁶

se diseña la cámara de aquietamiento así:

- La profundidad de la cámara de aquietamiento es:

$$Hca = \frac{H}{3}$$

- El ancho de la cámara de aquietamiento:

$$Bca = \frac{B}{3}$$

- La longitud de la cámara de aquietamiento (Lca) debe ser ingresada por el usuario de una manera coherente. Con esto se calcula la altura de la cámara de agua en el vertedero de excesos (Hlca) y la velocidad (Ve):

$$Hlca = \left(\frac{Qexcesos}{1,84 Lca} \right)^{2/3}$$

$$Ve = \frac{Qexcesos}{Hlca * Lca}$$

La velocidad (Ve) debe ser mayor e igual a 0,3 m/s de no ser así el usuario debe ingresar nuevamente la longitud (Lca).

- Según la fórmula del alcance horizontal de la vena vertiente se halla la longitud de la cámara de rebose (Lcr1):

$$Xs = 0,36(Ve)^{2/3} + 0,60(Hlca)^{4/7}$$

⁷⁶ Ibid., p. 141.

$$Lcr1 = Xs + 0,10$$

- También se halla la longitud de la cámara de rebose(Lcr2) pero esta vez determinada por el ancho B:

$$Lcr2 = \frac{B - Bca}{2}$$

- Por último el usuario debe escoger la longitud de la cámara que desee entre las dos opciones anteriores.

✓ Metodología de diseño del perfil hidráulico en el desarenador

- Se calcula perdidas en cámara de aquietamiento
- Se igualan la velocidad de aducción (V) y la velocidad en la entrada de la cámara de aquietamiento (V1)

$$V1 = V$$
- La constante de pérdidas (K1) en la pantalla de entrada al desarenador se trabaja con valor de 0,2.

Según Lopez Cualla⁷⁷

- Se calcula la velocidad en la entrada a la cámara de aquietamiento para el caudal de operación en condición de emergencia y el ancho de la cámara (Bca) así:

$$V2 = \frac{Qe}{Bca * Hca}$$

- Se calcula las perdidas en la entrada a la cámara de aquietamiento por medio de la siguiente expresión.

$$hmc = K1 * \left[\frac{(V1)^2 - (V2)^2}{2 * 9,81} \right] \quad [186]$$

- Se calcula perdidas en zona de sedimentación:

⁷⁷ Ibid., p. 141.

- Se calcula la velocidad en la zona de sedimentación (V3) para el caudal (Qe) y el ancho (B) del desarenador.

$$V3 = \frac{Qe}{Pfmaxa * B} \quad [187]$$

- Se calculan las perdidas en esta zona así:

$$hms = 0,1 * \left[\left(\frac{(V2)^2 - (Vs)^2}{2 * 9,81} \right) \right] \quad [188]$$

- Se calcula las pérdidas producidas por las pantallas inicial y final las cuales se calculan como las pérdidas de un orificio sumergido de grandes dimensiones.

$$Aa = B * (HPs - Hv) \quad [189]$$

$Coep = 0,6$

- Las pérdidas producidas en las pantallas inicial y final son:

$$Hif = \left(\frac{1}{2g} \right) * \left(\frac{Qe}{Coep * Ao} \right)^2 \quad [190]$$

- Calculo de los diámetros de la tubería de excesos y lavado:

El usuario debe ingresar los siguientes datos:

- La cota de entrega del desagüe del lavado (Cotdl) y esta información dependen del perfil del terreno en el sitio escogido.
- La longitud total de la tubería de desagüe (Ltd).
- El tipo de tubería (RDE)
- El usuario escoge el material deseado para la tubería.
- Ahora con el material el algoritmo entra a la tabla de coeficientes de rugosidad de Hazen Williams en donde el usuario al escoger el material se determina el coeficiente (c).
- El diámetro de la tubería de desagüe siempre será de 6" debido a la magnitud de los caudales.
- Se suma las perdidas calculadas anteriormente, esa sumatoria se llama (htm), perdidas totales.
- Ahora se calcula la cota de la lamina de agua sobre la tubería, (Cotlast) y la altura disponible (hd) así:

$$Cotlast = cotla - hmt$$

$$hd = Cotlast - cotdl$$

- El usuario debe escoger los accesorios que necesita para la tubería de desagüe, las longitudes equivalentes de los accesorios necesitados se acumulan en la variable (Suacd), y se calculan de acuerdo a las ecuaciones (116 a 134)
- Luego se determina la longitud equivalente total sumando la longitud de la tubería de desagüe (Ltd).

$$L.Et = Suacd + Ltd$$

- Se calcula la pérdida de carga (J):

$$J = \frac{Hd}{L.Et} \quad [191]$$

- Se calcula el caudal inicial de desagüe "Lopez Cualla"⁷⁸ y la velocidad de desagüe (Vd) así:

$$Q_{inicial} = 0,2785 * C * Dd^{2,63} * J^{0,54} \quad [192]$$

$$Vd = \frac{Q_{inicial} * 4}{\pi(Dd)^2} \quad [193]$$

- La velocidad de desagüe debe ser mayor que la mínima 0,6m/s
- Se calcula la altura producida por la velocidad (Vd):

$$hvd = \frac{(Vd)^2}{2g} \quad [194]$$

Según Lopez Cualla⁷⁹

- Se calcula el coeficiente de descarga del tanque:

$$Coet = \frac{Q_{inicial}}{\frac{\pi * (Dd)^2}{4} * \sqrt{2g * (Pfmaxa + H)}} \quad [195]$$

⁷⁸ Ibid., p. 199

⁷⁹ Ibid., p. 199

- Ahora, se calcula el tiempo de velocidad del tanque desarenador:

$$t_{vaciado} = \frac{2 \cdot A_s f}{C_{0.05} \cdot \left(\frac{\pi \cdot (Dd)^2}{4} \right) \cdot \sqrt{2g}} * hd^{1/2} \quad [196]$$

Y este tiempo debe ser expresado en minutos.

- Por último teniendo en cuenta la altura de la lámina de agua y las pérdidas en los diferentes puntos del desarenador se calculan las cotas de diseño.

7.6.4 Ejemplo de cálculo

✓ Condiciones de la tubería de entrada

$Q = 0,032\text{m}^3/\text{s}$	$Q_0 = 0,051\text{m}^3/\text{s}$
$V = 1,43\text{m}/\text{s}$	$V_0 = 1,56\text{m}/\text{s}$
$D = 8''(0,203\text{m})$	$d = 0,13\text{m}$

✓ Condiciones de diseño del desarenador.

- Periodo de diseño = 20 años
- Número de módulos = 2
- Caudal medio diario (año 2023) = 22,7L/s
- Caudal máximo diario (año 2023) = 29,6L/s
- Caudal medio diario (año 2003) = 16,5L/s
- Requerimiento de agua en la planta de purificación = 1,1L/s (ver caudal de diseño de la bocatoma de fondo)
- Remoción de partículas de diámetro: $d = 0,05\text{mm}$
- Porcentaje de remoción = 75
- Temperatura = 15°C
- Viscosidad cinemática = $0,01059\text{m}^2/\text{s}$
- Grado del desarenador: $n = 1$ (sin deflector)
- Relación longitud: ancho = 4:1
- Cota de la lamina en la tubería de entrada del desarenador = 98,87m
- Cota de la batea en la tubería a la entrada del desarenador = 98,74m
- Cota de la corona de muros = 99,17m
- Peso específico de las partículas $2,65\text{ gr}/\text{cm}^3$
- Peso específico del agua $1,00\text{ gr}/\text{cm}^3$

Cálculo de los parámetros de sedimentación.

Velocidad de sedimentación de la partícula

$$V_s = \frac{g}{18} \frac{\rho_s - \rho}{\mu} d^2 = \frac{981}{18} \times \frac{2,65 - 1,00}{0,01059} \times 0,005^2 = 0,212 \text{ cm/s}$$

Se obtiene para $n = 1$ y remoción del 75%:

$$\frac{\theta}{t} = 3,0$$

Suponiendo la profundidad útil de sedimentación, H , igual a 1,5m, el tiempo que tardaría la partícula de diámetro igual a 0,05mm en llegar al fondo sería:

$$t = \frac{H}{V_s} = \frac{150}{0,212} = 707 \text{ seg}$$

y el periodo de retención hidráulico será de:

$$\theta = 3,0 \times t = 3,0 \times 707 = 2120 \text{ seg} = 0,59 \text{ horas} (0,5 \text{ hr} \leq \theta \leq 4 \text{ hr})$$

El volumen del tanque será, por consiguiente:

$$V = \theta \times Q = 2.120 \times 0,0227 = 48,21 \text{ m}^3$$

El área superficial del tanque es:

$$A_s = \frac{V}{H} = \frac{48,21}{1,50} = 32,14 \text{ m}^2$$

De donde las dimensiones del tanque serán para $L:B = 4:1$:

$$B = \sqrt{\frac{A_s}{4}} = \sqrt{\frac{32,14}{4}} = 2,83 \text{ m}$$

La carga hidráulica superficial para este tanque será de:

$$q = \frac{Q}{A_s} = \frac{0,0227}{32,14} = 0,00070763 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{s} = 61,14 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$$

Valor que se encuentra comprendido entre 15 y 80 $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$

Como se demostró anteriormente, la carga hidráulica superficial es igual a la velocidad de sedimentación de la partícula crítica en condiciones teóricas, V_0 , la cual debe corresponder a la de un diámetro menor:

$$V_0 = q = 0,00070763 \text{ m/s} = 0,071 \text{ cm/s}$$

$$d_0 = \sqrt{\frac{V_0 \times 18 \times \mu}{g \times (\rho_s - \rho)}} = \sqrt{\frac{0,071 \times 18 \times 0,01059}{981 \times 1,65}} = 0,00289 \text{ cm} = 0,03 \text{ mm}$$

También se demostró anteriormente que la relación de tiempos es igual a la relación de velocidades, es decir:

$$\frac{\theta}{t} = \frac{V_s}{V_0} = \frac{0,212}{0,071} \cong 3,0$$

En resumen, en las condiciones teóricas, se removerían partículas hasta un diámetro igual a 0,03mm, pero al tener en consideración las condiciones reales (flujo no uniforme, corrientes de densidad, cortocircuitos, zonas muertas, velocidad horizontal variable), el diámetro máximo posible de ser removido se aumenta a 0,05mm.

La velocidad horizontal será:

$$V_h = \frac{Q}{W} \cong \frac{v_o L}{H}$$

$$V_h = \frac{0,0227}{1,5 \times 2,83} \times 100 \cong \frac{0,071 \times 11,34}{1,5} \cong 0,535 \text{ cm/s}$$

La velocidad horizontal máxima es:

$$V_{h \text{ máx}} = 20V_s = 20 \times 0,212 = 4,25 \text{ cm/s}$$

y la velocidad de resuspensión máxima es:

$$V_r = \sqrt{\frac{8k}{f} g(\rho_s - \rho)d} = \sqrt{\frac{8 \times 0,04}{0,03} \times 981 \times 1,65 \times 0,05} = 293 \text{ cm/s}$$

✓ **Condiciones de operación de los módulos**

- Operación inicial en el año 2003:

Caudal de operación = caudal medio diario de 2003 = 16,5L/s

$$\theta = \frac{V}{Q} = \frac{48,21}{0,0165} = 0,81\text{hr} \quad (0,5\text{hr} \leq \theta \leq 4\text{hr})$$

$$q = \frac{Q}{A_s} = \frac{0,0165}{32,14} \times 86.400 = 44,4\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d} \quad (15\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d} \leq q \leq 80\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d})$$

- Uno de los módulos sale de operación por emergencia o mantenimiento, condición en la que se debe garantizar que a la planta de purificación llegue el caudal máximo diario del año 2023 más el consumo de la planta de purificación:

Caudal de operación = 29,6 + 1,1 = 30,7L/s

$$\theta = \frac{V}{Q} = \frac{48,21}{0,0307} = 0,44\text{hr} \quad (\theta < 0,5\text{hr})$$

$$q = \frac{Q}{A_s} = \frac{0,0307}{32,14} \times 86.400 = 82,5\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d} \quad q > 80\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$$

En esta condición temporal, es posible que se presente una disminución en la eficiencia del desarenado.

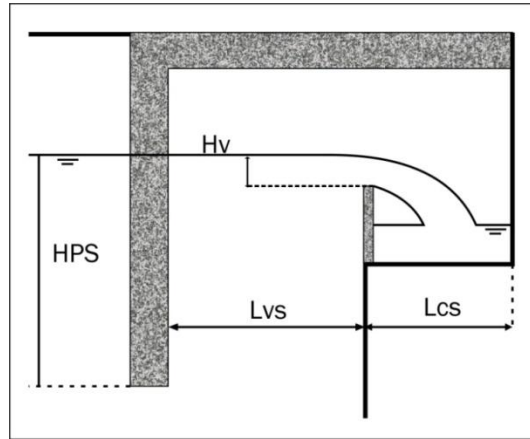
✓ Cálculo de los elementos del desarenador.

a) Vertedero de salida

$$H_v = \left(\frac{Q}{1,84B} \right)^{\frac{2}{3}} = \left(\frac{0,0227}{1,84 \times 2,83} \right)^{\frac{2}{3}} = 0,027\text{m}$$

$$V_v = \frac{Q}{BH_v} = \frac{0,0227}{2,83 \times 0,027} = 0,30\text{m/s}$$

Figura 161. Vertedero de salida



Fuente: LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueducto y alcantarillados. Editorial escuela colombiana de ingeniería, 546 pag. 2ed.

La velocidad sobre la cresta del vertedero debe ser, en teoría, mayor de 0,3m/s para poder aplicar en rigor la ecuación del alcance horizontal de la vena vertiente.

$$X_s 0,36(V_v)^{\frac{2}{3}} + 0,60(H_v)^{\frac{4}{7}} = 0,36 \times (0,30)^{\frac{2}{3}} + 0,60 \times (0,027)^{\frac{4}{7}}$$

$$X_s = 0,24m \quad \Rightarrow \quad L_v = 0,35m$$

b) Pantalla de salida

Profundidad = $H/2 = 0,75m$

Distancia al vertedero de salida = $15H_v = 0,40m$

c) Pantalla de entrada

Profundidad = $H/2 = 0,75m$

Distancia a la cámara de quietamiento = $L/4 = 2,84m$

d) Almacenamiento de lodos

Relación longitud: prof. Lodos = 10

Profundidad máxima = $11,34/10 = 1,13$

Profundidad máxima adoptada = 1,00m

Profundidad mínima adoptada = 0,80m

Dist. Pto de salida a la cámara de quietamiento = $L/3 = 3,78m$

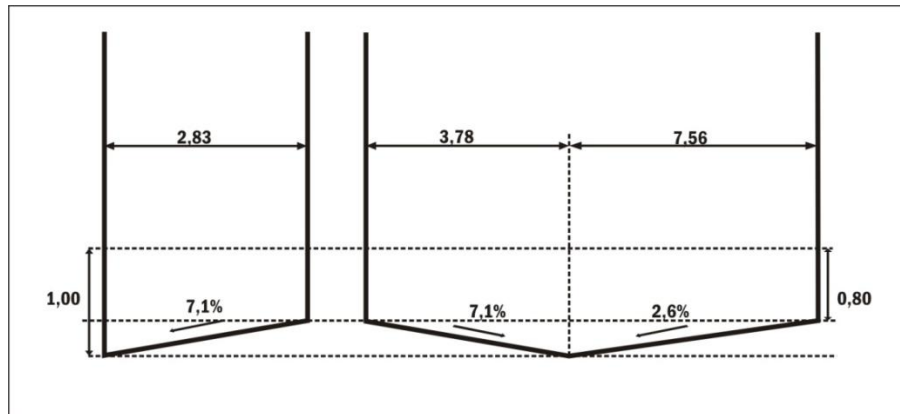
Dist. Pto de salida al vertedero salida = $2L/3 = 7,56m$

Pendiente transversal = $(1,0 - 0,8)/2,83 = 7,1\%$

Pendiente longitudinal (en L/3) = $0,2/3,78 = 5,3\%$

Pendiente longitudinal (en $2L/3$) = $0,2/7,56 = 2,6\%$

Figura 162. Pendientes longitudinal y transversal del desarenador



Fuente: LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueducto y alcantarillados. Editorial escuela colombiana de ingeniería, 546 pag. 2ed.

e) Cámara de aquietamiento

Profundidad = $H/3 = 0,50\text{m}$

Ancho = $B/3 = 0,94\text{m}$

Largo (adoptado) = $1,00\text{m}$

f) Rebose de la cámara de aquietamiento

$$Q_{\text{excesos}} = Q_0 - Q = 0,051 - 0,032 = 0,019\text{m}^3/\text{s}$$

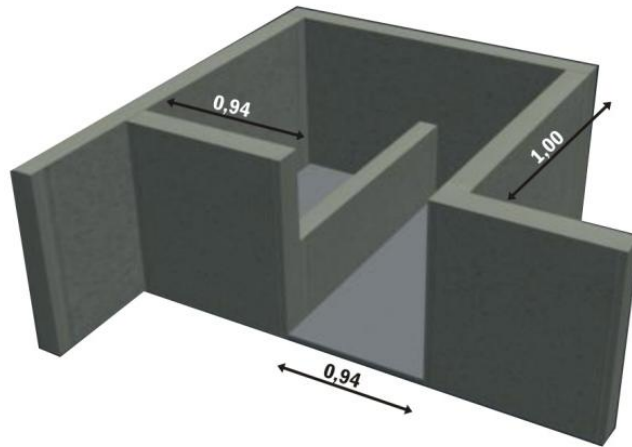
$$H_e = \left(\frac{Q_{\text{excesos}}}{1,84L_e} \right)^{\frac{2}{3}} = \left(\frac{0,019}{1,84 \times 1,0} \right)^{\frac{2}{3}} = 0,05\text{m}$$

$$V_e = \frac{Q_{\text{excesos}}}{H_e L_e} = \frac{0,019}{0,05 \times 1,0} = 0,40\text{m/s}$$

$$X_s = 0,36 \times \left(0,40 \right)^{\frac{2}{3}} + 0,60 \times (0,05)^{\frac{4}{7}} = 0,30\text{m}$$

$$\left. \begin{array}{l} L_r = 0,40\text{m} \\ B - \text{ancho} \\ \frac{\quad}{2} = 0,94\text{m} \end{array} \right\} \text{ se adopta } 0,94\text{m}$$

Figura 163. Cámara de quietamiento



✓ **Perfil hidráulico.**

El perfil hidráulico se establece para las condiciones de funcionamiento con un módulo que trabaja con el caudal máximo diario más las necesidades de la planta de purificación, es decir, con un caudal igual a 31L/s.

Se deben tener en consideración las pérdidas por ampliación de sección y por el paso por debajo de las pantallas.

a) Pérdidas a la entrada de la cámara de quietamiento.

Tomando $k = 0,2$ debido a la disminución de velocidad,

$$h_m = k \Delta \frac{V^2}{2g}$$

$$V_1 \approx 1,43 \text{ m/s}$$

$$V_2 = \frac{0,031}{0,94 \times 0,5} = 0,07 \text{ m/s}$$

$$h_m = 0,2 \times \left[\frac{(1,43)^2 - (0,07)^2}{2 \times 9,81} \right] = 0,02 \text{ m}$$

b) Pérdidas a la entrada de la zona de sedimentación

$$V_1 = 0,07 \text{ m/s}$$

$$V_2 = V_h = 0,01 \text{ m/s}$$

$$h_m = 0,1 \times \left[\frac{(0,07)^2 - (0,01)^2}{2 \times 9,81} \right] = 0,00 \text{ m}$$

c) Pérdidas por las pantallas inicial y final

Éstas se calcularían como las pérdidas de un orificio sumergido de grandes dimensiones.

$$Q = C_d A_o \sqrt{2gH}$$

$$A_o = 2,83 \times 0,72 = 2,12 \text{ m}^2$$

$$H = \left(\frac{1}{2 \times 9,81} \right) \times \left(\frac{0,031}{0,6 \times 2,12} \right)^2 = 0,00 \text{ m}$$

✓ **Cálculo de los diámetros de la tubería de excesos y lavado.**

a) Tubería de excesos

Debido a la magnitud de los caudales, esta tubería resulta siempre en un diámetro mínimo, igual a 6''.

b) Tubería de lavado

Además del funcionamiento hidráulico de esta tubería, un criterio importante para la selección del diámetro es el tiempo de vaciado del tanque:

- Cota de entrega del desagüe de lavado = 95,05
- (Valor supuesto. Debe corresponder a la cota de descarga según el perfil de aducción)
- Cota de lámina de agua sobre la tubería = cota de la lámina de agua a la entrada – pérdidas = 98,87 – 0,02 = 98,85
- Suponiendo el diámetro nominal = $D = 6'' = 0,168 \text{ m}$
- Tubería PVC RDE – 41, $C = 150$
- Diámetro real = 160mm

- Longitud de conducción = 70m
- (Valor supuesto. Debe corresponder a la longitud según el perfil de aducción).
- Altura disponible = 98,85 – 95,05 = 3,80m
- Pérdidas en la conducción (en longitud equivalente):

Entrada normal:	2,50m
Válvula de compuerta:	1,10m
Codo radio corto:	4,90m
Te cambio dirección:	10,00m
Salida:	5,00m
Tubería:	<u>70,00m</u>
L.E. total:	<u>93,50m</u>

$$J = \frac{H}{L.E.} = \frac{3,80}{93,5} = 0,04067 \text{ m/m}$$

$$Q_{\text{inicial}} = 0,2785 C_D^{2,63} J^{0,54} = 0,2785 \times 150 \times (0,160)^{2,63} \times (0,04067)^{0,54} = 0,060 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V = \frac{0,060 \times 4}{\pi \times (0,160)^2} = 2,97 \text{ m/s} \quad \Rightarrow \quad \left(\frac{V^2}{2g} \right)_{\text{inicial}} = \frac{2,97^2}{2 \times 9,81} = 0,45 \text{ m}$$

El tiempo de vaciado se determina a partir de la ecuación de descarga de un orificio. El coeficiente de descarga del tanque, teniendo en cuenta la tubería de desagüe, será:

$$C_d = \frac{Q}{A_o \sqrt{2gH}} = \frac{0,064}{\frac{\pi \times (0,160)^2}{4} \times \sqrt{2 \times 9,81 \times (1,50 + 1,00)}} = 0,42$$

$$Q = \frac{dV}{dt} = C_d A_o \sqrt{2gH}$$

$$\frac{A_s dh}{dt} = C_d A_o \sqrt{2g} h^{\frac{1}{2}}$$

$$dt = \frac{A_s}{C_d A_o \sqrt{2g}} h^{-\frac{1}{2}} dh \quad \Rightarrow \quad t = \frac{2A_s}{C_d A_o \sqrt{2g}} H^{\frac{1}{2}}$$

$$t_{\text{vaciado}} = \frac{2 \times 32,14}{0,42 \times \frac{\pi \times (0,160)^2}{4} \times \sqrt{2 \times 9,81}} \times (3,80)^{\frac{1}{2}} = 3.312 \text{seg} = 55,2 \text{min}$$

Cálculo de cotas

Cota de batea de la tubería de entrada:	= 98,74
Cota lámina de agua en tubería de entrada:]	= 98,74 + 0,13 = 98,87
Cota lámina de agua en cámara de aquietamiento:	= 98,87 – 0,02 = 98,85
Cota de la Cresta del vertedero cámara de aquiet.:	= 98,85 – 0,05 = 98,80
Cota fondo de la cámara de aquietamiento:	= 98,85 – 0,50 = 98,35
Cota lámina de agua en zona de sedimentación:	= 98,85 – 0,00 = 98,85
Cota de la corona de los muros del desarenador:	= 98,87 + 0,30 = 99,17
Cota inferior de pantallas de entrada y salida:	= 98,85 – 0,75 = 98,10
Cota del fondo de profundidad útil de sediment.:	= 98,85 – 1,50 = 97,35
Cota placa fondo a la entrada y salida del desa.:	= 97,35 – 0,80 = 96,55
Cota placa fondo en punto de desagüe:	= 97,35 – 1,00 = 96,35
Cota de batea de la tubería de lavado:	= 96,35
Cota clave de la tubería de lavado:	= 96,35 + 0,20 = 96,55
Cota cresta del vertedero de salida:	= 98,85 – 0,03 = 98,82
Cota lámina de agua de la cámara de recolección:	= 98,82 – 0,15 = 98,67
Cota fondo de la cámara de recolección (supuesta):	= 98,67 – 0,30 = 98,37

Fuente: LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueducto y alcantarillados. 2 ed. Editorial escuela colombiana de ingeniería, 2007. 546 p.

7.6.5 DIAGRAMA DE FLUJO

En las figuras 166 y 167, se indica el diagrama de flujo, periodo de diseño y determinación del diámetro del material en suspensión.

En las figuras 168, 169, 170, 171, se indica el diagrama de flujo, dimensionamiento del desarenador.

En las figuras 172 y 173, se indica el diagrama de flujo, cálculo de los elementos del desarenador.

En las figuras 174 y 175, se indica el diagrama de flujo, perfil hidráulico.

Listado de Variables de periodo de diseño y determinación del diámetro del material en suspensión

dPar = Diámetro de las partículas en suspensión

H = Profundidad útil de sedimentación

PD = Periodo de diseño del desarenador

To = Año inicial de proyección

L = Longitud del desarenador

B = Ancho

Listado de variables de dimensionamiento del desarenador

μ = Viscosidad cinemática

P = Peso específico del agua o densidad, hay que ver si es 8 o P

Ps = Peso específico o gravedad específica de las partículas del suelo

nd = Grado del desarenador

θ = Periodo de retención hidráulica

Vs = Velocidad de sedimentación

t = Tiempo que tarda la partícula en llegar al fondo

%R = Porcentaje de remoción

Volt = Volumen del tanque

Asf = Área superficial

q = Carga hidráulica superficial

Vo = Velocidad de sedimentación crítica en condiciones teóricas

Vhmax = Velocidad horizontal máxima

V_h = Velocidad horizontal
V_r = Velocidad de arrastre de las partículas
d_o = Diámetro menor de comparación
θ_i = Periodo de retención hidráulico en el año inicial de proyección
q_i = Carga hidráulica superficial en el año inicial de proyección
θ_e = Periodo de retención hidráulico en condiciones de emergencia para el año de proyección
Q_e = Caudal de operación en condición de emergencia
q_e = Carga hidráulica en caso de emergencia para el año de proyección
H_v = Altura de la lámina de agua sobre el vertedero de salida
V_v = Velocidad del agua sobre el vertedero de salida
X_s = Alcance horizontal de la vena vertiente
L_{cs} = Largo de la cámara de salida

Listado de variables de cálculo de los elementos del desarenador

H_{ps} = Profundidad de la pantalla de salida
L_{vs} = Distancia desde la pantalla hasta el vertedero de salida
H_{Pe} = Profundidad de la pantalla de entrada
L_{cap} = Longitud desde la cámara de quietamiento hasta la pantalla de entrada
RPL = Relación entre la longitud y la profundidad de lodos
PF_{max} = Profundidad de lodos máxima
Pf_{maxa} = Profundidad de lodos máxima adoptada
Pf_{mina} = Profundidad de lodos mínima adoptada
L_{PSLC} = Distancia desde el punto de salida de lados hasta la cámara de quietamiento
L_{PSLV} = Distancia desde el punto de salida de lados hasta el vertedero de salida
PL^{L/3} = Pendiente longitudinal en $\frac{L}{3}$ del desarenador
PL^{2L/3} = Pendiente longitudinal en $2\frac{L}{3}$ del desarenador
P_{tr} = Pendiente transversal
L = Longitud del desarenador
H_{ca} = Profundidad cámara de quietamiento
B_{ca} = Ancho de la cámara de quietamiento
L_{ca} = Longitud de la cámara de quietamiento
H_{lca} = Altura de la lámina de agua sobre el vertedero de excesos de la cámara de quietamiento

Ve = Velocidad del agua sobre el vertedero de excesos de la cámara de
aquietamiento
Xs = Alcance horizontal
Lcr = Longitud de la cámara de rebose
Lcr1 = Longitud de la cámara de rebose determinado por el alcance horizontal
Lcr2 = Longitud de la cámara de rebose determinada por el ancho B

Listado de variables de perfil hidráulico en el desarenador

K1 = Constante de reducción de pérdidas producida por la pantalla de entrada al
desarenador
V = Velocidad de diseño de la aducción
V1 = Velocidad en la entrada de la cámara de quietamiento tomada de la
velocidad de diseño de la aducción.
V2 = Velocidad en la entrada de la cámara de quietamiento calculada con las
dimensiones de esta y para el caudal Q_e .
hmc = Pérdidas en la entrada a la cámara de quietamiento tomadas en m.
V3 = Velocidad en la entrada de la zona de sedimentación
Qe = Caudal de operación en condición de emergencia
hms = Pérdidas a la entrada de la zona de sedimentación
Coep = Coeficiente de descarga para las pantallas inicial y final igual a 0,6
Ao = Área del orificio sumergido
Hif = Pérdidas por las pantallas inicial y final
Cotdl = Cota de entrega del desagüe de lavado
Cotlast = Cota de la lámina de agua sobre la tubería
Ltd = Longitud de la tubería de desagüe
Dd = Diámetro de la tubería de desagüe
hd = Altura disponible
L.Et = Longitud equivalente total
matd = Material de la tubería de lavado de excesos en el desarenador
RDE = Tipo de tubería
Suacd = Sumatoria de las longitudes equivalentes
Laccd (I) = Longitud equivalente del accesorio (I)
accd = Accesorios en la tubería de desagüe en el desarenador
C = Coeficiente de Hazen Williams
hmt = Perdidas totales
J = Perdida de carga en la conducción
Qinicial = Caudal de desagüe inicial

- Vd** = Velocidad en la tubería de desagüe
- hVd** = Altura producida por la velocidad (Vd)
- Coet** = Coeficiente de descarga del tanque
- tvaciado** = Tiempo de vaciado del tanque desarenador
- Hp** = Perdidas supuestas en la aducción desde la bocatoma al desarenador
- Cotd** = Cota batea a la llegada al desarenador
- Cotla** = Cota lámina de agua en la tubería de entrada
- Cotlaca** = Cota lámina de agua en la cámara de quietamiento
- Cotcvc** = Cota de la cresta del vertedero cámara de quietamiento
- Cotfc** = Cota fondo de la cámara de quietamiento
- Cotlas** = Cota lámina de agua en zona de sedimentación
- Cotmd** = Cota de la corona de los muros del desarenador
- Cotip** = Cota inferior de pantallas de entrada y salida
- Cotfpu** = Cota del fondo de profundidad útil del sedimentador
- CPFesd** = Cota placa de fondo a la entrada y salida del desarenador
- Cpfpd** = Cota placa de fondo en punto de desagüe
- Cotbti** = Cota batea de la tubería de lavado
- Cotctl** = Cota clave de la tubería de lavado
- Cotcvs** = Cota cresta del vertedero de salida
- Cotlacr** = Cota lámina de agua en la cámara de recolección
- Cotfcr** = Cota fondo de la cámara de recolección

Figura 166. Periodo de diseño y determinación del diámetro en suspensión

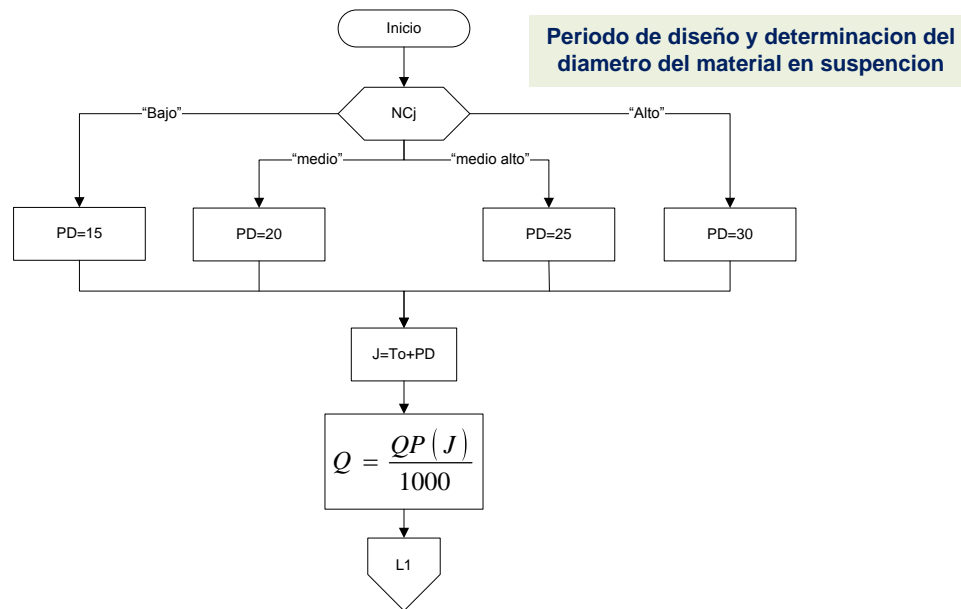


Figura 167. Periodo de diseño y determinación del diámetro en suspensión

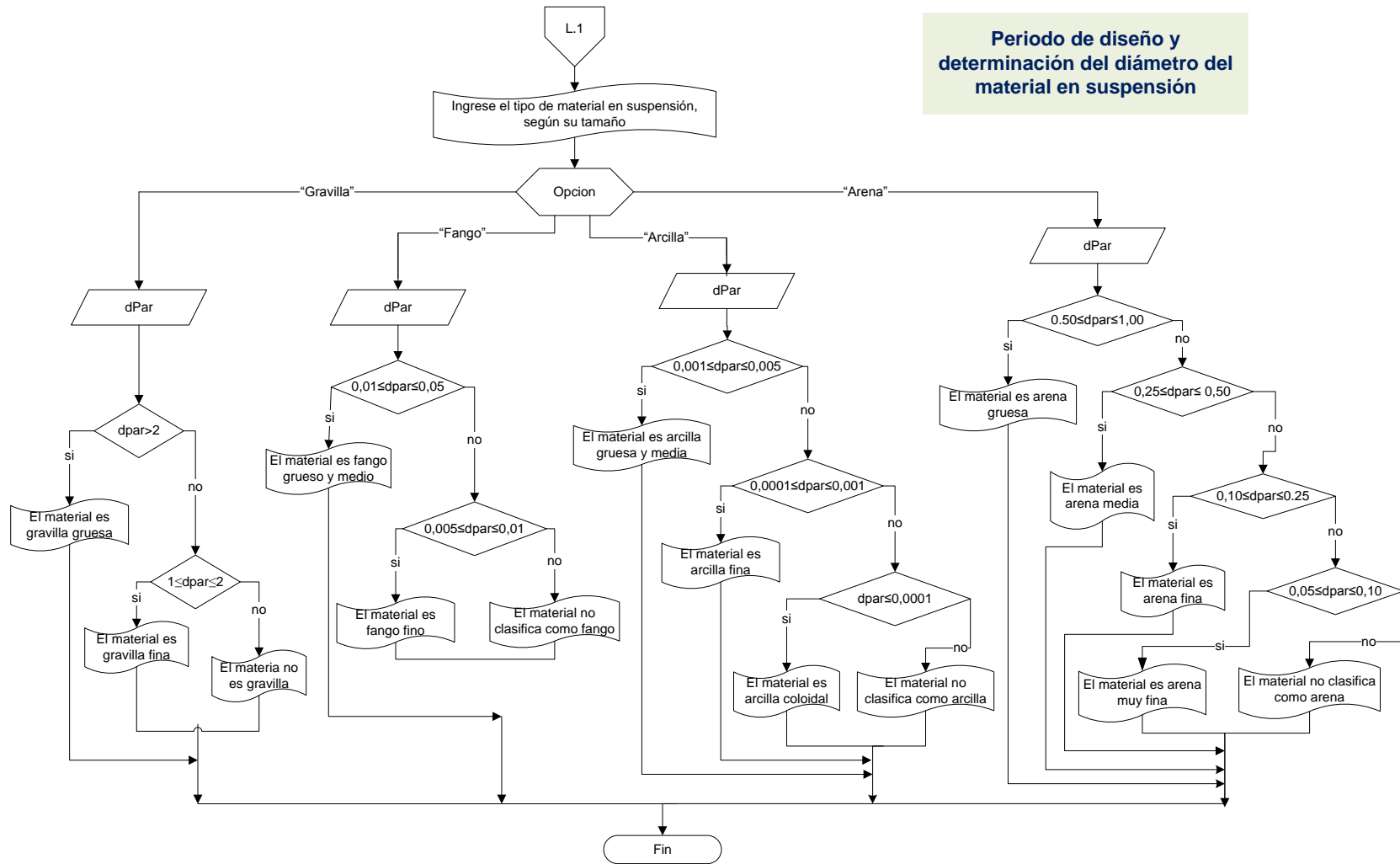


Figura 168. Dimensionamiento del desarenador

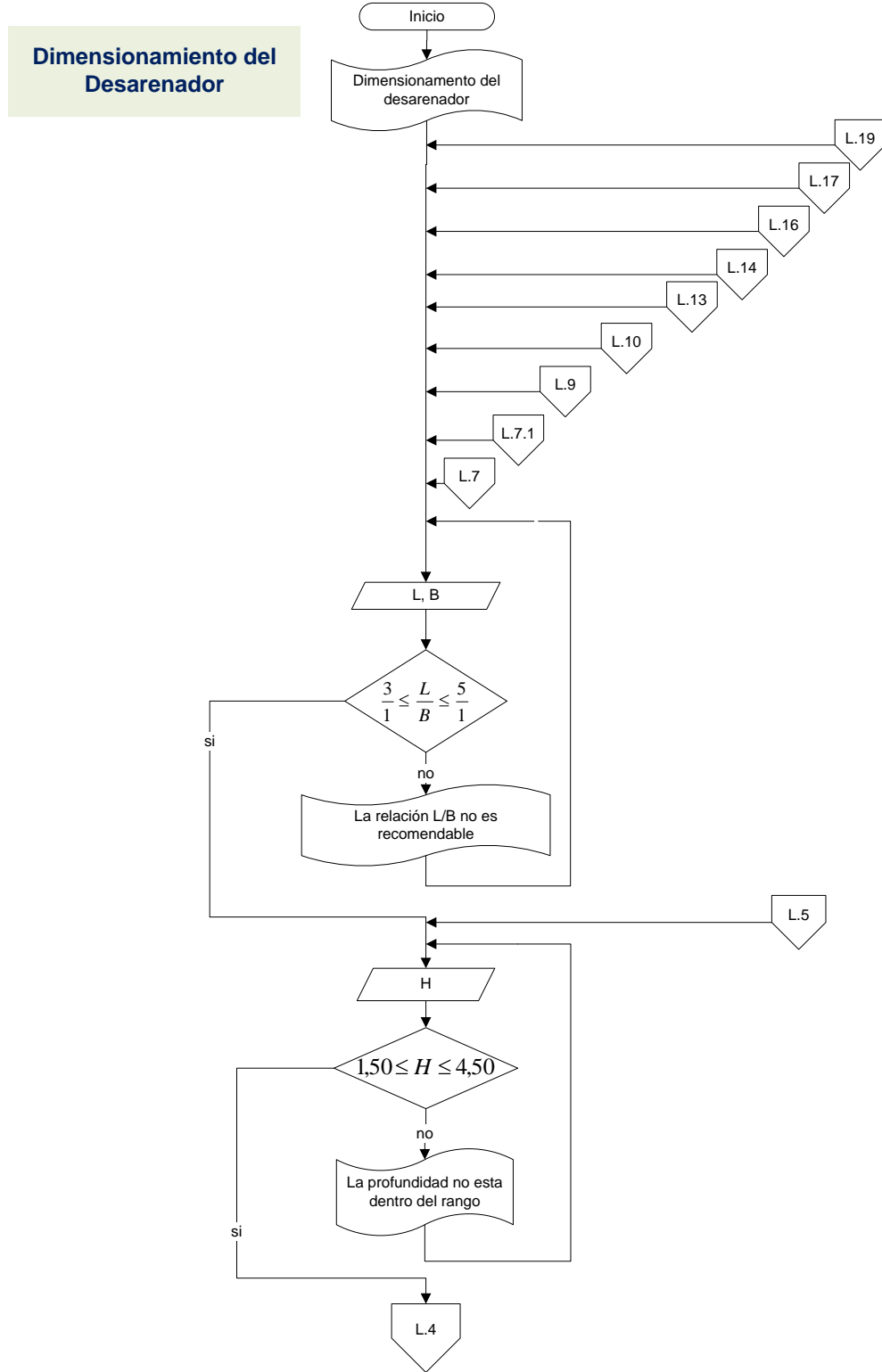


Figura 169. Dimensionamiento del desarenador

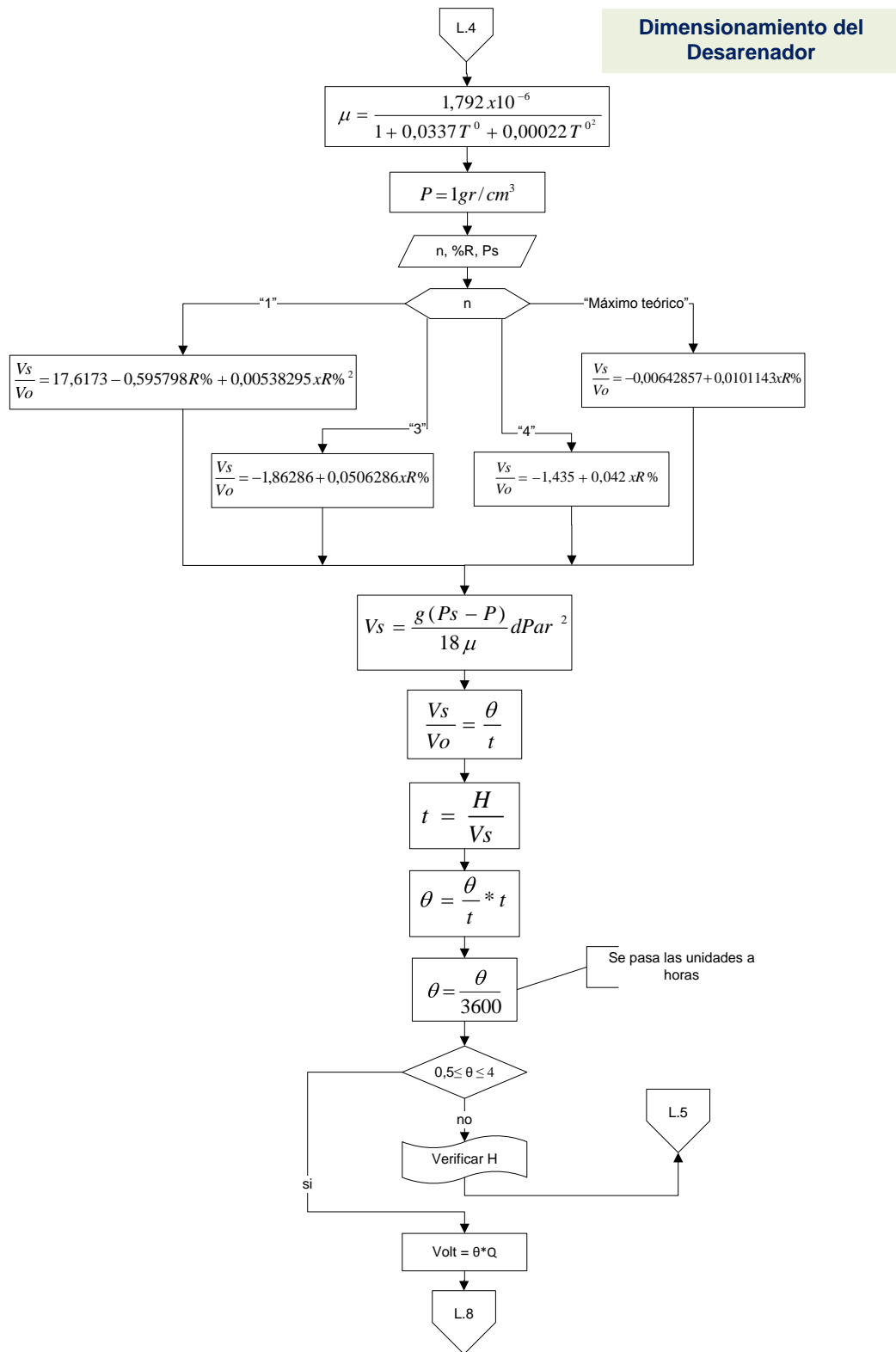


Figura 170. Dimensionamiento del desarenador

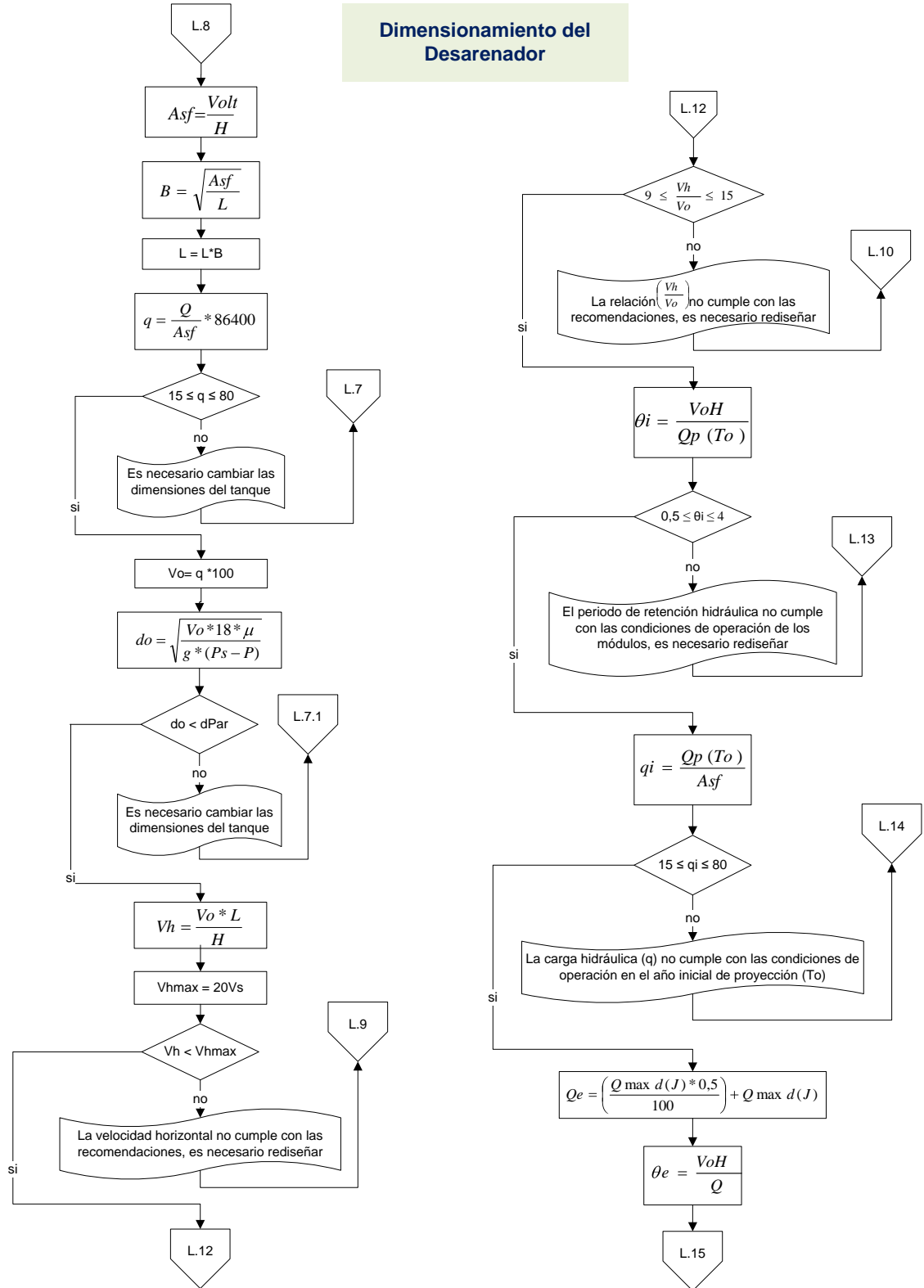


Figura 171. Dimensionamiento del desarenador

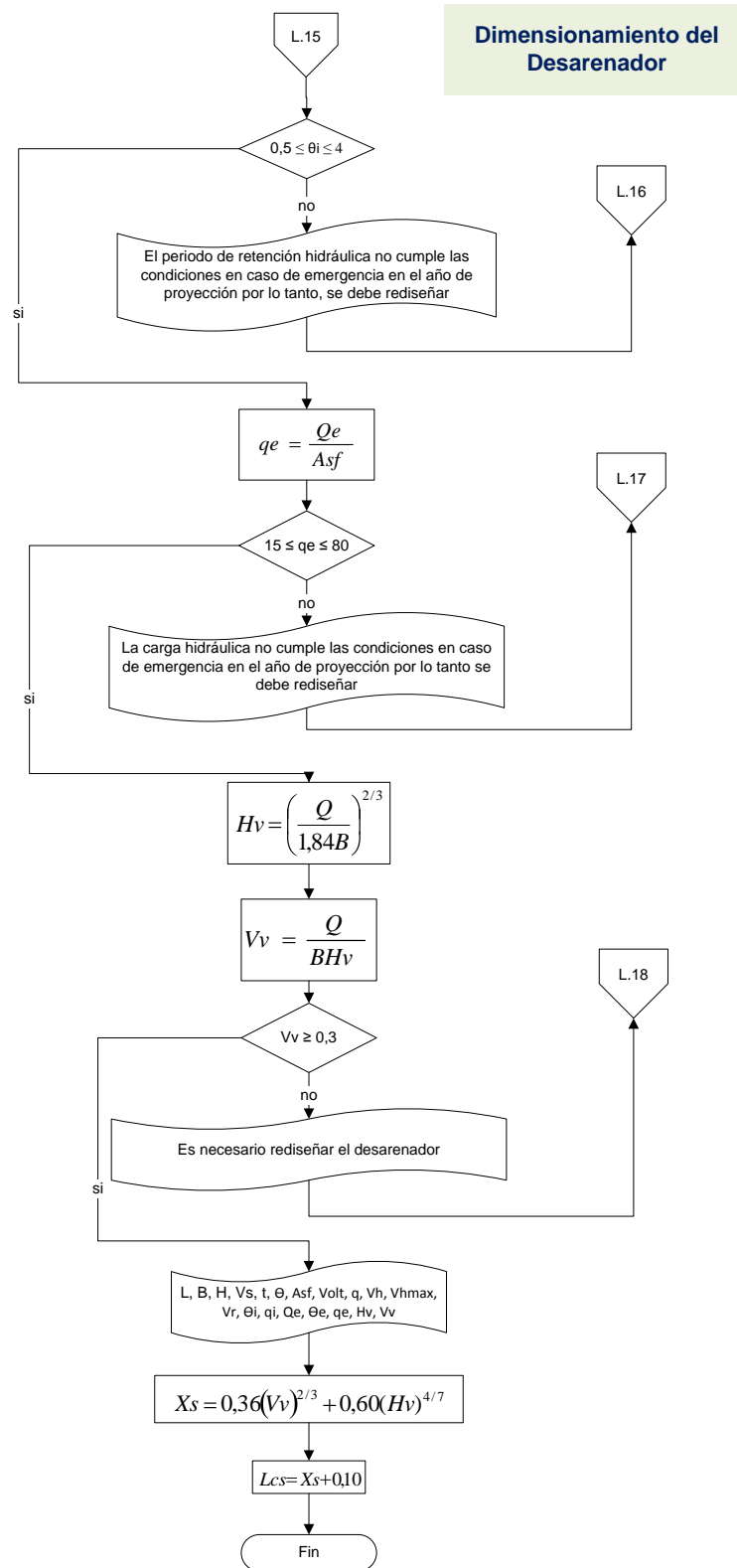


Figura 172. Cálculo de los elementos del desarenador

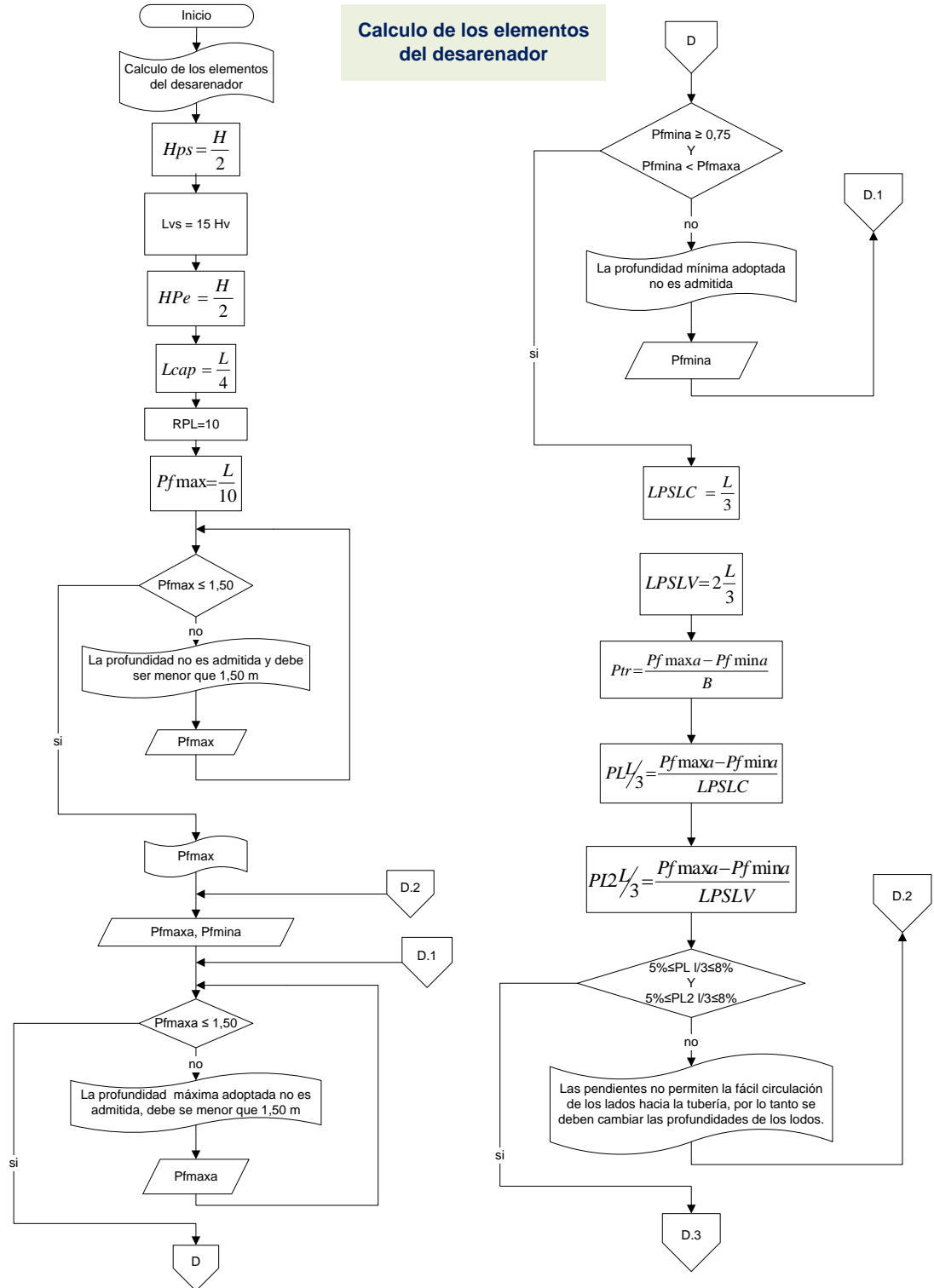


Figura 173. Cálculo de los elementos del desarenador

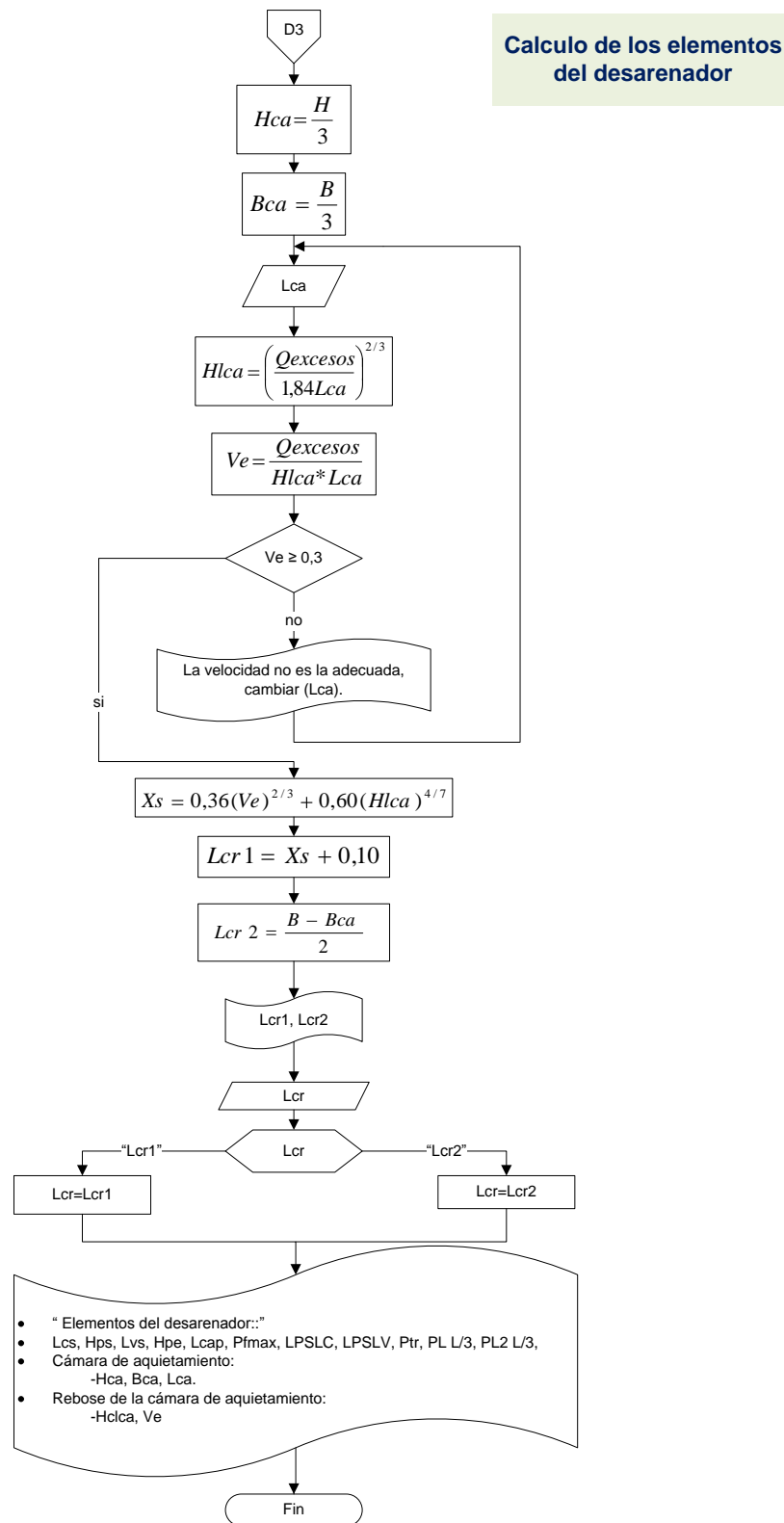
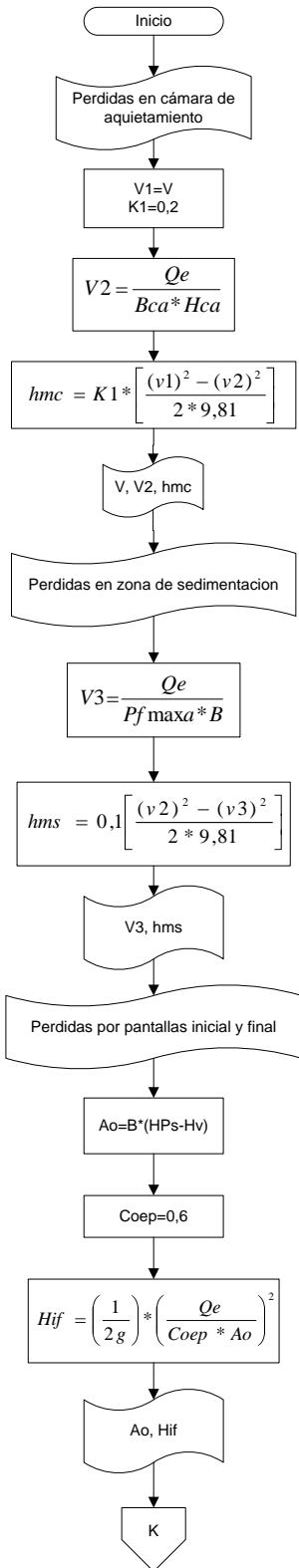


Figura 174. Perfil hidráulico



Perfil hidráulico

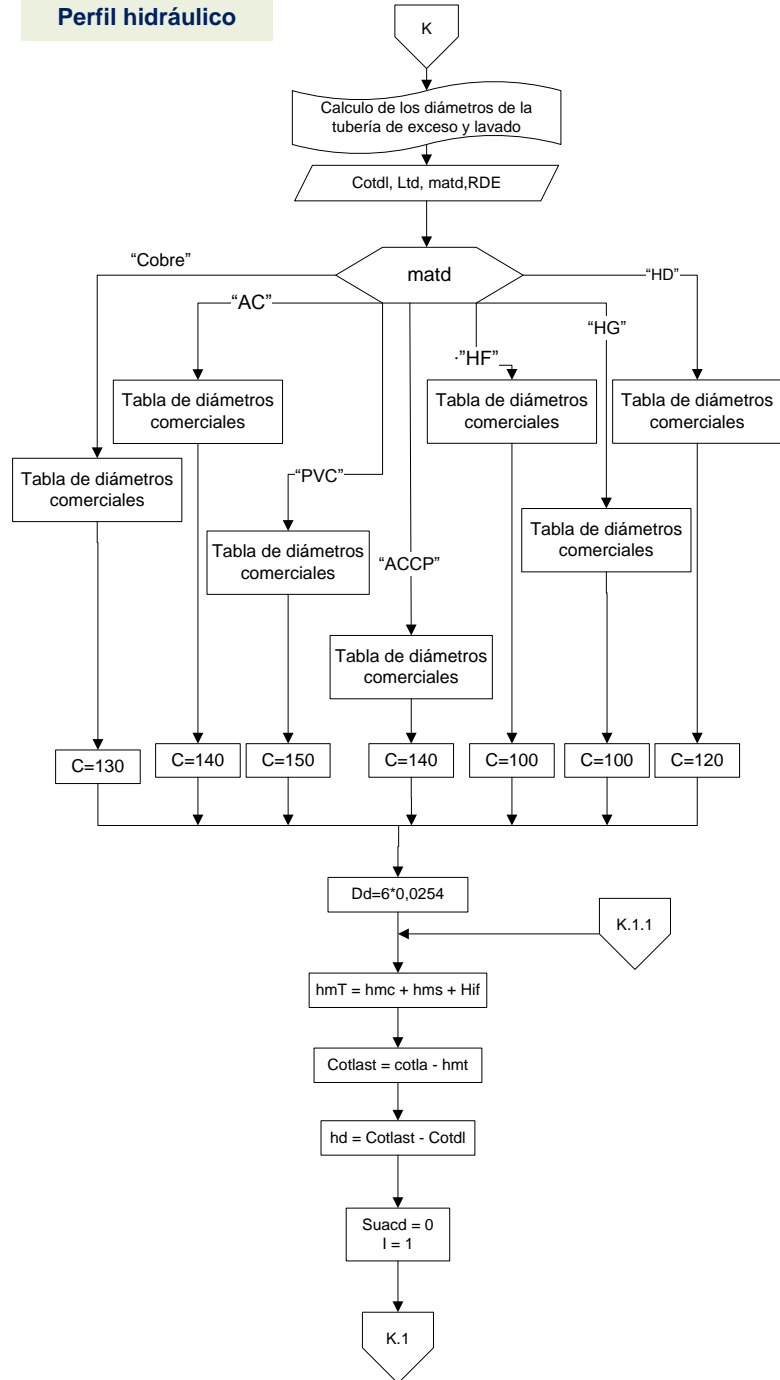


Figura 175. Perfil hidráulico

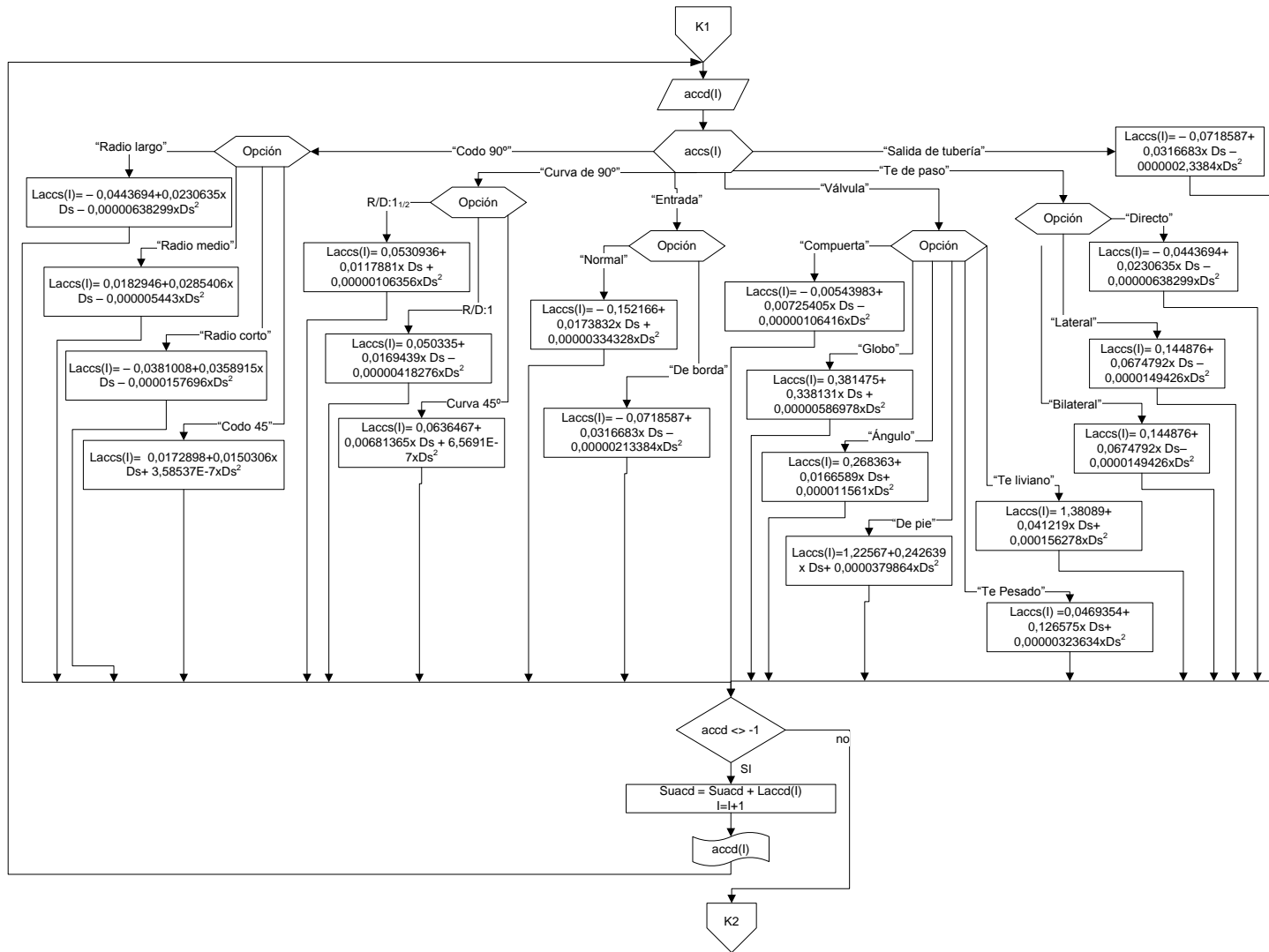
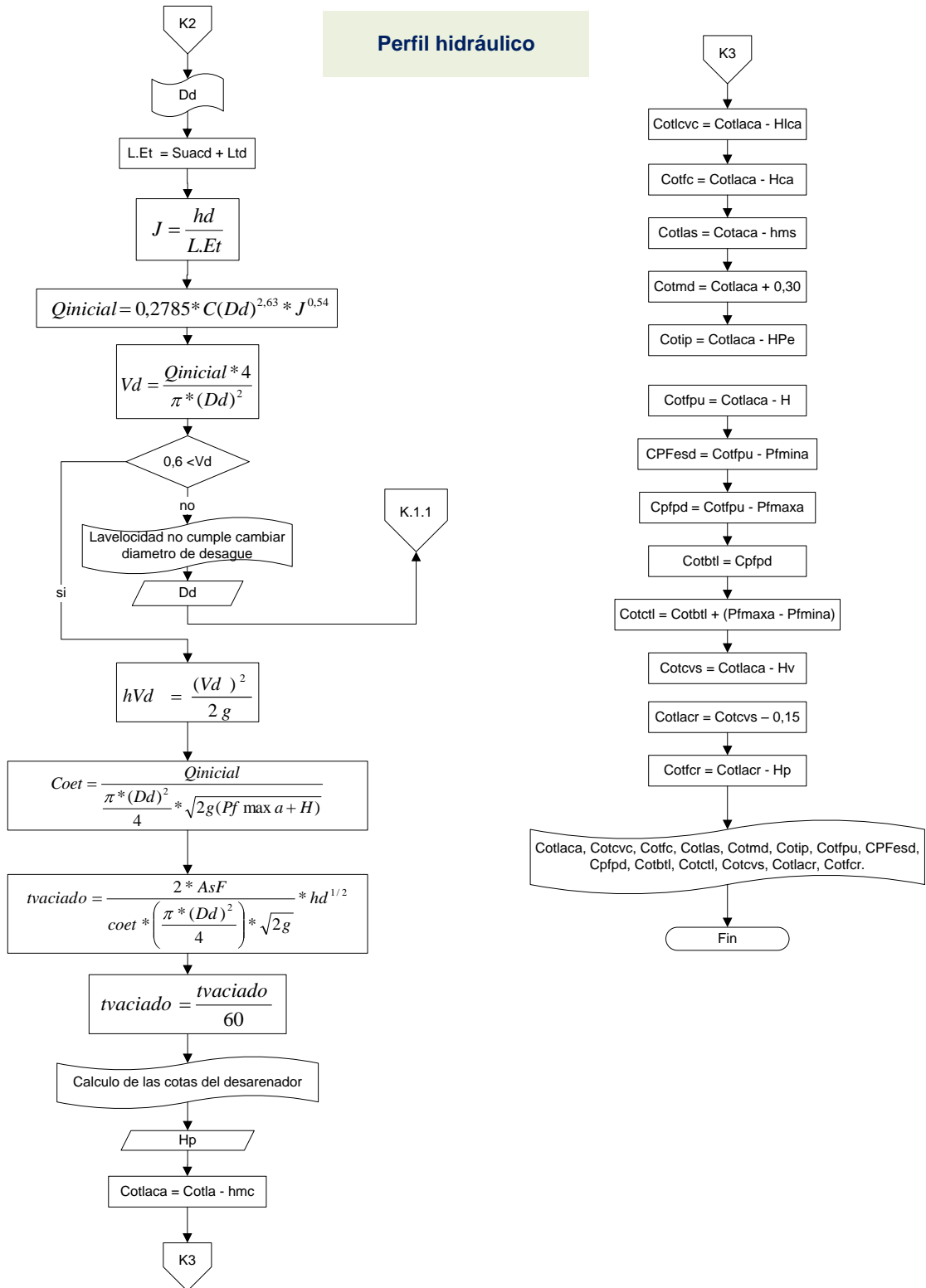


Figura 175. Perfil hidráulico



7.6.6 Pseudocódigo

a) Pseudocódigo diseño de periodo de diseño y determinación del diámetro del material en suspensión

Periodo de diseño y determinación del diámetro del material en suspensión.

{El algoritmo calcula el periodo de diseño, establece el caudal de diseño y clasifica el material en suspensión según el tamaño}

1. Si NC_j es igual:
 - "Bajo": Hacer PD ← 15
 - "Medio": Hacer PD ← 20
 - "Medio Alto": Hacer PD ← 25
 - "Alto": Hacer PD ← 30
2. {Fin del condicional 1}
3. Hacer $J \leftarrow T_o + PD$
4. Hacer $Q \leftarrow \frac{QP(J)}{1000}$
5. Escribir "Ingrese el tipo de material en suspensión, según su tamaño"
6. Si opción es igual a:
 - 6.1 Gravilla:
 - 6.1.1 Leer $d_{par} \leftarrow$ valor 'se asigna un valor a la variable d_{par} '
 - 6.1.2 Si $(d_{par} > 2)$
Entonces
 - 6.1.2.1 Escribir "El material es gravilla gruesa"si no
 - 6.1.2.2 Si $(1 \leq d_{par} \leq 2)$
Entonces
Escribir "El material es gravilla fina"
 - Sino
Escribir "El material no es gravilla"
 - 6.1.3 {Fin del condicional 6.1.3}
 - 6.2 Fango:
 - 6.2.1 Leer $d_{par} \leftarrow$ valor 'Se asigna un valor a la variable d_{par} '
 - 6.2.2 Si $(0,01 \leq d_{par} \leq 0,05)$
Entonces
 - 6.2.2.1 Escribir "El material es el fango grueso y medio"Sino
 - 6.2.2.2 Si $(0,005 \leq d_{par} \leq 0,01)$
Entonces
Escribir "El material es fango fino"
 - Sino
Escribir "El material no clasifica como fango"

b) Pseudocódigo Dimensionamiento del Desarenador

{El algoritmo calcula y evalúa los parámetros que rigen el adecuado dimensionamiento del desarenador}

1. Escribir "Dimensionamiento del desarenador"
2. Leer L/B ← valor 'Se asigna un valor a las variables L/B'
3. Mientras que $(3/1 > L/B > 5/1)$ Repetir
 - a. Escribir "La relación L/B no es recomendable"
 - b. volver al paso 1
4. {fin del condicional dos}
5. Leer H ← valor ' Se asigna un valor a la variable H'
6. Mientras $(1,50 > H > 4,50)$ Repetir
 - a. Escribir " La profundidad no esta dentro del rango"
 - b. Volver al paso 4
7. {Fin del condicional 5}
8. Hacer $\mu \leftarrow \frac{1,792 \times 10^{-6}}{1 + 0,0337 T^0 + 0,00022 (T^0)^2}$
9. Leer n ← valor ' Se asigna un valor a la variable n'
 %R ← valor 'Se asigna un valor a la variable %R'
 Ps ← valor 'Se asigna un valor a la variable Ps'
10. Si "n=1"
 Hacer

$$\frac{V_s}{V_o} \leftarrow 17,6173 - 0,595798 R\% + 0,00538295 xR\%^2$$

 "n=3"

$$\frac{V_s}{V_o} \leftarrow -1,86286 + 0,0506286xR\%$$

 "n=4"

$$\frac{V_s}{V_o} \leftarrow -1,435 + 0,042xR\%$$

 "n=Máximo teórico"

$$\frac{V_s}{V_o} \leftarrow -0,00642857 + 0,0101143xR\%$$
11. Hacer $V_s \leftarrow \frac{g}{18} * \frac{(P_s - P) d P a x^2}{\mu}$
12. Hacer $\frac{V_s}{V_o} \leftarrow \frac{\theta}{t}$

13. Hacer $t \leftarrow \frac{H}{V_s}$
14. Hacer $\theta \leftarrow \frac{\theta}{t} * t$
15. Hacer $\theta \leftarrow \frac{\theta}{3600}$
16. Mientras ($0.5 > \theta > 4$) Repetir
 - a. Escribir “verificar H”
 - b. Volver al paso 4
17. {Fin del condicional 16}
18. Hacer Volt $\leftarrow \theta * Q$
19. Hacer Asf $\leftarrow \frac{Volt}{H}$
20. Hacer B $\leftarrow \sqrt{\frac{Asf}{L}}$
21. Hacer L $\leftarrow L * B$
22. Hacer q $\leftarrow \frac{Q}{Asf} * 86400$
23. Mientras ($15 > q > 80$) Repetir
 - a. Escribir “Es necesario cambiar las dimensiones del tanque”
 - b. Volver al paso 1
24. {Fin del condicional 23}
25. Hacer Vo $\leftarrow q * 100$
26. Hacer do $\leftarrow \sqrt{\frac{Vo * 18 * \mu}{g * (Ps - P)}}$
27. Mientras ($do \geq dPar$) Repetir
 - a. Escribir “Es necesario cambiar las dimensiones del tanque”
 - b. Volver al paso 1
28. {Fin del condicional 27}
29. Hacer Vh $\leftarrow \frac{Vo * L}{H}$
30. Hacer Vhmax $\leftarrow 20Vs$
31. Mientras ($Vh > Vhmax$) Repetir
 - a. Escribir “La velocidad horizontal no cumple con las recomendaciones”
 - b. Volver al paso 1
32. {Fin del condicional 31}
33. Mientras ($9 > \frac{Vh}{Vo} > 15$) Repetir
 - a. Escribir “La relación no cumple con las recomendaciones es necesario rediseñar”
 - b. Volver al paso 1
34. {Fin del condicional 33}

35. Hacer $\theta_i \leftarrow \frac{V_o H}{Q_p(T_o)}$
36. Mientras ($0,5 > \theta_i > 4$) Repetir
- Escribir “El periodo de retención hidráulico no cumple las condiciones de operación de los módulos , es necesario rediseñar”
 - Volver al paso 1
37. {Fin del condicional 40}
38. Hacer $q_i \leftarrow \frac{Q_p(T_o)}{A_{sf}}$
39. Mientras ($15 > q_i > 80$) Repetir
- Escribir “La carga hidráulica (q) no cumple las condiciones de operación en el año inicial de proyección (To)”
 - Volver al paso 1
40. {Fin del condicional 43}
41. Hacer $Q_e \leftarrow \left(\frac{Q_{maxd(J)*0,5}}{100} \right) + Q_{maxd(J)}$
42. Hacer $\theta_e \leftarrow \frac{V_o H}{Q}$
43. Mientras ($0,5 > \theta_e > 4$)
- Escribir “El periodo de retención no cumple las condiciones en caso de emergencia en el año de proyección por lo tanto se debe rediseñar”
 - Volver al paso 1
44. {Fin del condicional 47}
45. Hacer $q_e \leftarrow \frac{Q_e}{A_{sf}}$
46. Mientras ($15 > q_e > 80$) Repetir
- Escribir “La carga hidráulica no cumple las condiciones en caso de emergencia en el año de proyección por lo tanto se debe rediseñar”
 - Volver al paso 1
47. {Fin del condicional 50}
48. Hacer $H_v \leftarrow \left(\frac{Q}{1,848} \right)^{2/3}$
49. Hacer $V_v \leftarrow \frac{Q}{B H_v}$
50. Mientras ($V_v < 0,3$) Repetir
- Escribir “Es necesario rediseñar el desarenador”
 - Volver al paso 1
51. {Fin del condicional 53}
52. Escribir “L, B, H, Vs, t, θ , Asf, Volt, q, Vh, Vhmax, Vr, θ_i , q_i , Q_e , θ_e , q_e , H_v , V_v ”
53. Hacer $X_s \leftarrow 0,36(V_v)^{2/3} + 0,60(H_v)^{4/7}$

54. Hacer Lcs ← Xs + ,10
 55. Fin

c) Pseudocodigo Cálculo de los elementos del desarenador.

{El algoritmo establece las profundidades máximas y mínimas del desarenador, diseña y distribuye los diferentes elementos que lo componen y evalúan las especificaciones de diseño}

1. Hacer Hps ← $\frac{H}{2}$
2. Hacer Lvs ← 15 Hv
3. Hacer HPe ← $\frac{H}{2}$
4. Hacer Lcap ← $\frac{L}{4}$
5. Hacer RPL ← 10
6. Hacer Pfmax ← $\frac{1}{10}$
7. Mientras (Pfmax > 1,50) Repetir
 - 7.1 Escribir “La profundidad no es admitida y debe ser menor que 1,50 m”
 - 7.2 Leer Pfmax ← Valor ‘Se asigna un valor a la variable Pfmax’
 - 7.3 Volver al paso 7
8. {Fin del condicional 7}
9. Escribir Pfmax
10. Leer Pfmaxa ← Valor ‘se asigna un valor a la variable Pfmaxa’
11. Mientras (Pfmaxa > 1,50) Repetir
 - 11.1 Escribir “La profundidad máxima adoptada no es admitida, debe ser menor que 1,50m”
 - 11.2 Leer Pfmaxa ← Valor ‘Se asigna un valor a la variable Pfmaxa’
 - 11.3 Volver al paso 11
12. {Fin del condicional 11}
13. Mientras (Pfmina < 0,75) ∧ (Pfmina ≥ Pfmaxa) Repetir
 - 13.1 Escribir “La profundidad mínima adoptada no es admitida”
 - 13.2 Leer Pfmina ← Valor ‘Se asigna un valor a la variable Pfmina’
 - 13.3 Volver al paso 11
14. {Fin del condicional 13}
15. Hacer LPSLC ← $\frac{L}{3}$
16. Hacer LPSLV ← $2 \frac{L}{3}$
17. Hacer pfr ← $\frac{Pfmaxa - Pfmina}{B}$

18. Hacer $PL \frac{L}{3} \leftarrow \frac{Pf_{maxa} - Pf_{mina}}{LPSLC}$
19. Hacer $PL2 \frac{L}{3} \leftarrow \frac{Pf_{maxa} - Pf_{mina}}{LPSLC}$
20. Mientras $(5\% > PL \frac{1}{3} > 8\%) \wedge (5\% > PL2 \frac{1}{3} > 8\%)$ Repetir
- 20.1 Escribir "Las pendientes no permiten la fácil circulación de los lodos hacia la tubería, por lo tanto se deben cambiar las profundidades de los lodos"
- 20.2 Volver al paso 10
21. {Fin del condicional 20}
22. Hacer $Hca \leftarrow \frac{H}{3}$
23. Hacer $Bca \leftarrow \frac{B}{3}$
24. Leer $Lca \leftarrow$ Valor 'Se asigna un valor a la variable Lca '
25. Hacer $\frac{H}{ca} \leftarrow \left(\frac{Q_{excesos}}{1,84 Lca} \right)^{2/3}$
26. Hacer $Ve \leftarrow \frac{Q_{excesos}}{\frac{H}{ca} \times Lca}$
27. Mientras $(Ve < 0,3)$
- 27.1 Escribir "La velocidad no es la adecuada, cambiar (Lca)"
- 27.2 Volver al paso 25
28. {Fin del condicional 29}
29. Hacer $Xs \leftarrow 0,36 (Ve)^{2/3} + 0,60 \left(\frac{H}{ca} \right)^{4/7}$
30. Hacer $Lcr1 \leftarrow Xs + 0,10$
31. Hacer $Lcr2 \leftarrow \frac{B - Bca}{2}$
32. Escribir "Lcr1, Lcr2"
33. Leer $Lcr \leftarrow$ Valor 'Se asigna un valor a la variable Lcr '
34. Si opcional es igual:
 "Lcr1: Hacer $Lcr \leftarrow Lcr1$
 Lcr2: Hacer $Lcr \leftarrow Lcr2$ "
35. Escribir "Elementos del desarenador:"
- $Lcs, Hps, Lvs, Hpe, Lcap, Pfmax, LPSLC, LPSLV, Ptr, PL L/3, PL2 L/3,$
 - Cámara de quietamiento:
 - $Hca, Bca, Lca.$
 - Rebose de la cámara de quietamiento:
 - $Hlca, Ve$
36. {Fin del condicional 36}
37. Fin

d) Pseudocódigo Perfil hidráulico

{El algoritmo calcula las pérdidas en los diferentes puntos del desarenador para calcular las cotas que determinan el perfil hidráulico, permite el ingreso de los accesorios necesarios en la tubería de desagüe y calcula el tiempo de vaciado del tanque}

1. Escribir "Pérdidas en la cámara de quietamiento"
2. Hacer $V1 \leftarrow V$
 $K1 \leftarrow 0,2$
3. Hacer $V2 \leftarrow \frac{Q}{Bca \times Hca}$
4. Hacer $hmc \leftarrow K1 \times \left[\frac{(V1)^2 - (V2)^2}{2 \times 9,81} \right]$
5. Escribir "V, V2, hmc"
6. Escribir "Pérdidas en la zona de sedimentación"
7. Hacer $V3 \leftarrow \frac{Qs}{Pfmaxa \times B}$
8. Hacer $hms \leftarrow 0,1 \times \left[\frac{(V2)^2 - (V3)^2}{2 \times 9,81} \right]$
9. Escribir "V3, hms"
10. Escribir "Pérdidas por pantallas inicial y final"
11. Hacer $Ao \leftarrow B \times (Hps - Hv)$
12. Hacer $Coep \leftarrow 0,6$
13. Hacer $Hif \leftarrow \left(\frac{1}{2g} \right) \times \left(\frac{Qs}{Coep \times Ao} \right)^2$
14. Escribir "Ao, Hif"
15. Escribir "Cálculo de los diámetros de la tubería de excesos y lavado"
16. Leer $Cotdl \leftarrow$ Valor 'Se asigna un valor a la variable Cotdl'
 $Ltd \leftarrow$ Valor 'Se asigna un valor a la variable Ltd'
 $matd \leftarrow$ Valor 'Se asigna un valor a la variable matd'
 $RDE \leftarrow$ Valor 'Se asigna un valor a la variable RDE'
17. Entrar con $matd$ a la tabla de coeficientes de Hazen Williams y determinar (c)
18. Hacer $Dd \leftarrow 6 \times 0,0254$
19. Hacer $hmt \leftarrow hmc + hms + Hif$
20. Hacer $Cotlast \leftarrow cotla - hmt$
21. Hacer $hd \leftarrow Cotlast - Cotdl$
22. Hacer $Suacd \leftarrow 0$
 $I \leftarrow 1$
23. Leer $accd(I) \leftarrow$ Valor 'Se asigna un valor a la variable $accd(I)$ '

24. Entrar a la tabla y escoger accesorios, asignarle a cada accesorio su longitud equivalente (Laccd(I))
25. Mientras (I) = -1) Repetir
- 25.1 Hacer Suacd ← Suacd + Laccd (I)
- 25.2 Escribir "accd (I)"
- 25.3 Volver al paso 20
26. {Fin del condicional 22}
27. Escribir "Dd"
28. Hacer L.Et ← Suacd + Ltd
29. Hacer J ← $\frac{hd}{L.Et}$
30. Hacer Qinicial $0,2785 * C(Dd)^{2,63} * J^{0,54}$
31. Hacer Vd ← $\frac{Qinicial * 4}{\pi (Dd)^2}$
32. Mientras (0,6 > Vd) Repetir
- 32.1 Escribir " La velocidad no cumple cambiar diámetro de desagüe"
- 32.2 Leer Dd ← Valor 'Se asigna un valor a la variable Dd'
- 32.3 Vuelve al paso 16
33. {Fin del condicional 28}
34. Hacer hvd ← $\frac{(Vd)^2}{2g}$
35. Hacer Coet ← $\frac{Qinicial}{\frac{\pi \times (Dd)^2}{4} \times \sqrt{2g (Pfmaxa + H)}}$
36. Hacer tvaciado ← $\frac{2 \times AsF}{Coet \times \left(\frac{\pi \times (Dd)^2}{4} \right) \times \sqrt{2g}} \times hd^{1/2}$
37. Hacer tvaciado ← $\frac{tvaciado}{60}$
38. Escribir "Cálculo de cotas del desarenador"
39. Leer Hp ← Valor 'Se asigna un valor a la variable Hp'
40. Hacer Cotlaca ← Cotla - hmc
- Cotcvc ← Cotlaca - Hlca
- Cotfc ← Cotraca - Hca
- Cotlas ← Cotaca - hms
- Cotmd ← Cotlaca + 0,30
- Cotip ← Cotlaca - Hpe
- Cotfpu ← Cotlaca - H
- CPFesd ← Cotfpu + Pfmina
- Cpfpd ← Cotfpu - Pfmaxa
- Cotbtl ← Cpfpd
- Cotctl ← Cotbtl + (Pfmaxa - Pfmina)
- Cotcvs ← Cotlaca - Hv

Cotlacr ← Cotlacvs – 0,15

Cotfcr ← Cotlacr - Hp

41. Escribir “Cotlaca, Cotcvc, Cotfc, Cotlas, Cotmd, Cotip, Cotfpu, CPFesd, Cpfpd, Cotbtl, Cotctl, Cotcvs, Cotlacr, Cotfcr”

42. Fin

7.6.7 Pantallas de datos. En las figuras 176, 177, 178, 179

Figura 176. Periodo de diseño y determinación del diámetro en suspensión del desarenador

Periodo de diseño y determinación del diámetro del material en suspensión

DESARENADOR

Ingrese el tipo de material en suspensión, según su tamaño

Gravilla Arcilla Fango Arena

Tabla de clasificación de partículas

Material	Diámetro(mm)	Material	Diámetro(mm)
Gravilla:		Fango:	
Gruesa	>2,0	Grueso y medio	0,05-0,01
Fina	2,00-1,00	Fino	0,01-0,005
Arena:		Arcilla:	
Gruesa	1,00-0,50	Gruesa y media	0,005-0,001
Media	0,50-0,25	Fina	0,001-0,0001
Fina	0,25-0,10	Coloidal	<0,0001
Muy fina	0,10-0,05		

Ingrese el diámetro de las partículas en suspensión (dPar) según tabla

dpar =

El material es gravilla gruesa

Figura 177. Dimensionamiento del desarenador

Dimensionamiento del Desarenador **DESARENADOR**

Ingresar L/B, sabiendo que:
L = Longitud del desarenador B = Ancho

L= B=

La relación L/B no es recomendable

Ingresar Profundidad útil de sedimentación "H"

H=

La profundidad no esta dentro del rango

Ingresar

Figura 178. Dimensionamiento del desarenador

Dimensionamiento del Desarenador **DESARENADOR**

Número de Hazen

Ingrese el grado del desarenador

n = 1 Defectores deficientes a ausencia de ellos

n = 2 Defectores regulares

n = 3 Defectores buenos

n = maxt Defectores muy buenos

Ingrese porcentaje de remoción (%R)

87,5 80 75 70

65 60 55 50

Verificar la Profundidad útil de sedimentación

Ingresel peso específico "Ps"

Ps=

Ingresar

Figura 179. Dimensionamiento del desarenador

Dimensionamiento del Desarenador

DESARENADOR

Es necesario cambiar las dimensiones del tanque

La velocidad horizontal no cumple con las recomendaciones, es necesario rediseñar

La relación (V_h/V_o) no cumple con las recomendaciones, es necesario rediseñar

El periodo de retención hidráulica no cumple con las condiciones de operación de los módulos, es necesario rediseñar

La carga hidráulica (q) no cumple con las condiciones de operación en el año inicial de proyección (T_o)

Es necesario rediseñar el desarenador

Regresar

Figura 180. Dimensionamiento del desarenador

Dimensionamiento del Desarenador
DESARENADOR

Resultados desarenador

Longitud del desarenador	"L" =
Ancho	"B" =
Profundidad útil de sedimentación	"H" =
Velocidad de sedimentación	"V_s" =
Tiempo que tarda la partícula en llegar al fondo	t =
Periodo de retención hidráulica	Θ =
Área superficial	Asf =
Volumen del tanque	Volt =
Carga hidráulica superficial	q =
Velocidad horizontal	Vh =
Velocidad horizontal máxima	Vhmax =
Periodo de retención hidráulico en el año inicial de proyección	Θ_i =
Carga hidráulica superficial en el año inicial de proyección	q_i =
Periodo de retención hidráulico en condiciones de emergencia para el año de proyección	Θ_e =
Caudal de operación en condición de emergencia	Q_e =
Carga hidráulica en caso de emergencia para el año de proyección	q_e =
Altura de la lámina de agua sobre el vertedero de salida	H_v =
Velocidad del agua sobre el vertedero de salida	V_v =

Siguiente

Figura 181. Dimensionamiento del desarenador

Dimensionamiento del Desarenador **DESARENADOR**

Calculo de los elementos del desarenador

Ingresar profundidad de lodos máxima "Pfmax"

Pfmax = **Agregar**

La profundidad no es admitida y debe ser menor que 1,50 m

Figura 182. Cálculo de los elementos del desarenador

Calculo de los elementos del desarenador **DESARENADOR**

Calculo de los elementos del desarenador

Profundidad de lodos máxima

Pfmax =

Ingresar

Profundidad de lodos máxima adoptada "Pfmaxa"

Pfmaxa = La profundidad máxima adoptada no es admitida, debe ser menor que 1,50 m

Profundidad de lodos mínima adoptada "Pfmina"

Pfmina = La profundidad mínima adoptada no es admitida

Las pendientes no permiten la facil circulacion de los lodos hacia la tubería, por lo tanto se deben cambiar las profundidades de los lodos.

Ingresar

Figura 183. Cálculo de los elementos del desarenador

Calculo de los elementos del desarenador

DESARENADOR

Ingrese la longitud de la cámara de
aquietamiento (Lca)

Lca =

La velocidad no es la
adecuada, cambiar (Lca).

Ingrese la longitud de la cámara de rebose

Longitud de la cámara de rebose
determinado por el alcance horizontal

Lcr1

Longitud de la cámara de rebose
determinada por el ancho B

Lcr2

Ingresar

Figura 184. Resultados de los elementos del desarenador

Dimensionamiento del Desarenador
DESARENADOR

Resultados elementos del desarenador

Largo de la cámara de salida	"Lcs" =
Profundidad de la pantalla de salida	"Hps" =
Distancia desde la pantalla hasta el vertedero de salida	"Lvs" =
Profundidad de la pantalla de entrada	"Hpe" =
Longitud desde la cámara de aquietamiento hasta la pantalla de entrada	"Lcap" =
Profundidad de lodos máxima	"Pfmax" =
Profundidad de lodos máxima adoptada	"Pfmaxa" =
Profundidad de lodos mínima adoptada	"Pfmina" =
Distancia desde el punto de salida de lodos hasta la cámara de aquietamiento	"LPSLC" =
Distancia desde el punto de salida de lodos hasta el vertedero de salida	"LPSLV" =
Pendiente longitudinal en L/3 del desarenador	"PL L/3" =
Pendiente longitudinal en 2 del desarenador	"PL2" =
Pendiente transversal	"Ptr" =
Longitud del desarenador	"L" =

Cámara de aquietamiento	Rebose de cámara de aquietamiento
Profundidad cámara de aquietamiento "Hca" =	Altura de la lámina de agua sobre el vertedero de excesos de la cámara de aquietamiento "Hlca" =
Ancho de la cámara de aquietamiento "Bca" =	Velocidad del agua sobre el vertedero de excesos de la cámara de aquietamiento "Ve" =
Longitud de la cámara de aquietamiento "Lca" =	Longitud de la cámara de rebose "Lcr" =

Siguiente

Figura 185. Perfil hidráulico del desarenador

Perfil hidráulico
DESARENADOR

Perdidas en cámara de aquietamiento

Velocidad de diseño de la aducción	"V" =
Velocidad en la entrada de la cámara de aquietamiento tomada de la velocidad de diseño de la aducción	"V1" =
Velocidad en la entrada de la cámara de aquietamiento calculada con las dimensiones de esta y para el caudal Qe.	"V2" =
Pérdidas en la entrada a la cámara de aquietamiento tomadas en m.	"hmc" =

Perdidas en zona de sedimentación

Velocidad en la entrada de la zona de sedimentación
Pérdidas a la entrada de la zona de sedimentación

"V3" =

"hms" =

Perdidas por pantallas inicial y final

Área del orificio sumergido
Pérdidas por las pantallas inicial y final

"Ao" =

"Hif" =

Siguiete

Figura 186. Perfil hidráulico del desarenador

Perfil hidráulico
DESARENADOR

Calculo de los diámetros de la tubería de exceso y lavado

Ingresar

Cota de entrega del desagüe de lavado (Cotdl)

Cotdl =

Longitud de la tubería de desagüe (Ltd)

Ltd =

Material de la tubería de lavado de excesos en el desarenador (Matd)

Matd =

Tipo de tubería (RDE)

RDE =

Ingresar

Figura 187. Perfil hidráulico del desarenador

Perfil hidráulico **DESARENADOR**

Ingresar Accesorios en la tubería de desagüe en el desarenador (accd)

Te salida - Bilateral	Agregar	Entrada - De borda
Te de paso - Directo		
Entrada - De borda		
Válvula - Retención		
Codo 90° - Radio corto		
Curva 90° - R/D: 1 ½		

Eliminar

Diámetro de la tubería de desagüe (Dd)

Dd=

La velocidad no cumple, cambiar diámetro de desagüe

Diámetro de la tubería de desagüe (Dd)

Dd=

Calculo de las cotas del desarenador

Ingresar Perdidas supuestas en la aducción desde la bocatoma al desarenador (Hp)

Hp=

Ingresar

Figura 188. Perfil hidráulico del desarenador

Perfil hidráulico

DESARENADOR

Resultados de Cotas

Cota lámina de agua en la cámara de aquietamiento (Cotlaca)	Cota de la cresta del vertedero cámara de aquietamiento (Cotcvc)
Cotlaca =	Cotcvc =
Cota fondo de la cámara de aquietamiento (Cotfc)	Cota lámina de agua en zona de sedimentación (Cotlas)
Cotfc =	Cotlas =
Cota de la corona de los muros del desarenador (Cotmd)	Cota inferior de pantallas de entrada y salida (Cotip)
Cotmd =	Cotip =
Cota del fondo de profundidad útil del sedimentador (Cotfpu)	Cota placa de fondo a la entrada y salida del desarenador(CPFesd)
Cotfpu =	CPFesd =
Cota placa de fondo en punto de desagüe (Cpfpd)	Cota batea de la tubería de lavado (Cotbtl)
Cpfpd =	Cotbtl =
Cota clave de la tubería de lavado (Cotctl)	Cota cresta del vertedero de salida (Cotcvs)
Cotctl =	Cotcvs =
Cota lámina de agua en la cámara de recolección (Cotlacr)	Cota fondo de la cámara de recolección (Cotfcr)
Cotlacr =	Cotfcr =

Regresar

7.7 CONDUCCIONES

7.1 Fundamento teórico. Se constituye el sistema de purificación de aguas por el desarenador como tratamiento primario, ya que por él se conducen las aguas al tanque de almacenamiento.

Válvula de purga. Se utiliza para facilitar la limpieza de la tubería; se instala lateralmente, en todos los puntos bajos del trazado, donde haya posibilidad de obstrucción de la sección de flujo por la acumulación de sedimentos, como se lo observa en las imágenes.

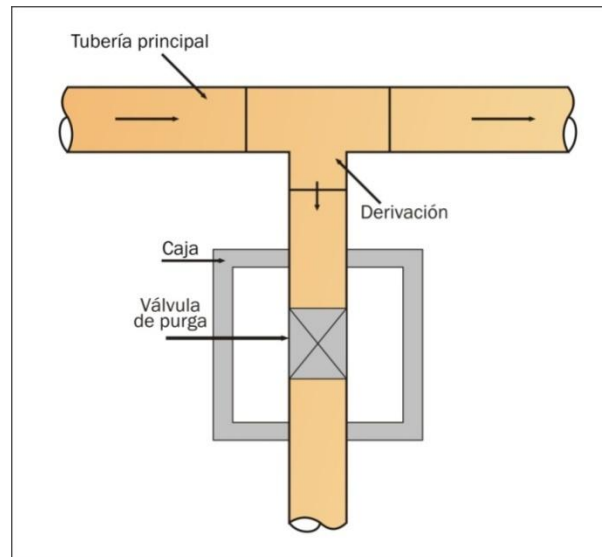
Se deriva con una te de diámetro mínimo 2" (5cm), en la siguiente tabla se indica lo diámetros de dicha derivación, basándose en $\frac{1}{4}$ del diámetro principal. Hay que tener en cuenta que debe verificarse la necesidad de colocación de una estructura de disipación de energía cuando la velocidad a la salida sea muy alta.

Tabla 39. Diámetro de la válvula de purga

Tubería principal Diámetro (pulg)	Purga Diámetro (pulg)
3-10	2
12-14	3
16-20	4
24-30	6
32-38	8
≥40	10

Fuente: LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueducto y alcantarillados. 2 ed. Editorial escuela colombiana de ingeniería, 2007. 546 p.

Figura 189. Válvula de purga



Fuente: LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Válvula de purga

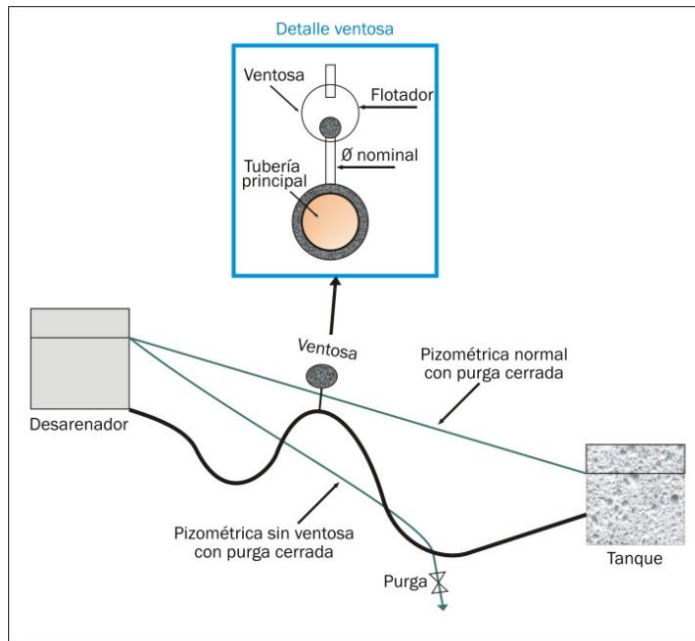
Ventosas. Las ventosas, son dispositivos que permiten la entrada y salida del aire en las redes de abastecimiento. Las ventosas deben ser instaladas en los puntos más altos del cambio de rasante de las conducciones, pueden ser manuales o automáticas.

Válvulas de admisión del aire o de expulsión (diámetro de $1/8$ de la tubería principal), de funcionamiento automático. En las válvulas de acción simple o expulsión del aire el diámetro de la ventosa es de $1/12$ del diámetro de la tubería principal.

Funciones.

- Expeler el aire de dentro de la tubería durante su llenado
- Expulsar el aire que tiende a acumularse en los puntos altos
- Admitir aire en el caso de operación de una válvula de purga que pueda crear presiones negativas en la tubería, así:

Figura 190. Ubicación de la ventosa



Fuente: LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Ventosas

- El diámetro mínimo de la ventosa para tuberías de 4" o menos es de 2"
- El diámetro mínimo de la ventosa para tuberías superiores a 4" el diámetro mínimo es de 3"

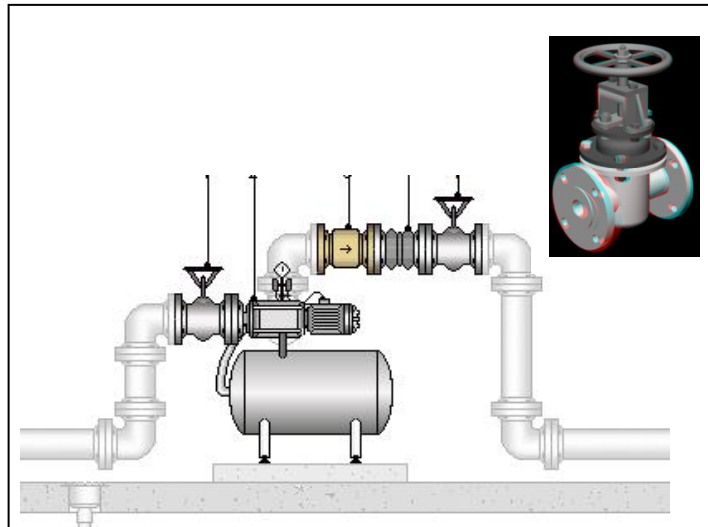
La válvula de ventosa deberá tener una válvula de corte antes, con el fin de poder aislarla de la tubería cuando se requiera; además, se debe establecer un paso lateral o *by-pass* con su propia válvula de corte.

Válvulas de control o corte. La válvula automática de control generalmente constituye el último elemento en un lazo de control instalado en la línea de proceso y se comporta como un orificio cuya sección de paso varía continuamente con la finalidad de controlar un caudal en una forma determinada.

Se deben instalar válvulas de control como mínimo al comienzo y final de la conducción en un diámetro igual a la tubería, en caso de que sean grandes acueductos deberán colocar válvulas espaciadas como mínimo cada 1000 m, cuyo diámetro puede ser inferior al de la tubería hasta en un 20% caso en el cual se deberá verificar la cavitación producida para altas velocidades.

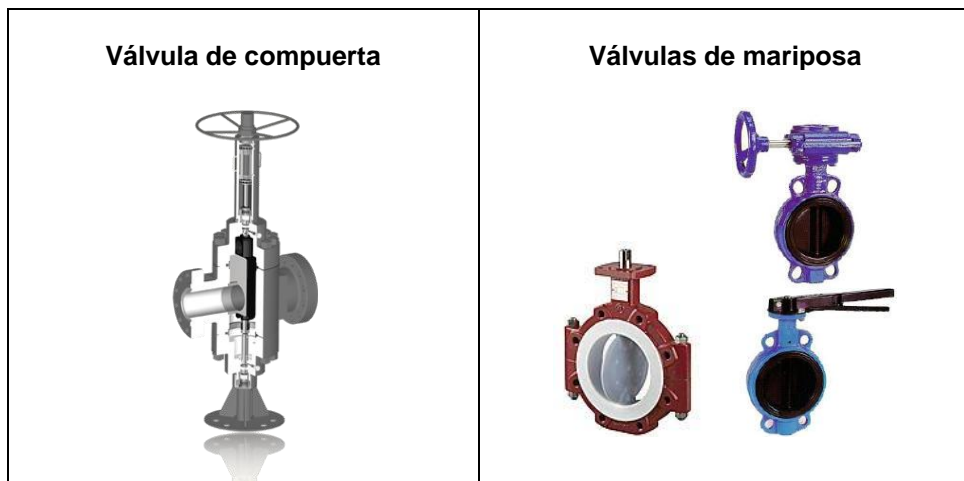
Generalmente se utiliza una válvula de compuerta, por costos y cierre relativamente seguro, pero para diámetros grandes las válvulas de mariposas son más económicas, seguras y fáciles de operar.

Figura 191. Válvula de control



Fuente: WIKIPEDIA LA enciclopedia libre. Válvulas de control

Figura 192. Válvula de compuerta y mariposa



Fuente: WIKIPEDIA LA enciclopedia libre. Válvulas de control

7.1 Especificaciones de diseño

Siempre que exista almacenamiento en el sistema de acueducto, el caudal de diseño corresponde al caudal máximo diario, en caso contrario, se debe diseñar para el caudal máximo horario.

Tabla 40. Periodo de diseño de las conducciones

Nivel de complejidad del sistema	Periodo de diseño
Bajo	15 años
Medio	20 años
Medio Alto	25 años
Alto	30 años

Fuente: LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueducto y alcantarillados. 2 ed. Editorial escuela colombiana de ingeniería, 2007. 546 p.

Rango de velocidad (6,0 a 3,0) m/s o a 6 m/s, en general, la segunda opción de velocidad es para utilizar la ecuación de Hazen Willians

Caudal de diseño = Caudal máximo diario en el periodo de diseño

Velocidad mínima y máxima

Teniendo en cuenta la posibilidad de transportar sólidos suspendidos en una conducción a presión, se recomienda una velocidad mínima de 0,6 m/s. La velocidad máxima depende del material de la tubería, se recomienda una velocidad máxima de 6 m/s, pero debe verificarse la magnitud de la sobrepresión por golpe de ariete, la cual puede influenciar la selección de la “clase” de tubería.

a. Pendiente de la tubería

Se recomienda que la tubería no sea horizontal, para que tenga mejor evacuación del aire por la válvula de ventosa y de los sólidos a través de la válvula de purga

Pendiente mínima recomendada. De 0,04% cuando el aire se desplaza en la misma dirección del agua y si es en dirección contraria pendiente mínima de 0,1.

b. Dimensiones de las zanjas

El ancho de la zanja puede tomarse como el diámetro del tubo más 30 cm o 50 cm, de acuerdo con las especificaciones de diseño y con la carga sobre la tubería.

7.7.3 Metodología de diseño

Para el cálculo de la tubería de conducción se utiliza la ecuación de Hazen Williams:

$$Q = 0.2785CD^{2.63}J^{0.54} \quad [197]$$

En donde: Q = Caudal de diseño ($\frac{m^3}{s}$)

C = Coeficiente de rugosidad de Hazen Williams

D = Diámetro interno de la tubería (m).

J = Pérdida unitaria o pendiente de la línea de energía (m/m) de la tubería

Para el cálculo de la pérdida de carga unitaria se utiliza la siguiente expresión:

$$J = \frac{H}{L}$$

Para determinar la carga hidráulica total cuando se hace combinación de diámetros en tramos se hace:

$$H = J_1L_1 + J_2L_2 \quad [198]$$

Para determinar las pérdidas en accesorios es necesario utilizar la tabla 41

Tabla 41. Coeficientes de pérdidas de algunos accesorios, con base a la velocidad mayor

Elemento	K
Reducción gradual	0,15
Ampliación gradual	0,30
Compuerta abierta	1,00
Válvula abierta:	
De mariposa	5,00
De compuerta	0,20
De globo	10,00
Te de paso directo	0,60
Te de paso lateral	1,30
Te salida bilateral	1,80
Válvula de pie	1,75
Válvula de retención	2,50
Entrada normal al tubo	0,50
Entrada de borda	1,00
Salida del tubo	1,00

Fuente: LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Pérdidas de carga localizadas

✓ **Pérdidas en accesorios.**

Pérdidas por codos: Se hace la suma o diferencia de pendientes para la selección del codo necesario tanto horizontal como verticalmente, según la pendiente se elige el codo por medio de la tabla 42.

Tabla 42. Selección de codo según la suma o diferencia de pendientes

Suma diferencia de pendientes	Codo
14% - 30%	11 ¼°
31% - 53%	22 ¼°
54% - 83%	22 ¼° + 11 ¼°
84% - 119%	45°
120% - 180%	45 + 11 ¼°

Fuente: LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Pérdidas de carga localizadas

Según López Cualla⁸⁰

$$hm = 0.25 \frac{V_2^2}{2g} \sum \sqrt{\frac{\theta}{90}} \quad [199]$$

Pérdidas por válvulas de control:

$$hm = 0.2n \frac{V_1^2}{2g} \quad [200]$$

La celeridad de la onda es: Por medio de la tabla 43 se determina el módulo de elasticidad del agua (k) para distintos tipos de material, utilizado en la determinación de la celeridad de la onda.

Tabla 43. Relación de elasticidad del agua y del material de la tubería.

Material de la tubería	k
Acero	0,5
Hierro fundido	1,0
Concreto	5,0
Asbesto - Cemento	4,4
Plástico	18,0

Fuente. LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Golpe de ariete

$$C = \frac{9.900}{\sqrt{48.3 + k \frac{D}{g}}} \quad [201]$$

Fase de la tubería:

$$T = \frac{2L}{C} \quad [202]$$

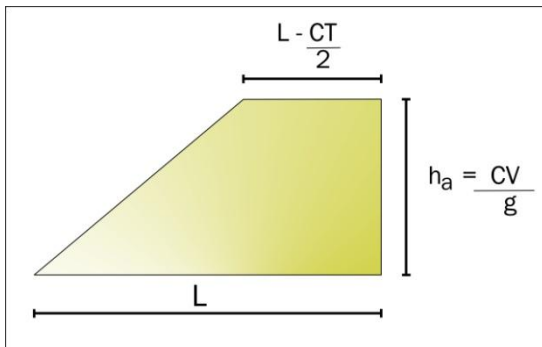
Sobrepresión

En el caso de maniobra rápida se utiliza:

$$ha = \frac{CV}{g} \quad [203]$$

⁸⁰ Ibid., p. 98.

Figura 193. Distribución de la presión por maniobra rápida



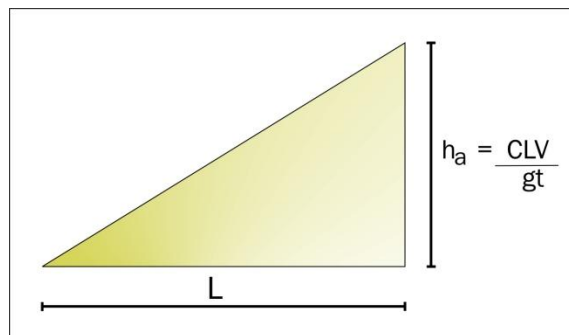
Fuente: LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Golpe de ariete

Para maniobra lenta se utiliza:

$$h_a = \frac{2LV}{gt}$$

[204]

Figura 194. Distribución de la presión por maniobra lenta



Fuente: LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Golpe de ariete

7.7.4 Ejemplo de cálculo

a) Ejemplo de periodo de diseño e ingreso del perfil de la conducción

Debido a que el nivel de complejidad es medio, el periodo de diseño es de 20 años, teniendo en cuenta que el año inicial de proyección (T_0) es: 2.003, entonces

se hace $J = 2.003 + 20 = 2.023$, este es el año perteneciente al periodo de diseño, por lo tanto:

$$Q = \frac{30 \text{ l/s}}{1.000} = 0,03 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ahora teniendo en cuenta que es necesario utilizar como mínimo 2 válvulas de control que encuentran una en la salida del desarenador y otra en la llegada al tanque regulador, se almacenan dichas escripciones en el vector $\text{accv}(J)$ respectivo, para que sean tenidas en cuenta más adelante.

Luego se ingresa el perfil de la conducción, los datos se almacenan y procesan en la siguiente forma:

- | Abscisa (Absc(0)) | Rasante (Rsn(0)) | Clave (Clv(0)) |
|--------------------------|-------------------------|-----------------------|
| 0 | 9,86 | 98,46 |

$$\begin{aligned} \text{Clv}(0) &= 98,46 = \text{Clvc} \\ \text{Absc}(0) &= 0 = A_0 \end{aligned}$$

- | Abscisa (Absc(1)) | Rasante (Rsn(1)) | Clave (Clv(1)) |
|--------------------------|-------------------------|-----------------------|
| 200 | 94 | 93,40 |

$$L_{\text{real}}(1) = \sqrt{(98,86 - 94)^2 + (200 - 0)^2} = \sqrt{23,61 + 40000} = 200,06 \text{ mts}$$

$$\text{Suml} = 0 + 200,06 = 200,06$$

$$P\%(1) = \frac{(98,86 - 94)^2}{200} \times 100 = 2,43 \text{ mts}$$

$$PE_{\text{max}}(1) = 98,46 - 93,40 = 5,06$$

Se verifica $200 - 0 \geq 1000$ no

$$PE_{\text{max}} = 5,06$$

- | Abscisa (Absc(2)) | Rasante (Rsn(2)) | Clave (Clv(2)) |
|--------------------------|-------------------------|-----------------------|
| 400 | 92 | 91,40 |

$$L_{\text{real}}(2) = \sqrt{(94 - 92)^2 + (400 - 200)^2} = \sqrt{4 + 40000} = 200,01 \text{mts}$$

$$\text{Suml} = 200,06 + 200,01 = 400,07$$

$$P\%(2) = \frac{(94 - 92)^2}{400 - 200} \times 100 = 1 \text{m}$$

$$\text{PEmax}(2) = 98,46 - 91,40 = 7,06$$

Se verifica $400 - 0 \geq 1000$ no

$$\Delta\%(2) = |2,43 - 1,00| = 1,43\%$$

$$7,06 \geq 5,06 \quad \text{SI}$$

$$\text{PEmax} = 7,06$$

•

Abscisa (Absc(3))	Rasante (Rsn(3))	Clave (Clv(3))
600	87	86,20

$$L_{\text{real}}(3) = \sqrt{(92 - 87)^2 + (600 - 400)^2} = \sqrt{25 + 40000} = 200,06 \text{mts}$$

$$\text{Suml} = 400,07 + 200,06 = 600,13$$

$$P\%(3) = \frac{(92 - 87)^2}{600 - 400} \times 100 = 2,5 \text{m}$$

$$\text{PEmax}(3) = 98,46 - 86,20 = 12,26$$

Se verifica $600 - 0 \geq 1000$ NO

$$\Delta\%(3) = |1 - 2,5| = 1,5\%$$

$$12,26 \geq 7,06 \quad \text{SI}$$

$$\text{PEmax} = 12,26$$

•

Abscisa (Absc(4))	Rasante (Rsn(4))	Clave (Clv(4))
750	86	85,40

$$L_{\text{real}}(4) = \sqrt{(87 - 86)^2 + (50 - 600)^2} = \sqrt{1 + 22500} = 150,00$$

$$\text{Suml} = 600,13 + 150 = 750,13$$

$$P\%(4) = \frac{(87 - 86)^2}{750 - 600} \times 100 = 0,67$$

$$\text{PEmax}(4) = 98,46 - 85,40 = 13,06$$

$$13,06 \geq 12,26 \quad \text{SI}$$

$$\text{PEmax} = 13,06$$

•

Abscisa (Absc(5))	Rasante (Rsn(5))	Clave (Clv(5))
900	80	79

$$L_{\text{real}}(5) = \sqrt{(86 - 80)^2 + (100 - 750)^2} = \sqrt{36 + 22500} = 150,12$$

$$\text{Suml} = 750,13 + 150,12 = 900,25$$

$$P\%(5) = \frac{(86 - 80)^2}{900 - 750} \times 100 = 4$$

$$\text{PEmax}(5) = 98,46 - 79 = 19,46$$

$$19,46 \geq 13,06 \quad \text{SI}$$

$$\text{PEmax} = 19,46$$

•

Abscisa (Absc(6))	Rasante (Rsn(6))	Clave (Clv(6))
1000	78	77,20

$$L_{\text{real}}(6) = \sqrt{(80 - 78)^2 + (1000 - 900)^2} = \sqrt{4 + 10000} = 100,02$$

$$\text{Suml} = 900,25 + 100,02 = 1000,27$$

$$P\%(6) = \frac{(80 - 78)^2}{1.000 - 900} \times 100 = 2$$

$$\text{PEmax}(6) = 98,46 - 77,20 = 21,26$$

Verificar si $1.000 \geq 1.000$ SI

$$A_0 = 1.000$$

$$\Delta\%(6) = 4 - 2 = 2$$

$$21,26 \geq 19,46 \text{ SI}$$

$$PE_{\max} = 21,26$$

•

Abscisa (Absc(7))	Rasante (Rsn(7))	Clave (Clv(7))
1200	69	68

$$L_{\text{real}}(7) = \sqrt{(78 - 69)^2 + (200 - 1000)^2} = \sqrt{81 + 40000} = 200,20$$

$$\text{Suml} = 1000,27 + 200,20 = 1200,47$$

$$P\%(7) = \frac{(78 - 69)^2}{1.200 - 1.000} \times 100 = 4,5$$

$$PE_{\max}(7) = 98,46 - 68 = 30,46$$

$$1.200 - 1.000 = 200 \longrightarrow 200 \geq 1.000 \text{ NO}$$

$$\Delta\%(7) = |2 - 4,5| = 2,5$$

Verificar si $30,46 \geq 21,26$ SI

$$PE_{\max} = 30,46$$

•

Abscisa (Absc(8))	Rasante (Rsn(8))	Clave (Clv(8))
1300	65	64,20

$$L_{\text{real}}(8) = \sqrt{(69 - 65)^2 + (300 - 1200)^2} = \sqrt{16 + 10000} = 100,08$$

$$\text{Suml} = 1200,27 + 100,08 = 1300,55$$

$$P\%(8) = \frac{(69 - 65)^2}{1.300 - 1.200} \times 100 = 4$$

$$PE_{\max}(8) = 98,46 - 64,20 = 34,26$$

$$1.300 - 1.000 = 300 \longrightarrow 300 \geq 1.000 \quad \text{NO}$$

$$\Delta\%(8) = |4,5 - 4| = 0,5$$

$$34,26 \geq 30,46 \quad \text{SI}$$

$$PE_{\max} = 34,26$$

•

Abscisa (Absc(9))	Rasante (Rsn(9))	Clave (Clv(9))
1400	64	63,20

$$L_{\text{real}}(9) = \sqrt{(65 - 64)^2 + (1400 - 1300)^2} = \sqrt{1 + 10000} = 100,00$$

$$\text{Suml} = 1300,55 + 100 = 1400,55$$

$$P\%(9) = \frac{(65 - 64)^2}{1.400 - 1.300} \times 100 = 1$$

$$PE_{\max}(9) = 98,46 - 63,20 = 35,26$$

$$1.400 - 1.000 = 400 \longrightarrow 400 \geq 1.000 \quad \text{NO}$$

$$\Delta\%(9) = |4 - 1| = 3$$

$$35,26 \geq 34,26 \quad \text{SI}$$

$$PE_{\max} = 35,26$$

•

Abscisa (Absc(10))	Rasante (Rsn(10))	Clave (Clv(10))
1600	62	61,40

$$L_{\text{real}}(10) = \sqrt{(64 - 62)^2 + (1600 - 1400)^2} = \sqrt{4 + 40000} = 200,01$$

$$\text{Suml} = 1400,55 + 200,01 = 1600,56$$

$$P\%(10) = \frac{(64 - 62)^2}{1.600 - 1.400} \times 100 = 1$$

$$PE_{\max}(10) = 98,46 - 61,40 = 37,06$$

$$1.600 - 1.000 = 600 \longrightarrow 600 \geq 1.000 \quad \text{NO}$$

$$\Delta\%(10) = |1 - 1| = 0$$

$$37,06 \geq 35,26 \quad \text{SI}$$

$$PE_{\max} = 37,06$$

•

Abscisa (Absc(11))	Rasante (Rsn(11))	Clave (Clv(11))
1800	63	62,40

$$L_{\text{real}}(11) = \sqrt{(62 - 63)^2 + (1800 - 1600)^2} = \sqrt{1 + 40000} = 200,00$$

$$\text{Suml} = 1600,56 + 200 = 1800,56$$

$$P\%(11) = \frac{(62 - 63)^2}{1.800 - 1.600} \times 100 = -0,5$$

$$PE_{\max}(11) = 98,46 - 62,40 = 36,06$$

$$1.800 - 1.000 = 800 \longrightarrow 800 \geq 1.000 \quad \text{NO}$$

$$\Delta\%(11) = |0 - (-0,5)| = 0,5$$

$$36,06 \geq 37,26 \quad \text{NO}$$

$$PE_{\max} = 37,06$$

•

Abscisa (Absc(12))	Rasante (Rsn(12))	Clave (Clv(12))
2000	63,50	62,9

$$L_{\text{real}}(12) = \sqrt{(63 - 63,50)^2 + (2000 - 1800)^2} = \sqrt{0,25 + 40000} = 200,00$$

$$\text{Suml} = 1800,56 + 200 = 2000,56$$

$$P\%(12) = \frac{(63 - 63,50)^2}{2.000 - 1.800} \times 100 = -0,25$$

$$PE_{\max}(12) = 98,46 - 62,9 = 35,56$$

$$2.000 - 1.000 = 1.000 \longrightarrow 1.000 \geq 1.000 \quad \text{SI}$$

$$A_o = 2.000$$

$$\Delta\%(12) = |-0,25 - (-0,5)| = 0,25$$

$$35,56 \geq 37,06 \quad \text{NO}$$

$$PE_{\max} = 37,06$$

•

Abscisa (Absc(13))	Rasante (Rsn(13))	Clave (Clv(13))
2200	64	63,4

$$L_{\text{real}}(13) = \sqrt{(63,50 - 64)^2 + (2200 - 2000)^2} = \sqrt{0,25 + 40000} = 200$$

$$\text{Suml} = 2000,56 + 200 = 2200,56$$

$$P\%(13) = \frac{(63,50 - 64)^2}{2.200 - 2.000} \times 100 = -0,25$$

$$PE_{\max}(12) = 98,46 - 63,4 = 35,06$$

$$2.200 - 2.000 = 200 \longrightarrow 200 \geq 1.000 \quad \text{NO}$$

$$\Delta\%(13) = |-0,25 - (-0,25)| = 0$$

$$35,06 \geq 37,06 \quad \text{NO}$$

$$PE_{\max} = 37,06$$

$$\text{Cotta L} = 64$$

$$L = 2.200,56\text{m}$$

7.7.4.1 Ejemplo de diseño de la conducción: desarenador – tanque de almacenamiento.

Condiciones de diseño.

- Periodo de diseño = 20 años.
- Caudal de diseño = caudal máximo diario = 30 L/s = 0,030m³/s
- Cota de lamina de agua a la salida del desarenador = 98,67
- Cota de descarga en el tanque de almacenamiento = 64,00

Trazado de la conducción. En las figuras 195 y 196 se presentan los esquemas de la planta y el perfil de conducción. Sobre el perfil se dibuja primero la rasante y posteriormente se hace el trazado de la clave de la tubería mediante alineamientos rectos, manteniendo como profundidad mínima 0,6m. Según las necesidades del terreno, en algunos puntos se requiere una profundidad mayor (0,8m o 1,0m).

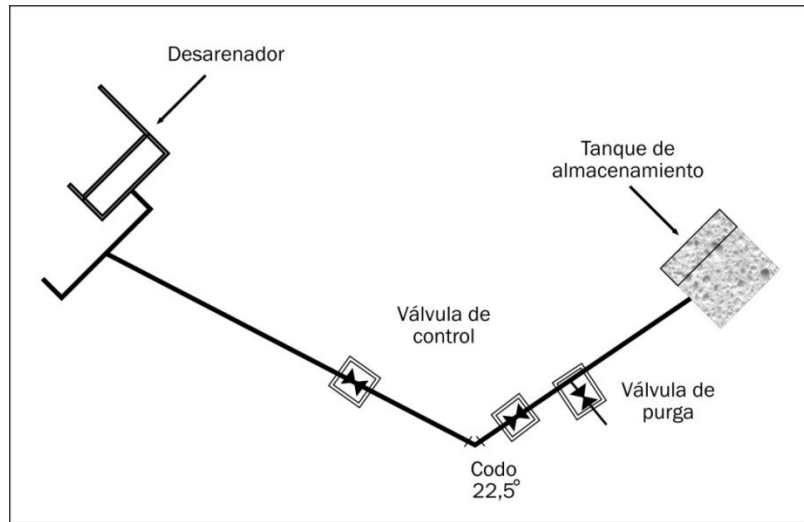
En la tabla 44 se presentan las cotas del perfil y la pendiente del alineamiento. La longitud total es la suma de las longitudes de cada tramo, igual a 2.200,58m.

Tabla 44. Perfil de la conducción

Abscisa	Rasante	Clave	Longitud (m)	Pendiente	Δ o Σ
0	98,86	98,46			
200	94,00	93,40	200,06	2,43%	1,43%
400	92,00	91,40	200,01	1,00%	1,50%
600	87,00	86,20	200,06	2,50%	1,83%
750	86,00	85,40	150,00	0,67%	3,33%
900	80,00	79,00	150,12	4,00%	2,00%
1000	78,00	77,20	100,02	2,00%	2,50%
1200	69,00	68,20	200,20	4,50%	0,50%
1300	65,00	64,20	100,08	4,00%	3,00%
1400	64,00	63,20	100,00	1,00%	0,00%
1600	62,00	61,40	200,01	1,00%	0,50%
1800	63,00	62,40	200,00	-0,50%	0,25%
2000	63,50	62,90	200,00	-0,25%	0,00%
2200	64,00	63,40	200,00	-0,25%	

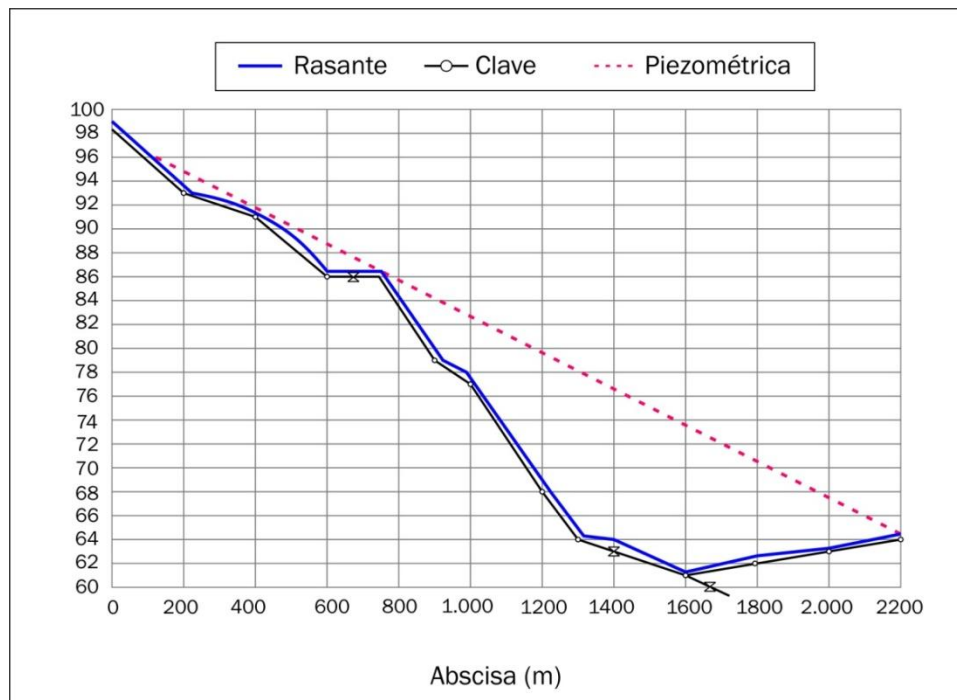
Fuente: LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Trazado de la conducción

Figura 195. Conducción desarenador – tanque de almacenamiento. Planta



Fuente. LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Trazado de la conducción

Figura 196. Conducción desarenador – tanque de almacenamiento. Perfil



Fuente. LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Trazado de la conducción

La línea piezométrica del perfil se ha trazado con la carga hidráulica máxima disponible.

7.7.4.2 Presión de diseño

Presión estática máxima (en abscisa 1.600) = 98,67 – 61,40 = 37,27m

Presión de diseño = 1,3 * 37,27 = 48,45m

Se ha determinado la utilización de la tubería tipo PVC con las siguientes especificaciones:

- Clase de tubería = RDE 32,5, tipo 1, grado 1.
- Presión de trabajo = 8,8kg/cm² = 88m
- Coeficiente de rugosidad de Hazen Williams, C = 150.

7.7.4.3 Cálculo de diámetro. El diseño de la tubería se hace utilizando la ecuación de Hazen Williams:

$$Q = 0,2785CD^{2,63}J^{0,54}$$

Carga hidráulica disponible = H = 98,67 – 64,00 = 34,67m

Longitud real de tubería = L = 2.200,58m

$$\text{Pérdida de carga unitaria} = J = \frac{H}{L} = \frac{34,67}{2.200,58} = 0,0158\text{m/m}$$

Despejando el diámetro de la ecuación de Hazen – Williams:

$$D = \left(\frac{Q}{0,2785CJ^{0,54}} \right)^{\frac{1}{2,63}} = \left(\frac{0,030}{0,2785 \times 150(0,0158)^{0,54}} \right)^{\frac{1}{2,63}} = 0,149\text{m} = 5,85''$$

Existen dos alternativas de diseño:

- Diseñar la conducción para un diámetro de 6'', solución que puede ser aceptable teniendo en cuenta que el diámetro teórico es muy cercano al diámetro comercial y que la cota piezométrica a la llegada al tanque sería de 64,53 (se desperdician sólo 53cm de energía).
- Diseñar para una combinación de diámetros de 4'' y 6'', con lo cual se hace un uso óptimo de la carga hidráulica disponible (no hay desperdicio de energía). El

procedimiento de cálculo es más general que el de la alternativa anterior y, por tanto, el presente ejemplo se desarrolla con la combinación de diámetros.

La pérdida de carga total se divide en dos: $H = H_1 + H_2$, en donde el subíndice 1 corresponde al diámetro en 4'' y el subíndice 2 corresponde al diámetro en 6''. Como se demuestra a continuación, la pérdida de carga de la tubería de 4'' es mayor que la de 6'' para el caudal de 30L/s. Dado el perfil del ejemplo, si se coloca primero la tubería en 4'', es muy posible que la línea piezométrica corte la tubería, por lo que se coloca entonces primero la tubería en 6'' y al final se deja la de 4''.

Para el diámetro nominal de 4'' (114mm):

Diámetro externo = 114,30mm

Espesor de la pared del tubo = 3,51mm

Diámetro interno real = $114,30 - 3,51 \times 2 = 107,28\text{mm}$

$$J_1 = \left(\frac{Q}{0,2785 \times C \times D^{2,63}} \right)^{\frac{1}{0,54}} = \left(\frac{0,030}{0,2785 \times 150 \times (0,10728)^{2,63}} \right)^{\frac{1}{0,54}}$$

$$J_1 = 0,07729\text{m/m}$$

$$V_1 = \frac{Q}{A} = \frac{0,030}{\frac{\pi \times (0,10728)^2}{4}} = 3,27\text{m/s} \longrightarrow \frac{V_1^2}{2g} = 0,55\text{m}$$

Para el diámetro nominal de 6'' (168mm):

Diámetro externo = 168,28mm

Espesor de la pared del tubo = 5,18mm

Diámetro interno real = $168,28 - 5,18 \times 2 = 157,92$

$$J_2 = \left(\frac{Q}{0,2785 \times C \times D^{2,63}} \right)^{\frac{1}{0,54}} = \left(\frac{0,030}{0,2785 \times 150 \times (0,15792)^{2,63}} \right)^{\frac{1}{0,54}}$$

$$J_2 = 0,01176\text{m/m}$$

$$V_2 = \frac{Q}{A} = \frac{0,030}{\frac{\pi \times (0,15792)^2}{4}} = 1,51\text{m/s} \longrightarrow \frac{V_2^2}{2g} = 0,12\text{m}$$

La carga hidráulica total disponible es:

$$H = H_1 + H_2 = J_1 L_1 + J_2 L_2 = J_1 L_1 + J_2 (L - L_1)$$

$$L_1 = \frac{H - J_2 L}{J_1 - J_2} = \frac{34,67 - 0,011176 \times 2.200,58}{0,07729 - 0,001176} = 134,15\text{m} \quad D_1 = 4''$$

$$L_2 = L - L_1 = 2.200,58 - 134,15 = 2.066,43\text{m} \quad D_2 = 6''$$

7.7.4.4 Cálculo de las pérdidas de energía

a) Pérdidas por codos

Se debe seleccionar el codo necesario para el cambio de dirección de cada alineamiento, con diferencia o suma de pendientes calculadas en la tabla 42 y según el criterio de la tabla 41. En este caso no hay suma o diferencia de pendientes mayor de 14% y, por tanto, el cambio de dirección vertical puede hacerse con la misma deflexión de la tubería.

Codos horizontales: 1 codo de 90° en 6''
 1 codo de 22,5° en 6''

$$h_m = 0,25 \frac{V_2^2}{2g} \sum \sqrt{\frac{\theta}{90}} = 0,25 \times 0,12 \times \left(1 \times \sqrt{\frac{90}{90}} + 1 \times \sqrt{\frac{22,5}{90}} \right) = 0,15\text{m}$$

b) Pérdidas por válvulas de control

Teniendo en cuenta las recomendaciones para la colocación de válvulas de control, se han instalado válvulas a la salida del desarenador (6''), a la entrada al tanque de almacenamiento (4'') y, dado que la distancia máxima entre válvulas es de 1.000m, dos válvulas intermedias (6'') en las abscisas 700 y 1.400, respectivamente.

Válvula de compuerta abierta: k = 0,2
 1 válvula en 4''
 3 válvulas en 6''

$$h_m = 0,2 n \frac{V_1^2}{2g} + 0,2n \frac{V_2^2}{2g} = 0,2 \times (1 \times 0,55 + 3 \times 0,12) = 0,11 + 0,07 = 0,18\text{m}$$

Pérdidas por la te

Se ha dispuesto de una purga en la abscisa 1.600 debido a la depresión que allí se presenta.

De paso directo (purga) en 6'': $k = 0,6$

De paso lateral (salida desarenador) en 6'': $k = 1,3$

$$h_m = (0,6+1,3) \frac{V_2^2}{2g} = 1,9 \times 0,12 = 0,22\text{m}$$

Pérdidas por reducción gradual (de 6'' a 4'')

$$D_1/D_2 = 163,10/110,79 = 1,47 \longrightarrow k = 0,22$$

$$h_m = 0,22 \frac{V_1^2}{2g} = 0,22 \times 0,55 = 0,12\text{m}$$

Pérdidas por entrada normal al tubo (6'')

$$h_m = 0,5 \frac{V_2^2}{2g} = 0,5 \times 0,12 = 0,06\text{m}$$

1. Pérdidas por salida (4'')

$$h_m = 1,0 \frac{V_1^2}{2g} = 1,0 \times 0,55 = 0,55\text{m}$$

7.7.4.5 Pérdidas totales

$$\sum h_m = 0,15 + 0,18 + 0,22 + 0,12 + 0,06 + 0,55 = 1,28\text{m}$$

Con el valor de las pérdidas totales se deben verificar el diámetro teórico y la redistribución de longitudes:

Carga hidráulica disponible = $H = 96,67 - 64,00 - 1,28 = 33,39$

Longitud real de la tubería = $L = 2.200,58\text{m}$

Pérdida de carga unitaria $J = \frac{H}{L} = \frac{33,39}{2.200,58} = 0,01517\text{m/m}$

Despejando el diámetro de la ecuación de Hazen – Williams:

$$D = \left(\frac{Q}{0,2785CJ^{0,54}} \right)^{\frac{1}{2,63}} = \left(\frac{0,030}{0,2785 \times 150(0,01517)^{0,54}} \right)^{\frac{1}{2,63}} = 0,150\text{m} = 5,90''$$

Por tanto, se sigue trabajando con $D_1 = 4''$ y $D_2 = 6''$, y las mismas pérdidas de carga unitaria $J_1 = 0,07729$ m/m y $J_2 = 0,01176$ m/m. Las nuevas longitudes de las tuberías serán:

$$H = H_1 + H_2 = J_1 L_1 + J_2 L_2 = J_1 L_1 + J_2 (L - L_1)$$

$$L_1 = \frac{H - J_2 L}{J_1 - J_2} = \frac{33,39 - 0,01176 \times 2.200,58}{0,07729 - 0,01176} = 114,72\text{m} \quad D_1 = 4''$$

$$L_2 = L - L_1 = 2.200,58 - 114,72 = 2.085,86\text{m} \quad D_2 = 6''$$

Con esta nueva distribución de longitudes, se verifica que no exista cambio de diámetro en los accesorios:

Las cotas de las líneas piezométrica se calculan para cada tramo:

Tramo en 6'':

Cota piezométrica al inicio = 98,67

Cota piezométrica al final = $98,67 - J_2 \times L_2 - \sum h_{m2}$

Cota piezométrica al final = $98,67 - 0,01176 \times 2085,86 - 0,15 - 0,07 - 0,22 - 0,12 - 0,06$

Cota piezométrica al final = 73,52

Tramo en 4'':

Cota piezométrica al inicio = 73,52

Cota piezométrica al final = $73,52 - J_1 \times L_1 - \sum h_{m1}$

Cota piezométrica al final = $78,61 - 0,07729 \times 114,72 - 0,11 - 0,55$

Cota piezométrica al final = 64,00

7.7.4.6 Comprobación del golpe de ariete

Válvula abscisa 700:

Relación de módulos de elasticidad (tabla 43): $k = 18$

Distancia real al desarenador = 700,13

Cota = 86,00

Diámetro = 6" (real = 157,92mm)

Espesor de la pared = 5,18mm

Velocidad = 1,51m/s

La celeridad de la onda es:

$$C = \frac{9.900}{\sqrt{48,3 + k \frac{D}{e}}} = \frac{9.900}{\sqrt{48,3 + 18 \times \frac{157,92}{5,18}}} = 405,16 \text{m/s}$$

La fase de la tubería es:

$$T = \frac{2L}{C} = \frac{2 \times 700,13}{405,16} = 3,49 \text{s}$$

Al ocurrir el cierre instantáneo de la válvula (por la falla mecánica), el valor de la sobrepresión se calcula con un tiempo de cierre igual a la fase de la tubería:

$$h_a = \frac{CV}{g} = \frac{405,16 \times 1,51}{9,81} = 62,34 \text{m}$$

Tiempo de maniobra para no sobrepasar la presión de diseño:

Presión estática sobre la válvula = 98,67 – 86,00 = 12,67m

Presión total sobre la válvula = 62,34 + 12,67 = 75,01m

La presión total no excede la presión de diseño de 88m, por lo cual no hay problema al presentarse la sobrepresión máxima por golpe de ariete.

Válvula abscisa 1.400:

Relación de módulos de elasticidad (tabla 43): $k = 18$

Distancia real al desarenador = 1.400,56

Cota = 63,20

Diámetro = 6" (real = 157,92mm)

Espesor de la pared = 5,18mm

Velocidad = 1,51m/s

La celeridad de la onda es igual a la anterior:

$$C = 405,16$$

La fase de la tubería es:

$$T = \frac{2L}{C} = \frac{2 \times 1.400,56}{405,16} = 6,91s$$

La sobrepresión máxima es igual a la anterior:

$$h_a = 62,34m$$

Tiempo de maniobra para no sobrepasar la presión de diseño:

$$\text{Presión estática sobre la válvula} = 98,67 - 63,20 = 35,47m$$

$$\text{Presión total sobre la válvula} = 62,34 + 35,47 = 97,81m$$

La presión total excede la presión de diseño de 88m, por lo que hay que determinar el tiempo de maniobra para que, por operación normal de la válvula, no se exceda la presión de diseño:

$$\text{Presión disponible para golpe de ariete} = 88,00 - 35,47 = 52,53m$$

El tiempo de maniobra requerido para no exceder la sobrepresión máxima permisible de 52,53m, se calcula como:

$$t = \frac{2LV}{gh_a} = \frac{2 \times 1.400,56 \times 1,51}{9,81 \times 52,53} = 8,20s$$

Es decir, que la válvula no podrá cerrarse en un tiempo inferior a nueve segundos.

Válvula abscisa 2.200:

Relación de módulos de elasticidad (tabla 43): $k = 18$

Distancia real al desarenador = 2.200,58

Cota = 63,40

Diámetro = 4" (real = 107,28mm)

Espesor de la pared = 3,51mm

Velocidad = 3,27m/s

La celeridad de la onda es:

$$C = \frac{9.900}{\sqrt{48,3 + k \frac{D}{e}}} = \frac{9.900}{\sqrt{48,3 + 18 \times \frac{107,28}{3,51}}} = 404,69 \text{m/s}$$

La fase de la tubería es:

$$T = \frac{2L}{C} = \frac{2 \times 2.200,58}{404,69} = 10,88 \text{s}$$

La sobrepresión máxima es:

$$h_a = \frac{CV}{g} = \frac{404,69 \times 3,27}{9,81} = 134,93 \text{m}$$

Valor que excede por sí solo la presión de diseño de 88m. El tiempo de maniobra para que, por operación normal de la válvula, no se exceda la presión de diseño será:

$$\text{Presión estática sobre la válvula} = 98,67 - 63,40 = 35,27$$

$$\text{Presión disponible para golpe de ariete} = 88,00 - 35,27 = 52,73 \text{m.}$$

El tiempo de maniobra es:

$$t = \frac{2LV}{gh_a} = \frac{2 \times 2.200,58 \times 3,27}{9,81 \times 52,73} = 27,83 \text{s}$$

Es decir, que la válvula no podrá cerrarse en un tiempo inferior a 28 segundos. Como se indicó al calcular inicialmente el diámetro de la tubería, es posible colocar toda la conducción en un solo diámetro de 6" resulte una mejor opción.

7.7.5 Diagrama de flujo

Listado de variables de periodo de diseño e ingreso del perfil de la conducción

Absc (I)	= abscisa correspondiente al perfil del terreno.
Absc (J)	= abscisa correspondiente a un punto de la conducción donde se desee ubicar una válvula de control, este valor debe ser ingresado por el usuario
Rsn (I)	= es la cota rasante de la tubería de conducción.
Clv (I)	= es la cota clave de la tubería de conducción.
Ao	= es una variable de referencia utilizada para saber cuando la sumatoria de las abscisas alcance una longitud de 1.000 mts.
Lreal(I)	= es la longitud real de cada tramo de tubería.
P%(I)	= es la pendiente existente entre las cotas de cada tramo.
Clvc	= Cota clave mayor. Es utilizada para determinar el punto de presión estático máximo.
SumL	= Sumatoria de la longitud de la tubería.
Absc	= Abscisa correspondiente al accesorio
#accv	= Es un vector que acumula el número de accesorios del tipo válvulas de control.
accv (J)	= Accesorio tipo válvula de control.
$\Delta\%$	= Es la variación de la pendiente en cada tramo.
I	= Variable de control de ciclo.
Cottal	= Cota de descarga en el tanque de almacenamiento.
acc (I)	= Accesorio (codo vertical) a utilizar.
θ_v°	= Ángulo del codo vertical a utilizar.
θ'_v	= Ángulo del codo complementario vertical a utilizar.
PD	= Es la presión de diseño del sistema

Listado de variables de de la conducción: desarenador – tanque de almacenamiento

RDE	= Es la clase de la tubería a utilizar
Matc	= Material de la tubería utilizada en la conducción
CLvmax	= Cota clave máxima
PEmax	= Presión estática máxima.
CHd	= Carga hidráulica disponible.
D	= Diámetro de la tubería.
L	= Longitud total de la tubería de conducción
Dci	= Diámetro interno del diámetro
Dc	= Diámetro comercial
J	= Pérdida de carga unitaria

Cottal = Cota de descarga en el tanque de almacenamiento.
Cottacr = Cota lámina de agua en la cámara de recolección.
D1 = Diámetro comercial del tramo 1 en pulgadas.
D2 = Diámetro comercial del tramo 2 en pulgadas.
L₁ = Longitud de la tubería de diámetro D₁.
L₂ = Longitud de la tubería de diámetro D₂.
Pt = Es la presión de trabajo de la tubería.
Hv₂ = Altura producida por la velocidad 2 (V₂).
Sumac1 = Sumatoria de variables (X) de diámetro 1 pertenecientes a los codos verticales.
X() = Variable que depende del ángulo del codo y sirve para encontrar las pérdidas en este.
Sumac2 = Sumatoria de variables (X) de diámetro 2 pertenecientes a los codos verticales.
hmcv₁ = Pérdidas de energía por codos verticales en el tramo 1.
hmcv₂ = Pérdidas de energía por codos verticales en el tramo 2.
acch(n) = Codos horizontales
Absc (n) = Abscisa donde se encuentra ubicado en el codo horizontal.
Δh%(n) = Es la variación o cambio de dirección horizontal.
hmCVT = Pérdidas totales por codos verticales.
D(n) = Diámetro asignado el accesorio (codo horizontal)
θH° = Ángulo del codo horizontal a utilizar.
θ'H = Ángulo del codo complementario vertical a utilizar.
X (n) = Esta es una variable que depende del ángulo del codo y sirve para calcular las pérdidas en estos accesorios.
hmcH₂ = Pérdidas en codos horizontales de diámetro 2.
hmcH₁ = Pérdidas en codos horizontales de diámetro 1.
hmcHT = Pérdidas totales en códigos horizontales
SumaH₂ = Es un vector en el cual se acumulan los resultados de la variable (X(n)) necesaria para calcular pérdidas en codos horizontales de diámetro (D₂).
SumaH₁ = Es un vector en el cual se acumulan los resultados de la variable (X(n)) necesaria para calcular pérdidas en codos horizontales de diámetro (D₁).
K = Coeficiente de pérdidas de los accesorios.
hmvc₁ = Pérdidas en válvulas de compuerta e intermedias de diámetro D₁.
hmvc₂ = Pérdidas en válvulas de compuerta e intermedias de diámetro D₂.
Sumaccv₁ = Es un vector en el cual se acumulan las pérdidas de las válvulas de compuerta de diámetro D₁.
Sumaccv₂ = Es un vector en el cual se acumulan las pérdidas de las válvulas de compuerta de diámetro D₂.
hmVCT = Pérdidas totales en válvulas de control.
hmacd = Pérdidas en accesorios de cambio de diámetro.
hmT = Pérdidas totales en accesorios.
hmS = Pérdidas por salida
hme = Pérdidas por entrada.

Sumacd = Sumatoria de variables (x), la cual depende del tipo de codo a utilizarse; necesaria para calcular las pérdidas en el mismo

Cpi1 : Cota piezométrica del tramo 1

Cpf1 : Cota piezométrica final del tramo 4

Cpi2 : Cota piezométrica inicial del tramo2

Cpf2 : Cota piezométrica final del tramo 2

Cpi : Cota piezométrica inicial para un solo tramo

Cp_F : Cota piezométrica final para un solo tramo o diámetro

Lvd : Longitud de la válvula del desarenador.

Lrvd : Longitud real de la válvula del desarenador.

Clv (J): Cota clave de la válvula J

Cota : Cota inicial de referencia

C : Celeridad de la onda

T : Fase de la tubería

ha : Sobrepresión

PEv : Presión estática sobre la válvula

PTv : Presión total sobre la válvula

D_{1i} = Diámetro interno de la tubería en el tramo 1.

D_{2i} = Diámetro interno de la tubería en el tramo 2.

J1 = Pérdida de carga en el tramo 1 de la tubería cuando se hace combinación de diámetros.

V1_c = Velocidad del fluido dentro de la tubería de conducción del tramo 1.

V2_c = Velocidad del fluido dentro de la tubería de conducción del tramo 2.

Hv₁ = Altura producida por la velocidad del tramo 1 (V₁).

k = Relación de módulos de elasticidad

Figura 197. Periodo de diseño e ingreso de la conducción

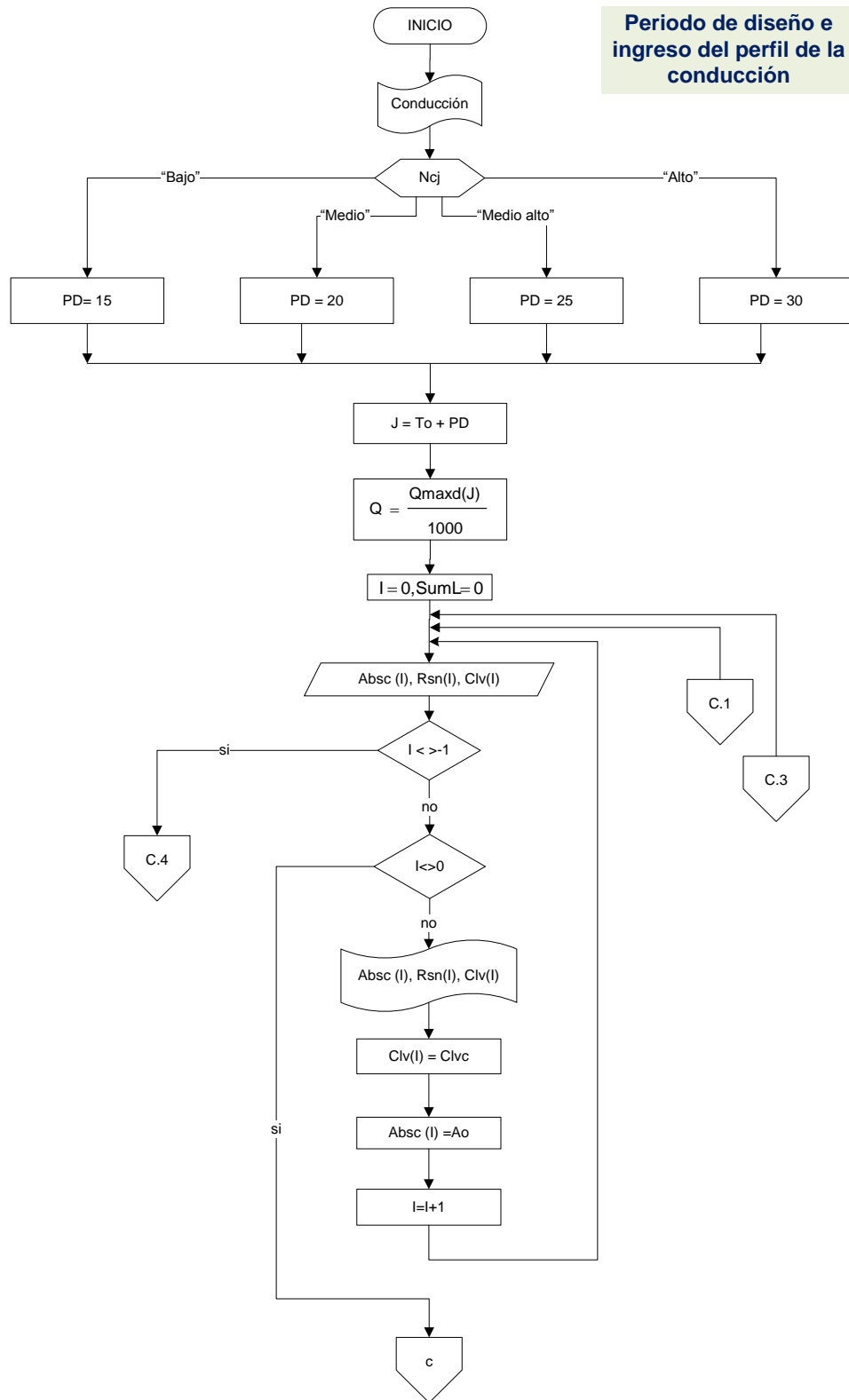


Figura 198. Periodo de diseño e ingreso del perfil de la conducción

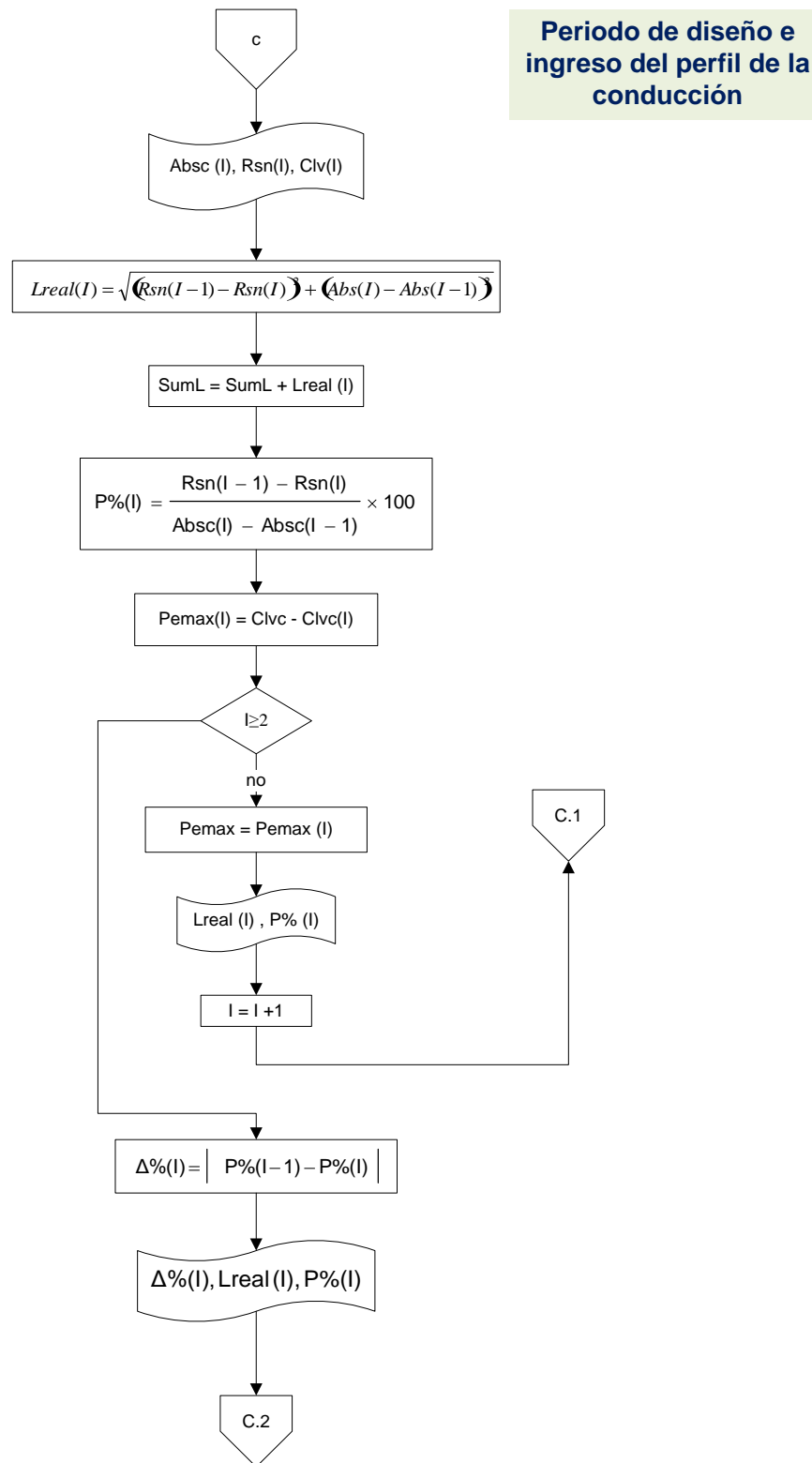


Figura 199. Periodo de diseño e ingreso del perfil de la conducción

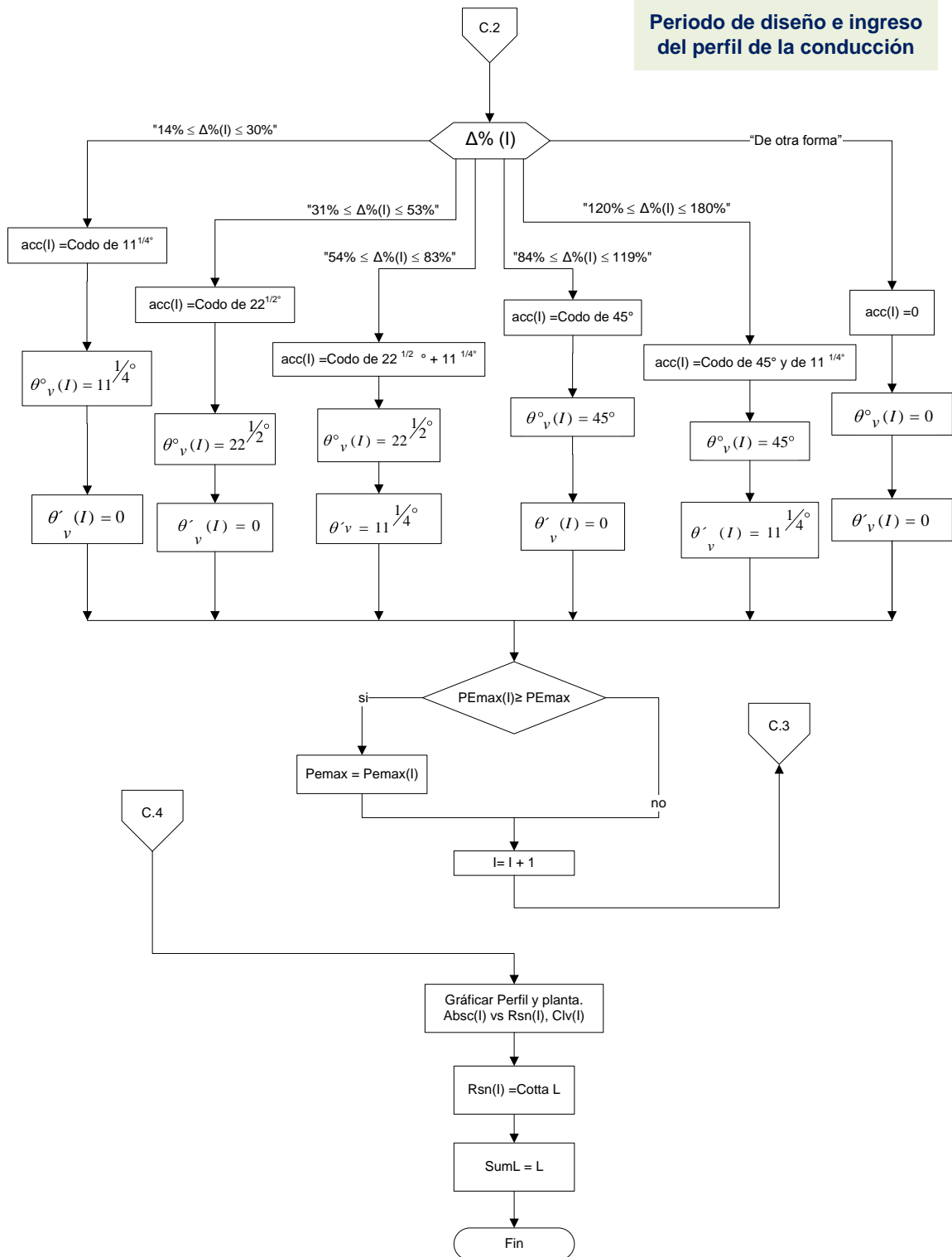


Figura 200. Conducción: desarenador – tanque de almacenamiento

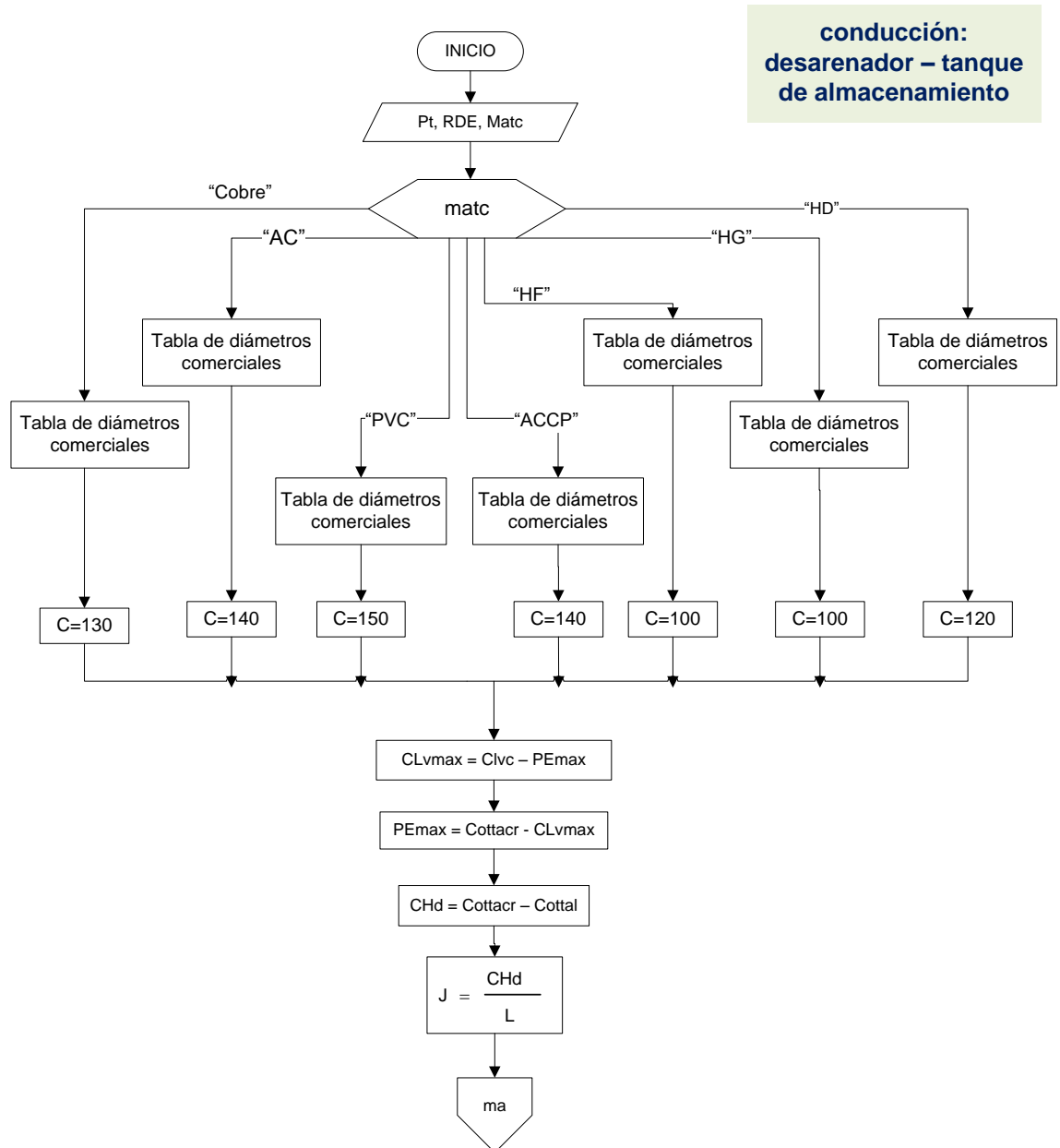


Figura 200. Conducción: desarenador – tanque de almacenamiento

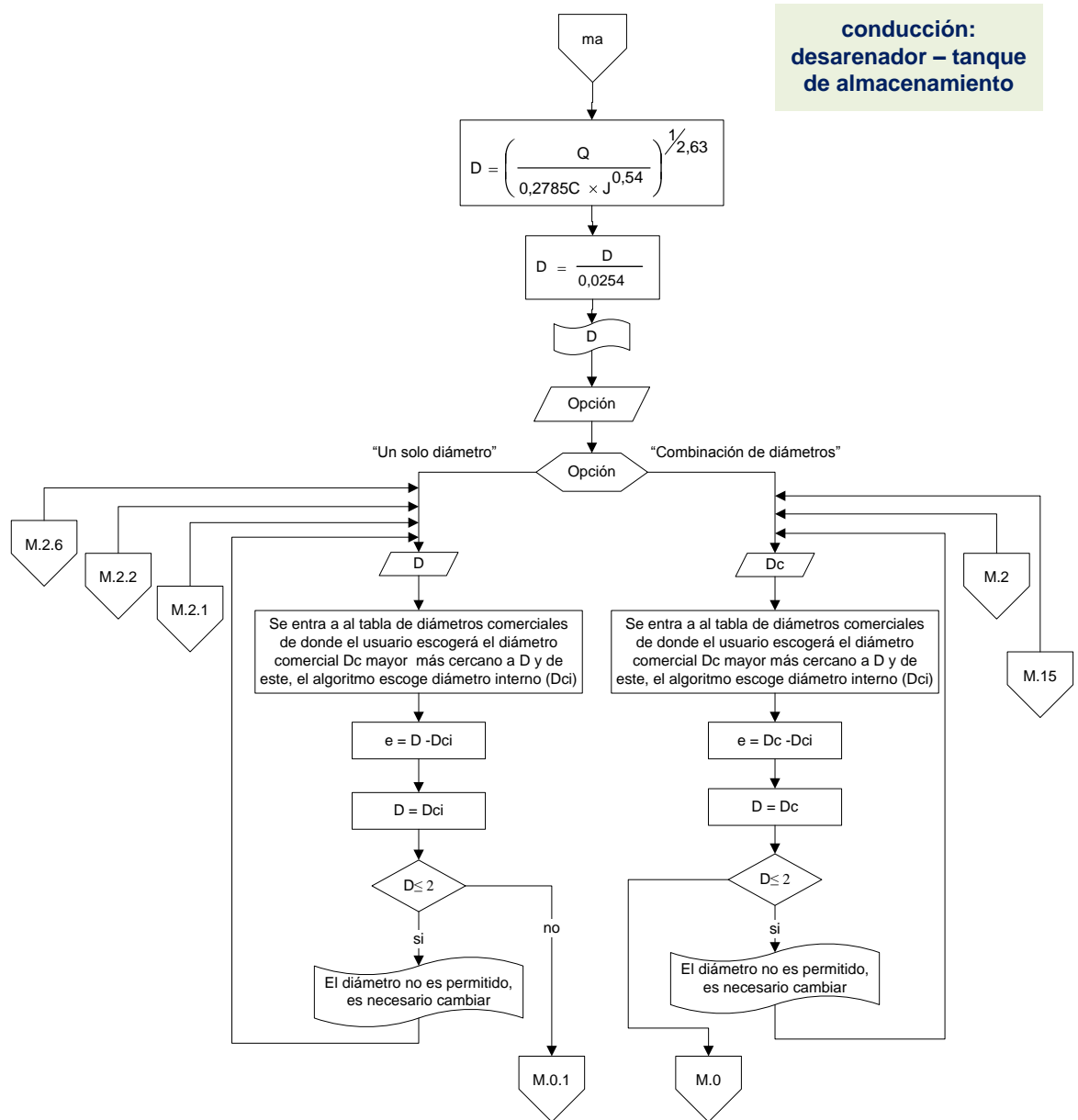


Figura 201. Conducción: desarenador – tanque de almacenamiento

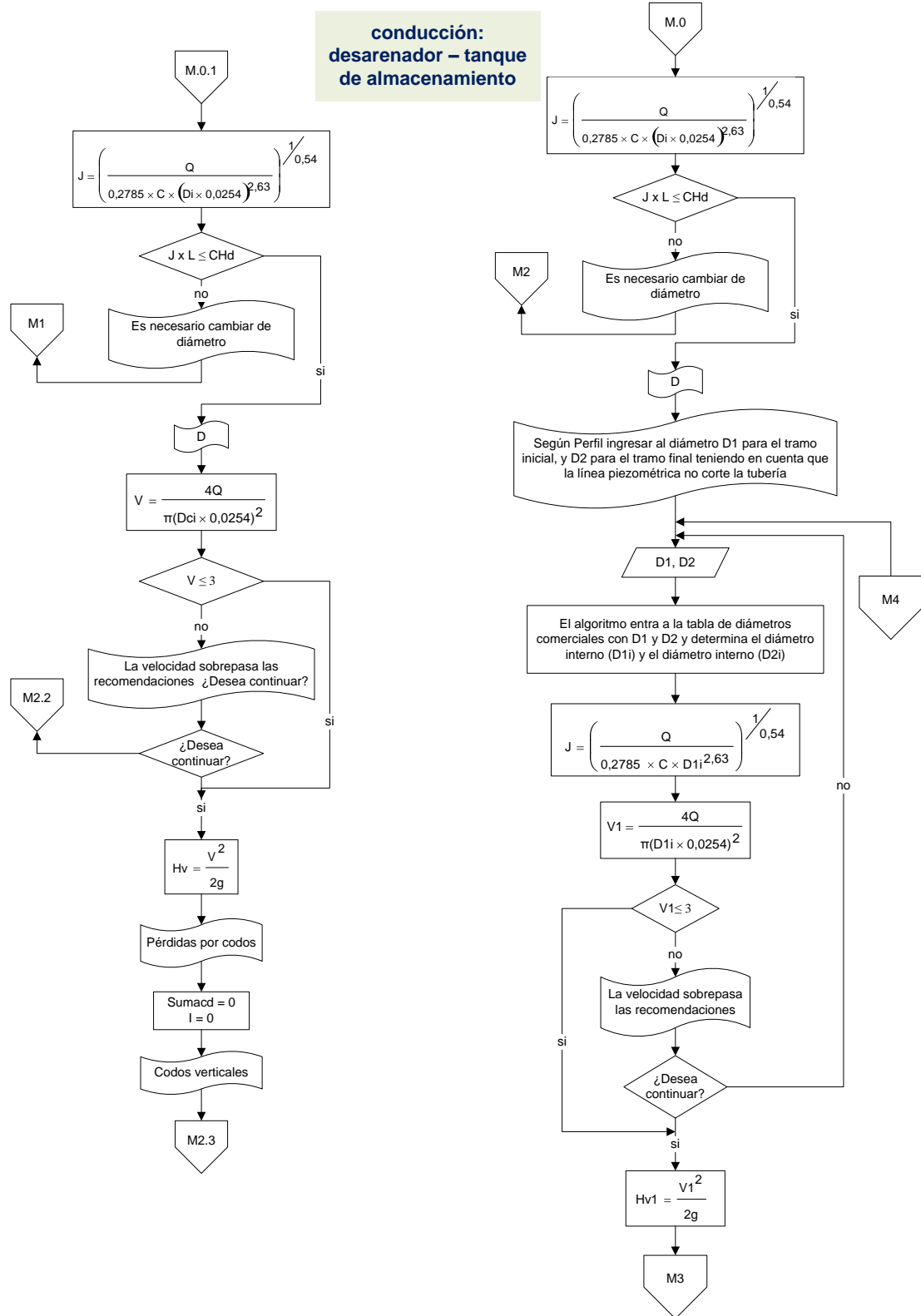


Figura 202. Conducción: desarenador – tanque de almacenamiento

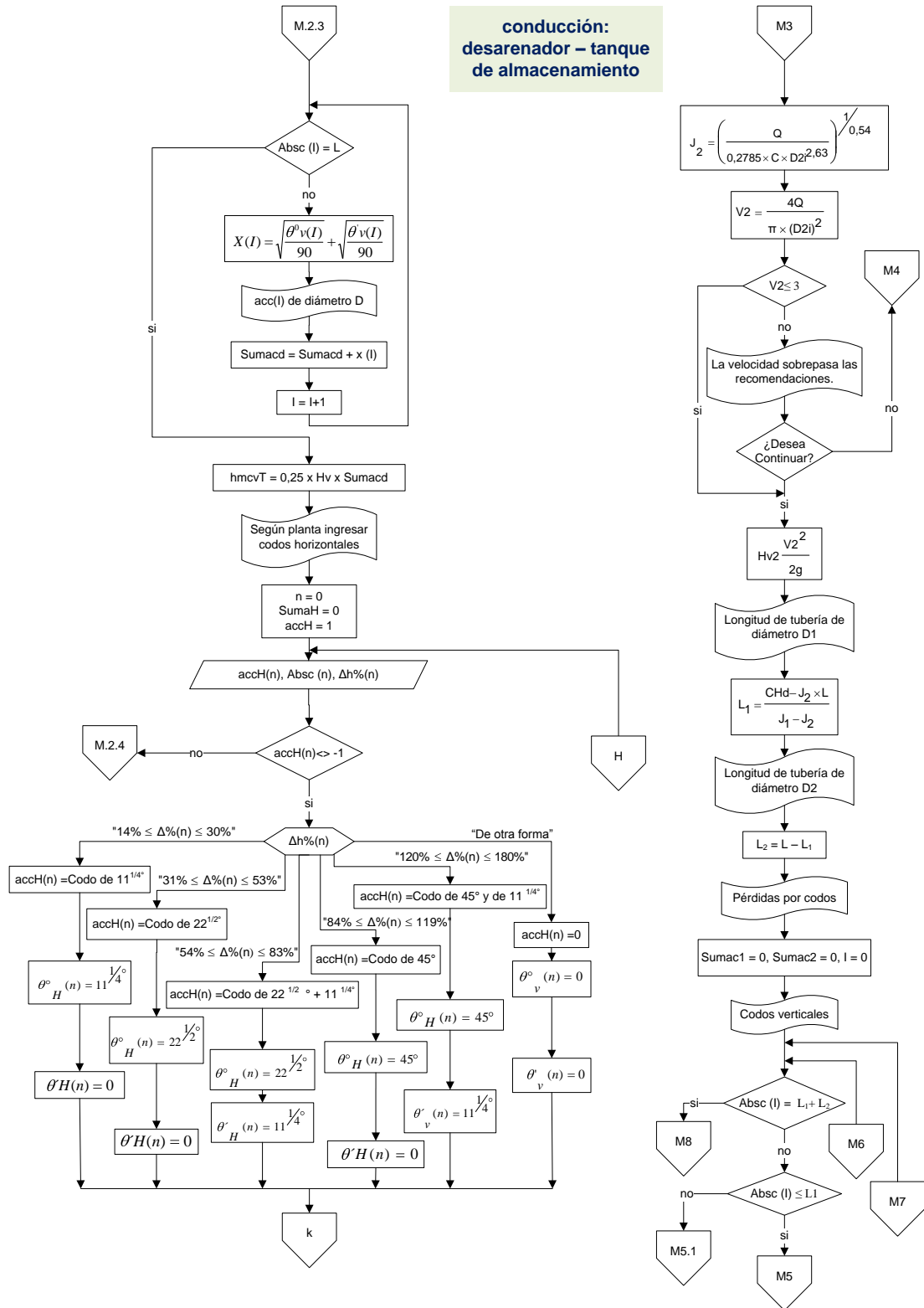
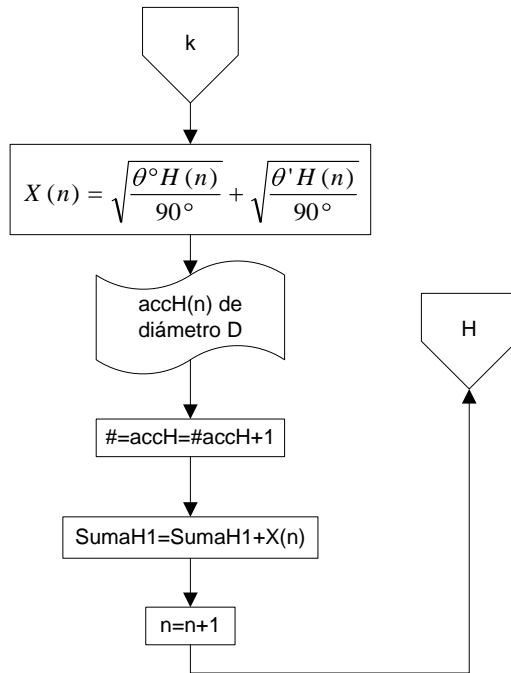


Figura 203. Conducción: desarenador – tanque de almacenamiento



**conducción:
desarenador – tanque
de almacenamiento**

Figura 204. Conducción: desarenador – tanque de almacenamiento

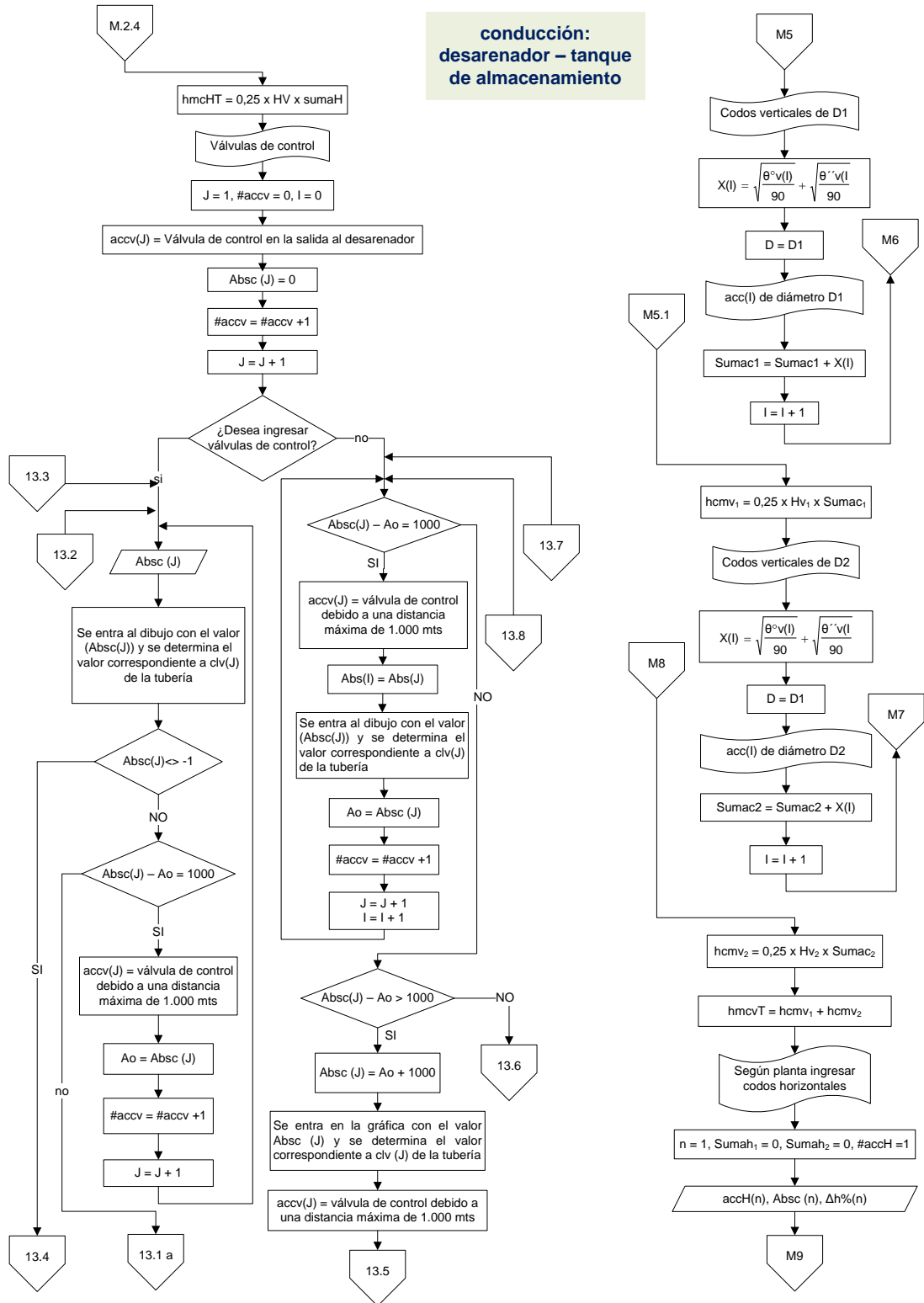


Figura 205. Conducción: desarenador – tanque de almacenamiento

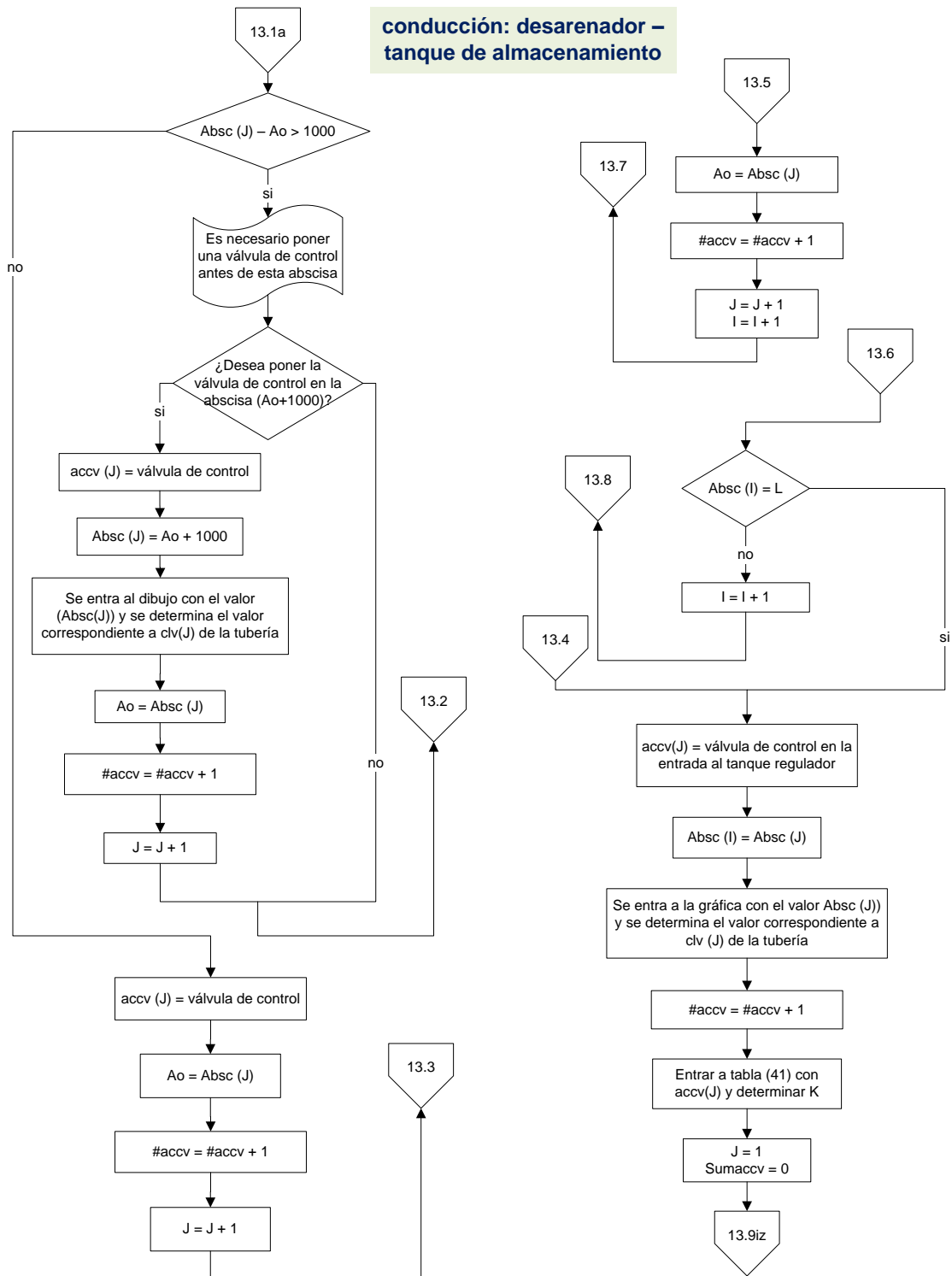


Figura 206. Conducción: desarenador – tanque de almacenamiento

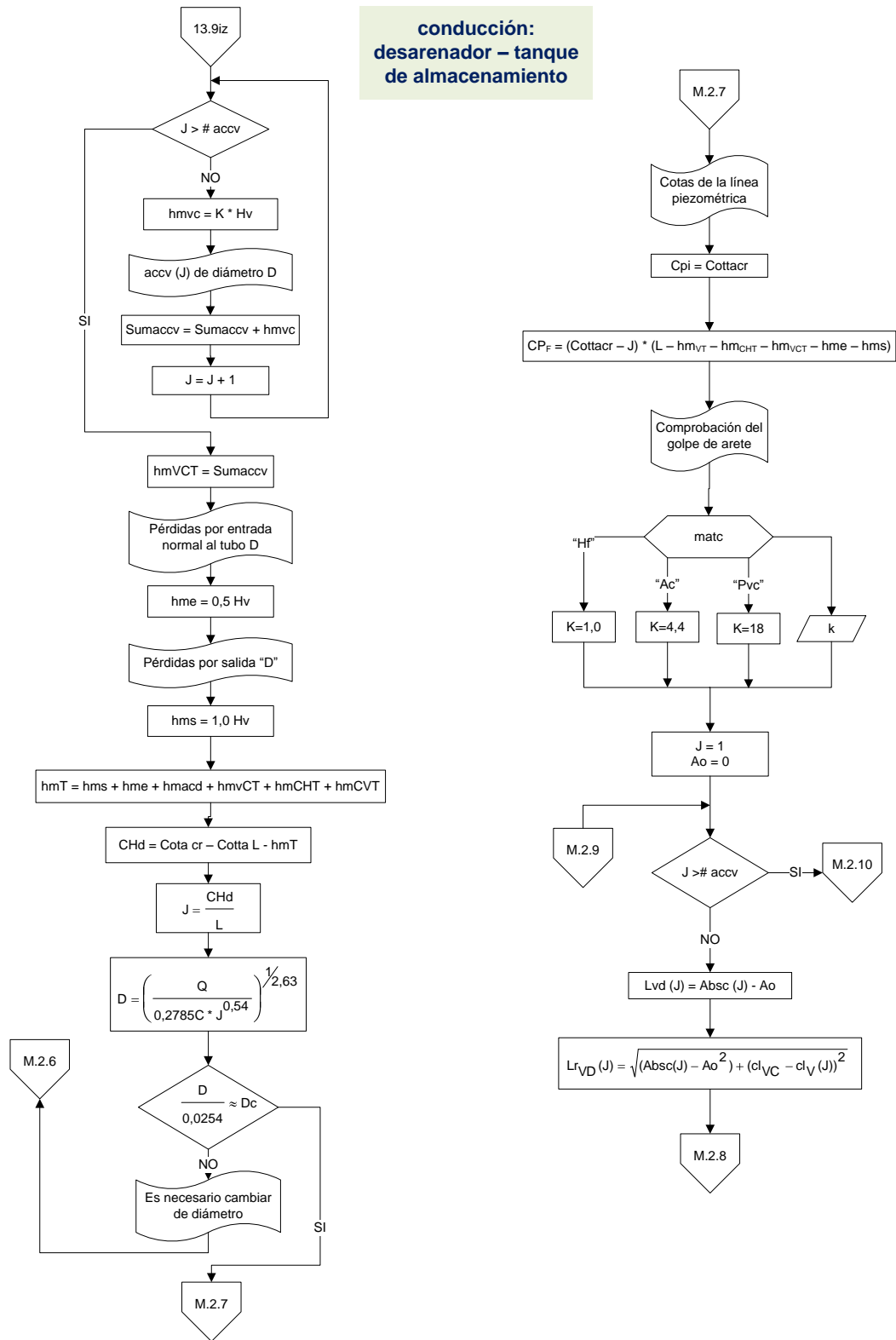


Figura 207. Conducción: desarenador – tanque de almacenamiento

**conducción:
desarenador – tanque
de almacenamiento**

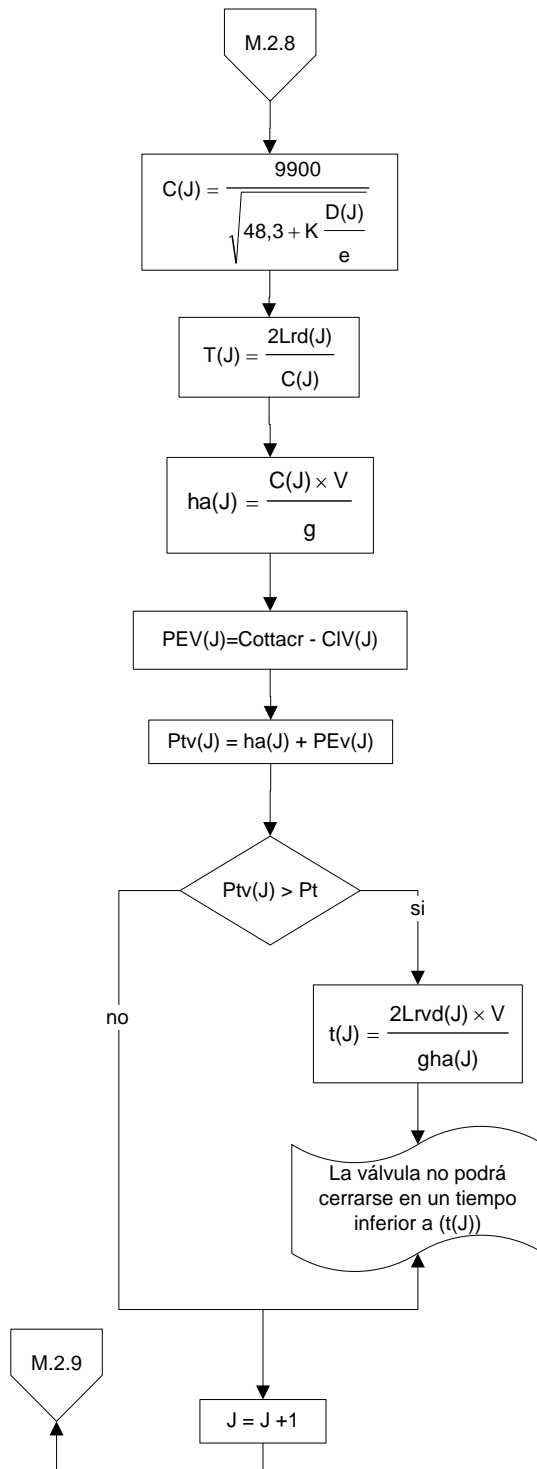


Figura 209. Conducción: desarenador – tanque de almacenamiento

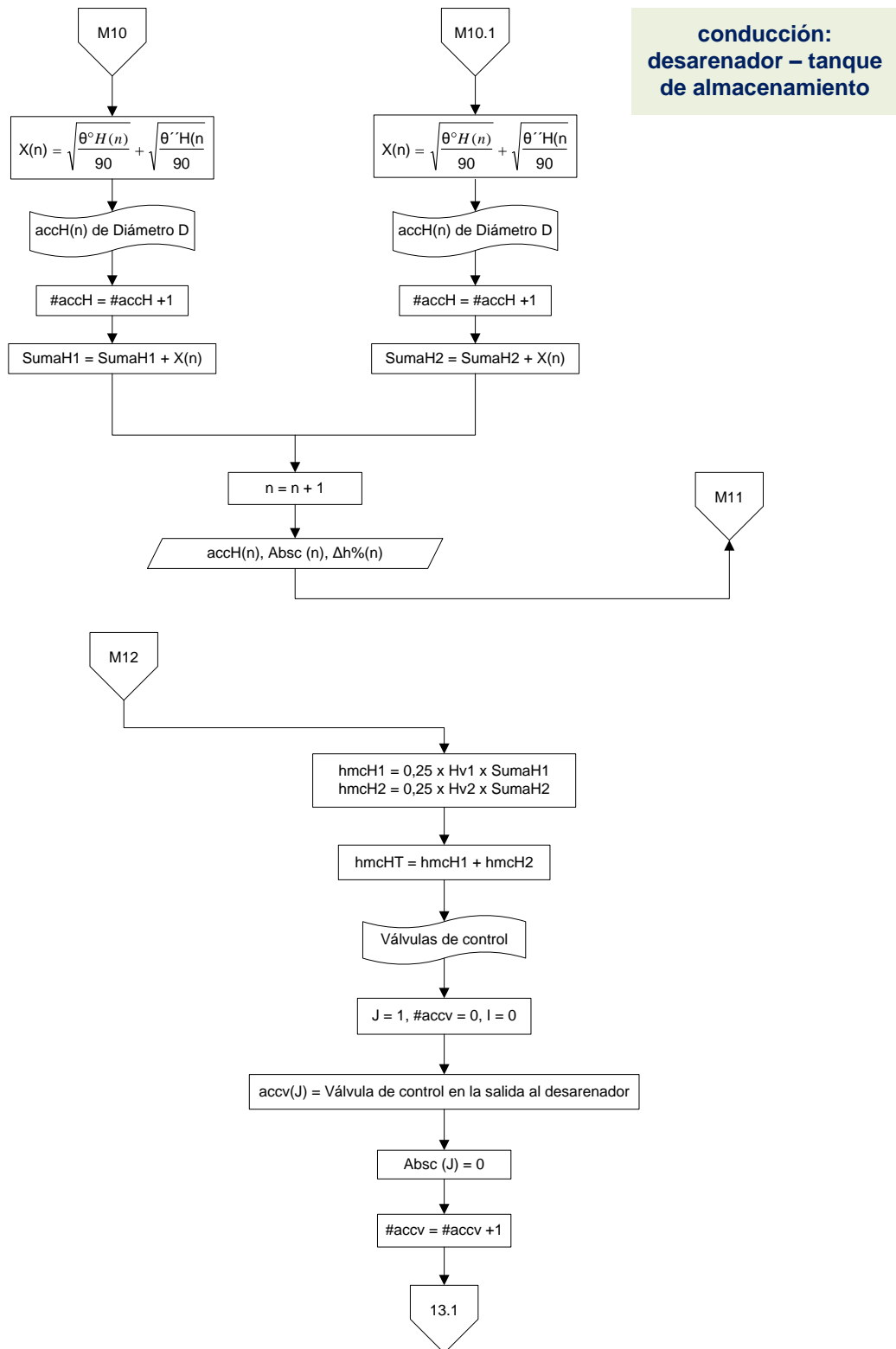


Figura 210. Conducción: desarenador – tanque de almacenamiento

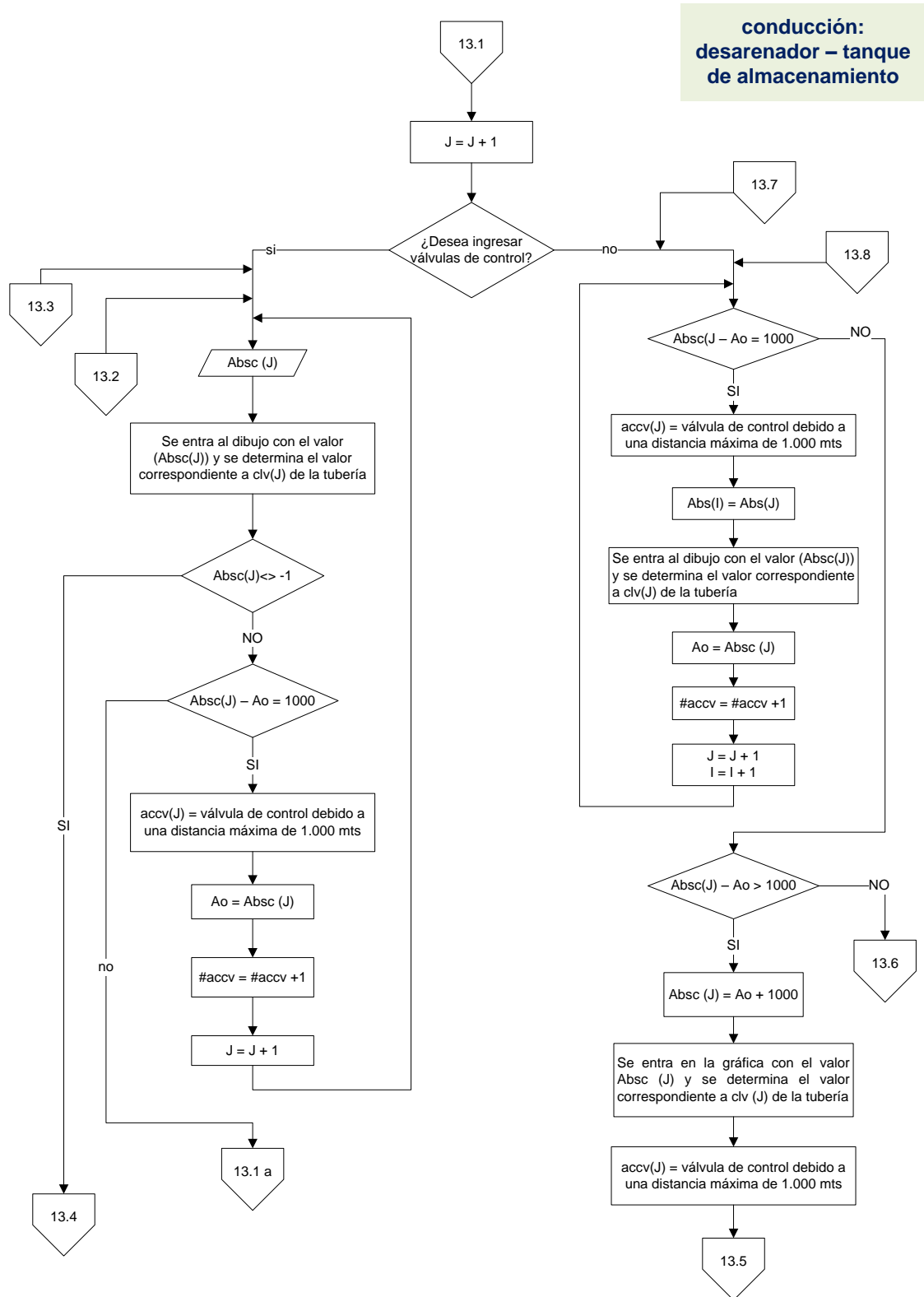


Figura 211. Conducción: desarenador – tanque de almacenamiento

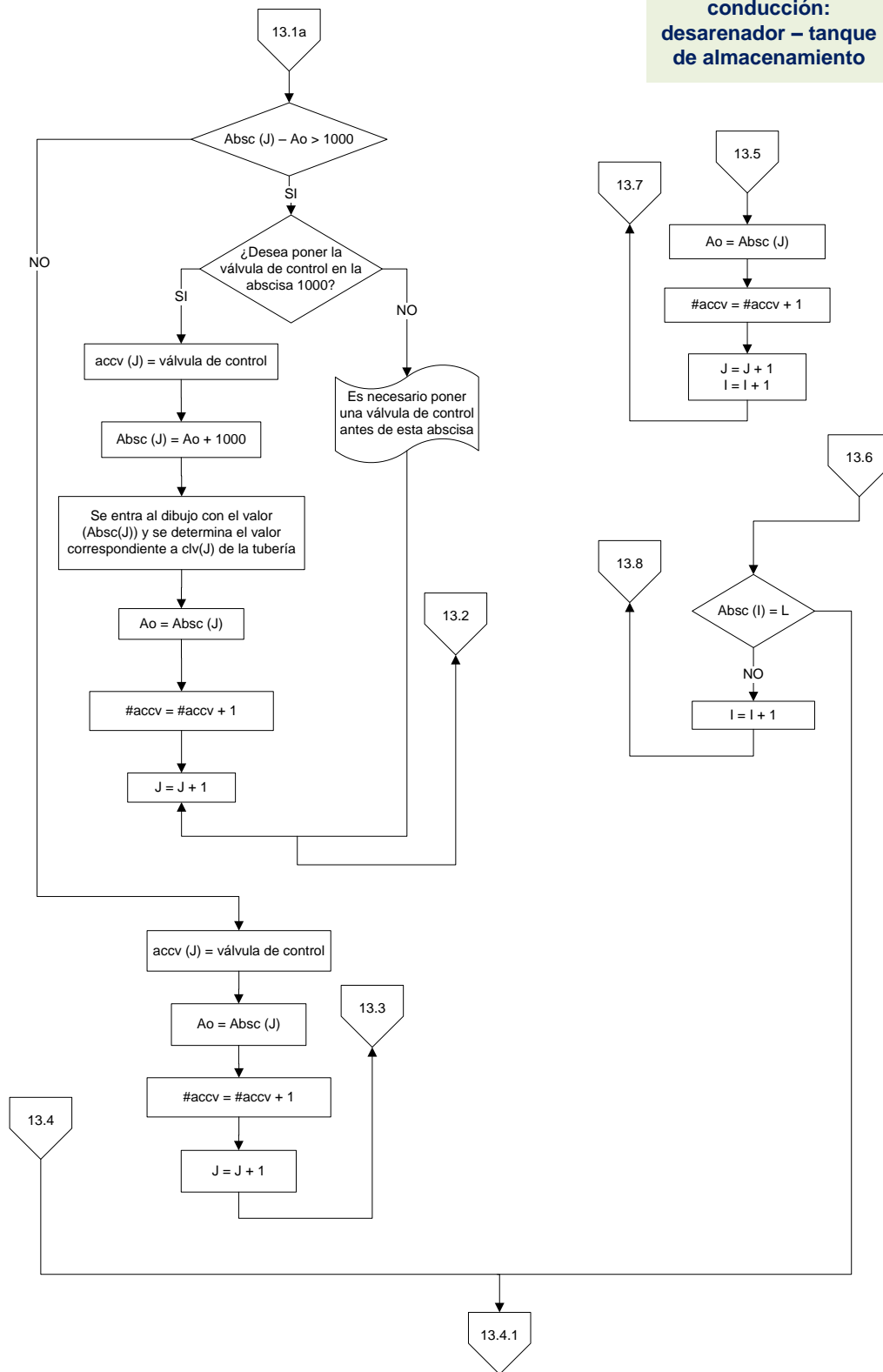


Figura 212 Conducción: desarenador – tanque de almacenamiento

**conducción:
desarenador – tanque
de almacenamiento**

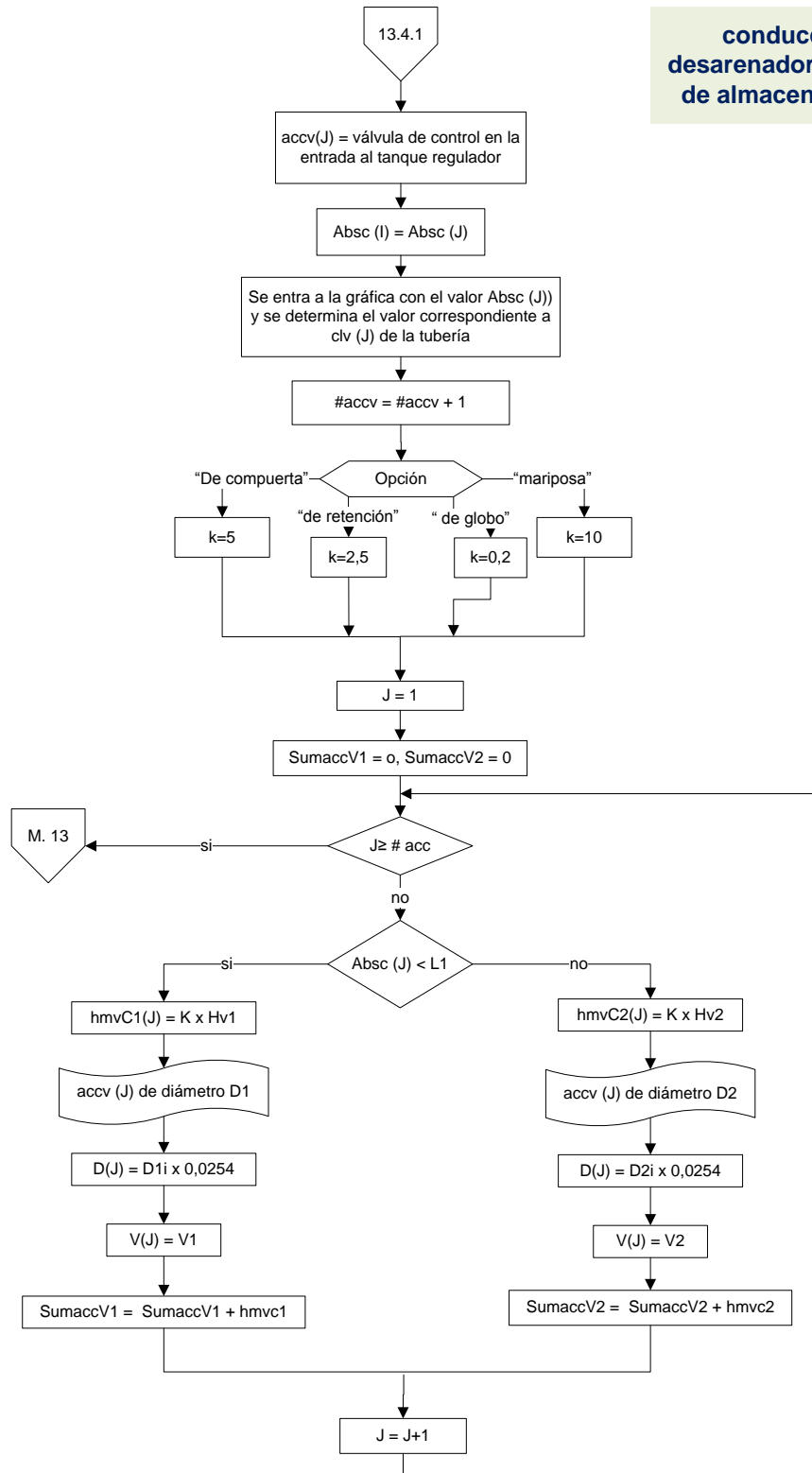


Figura 213. Conducción: desarenador – tanque de almacenamiento

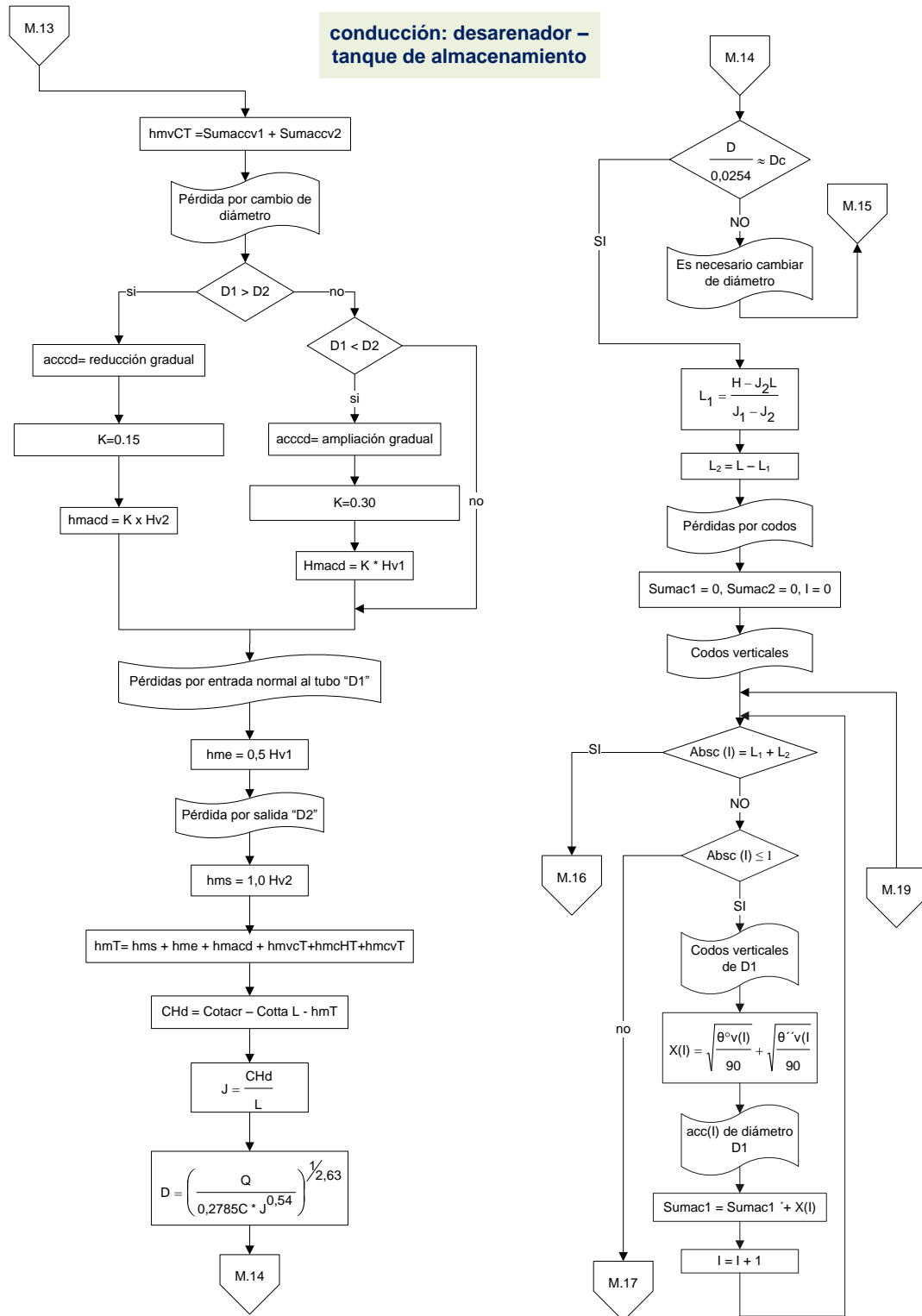


Figura 214. Conducción: desarenador – tanque de almacenamiento

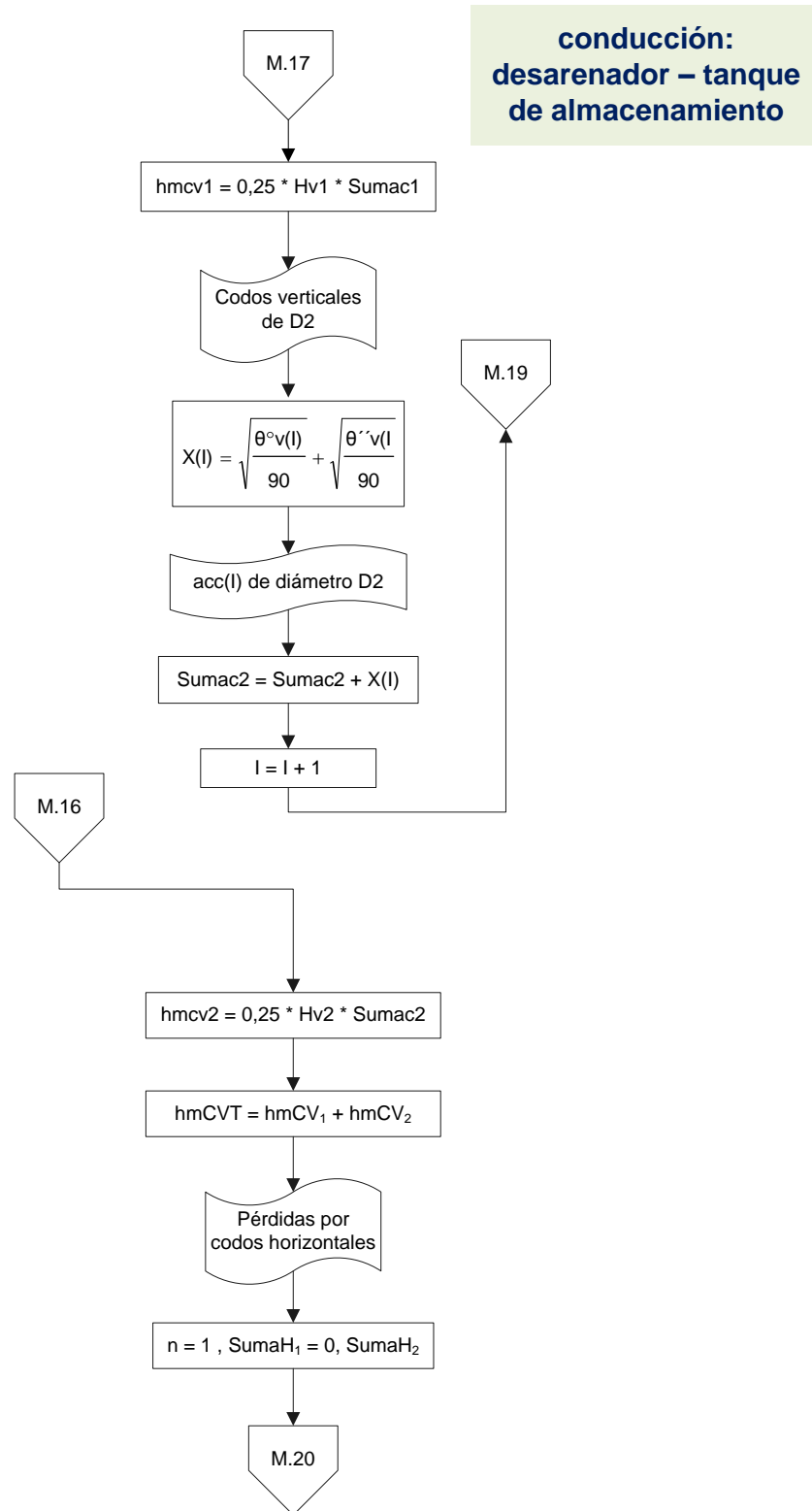


Figura 215. Conducción: desarenador – tanque de almacenamiento

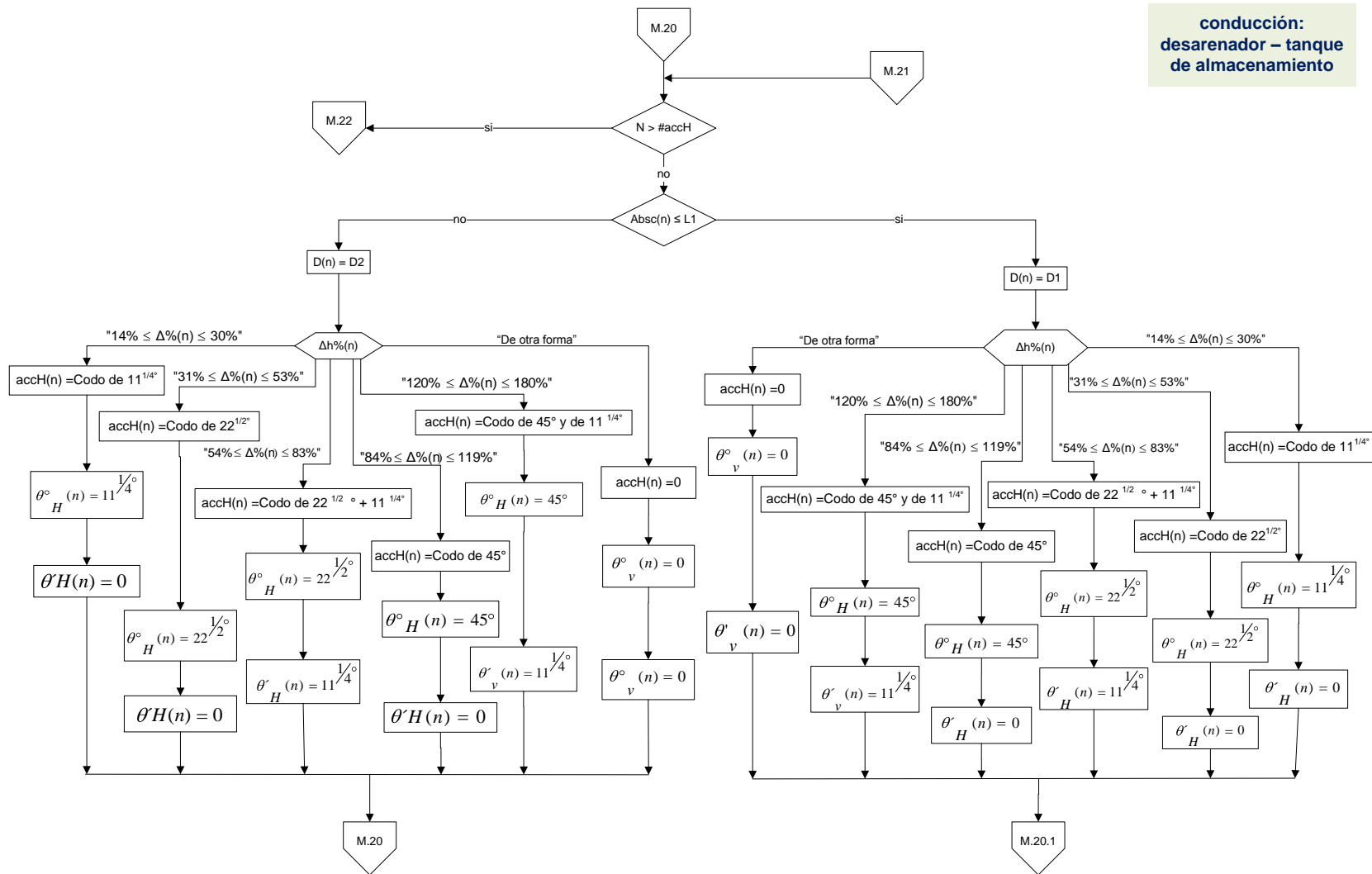


Figura 216. Conducción: desarenador – tanque de almacenamiento

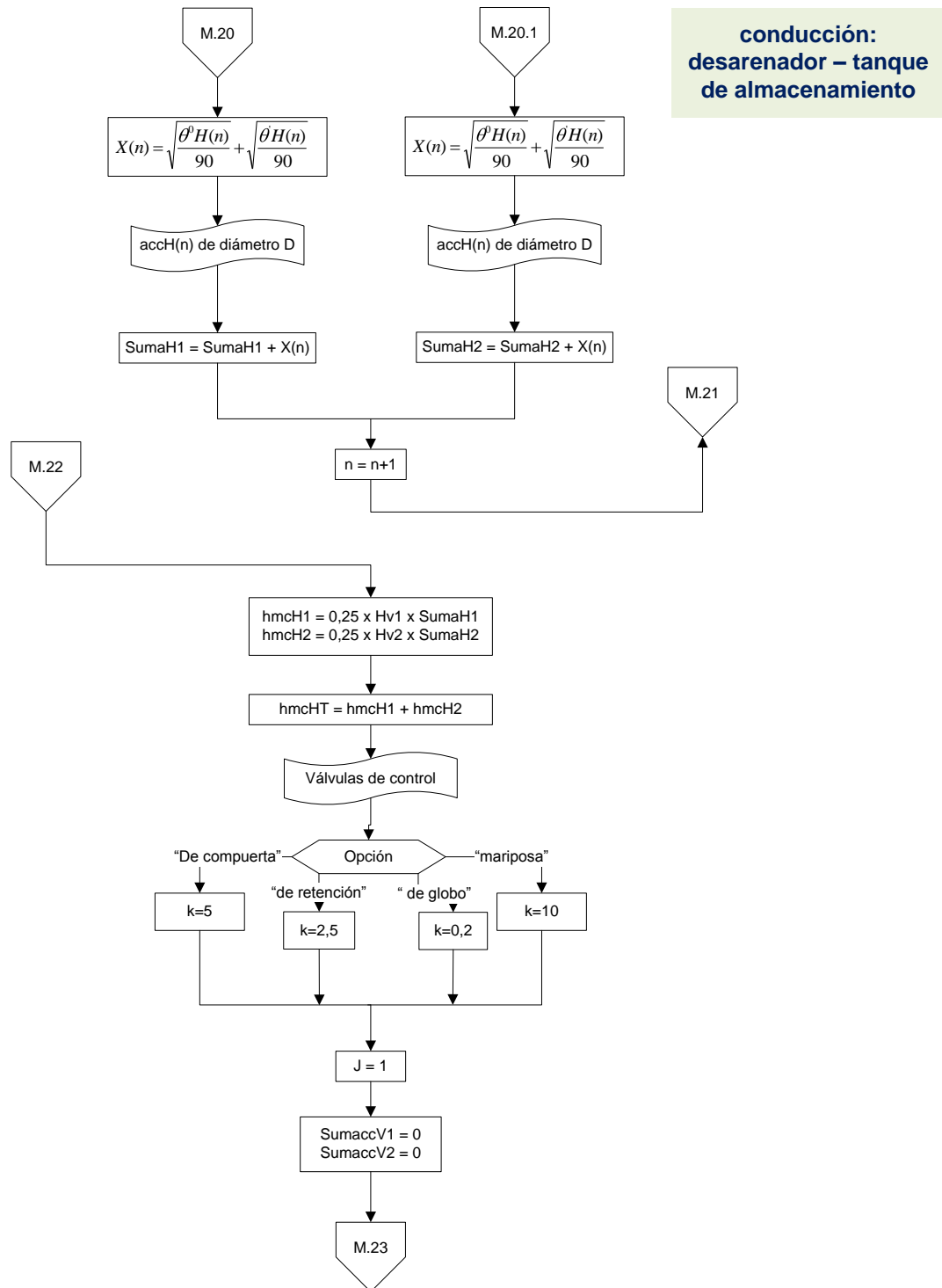


Figura 217. Conducción: desarenador – tanque de almacenamiento

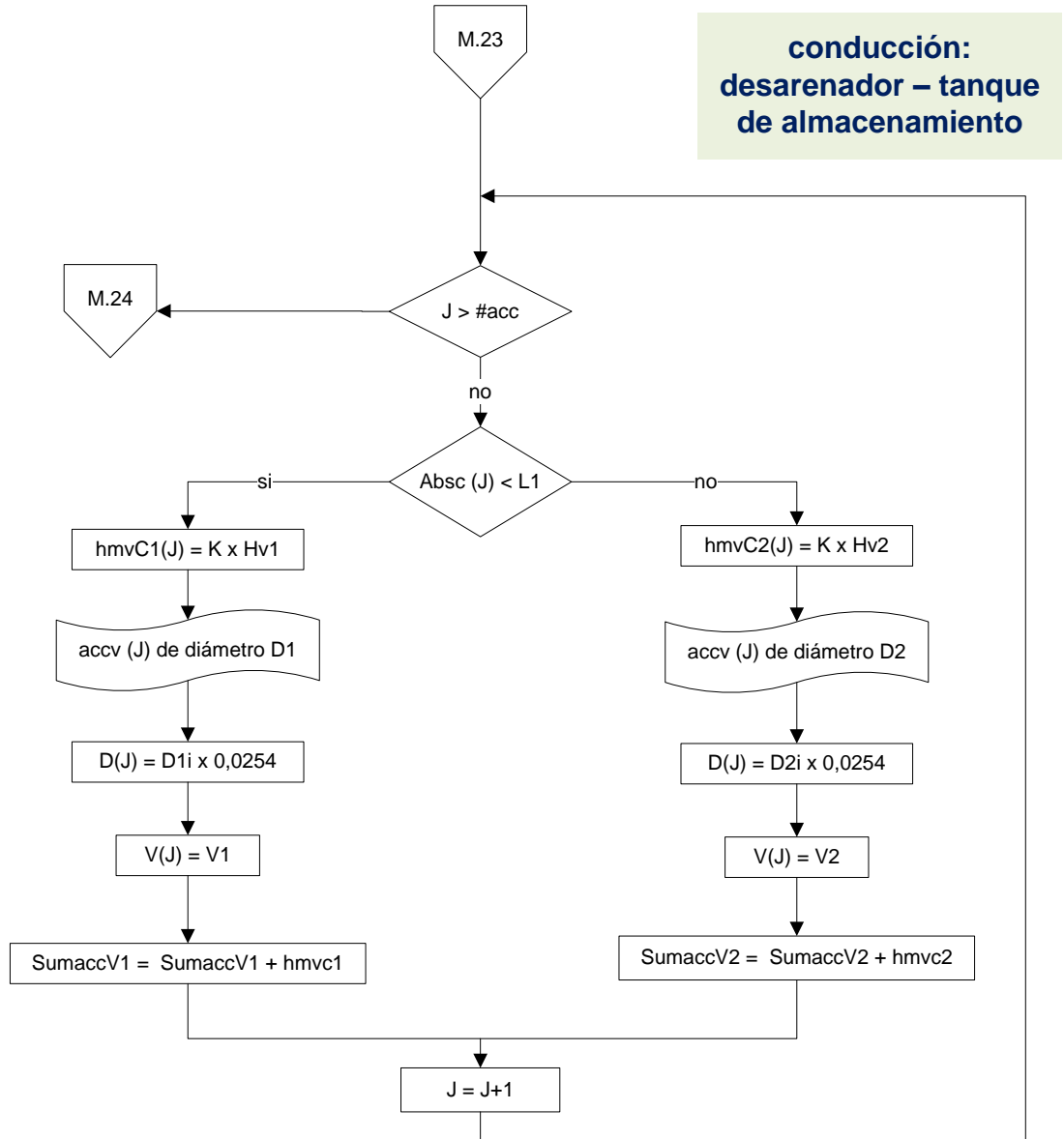


Figura 218. Conducción: desarenador – tanque de almacenamiento

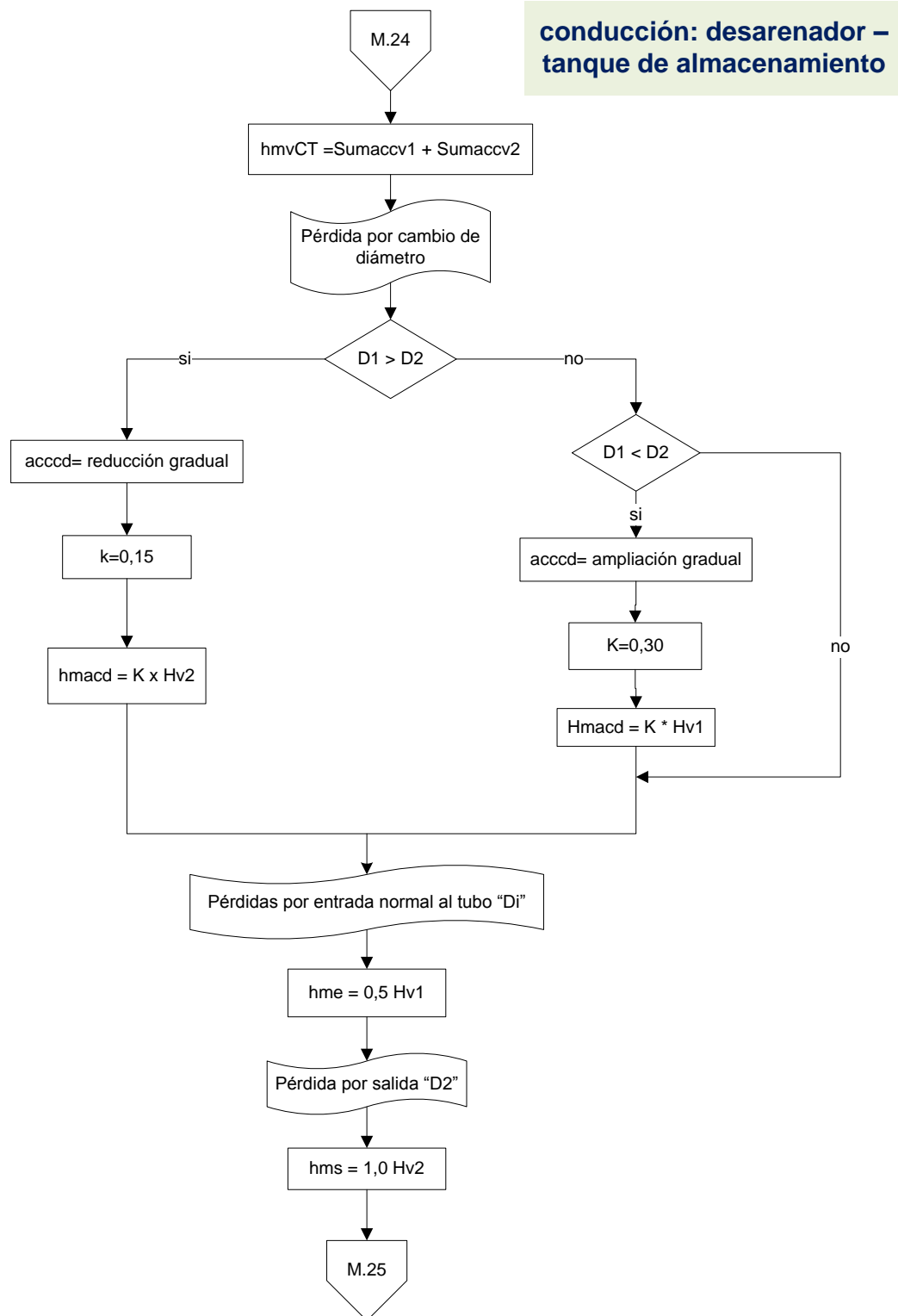
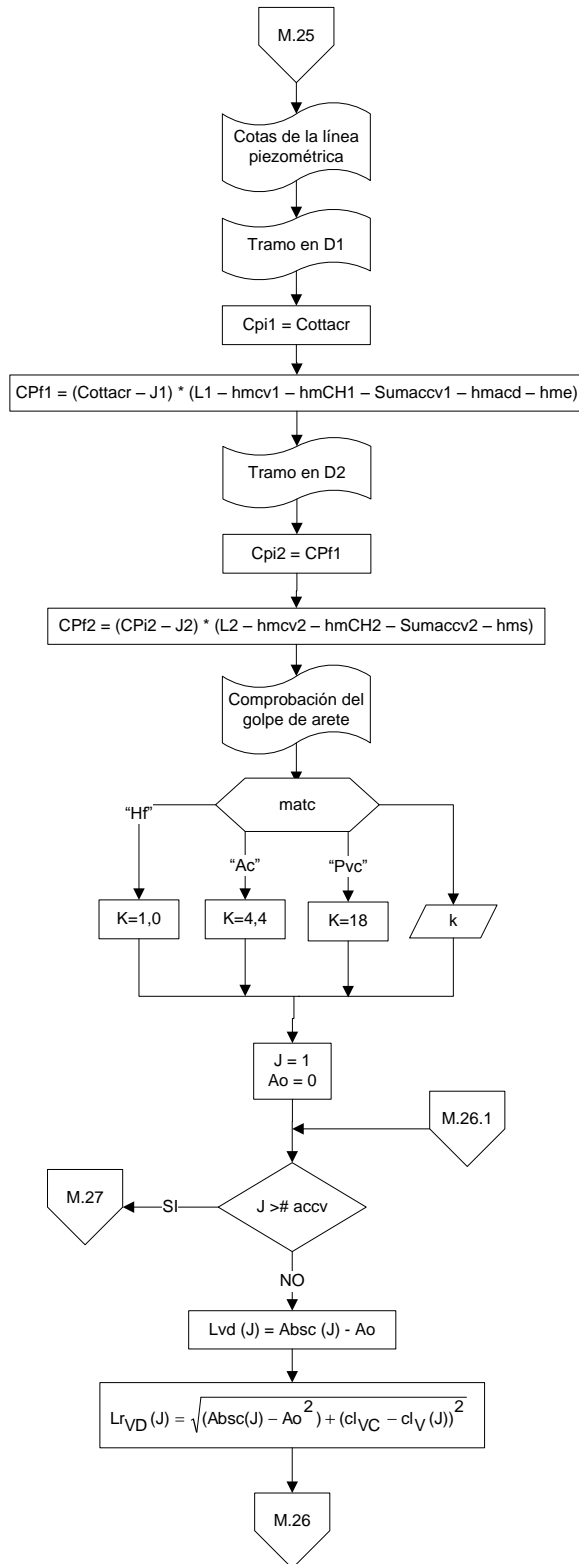


Figura 219. Conducción: desarenador – tanque de almacenamiento



**conducción:
desarenador – tanque
de almacenamiento**

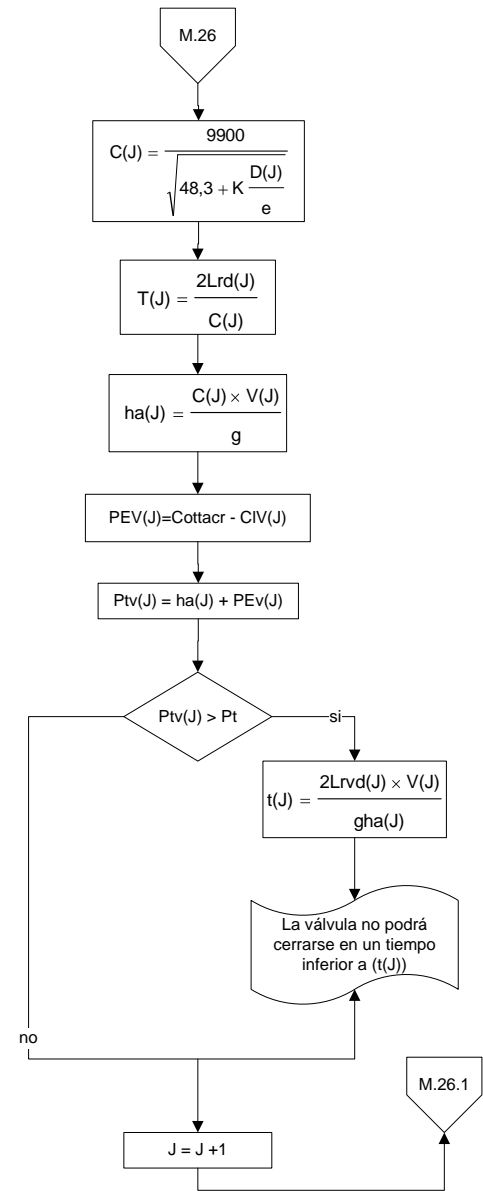
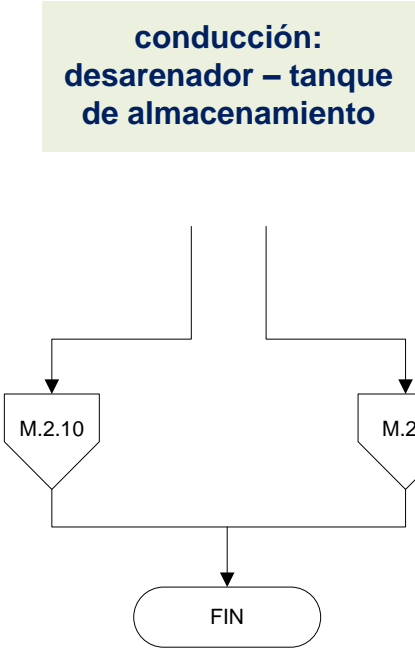


Figura 220. Conducción: desarenador – tanque de almacenamiento



Pantallas de datos

En las figuras 221 y 222 se muestra el Periodo de diseño e ingreso del perfil de la conducción

Figura 221. Periodo de diseño e ingreso del perfil de la conducción

Periodo de diseño e ingreso del perfil de la conducción

CONDUCCIÓN

INGRESE

Abscisa correspondiente al perfil del terreno "Absc(I)"

Absc(I) =

Cota rasante de la tubería de conducción "Rsn(I)"

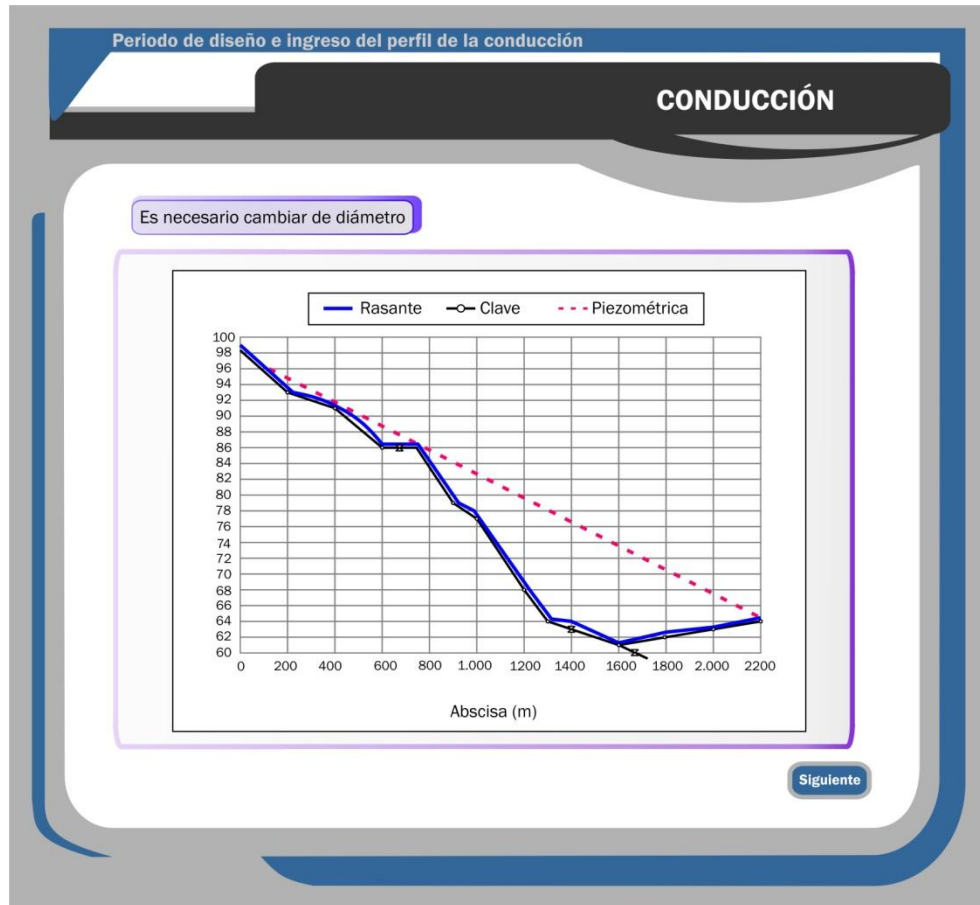
Rsn(I) =

Cota clave de la tubería de conducción "Clv(I)"

Clv(I) =

Abscisa (Absc)	Rasante (Rsn)	Clave (Clv)	Longitud (Lreal (m))	Pendiente (P%)	(Δ %)?	Accesorio
0	98.86	98.46				
			200.06	2.43%		
200	94.00	93.40			1.43%	Codo 11 ¹ / ₂
			200.01	1.00%		
400	92.00	91.40			1.50%	Codo de 45°
			200.06	2.50%		
600	87.00	86.20			1.83%	
			150.00	0.67%		
750	86.00	85.40			3.33%	
			150.12	4.00%		
900	80.00	79.00			2.00%	Codo de 22 ¹ / ₂
			100.02	2.00%		
1000	78.00	77.20			2.50%	
			200.20	4.50%		
1200	69.00	68.20			0.50%	
			100.08	4.00%		
1300	65.00	64.20			3.00%	
			100.00	1.00%		
1400	64.00	63.20			0.00%	
			200.01	1.00%		
1600	62.00	61.40			0.50%	Codo de 45°
			200.00	-0.50%		
1800	63.00	62.40			0.25%	
			200.00	-0.25%		
2000	63.50	62.90			0.00%	
			200.00	-0.25%		
2200	64.00	63.40				

Figura 222. Periodo de diseño e ingreso del perfil de la conducción



En la figuras 223, se muestra de la conducción el desarenador tanque de almacenamiento. Y en las figuras 224, 225, 226, 227 son las pantallas de la conducción en caso de que tenga un solo diámetro y si es combinación de diámetros en las figuras de la 219 a la 495 se manejan las pantallas de datos para este tipo de parámetro.

Figura 223. Desarenador tanque de almacenamiento de la conducción

Conducción: desarenador tanque de almacenamiento
CONDUCCIÓN

INGRESE

presión de trabajo de la tubería "Pt" Clase de la tubería a utilizar "RDE"

Pt = RDE =

Material de la tubería utilizada en la conducción "Matc"

Matc =

Diámetro de la tubería "D"

D =

Escoja una de las siguientes opciones para conducción

Un solo diámetro
 Combinación de diámetros

Seleccione el tipo de tubería, de acuerdo al material a utilizar

Tipos de tuberías según el material	Diámetro en pulgadas
Asbesto-cemento o AC	<input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 8 <input checked="" type="checkbox"/> 10 <input type="checkbox"/> 12 <input type="checkbox"/> 14 <input type="checkbox"/> 16 <input type="checkbox"/> 18 <input type="checkbox"/> 20 <input type="checkbox"/> 24 <input type="checkbox"/> 28
Cloruro de polivinilo o PVC	<input type="checkbox"/> 1/2 <input type="checkbox"/> 3/4 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 1 1/4 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 2 1/4 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 10 <input type="checkbox"/> 12
Plástico flexible PF + UAD	<input type="checkbox"/> 1/2 <input type="checkbox"/> 3/4
Cobre	<input type="checkbox"/> 3/8 <input type="checkbox"/> 1/2 <input type="checkbox"/> 3/4 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 1 1/4 <input type="checkbox"/> 1 1/2 <input type="checkbox"/> 2
Cilindro de Acero y Concreto ACCP	<input type="checkbox"/> 10 en adelante sobre pedido hasta 78
Hierro acorado o lamina de acero H.A	<input type="checkbox"/> 1 1/2 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 10 <input type="checkbox"/> 12 <input type="checkbox"/> En adelante sobre pedido
Hierro fundido H.F	<input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 10 <input type="checkbox"/> 12 <input type="checkbox"/> 14 <input type="checkbox"/> 18 <input type="checkbox"/> 24 <input type="checkbox"/> 30 <input type="checkbox"/> 36
Hierro Dúctil- H.D	<input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 10 <input type="checkbox"/> 12 <input type="checkbox"/> 14 <input type="checkbox"/> 16 <input type="checkbox"/> 18 <input type="checkbox"/> 20 <input type="checkbox"/> 24
Hierro galvanizado H.G	<input type="checkbox"/> 1/8 <input type="checkbox"/> 1/4 <input type="checkbox"/> 3/8 <input type="checkbox"/> 1/2 <input type="checkbox"/> 1 1/2 <input type="checkbox"/> 3/4 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 1 1/4 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 2 1/2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 10 <input type="checkbox"/> 12
Polietileno de alta calidad	<input type="checkbox"/> 1/2 a 8

Diámetro de la tubería "D"

D =

El diámetro no es permitido, es necesario cambiar

Diámetro comercial "Dc"

Dc =

El diámetro no es permitido, es necesario cambiar

Figura 224. Desarenador tanque de almacenamiento de la conducción

Conducción: desarenador tanque de almacenamiento

CONDUCCIÓN

Diámetro de la tubería

D =

La velocidad sobrepasa las recomendaciones ¿Desea continuar?

Sí No

¿Desea continuar?

Ingresar

Figura 225. Desarenador tanque de almacenamiento de la conducción

Conducción: desarenador tanque de almacenamiento

CONDUCCIÓN

Pérdidas por codos

Codos verticales

Ingrese según el perfil codos horizontales

Abscisa (Absc)=

Deflexión horizontal ($\Delta h\%$)=

Codos verticales

Pérdidas por codos verticales= 11111 m

Pérdidas por codos horizontales= 11111 m

Ingresar

Figura 226. Desarenador tanque de almacenamiento de la conducción

Conducción: desarenador tanque de almacenamiento

CONDUCCIÓN

Válvulas de control

¿Desea ubicar una válvula de control?

Si No

Abscisa correspondiente a un punto de la conducción donde se desee ubicar una válvula de control, este valor debe ser ingresado por el usuario "Absc (J)"

Absc (J) =

Es necesario poner una válvula de control antes de esta abscisa

Ingresar

Figura 227. Desarenador tanque de almacenamiento de la conducción

Conducción: desarenador tanque de almacenamiento

CONDUCCIÓN

accv (J), Accesorio tipo válvula de control de diámetro D

Diámetro de la tubería

Pérdidas por salida "D"	Pérdidas por entrada normal al tubo D
<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>

Es necesario cambiar de diámetro

Cotas de la línea piezométrica

Comprobación del golpe de arete

La válvula no podrá cerrarse en un tiempo inferior a $t(J)$

Ingresar

Segunda opción

Figura 228. Desarenador tanque de almacenamiento de la conducción

Conducción: desarenador tanque de almacenamiento

CONDUCCIÓN

Es necesario cambiar de diámetro

Diámetro de la tubería D =

Según Perfil ingresar al diámetro D1 para el tramo inicial, y D2 para el tramo final teniendo en cuenta que la línea piezométrica no corte la tubería

Diámetro comercial

Tramo 1 en pulgadas "D1" D1 =

tramo 2 en pulgadas "D2" D2 =

La velocidad sobrepasa las recomendaciones ¿Desea continuar?

Si No ¿Desea continuar?

Longitud de tubería de diámetro D1 "Tramo1" =

Longitud de tubería de diámetro D2 "tramo2" =

Pérdidas por codos

Codos verticales

Codos verticales de D1 "Tramo1" =

accc(l) de diámetro D1 "Tramo1" =

Codos verticales de D2 "tramo2" =

accc(l) de diámetro D2 "tramo2" =

Ingresar

Figura 229. Desarenador tanque de almacenamiento de la conducción

Conducción: desarenador tanque de almacenamiento

CONDUCCIÓN

Según planta ingresar codos horizontales

Codos horizontales "acCH(n)" Abscisa donde se encuentra ubicado en el codo horizontal "Absc (n)"

acCH(n) = Absc (n) =

variación o cambio de dirección horizontal "Δh%(n)"

Δh%(n) =

Ingresar

Figura 230. Desarenador tanque de almacenamiento de la conducción

Conducción: desarenador tanque de almacenamiento

CONDUCCIÓN

Codos horizontales acCH(n) de Diámetro D

INGRESE

Codos horizontales "acCH(n)" Abscisa donde se encuentra ubicado en el codo horizontal "Absc (n)"

acCH(n) = Absc (n) =

variación o cambio de dirección horizontal "Δh%(n)"

Δh%(n) =

Ingresar

Figura 231. Desarenador tanque de almacenamiento de la conducción

Conducción: desarenador tanque de almacenamiento

CONDUCCIÓN

Válvulas de control

¿Desea ingresar válvulas de control?

Si No

¿Desea continuar?

Abscisa correspondiente a un punto de la conducción donde se desee ubicar una válvula de control, este valor debe ser ingresado por el usuario "Absc (J)"

Absc (J) =

Ingresar

Figura 232. Desarenador tanque de almacenamiento de la conducción

Conducción: desarenador tanque de almacenamiento

CONDUCCIÓN

Válvulas de control

¿Desea poner la válvula de control en la abscisa 1000?

Si No

Es necesario poner una válvula de control antes de esta abscisa

Ingresar

Figura 233. Desarenador tanque de almacenamiento de la conducción

Conducción: desarenador tanque de almacenamiento

CONDUCCIÓN

Accesorio tipo válvula de control, del diámetro comercial del tramo 1 en pulgadas
accv (J) de diámetro D1 _____

Accesorio tipo válvula de control, del diámetro comercial del tramo 2 en pulgadas
accv (J) de diámetro D2 _____

Ingresar

Figura 234. Desarenador tanque de almacenamiento de la conducción

Conducción: desarenador tanque de almacenamiento

CONDUCCIÓN

Pérdida por cambio de diámetro

Pérdidas por entrada normal al tubo "D1", Diámetro comercial del tramo 1 en pulgadas _____

Pérdida por salida "D2", Diámetro comercial del tramo 2 en pulgadas _____

Es necesario cambiar de diámetro

Ingresar

Figura 235. Desarenador tanque de almacenamiento de la conducción

Conducción: desarenador tanque de almacenamiento

CONDUCCIÓN

Pérdidas por codos _____
Codos verticales _____

Codos verticales de D1, Diámetro comercial del tramo 1 en pulgadas _____
Accesorio (codo vertical) a utilizar, acc(l) de diámetro D1, Diámetro comercial del tramo 1 en pulgadas _____

Codos verticales de D2, Diámetro comercial del tramo 2 en pulgadas _____
Accesorio (codo vertical) a utilizar, acc(l) de diámetro D2, Diámetro comercial del tramo 2 en pulgadas _____

Ingresar

Figura 236. Desarenador tanque de almacenamiento de la conducción

Conducción: desarenador tanque de almacenamiento

CONDUCCIÓN

Pérdidas por codos horizontales

Codos horizontales, accH(n) de diámetro D

Ingresar

Figura 237. Desarenador tanque de almacenamiento de la conducción

Conducción: desarenador tanque de almacenamiento

CONDUCCIÓN

Válvulas de control

Suma o diferencia de pendientes	Codo
14% - 30%	11 1/4"
31% - 53%	22 1/2"
54% - 83%	22 1/2" + 11 1/4"
84% - 119%	45"
120% - 180%	45" + 11 1/4"

Accesorio tipo válvula de control del diámetro comercial del tramo 1 en pulgadas
accv (J) de diámetro D1 _____

Accesorio tipo válvula de control del diámetro comercial del tramo 2 en pulgadas
accv (J) de diámetro D2 _____

Ingresar

Figura 238. Desarenador tanque de almacenamiento de la conducción

Conducción: desarenador tanque de almacenamiento

CONDUCCIÓN

Pérdida por cambio de diámetro

Pérdidas por entrada normal al tubo "D1", Diámetro comercial del tramo 1 en pulgadas

Pérdida por salida "D2", Diámetro comercial del tramo 2 en pulgadas

Cotas de la línea piezométrica

Tramo en D1, Diámetro comercial del tramo 1 en pulgadas

Tramo en D2, Diámetro comercial del tramo 2 en pulgadas

Comprobación del golpe de arete

La válvula no podrá cerrarse en un tiempo inferior a $(t(J))$

Ingresar

7.8 RED DE DISTRIBUCIÓN

7.8.1 Fundamento teórico. Se define como el conjunto de tuberías cuya función es suministrar el agua potable a los consumidores de la localidad en condiciones de cantidad y calidad aceptables.

La red de distribución puede estar conformada por los siguientes tipos de tuberías, según su función y diámetro:

- **Red principal o matriz.** Es el conjunto de tuberías con diámetro nominal mayor o igual a 12" (300mm). Es la red encargada de distribuir el agua en las diferentes zonas de la población y sobre ella se debe garantizar los caudales y presiones, según la norma exigida. No debe realizarse ninguna conexión domiciliaria a partir de la red matriz.
- **Red secundaria.** Se clasifica como red secundaria el conjunto de tuberías con diámetros menores a 12" (300mm) hasta los mayores o iguales a 4" (100mm). Se abastecen de las tuberías principales y alimentan las redes terciarias o menores. No deben realizar ninguna conexión domiciliaria, salvo el caso de grandes consumidores con conexiones superiores a 3" (75mm).
- **Red terciaria o menor.** La red terciaria es alimentada por la red secundaria y es la encargada de realizar las conexiones domiciliarias. Sus diámetros son menores o iguales a 3" (75mm) y el diámetro mínimo depende del uso del agua (comercial, industrial o institucional), pero nunca deberá ser menor de 1½".
- **Conexión domiciliaria.** Es la conexión que de la red menor se hace a cada predio. Su diámetro se encuentra entre ½" (12,5mm) hasta 3" (75mm), dependiendo del tipo de usuario. El esquema y accesorios necesarios se presentan más adelante.

Generalmente, en poblaciones pequeñas menores de 60.000 habitantes no hay diámetros superiores a 12" (no hay red de matriz), por lo que la red secundaria hará las veces de red principal, en este caso, la modelación hidráulica que garantice los caudales y presiones requeridos se hará sobre las tuberías mayores o iguales a 2". Cuando exista red matriz (diámetros mayores o iguales a 12"), la modelación hidráulica se realiza sobre la red secundaria y la red matriz.

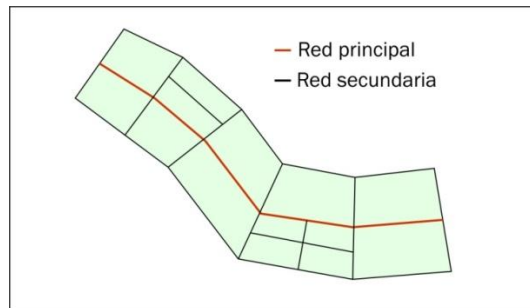
Los materiales de las tuberías utilizadas son: acero, asbesto-cemento, concreto, hierro, polivinilo de cloruro, poliéster reforzado con fibra de vidrio y polietileno de alta o baja densidad y los diámetros comerciales dependen de las casa

fabricantes, por lo cual hay que consultar los catálogos respectivos. El diámetro empleado con todo cálculo hidráulico deberá corresponder al diámetro interno real.

a) Trazado de la red

De mayor a menor diámetro. Utilizado en poblaciones pequeñas, donde por lo general no existe más de una calle principal. El diseño hidráulico de la tubería principal se hace como una red abierta, su forma alargada e irregular.

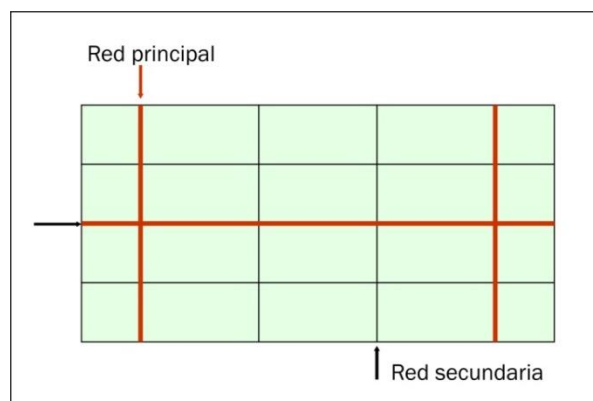
Figura 239. Red de mayor a menor diámetro



Fuente: LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Redes de distribución

En árbol. Existe un tronco principal, del cual se desprenden varias ramificaciones. El diseño hidráulico de las tuberías principales corresponde al de una red abierta.

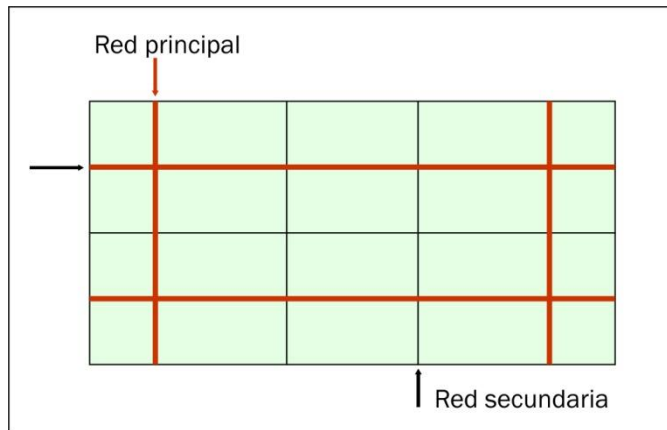
Figura 240. Red en árbol



Fuente: LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Redes de distribución

En parrilla. La tubería principal forma una malla en el centro de la población y de ella se desprende varios ramales. Al centro se conforma una red cerrada y perimetralmente se tiene ramales abiertos es decir que se trata de una red mixta.

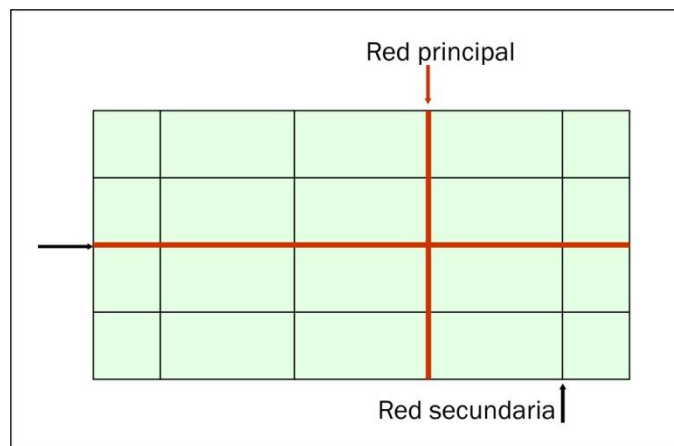
Figura 241. Red en parrilla



Fuente: LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Configuración hidráulica del sistema

En mallas. Es la forma más usual de trazado de redes de distribución. Se conforma varias cuadrículas o mallas alrededor de la red de relleno. Una malla estará compuesta entonces por tres o más tramos principales.

Figura 242. Red en mallas



Fuente: LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Configuración hidráulica del sistema

b) Accesorios

Los accesorios de una red de distribución incluyen las uniones, codos, tes, reducciones, válvulas, anclajes, entre otros. A continuación se hace una breve descripción del tipo de válvulas que se deben utilizar en las redes.

Válvulas de corte. Se deben colocar a lo largo de la red, con el fin de poder aislar sectores en caso de rotura de las tuberías o de incendio y seguir suministrando el agua al resto de la población.

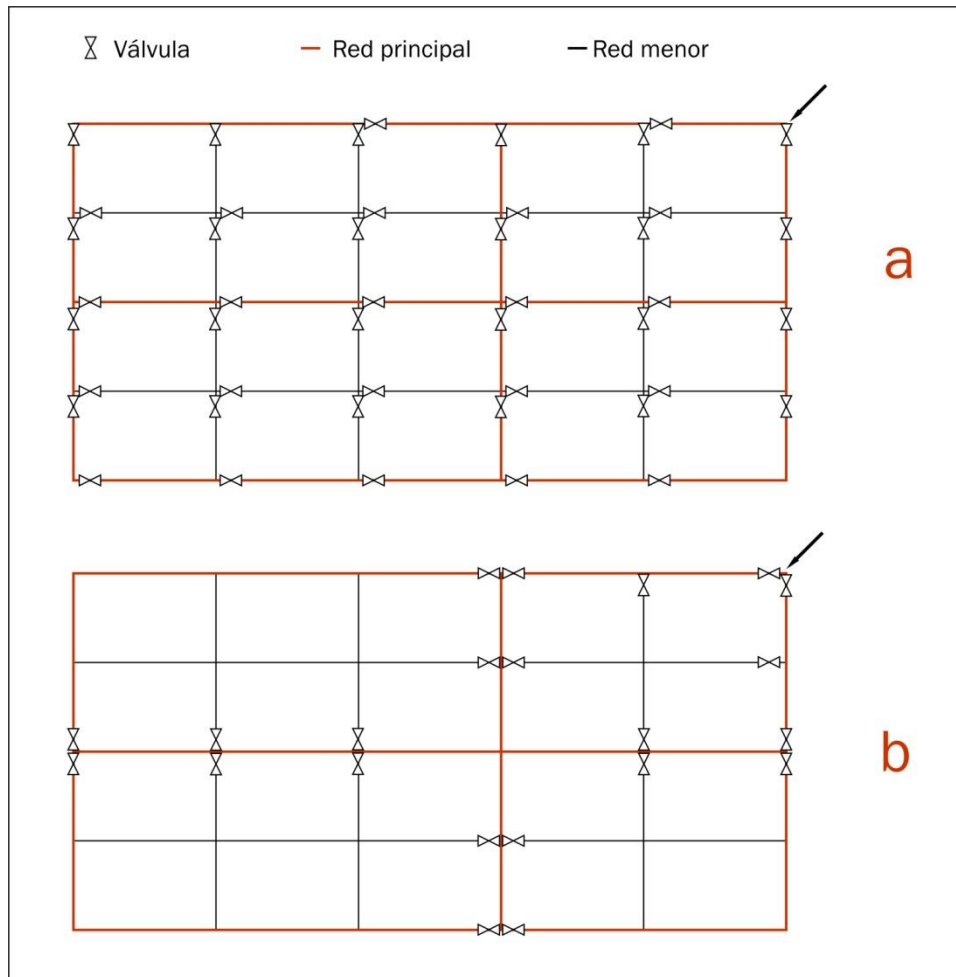
En redes matrices, las válvulas de corte deben colocarse mínimo cada 1500m y en todo cambio de diámetro sobre la tubería de diámetro menor.

En las redes menores (mayor numero de tuberías y válvulas):

- En poblaciones pequeñas, donde no hay red matriz, se podría pensar en la situación externa, de colocar una sola válvula a la entrada al sistema que aislaría toda la red.
- Se debe colocar una válvula en el punto de interconexión con la red principal o matriz.
- En el interior de la red pueden aplicarse diversos criterios, según las restricciones económicas del proyecto.
 - Aislar un máximo de dos tramos mediante el cierre de cuatro válvulas, como máximo. Según este criterio, la disposición de las válvulas sería similar a la indicada a la figura 243 (a).
 - Aislar un sector o zona constituida por un número máximo de seis manzanas. Este criterio se indica en la figura 243 (b).
- Tubería de diámetro superior o igual a 6" deben tener válvulas mínimo cada 500m.
- Todo cambio de diámetro debe tener una válvula sobre la tubería de diámetro menor.

Válvulas de purga. Se deben colocar válvulas de purga en todos los puntos bajos de la red, descargando al sistema de alcantarillado. En tuberías principales, el diámetro de la purga se determina de acuerdo con el tiempo de vaciado de la tubería especificado por la empresa prestadora del servicio.

Figura 243. Disposición de válvulas de corte



Fuente: LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Válvulas de corte

Válvulas de ventosa. Las válvulas de ventosa deben ubicarse en los puntos altos de la red para permitir la remoción de aire, pueden ser de acción simple o de doble acción. El diámetro de las válvulas en las redes menores (secundarias y terciarias) es normalmente de 1" (25mm) a 2" (50mm).

Válvulas reguladoras de presión. Las válvulas reguladoras de presión son válvulas de control que permiten regular la presión aguas debajo de la misma, introduciendo una pérdida controlada e independiente del caudal que pase a través de ella. Se utiliza en los casos en que, de no contarse con ella, se causaría una presión excesiva aguas abajo.

Válvulas reguladoras de caudal. Este tipo de válvulas limita el caudal a través de ella a un valor máximo. Debe ser una válvula tipo mariposa. Además de regular el caudal, al limitar el caudal máximo se previene que la presión aguas arriba caiga por debajo de un valor crítico, por lo cual puede emplearse como válvula reguladora de la presión aguas arriba.

Válvulas de paso directo. Permite el paso de agua en un solo sentido y se colocan en las tuberías aguas debajo de una bomba.

Válvulas de alivio. Son útiles para reducir presión por golpe de ariete o por una inadecuada operación del sistema. Se abren cuando se supera una presión predeterminada, disminuyendo así la presión y descargando el agua al sistema de alcantarillado o drenaje natural.

Hidrantes. El hidrante es el accesorio utilizado para obtener el caudal de agua a la presión requerida, con el fin de atender un incendio. Cada hidrante lleva una válvula de corte para aislarlo de la red de distribución.

Existen varios programas comerciales que permiten la modelación y optimización de redes combinadas (abiertas y cerradas) algunos de ellos son: Kypipe, WaterCAD, Epanet, Cybernet, y Redes.

7.8.2 Especificaciones de diseño

Tabla 45. Periodo de diseño de la red matriz o primaria

Nivel de complejidad del sistema	Periodo de Diseño
Medio	20 años
Medio alto	25 años
Alto	30 años

Fuente: RAS 2000. Artículo 80. Periodo de diseño de la red matriz primaria

Tabla 46. Periodo de diseño de la red de distribución secundario a red local

Nivel de complejidad del sistema	Periodo de Diseño
Bajo	15 años
Medio	15 años
Medio alto	20 años
Alto	25 años

Fuente: RAS 2000. Artículo 80. Periodo de diseño de la red de distribución secundario a red local

Tabla 47. Demanda contra incendios

Población (Habitantes)	Número de hidrantes para utilizar simultáneamente		
	Zona residencial alta densidad, comercial o industrial	Zona unifamiliar de baja densidad	Caudal (L/s/hidrante)
12.500 – 20.000	1	1	5
20.000 – 60.000	3	1	5
60.000 – 100.000	3	2	5
Mayor de 100.000	4	2	10

Fuente: LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Redes de distribución. Tabla demanda contra incendios

Caudal de diseño. En las redes de distribución es el caudal máximo horario, aplicando los factores de mayoración indicados en el tabla 48. En algunos casos de ciudades intermedias es necesario diseñar con el máximo valor, resultante de comparar el caudal máximo horario con el caudal de incendio más el caudal medio diario. En este último caso, el caudal de incendio se determina de acuerdo con el número de hidrantes y su caudal unitario determinado en la anterior tabla (tabla 47).

Presiones extremas y de servicio. La presión mínima en cualquier punto en la red debe ser superior a 10 metros por columna de agua (mca) (1kg/cm^2). En ciudades de gran tamaño (> 60.000 habitantes) se puede exigir una presión mínima superior a 15 mca (1.5 kg/cm^2). La presión mínima se establece con referencia a la línea piezométrica dinámica en condiciones de nivel mínimo en el

tanque de almacenamiento, es decir, cuando se encuentra en circulación el caudal de diseño.

La presión máxima para cualquier tamaño de comunidad es de 60 mca (6kg/cm^2), referida a la línea piezométrica estática en condiciones de nivel máximo en el tanque de almacenamiento. La presión máxima no debe sobrepasar en ningún caso la presión de servicio de tubería, establecida según su “clase” y material.

Tabla 48. Diámetros mínimos en la red de distribución (RAS-2000, Colombia)

Población (habitantes)	Diámetro mínimo		
	Red matriz	Redes menores	
< 2.500	2½" (64 mm)	1½" (38 mm)	
2.500 – 12.500	4" (100 mm)	2" (50 mm)	
12.500 – 60.000	6" (150 mm)	4" (100 mm)	Zona comercial e industrial
		2½" (64 mm)	Zona residencial
> 60.000	12" (300 mm)	6" (150 mm)	Zona comercial e industrial
		3" (75 mm)	Zona residencial

Fuente: LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Redes de distribución. Tabla demanda contra incendios

Velocidad de diseño. Por lo general, se debe diseñar con velocidades que estén comprendidas entre 0.9 y 1.5 m/s. en zonas rurales se es más flexible y se puede diseñar con velocidades entre 0,4 y 2,5 m/s.

Profundidad de las tuberías. La profundidad mínima de las tuberías en la red de distribución debe ser de 1.0 m, medido desde la restante hasta la cota externa superior de la tubería, en algunos casos puede reducirse hasta 0,6 m, teniendo en cuenta que si hay tráfico vehicular, es necesario hacer un análisis estructural de la tubería.

La profundidad máxima es normalmente de 1,5m hasta la cota externa superior de la tubería.

Pendiente de la tubería. La pendiente mínima recomendada es:

- 0,04%, cuando el aire se desplaza en la misma dirección del agua.

- 0,1%, cuando el aire se desplaza en dirección contraria a la del agua.

Método de la longitud abastecida. Para su aplicación, se determina u caudal unitario (L/s x km), que luego a de ser multiplicado por la longitud de red menor que este alimente (según una distribución lógica de flujo, teniendo en cuenta la topografía). El método de longitud abastecida es aplicable en el caso de redes pequeñas, relativamente simétricas y uniformes.

7.8.3 Metodología de diseño

Las ecuaciones básicas utilizadas en el método de Cross son las siguientes:

$$Q = 0.2785CD^{2.63}J^{0.54} \quad [205]$$

En donde: Q = Caudal del tramo (m³/s)

C = Coeficiente de rugosidad del material de la tubería

D = diámetro de la tubería (m)

J = pérdida de carga unitaria en el tramo (m/m) =H/L

H = pérdida de carga total en el tramo (m)

L = longitud del tramo (m)

La pérdida de carga unitaria, J, será:

$$J = \frac{H}{L}$$

Finalmente, la corrección del caudal será:

$$\Delta Q = \frac{-\sum H}{1.85 \sum \frac{H}{Q}} \quad [206]$$

Cuando la condición de cierre se cumpla la malla estará equilibrada hidráulicamente y los caudales obtenidos serán los reales.

A continuación se deberán verificar las presiones en cada uno de los nodos, teniendo en cuenta la presión mínima de servicio (Prmin) adoptada para el diseño, la cual se determina mediante la tabla 49. Igualmente debe verificarse que las velocidades en los tramos cumplan la norma utilizada.

Tabla 49. Presiones de servicio mínimas del acueducto, relativas al número de pisos de las edificaciones servidas

Número de pisos	Presión mínima (mca)
1	11
2	15
3	18
4	22
5	25

Fuente: LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Redes de distribución. Presiones extremas y de servicio

Lo mismo que el método de Cross, el método de longitudes equivalentes está basado en la ecuación de Hazen-Williams:

$$Q = 278.5CD^{2.63}J^{0.54} \rightarrow Q \text{ en L/s}$$

$$J = \left(\frac{Q}{278.5CD^{2.63}} \right)^{\frac{1}{0.54}} = \frac{3 \cdot 10^{-5} Q^{1.85}}{C^{1.85} D^{4.87}} = \frac{H}{L}$$

$$H = 3 \cdot 10^{-5} \frac{LQ^{1.85}}{C^{1.85} D^{4.87}} \quad [207]$$

Si se tiene un tramo con caudal, diámetro, pérdida de carga total y rugosidad dada, se supone un tramo equivalente con el mismo caudal y pérdida de carga total pero con un diámetro conocido, y rugosidad y longitud diferentes. Las condiciones de este tramo equivalente serán:

$$H_e \equiv H ; Q_e \equiv Q$$

La tubería equivalente se supone arbitrariamente de 8" (203mm) con una rugosidad de 100. Reemplazando la pérdida de carga total, H, de la ecuación () en la condición de cierre se tendrá:

$$\frac{3 \cdot 10^{-5} L Q^{1.85}}{C^{1.85} D^{4.87}} = \frac{3 \cdot 10^{-5} L_e Q^{1.85}}{(100)^{1.85} (0.203)^{4.87}}$$

$$L = L_e \left(\frac{C}{100} \right)^{1.85} \left(\frac{D}{0.203} \right)^{4.87} \quad [208]$$

Y reemplazando este valor en la expresión de la pérdida de carga total se tiene:

$$H = 3 * 10^{-5} \frac{L_e \left(\frac{C}{100}\right)^{1.85} \left(\frac{D}{0.203}\right)^{4.87} Q^{1.85}}{C^{1.85} D^{4.87}} = \frac{L_e Q^{1.85}}{72 * 10^3}$$

$$L_e = \frac{72 * H}{10^{-3} * Q^{1.85}} \quad [209]$$

Se puede demostrar de manera similar a la del método de Cross, que la corrección del caudal será:

$$\Delta Q = \frac{\sum L_e}{1.85 \sum \left(\frac{L_e}{Q}\right)} \quad [210]$$

Una vez lograda la condición de cierre anterior, la malla equivalente se encuentra en equilibrio y los caudales serán los reales.

Se procede entonces a calcular el diámetro correspondiente a cada tramo de la malla, despejando éste de la condición de igualdad de pérdidas totales entre la malla real y la malla equivalente:

$$D = \frac{1.17}{C^{0.38}} \left(\frac{L}{L_e}\right)^{0.206} \quad [211]$$

El diámetro anterior no corresponde a un diámetro comercial. Para obtener el diámetro o una combinación de diámetros comerciales se utiliza la siguiente expresión:

$$L_e = F_1 L_1 + F_2 L_2$$

En donde el subíndice 1 hace referencia al diámetro comercial inmediatamente inferior y el subíndice 2 al diámetro comercial inmediatamente superior. La longitud en el diámetro comercial inmediatamente inferior será:

$$L_e = F_1 L_1 + F_2 (L - L_1)$$

$$L_1 = \frac{L_e - F_2 L}{F_1 - F_2} \quad [212]$$

Los factores F_1 y F_2 pueden encontrarse en la siguiente tabla 50:

Tabla 50. Factores de longitudes equivalentes, F_i

D (pulg)	F	D (pulg.)	F
1½	1.875,63	12	0,0749
2	462,0	14	0,0354
2½	155,8	16	0,0185
3	64,12	18	0,0104
4	15,80	20	0,00623
6	2,192	22	0,00391
8	0,540	24	0,00256
10	0,182	26	0,00174

Fuente: LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Redes de distribución. Método de longitudes equivalentes

7.8.4 Ejemplo de cálculo de redes de distribución.

Este ejemplo instruye el procedimiento de modelación hidráulica de redes mediante la utilización de procesos de cálculo manual, no se presenta la planeación detallada del crecimiento de una red de distribución.

La red de distribución proyectada es la que se muestra en la figura 244, para las cuales rigen las siguientes condiciones de diseño:

- Periodo de diseño= 20 años
- Población de diseño= 7.557 habitantes
- Caudal máximo horario= 47,3 L/s
- Caudal medio horario= 22,7 L/s
- Condición de simulación de incendio: dos hidrantes de 5L/s c/u durante dos horas.
- Presión de servicio mínima: la correspondiente a edificaciones de tres pisos.
- Cota nivel de agua mínimo en el tanque de almacenamiento=61,90
- Cota nivel de agua máximo en el tanque de almacenamiento=63,80
- Profundidad de la tubería (al lomo)=1,00m

a) Caudal de diseño

Alternativa 1: Caudal máximo de horario= 47,3 L/s

Alternativa 2: Caudal medio diario = 22,7 L/s
Caudal de incendio = 10.0 L/s (5 L/s c/hidrante)
Total = 32.7 L/s

El caudal de diseño se tomaría como el máximo de las dos alternativas. Para efecto de poder simular la condición de incendio el día de mayor consumo se tomaría la condición más desfavorable, que es la del caudal máximo diario más la demanda por incendio:

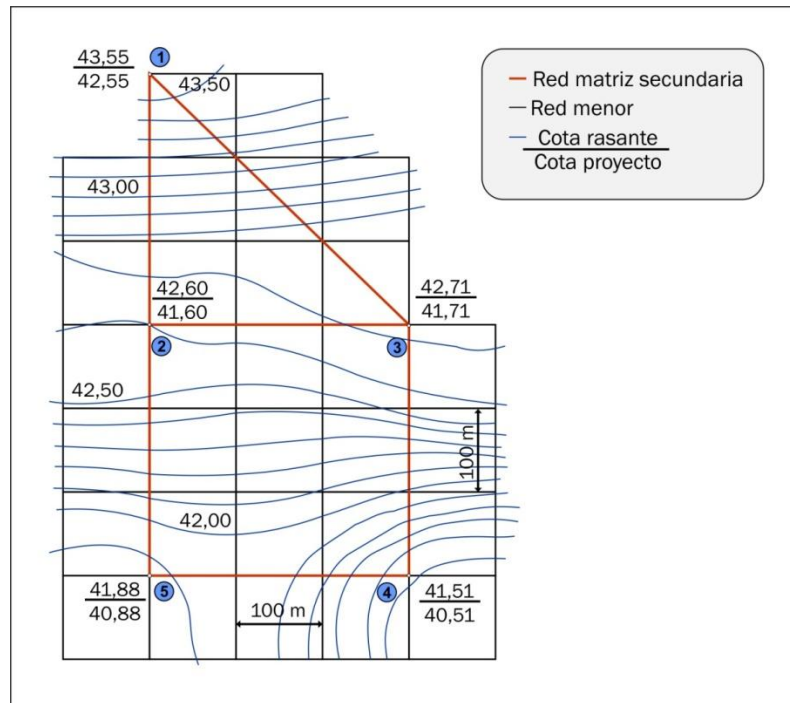
Caudal de diseño=57,3 L/s

b) Presión de diseño

Según las cotas de proyecto indicadas en la figura 244, la presión estática máxima es de 23,29 mca (nodo 5) y la presión estática mínima es de 21,25 mca (nodo 1). Debido a la poca diferencia entre la presione máxima y mínima, no es necesario dividir la red en zonas de presión. La presión estática máxima es menor de 60 mca.

Para edificaciones de hasta tres pisos, se toma una presión mínima de servicio de 18,0 m.

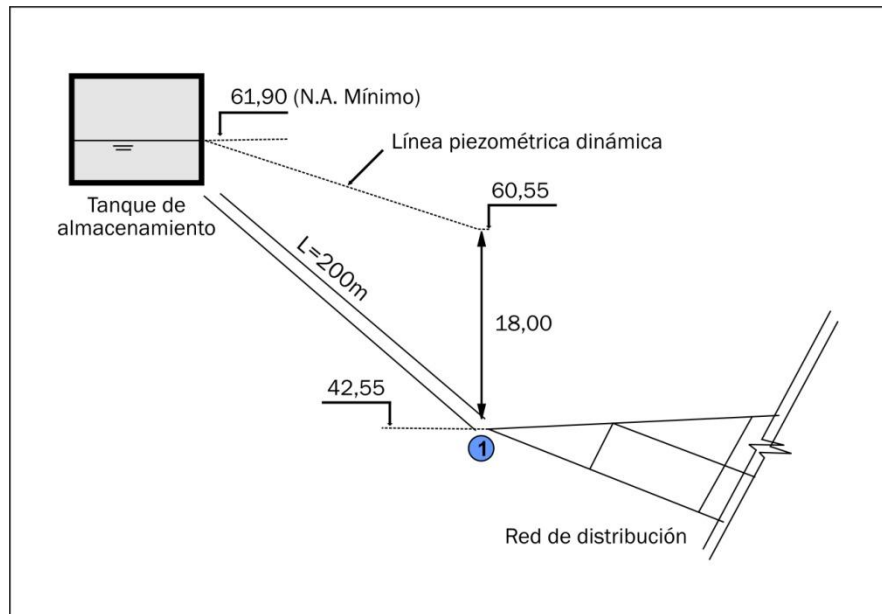
Figura 244. Red de distribución principal y menor con curvas de nivel



Fuente: LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Presión de diseño

Diseño de la línea matriz. La línea matriz, o tubería de conducción entre el tanque de almacenamiento y la red de distribución funcionan a presión por gravedad. El diseño debe ser completo, de acuerdo a lo expuesto anteriormente, es decir, teniendo en cuenta el perfil real de la tubería, los accesorios, las pérdidas menores correspondientes y la verificación del golpe de ariete. La diferencia conceptual en el diseño radica en la imposibilidad de utilizar, en este caso, la máxima carga hidráulica disponible debido a que hay que cumplir con los requerimientos de presión mínima definidos anteriormente. El diseño de la línea matriz que se presenta a continuación es teórico y simplificado.

Figura 245. Línea matriz



Fuente: LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Diseño de la línea matriz

a) Condiciones de diseño de la línea matriz:

Caudal de diseño= 57,3 L/s

Material de la tubería: PVC, RDE 41. Presión de servicio = 88 mca

Coefficiente de rugosidad de Hazen Williams = 150

Cota nivel de agua mínima en el tanque = 61,90

Cota de proyecto en el nodo de entrada, 1 = $43,55 - 1,00 = 42,55$ (profundidad mínima)

Longitud real de la conducción, $L = 200$ m

b) Cálculo hidráulico de la línea matriz:

Cota piezométrica a la entrada a la red, nudo 1 = cota proyecto + presión diseño = $42,55 + 18,00 = 60,55$

Carga hidráulica disponible = $H = 61,90 - 60,55 = 1,35$ m

$$\text{Pérdida de carga unitaria} = J = \frac{H}{L} = \frac{1,35}{200} = 0,00673 \text{ m/m}$$

c) Despejando el diámetro de la ecuación de Hazen Williams:

$$D = \left(\frac{Q}{0,2785 C J^{0,54}} \right)^{1/2,63} = \left(\frac{0,0573}{0,2785 * 150 (0,00673)^{0,54}} \right)^{1/2,63} = 0,228 \text{ m} = 9,0''$$

En este diseño se toma el diámetro comercial superior y se determina luego la cota piezométrica final a la entrada de la red. Adicionalmente, se desprecian las pérdidas menores por accesorios.

Se adopta un diámetro comercial de 10" (254 mm):

- Diámetro externo = 273,05 mm
- Espesor de la pared = 6,66 mm
- Diámetro interno = 259,73 mm

$$J = \left(\frac{Q}{0,2785 C D^{2,63}} \right)^{1/0,54} = \left(\frac{0,0573}{0,2785 * 150 (0,2597)^{2,63}} \right)^{1/0,54} = 0,00355 \text{ m/m}$$

$$H = J * L = 0,00355 * 200 = 0,71 \text{ m}$$

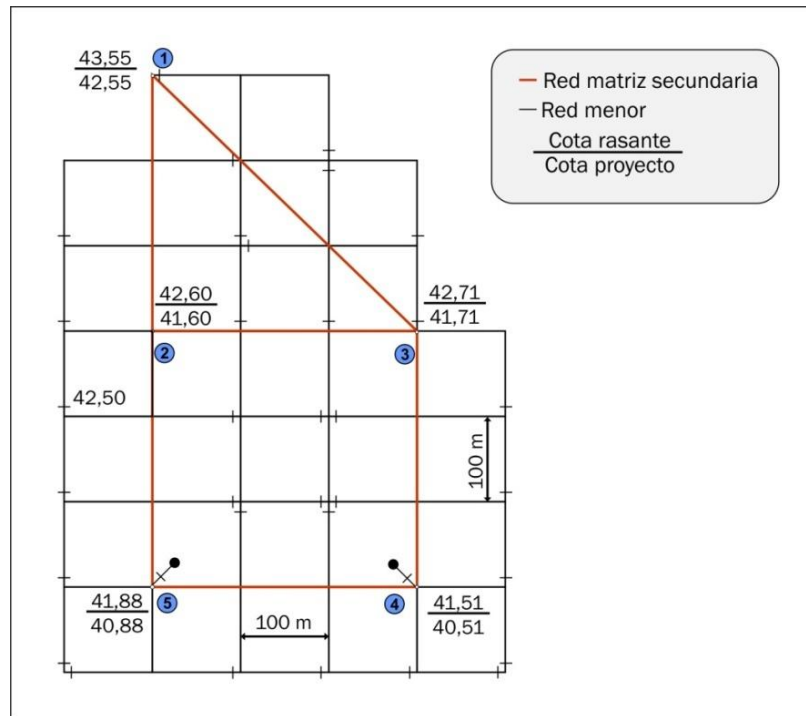
$$\begin{aligned} \text{Cota piezométrica en el nudo 1} &= \text{cota piezométrica tanque} - H \\ &= 61,90 - 0,71 = 61,19 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Presión resultante en el nudo 1} &= \text{cota piezométrica} - \text{cota proyecto} \\ &= 61,19 - 42,55 = 18,64 \text{ mca} \end{aligned}$$

Distribución de caudales en la red. Debido a la falta de un estudio de planeación de la población, y como ejemplo teórico, se supone un crecimiento uniforme de la población y una distribución del caudal proporcional a la longitud de la tubería alimentada. La hipótesis de distribución adoptada puede estar de acuerdo con las condiciones topográficas del proyecto, como se indica en la figura 246.

Se supone un sentido de flujo en la tubería principal. Después, mediante alguna convención, se indica cual tramo de red menor es alimentado por cada tramo de red principal.

Figura 246. Hipótesis de distribución de caudales



Fuente: LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Distribución de caudales en la red

El caudal que hay que repartir proporcionalmente a la longitud es el caudal máximo horario:

$$q = \frac{Q}{L_{total}} = \frac{47,3}{7624,26} = 0,006204 \text{ L/s m}$$

Las demandas resultantes en el extremo final de cada tramo se calculan multiplicando el caudal unitario por la longitud total alimentada, según se muestra en el tabla 51.

Tabla 51. Distribución del caudal proporcional a la longitud

Tramo	Longitud propia (m)	Longitud alimentada (m)	Longitud Total (m)	Caudal (m ³ /s)
1 – 2	300,00	900,00	1.200,00	7,4
1 – 3	424,26	1.500,00	1.924,26	11,9
3 – 2	300,00	600,00	900,00	5,6
3 – 4	300,00	800,00	1.100,00	6,8
2 – 5	300,00	800,00	1.100,00	6,8
5 – 4	300,00	1.100,00	1.400,00	8,7
Σ	1.924,26	5.700,00	7.624,26	47,3

Fuente: LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Distribución de caudales en la red

Los hidrantes que se usan para la modelación se colocan en los extremos más desfavorables de la red, en este caso es los nodos 4 y 5. El caudal total demandado en cada uno de los nodos, de acuerdo con la hipótesis de distribución de caudales, se presenta en el Tabla 52.

Tabla 52. Demanda en los nodos de la red

Tramo	Dom. (L/s)	Inc. (L/s)	Q (L/s)
1			-57,3
2	7,4 + 5,6 = 13,0		13,0
3	11,9		11,9
4	6,8+8,7=15,5	5,00	20,5
5	6,8	5,00	11,8
Σ	47,3	10,00	0,00

Fuente: LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Redes de distribución

Para definir el caudal circundante por cada uno de los tramos, es necesario tener en cuenta el balance de masas en cada uno de los nodos (el caudal que entra es igual al que sale del nodo) y cuando del nodo salen dos tramos, se debe asumir una proporción de caudales de tal manera que se puedan suplir las demandas de

agua abajo. En la tabla 53, se presenta la distribución inicial de caudales de cada tramo, que se corregirá mediante el método de evaluación hidráulica empleado.

Tabla 53. Caudales en los tramos de la red principal

Tramo	Hipótesis de distribución	Q (L/s)
1 – 3	70% (57,3)	40,1
3 - 2	65% (40,1 - 11,9)	18,3
1 – 2	30% (57,3)	17,2
2 – 5	17,2 + 18,3 – 13,0	22,5
5 – 4	22,5 – 11,8	10,7
3 - 4	40,1 – 18,3 – 11,9	9,9

Fuente: LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Distribución de caudales en la red

Calculo de las mallas por el método de Hardy-Cross. Las dos variables de entrada al modelo de Hardy –Cross son el caudal inicial y el diámetro en cada uno de los tramos. Como resultado del proceso interactivo de Cross, se obtiene el caudal final en cada tramo y la presión en cada nodo. El diámetro de la red principal se determina suponiendo una línea piezométrica paralela al terreno (también puede calcularse por la ecuación de continuidad, adoptando una velocidad media en la tubería).

Tabla 54. Definición de diámetros en la red principal

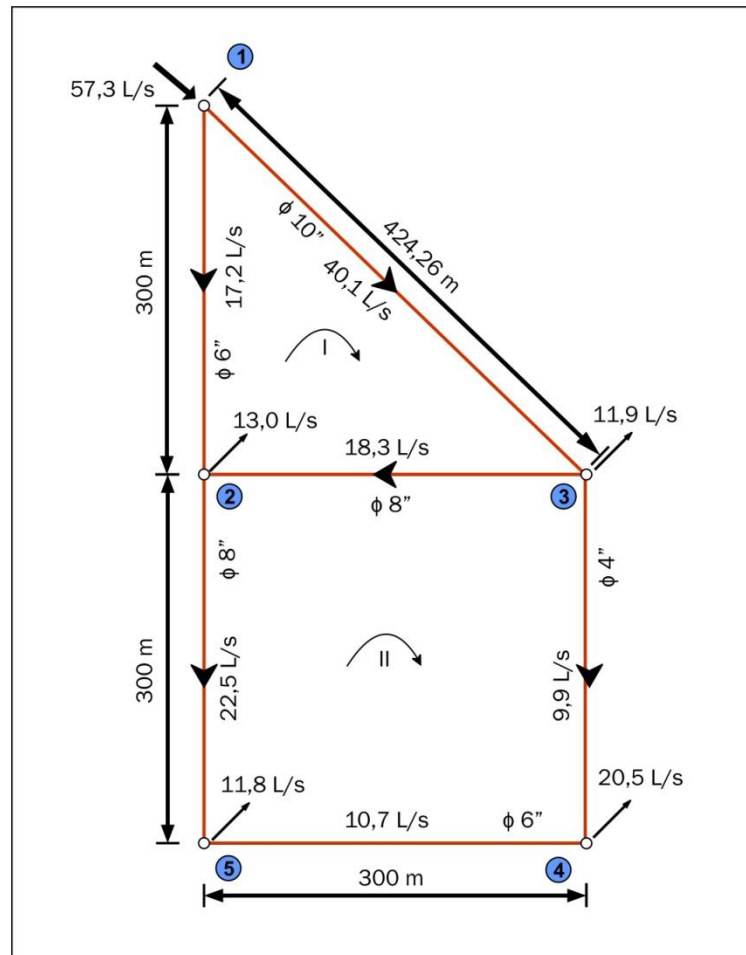
Tramo	H (m)	L (m)	J (m/m)	Q (L/s)	D (m)	D _c (")	D _{inter.} (")
1 – 3	0,84	424,26	0,00198	40,1	0,26	10	259,7
3 - 2	0,11	300,00	0,00037	18,3	0,27	8	208,4
1 – 2	0,95	300,00	0,00317	17,2	0,17	6	160,0
2 – 5	0,72	300,00	0,00240	22,5	0,20	8	208,4
5 – 4	0,37	300,00	0,00123	10,7	0,17	6	160,0
3 - 4	1,20	300,00	0,00400	9,9	0,13	4	108,7

Nota: Los diámetros internos corresponden a tubería RDE 41.

Fuente: LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Cálculo de las mallas por el método de Hardy-Cross

La red de distribución queda conformada finalmente como se indica en la figura 247. Se procede a elaborar la tabla 55, correspondiente al proceso iterativo de Cross.

Figura 247. Red de distribución inicial para el cálculo por el método de Hardy Cross)



Fuente: LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Cálculo de las mallas por el método de Hardy-Cross

Tabla 55. Cálculo de las mallas por el método de Hardy-Cross

Tramo	Longitud (m)	Diámetro (pulg)	Condiciones iniciales de iteración					Primera iteración					
			Q(m ³ /s)	J (m/m)	H(m)	H/Q	ΔQ(m ³ /s)	Q(m ³ /s)	J (m/m)	H(m)	H/Q	ΔQ(m ³ /s)	
1-2	300,00	6	- 0,0172	0,0040	- 1,21	70,4482	0,0003	- 0,0169	0,0039	- 1,18	69,4792	- 0,0004	
1-3	424,26	10	0,0401	0,0018	0,78	19,3927	0,0003	0,0404	0,0019	0,79	19,5069	- 0,0004	
3-2	300,00	8	0,0183	0,0013	0,38	20,5627	0,0023	0,0206	0,0016	0,47	22,7368	- 0,0003	
			Σ =		- 0,06	110,4037				0,08	111,7229		
			ΔQ = 0,0003				ΔQ = - 0,0004						
3-2	300,00	8	- 0,0183	0,0013	- 0,38	20,5627	- 0,0023	- 0,0206	0,0016	- 0,47	22,7368	0,0003	
2-5	300,00	8	- 0,0018	0,0018	- 0,55	24,4818	- 0,0020	- 0,0245	0,0022	- 0,65	26,3405	- 0,0001	
5-4	300,00	6	- 0,0017	0,0017	- 0,50	46,8519	- 0,0020	- 0,0127	0,0023	- 0,69	54,3080	- 0,0001	
3-4	300,00	4	- 0,0095	0,0099	2,84	288,4487	- 0,0020	- 0,0078	0,0062	1,86	237,3839	- 0,0001	
			Σ =		1,42	380,3450				0,06	340,7692		
			ΔQ = - 0,0020				ΔQ = - 0,0001						

Tramo	Longitud (m)	Diámetro (pulg)	Segunda iteración					Tercera iteración					
			Q(m ³ /s)	J (m/m)	H(m)	H/Q	ΔQ(m ³ /s)	Q(m ³ /s)	J (m/m)	H(m)	H/Q	ΔQ(m ³ /s)	
1-2	300,00	6	- 0,0173	0,0041	- 1,23	70,8523	0,0000	- 0,0173	0,0041	- 1,23	70,9127	0,0000	
1-3	424,26	10	0,0400	0,0018	0,77	19,3450	0,0000	0,0400	0,0018	0,77	19,3379	0,0000	
3-2	300,00	8	0,0203	0,0015	0,46	20,4576	0,0000	0,0203	0,0015	0,46	22,4663	0,0000	
			Σ =		- 0,00	112,6549				0,00	112,7168		
			ΔQ = 0,0000				ΔQ = 0,0000						
3-2	300,00	8	- 0,0203	0,0015	- 0,46	22,4576	0,0000	- 0,0203	0,0015	- 0,46	22,4663	0,0000	
2-5	300,00	8	- 0,0246	0,0022	- 0,65	26,4287	0,0000	- 0,0246	0,0022	- 0,65	26,4530	0,0000	
5-4	300,00	6	- 0,0128	0,0023	- 0,70	54,6596	0,0000	- 0,0128	0,0023	- 0,70	54,7563	0,0000	
3-4	300,00	4	- 0,0077	0,0061	1,82	234,8988	0,0000	- 0,0077	0,0060	1,81	234,2142	0,0000	
			Σ =		0,02	338,4447				0,00	337,8897		
			ΔQ = 0,0000				ΔQ = 0,0000						

Tabla 55. Calculo de las mallas por el método de Hardy-Cross

Resultados definitivos

Tramo	Longitud (m)	Diámetro (pulg)	Caudal (m³/s)	Velocidad		Caída, H(m)	Elevación Nudo final	Piezom. Nudo final	Presión	
				(m/s)	Condición				(m/s)	Condición
1 – 2	300,00	6	0,0173	0,86	O.K.	1,23	41,60	59,96	18,4	O.K.
1 – 3	424,26	10	0,0400	0,75	O.K.	0,77	41,81	60,41	18,6	O.K.
3 – 2	300,00	8	0,0203	0,60	V. Baja	0,46	41,60	59,96	18,4	O.K.
3 – 2	300,00	8	0,0203	0,60	V. Baja	0,46	41,60	59,96	18,4	O.K.
2 – 5	300,00	8	0,0246	0,72	O.K.	0,65	40,88	59,31	18,4	O.K.
5 – 4	300,00	6	0,0128	0,64	O.K.	0,70	40,51	58,61	18,1	O.K.
3 - 4	300,00	4	0,0077	0,83	O.K.	1,81	40,51	58,60	18,1	O.K.
Cota en 1								61,19		

Fuente: LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Cálculo de las mallas por el método de Hardy-Cross

Comentarios de la tabla anterior

- La pérdida de carga, J , se calcula con el diámetro interno real.
- En principio, se pudo haber parado el proceso en la primera iteración con $\Sigma H1 = 0,08$ m y $\Sigma H2 = 0,06$ m (valores menores que 0,1 m, según la norma).
- En la hoja de cálculo se señala el tramo 3-2 con velocidad baja. Esto se debe al redondeo de decimales.
- Todas las velocidades cumplen con la recomendación de velocidades mínima y máxima 0,6 y 1,5 m/s, respectivamente.
- Las cotas piezométricas se calculan a partir de la cota piezométrica ya establecida en el nodo 1 de 61,19, restando de ella la pérdida de carga en el tramo correspondiente. Por ejemplo, la cota piezométrica en el extremo final del tramo 1-2 se calcula como $61,19 - 1,23 = 59,96$.
- La presión en el nodo extremo aguas abajo del tramo se calcula como la diferencia entre la cota piezométrica y la cota del proyecto (lomo de la tubería).
- Todas las presiones son superiores a 18,0 mca, definida como la presión de diseño.

Calculo de las mallas por el método de longitudes equivalentes. El ejemplo siguiente se desarrolla con la misma distribución de caudales utilizada en la solución de Cross. De manera diferente de la del método anterior, en el cual los diámetros de las tuberías se seleccionan previamente, en el método de longitudes equivalentes se deben seleccionar con anterioridad la distribución de presiones sobre las mallas. Para ello se utiliza el concepto de generar un plano piezométrica sobre la red, de manera que todos los nodos cumplan con la presión de diseño.

Distribución de presiones. El plano piezométrico se construye a partir de dos puntos de presión conocida. Estos puntos se toman como el punto de entrada a la red (nodo 1) y el punto geoméricamente más distante del anterior (nodo 4), con el fin de que genere un gradiente negativo.

La presión en el nodo 1 se definió anteriormente según el diseño de la línea matriz. La presión en el nodo 4 se define como la presión de diseño (puede ser un valor superior, siempre y cuando el gradiente sea negativo).

Cota piezométrica en el nodo 1 = 61,19

$$\begin{aligned} \text{Cota piezométrica en el nodo 4} &= 40,51 + 18,00 = 58,51 \\ \text{Carga hidráulica disponible} &= 61,19 - 58,51 = 2,68 \text{ m} \end{aligned}$$

La diagonal entre los nodos extremos (1 y 4) se divide en 10 partes iguales, por lo que la pérdida de carga en cada subdivisión será de 27 cm, aproximadamente.

La cota piezométrica para cada uno de los nodos de las mallas se obtiene trazando una línea entre el punto y la diagonal con un determinado ángulo de inclinación. Todas las demás líneas de los nodos deben tener el mismo ángulo con respecto a la diagonal. Inicialmente se trazan formando ángulo de 90° con la diagonal y dependiendo de las presiones obtenidas en los nodos, se aumenta o disminuye el ángulo de inclinación de dichas líneas.

En el ejemplo mostrado en la figura 247 se trazaron las líneas de unión con la diagonal a una determinada inclinación, lo que implica mayor presión en los nodos por fuera de la diagonal. Si se hubieran trazado normales a la diagonal, las presiones en los nodos externos serán menores.

Las cotas piezométricas de los nodos 2,3 y 5, indicadas en la figura 247, se obtienen interpolando los valores definidos en las subdivisiones de la diagonal.

Al definir la cota piezométrica de cada nodo, se obtiene la carga hidráulica disponible, H ; en cada tramo mediante la diferencia de las cotas piezométricas de los nodos inicial y final. Debe tenerse en cuenta que al fijar las cotas piezométricas, se está fijando el sentido de flujo en la tubería (de mayor a menor cota piezométrica); en el ejemplo actual, el tramo 3-2 cambia de sentido de flujo con respecto al resultado de Cross.

Fijadas las presiones en los nodos y cargas hidráulicas en los tramos, junto con los caudales iniciales, se comienza el proceso iterativo de longitudes equivalentes, cuyos resultados de caudal final y diámetros se encuentran consignados en la tabla 56.

Tabla 56. Cálculo de las mallas por el método de longitudes equivalentes

Condiciones iniciales de Iteración													
Tramo	H (m)	72H	Q (L/s)	$Q^{1,85} \times 10^{-3}$	Le	Le/Q	ΔQ (L/s)	Q(L/s)	$Q^{1,85} \times 10^{-3}$	Le	Le/Q	ΔQ (L/s)	
1 – 2	0,80	-57,80	-17,19	0,1929	-299,66	17,43	-6,79	-23,98	0,3569	-161,94	6,75	-3,97	
1 – 3	1,34	96,34	40,11	0,9249	104,17	2,60	-6,79	33,33	0,6564	146,76	4,40	-3,97	
3 – 2	0,54	-38,54	-18,31	0,2168	-177,73	9,70	-7,65	-25,96	0,4135	-93,20	3,59	-3,83	
				$\Sigma = -373,22 \quad 29,73$								$\Sigma = -108,38 \quad 14,75$	
				$\Delta Q = -6,79 \text{ L/s}$ $0,1 \Sigma Le = 58,16 \quad \Sigma Le = 373,22 \quad \text{No cierra}$								$\Delta Q = -3,97 \text{ L/s}$ $0,1 \Sigma Le = 40,19 \quad \Sigma Le = 108,38 \quad \text{No cierra} \quad \text{O.K}$	
3 – 2	0,54	38,54	18,31	0,2168	177,73	9,70	7,65	25,96	0,4135	93,20	3,59	3,83	
2 – 5	0,77	-55,64	-22,48	0,3167	-175,70	7,82	0,86	-21,61	0,2946	-188,87	8,74	-0,14	
5 – 4	1,10	-79,23	-10,65	0,0795	-996,05	93,52	0,86	-9,79	0,0681	-1164,18	118,93	-0,14	
3 – 4	1,34	96,34	9,86	0,0690	1396,54	141,62	0,86	10,72	0,0805	1196,16	111,56	-0,14	
				$\Sigma = 402,52 \quad 252,67$								$\Sigma = -63,69 \quad 242,82$	
				$\Delta Q = 0,86 \text{ L/s}$ $0,1 \Sigma Le = 274,60 \quad \Sigma Le = 402,52 \quad \text{No cierra}$								$\Delta Q = -0,14 \text{ L/s}$ $0,1 \Sigma Le = 264,24 \quad \Sigma Le = 63,69 \quad \text{No cierra} \quad \text{O.K}$	
Tramo	H (m)	72H	Q (L/s)	$Q^{1,85} \times 10^{-3}$	Le	Le/Q	ΔQ (L/s)	Q(L/s)	$Q^{1,85} \times 10^{-3}$	Le	Le/Q	ΔQ (L/s)	
1 – 2	0,80	-57,80	-27,95	0,4740	-121,95	4,36	-0,35	-28,30	0,4852	-119,14	4,21		
1 – 3	1,34	96,34	29,36	0,5191	185,60	6,32	-0,35	29,00	0,5075	189,82	6,55		
3 – 2	0,54	-38,54	-29,79	0,5334	-72,25	2,43	-0,31	-30,10	0,5435	-70,90	2,36		
				$\Sigma = -8,60 \quad 13,11$								$\Sigma = -0,22 \quad 13,11$	
				$\Delta Q = -0,35 \text{ L/s}$ $0,1 \Sigma Le = 37,98 \quad \Sigma Le = 8,60 \quad \text{No cierra}$								$\Delta Q = -0,01 \text{ L/s}$ $0,1 \Sigma Le = 37,99 \quad \Sigma Le = 0,22 \quad \text{No cierra} \quad \text{O.K}$	
3 – 2	0,54	38,54	29,79	0,5334	72,25	2,43	0,31	30,10	0,5435	70,90	2,36	0,00	
2 – 5	0,77	-55,64	-21,76	0,2982	-186,59	8,58	-0,05	-21,81	0,2995	-185,81	8,52	0,00	
5 – 4	1,10	-79,23	-9,93	0,0699	-1133,62	114,15	-0,05	-9,98	0,0705	-1123,28	112,55	0,00	
3 – 4	1,34	96,34	10,58	0,0786	1225,98	115,87	-0,05	10,53	0,0779	1236,62	117,43	0,00	
				$\Sigma = -21,98 \quad 241,03$								$\Sigma = -1,58 \quad 240,86$	
				$\Delta Q = -0,05 \text{ L/s}$ $0,1 \Sigma Le = 261,84 \quad \Sigma Le = 21,98 \quad \text{O.K}$								$\Delta Q = 0,00 \text{ L/s}$ $0,1 \Sigma Le = 261,66 \quad \Sigma Le = 1,58 \quad \text{O.K}$	

Tabla 56. Cálculo de las mallas por el método de longitudes equivalentes

Resultados definitivos

Tramo	Longitud (m)	Caudal (L/s)	Le (m)	Diámetro (m)	(")	F ₁	L ₁ (m)	V ₁ (m/s)	D ₂ (")	F ₂	L ₂ (m)	V ₂ (m/s)
1 - 2	300,00	28,30	119,14	0,211	8,30	0,540	180,23	0,83	10	0,182	119,77	0,53
1 - 3	424,26	29,00	189,82	0,206	8,10	0,540	314,49	0,85	10	0,182	109,78	0,55
3 - 2	300,00	30,10	70,90	0,235	9,24	0,540	45,43	0,88	10	0,182	254,57	0,57
2 - 5	300,00	21,81	185,81	0,192	7,57	2,192	14,41	1,08	8	0,540	285,59	0,64
5 - 4	300,00	9,98	1123,28	0,133	5,23	15,795	34,23	1,08	6	2,192	265,77	0,50
3 - 4	300,00	10,53	1236,62	0,130	5,13	15,795	15,795	1,13	6	2,192	257,44	0,52

Fuente: LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Redes de distribución

Comentarios de la tabla anterior

- La velocidad en cada tramo se calcula con el diámetro interno real.
- Algunas velocidades se encuentran por debajo de 0,6m/s pero no son demasiado bajas. Dependiendo de la norma exigida, sería necesario modificar el plano piezométrico o el doámetro, de modo que se incrementen las velocidades.
- El método no indica cuál diámetro colocar primero. Se debe estudiar la adecuada disposición de diámetros, de tal manera que queden contiguos los diámetros del mismo valor en el tramo aguas arriba y aguas abajo.
- A criterio del diseñador, puede suprimirse un diámetro si la longitud de éste es muy corta con respecto a la longitud total o puede empalmarse con el tamaño anterior o siguiente de igual diámetro al de longitud pequeña.

7.8.5 Diagrama de flujo. En las figuras de la 248 a la 260 se muestra el diagrama de flujo de la red de distribución, en donde las figuras 256 y 257 muestran la Hipótesis de distribución de la red; y las figuras 258 a 260 el Método de Hardy Cross.

Listado de Variables

Tip= Zona en la que se encuentra ubicada la red de distribución.

PD= Periodo de diseño de la red de distribución.

PfP=Proyección de la población en el año (J).

To= Año inicial de proyección.

had= Es el numero de hidrantes adicionales, este dato es suministrado por el usuario.

Qp(J) = Caudal promedio del año de proyección (J), este dato se encuentra en el capítulo de consumo.

Q1=Caudal máximo horario.

Q2=Caudal medio diario.

Q=Caudal de diseño.

Qmaxh(J) = Caudal máximo horario perteneciente al año de proyección (J)

PLT=Profundidad de excavación de la tubería al lomo.

#p= Numero de pisos de las edificaciones servidas.

matr=Material de la tubería de la red matriz.

matrd = Material de la tubería de la red de distribución

Pt=Presión de trabajo de la tubería.

Prmin=Presión mínima en la red matriz o red secundaria, o, presión de diseño según(#p).

C=Coeficiente de rugosidad de Hazen Willians.

CPer=Cota proyecto a la entrada de la red de distribución.

Coter=Cota piezométrica a la entrada de la red de distribución.

CHd=Carga hidráulica disponible.

Cottal=Cota de descarga en el tanque de almacenamiento.

J=Contador de iteraciones.

Coterp=Cota piezométrica a la entrada de la tubería calculada con las pérdidas en tubería y accesorios.

Ncot=Número de cotas ingresadas.

Cminta=Cota de nivel de agua mínimo en el tanque de almacenamiento.

Cmaxta=Cota de nivel de agua máximo en el tanque de almacenamiento.

Cotp(I)=Cota proyecto en el nodo (I).

Cotr(I)=Cota rasante en el nodo (I).

Pes(I)=Presión estática en el nodo(I).

PEmax=Presión estática máxima desde el tanque de almacenamiento hasta el punto más bajo de la red.

PE min=Presión estática mínima desde el tanque de almacenamiento hasta el punto más alto de la red.

CPerm=Cota proyecto a la entrada de la red matriz.

Δcti=Diferencia de cotas para determinar la cota final de una zona de presión este desnivel debe ser ingresado por el usuario.

PEmaxi=Presión estática máxima (nueva) que depende de (Δcti).

CVRPC=Cota de la válvula reductora de presión.

PR1= Presión resultante en el nodo uno.

Dmin=Diámetro mínimo determinado bajo los parámetros de la tabla().

Nodo1(I)=Nodo del extremo inicial de un tramo (n).

Nodo2(I)=Nodo del extremo final de un tramo(n).

n1=Nodo del extremo inicial de un tramo(n).

n2=Nodo del extremo final de un tramo(n).

Cot1=Cota del nodo perteneciente al extremo inicial de un tramo (n).

Cot2= Cota del nodo perteneciente al extremo final de un tramo (n).

Lal=Longitud alimentada (se refiere a la red menor que es alimentada por cada tramo).

Lgtr(n)=Longitud real del tramo (n).

LT(n)=Longitud total que alimenta el tramo(n).

Lgt(n)=Longitud en planta del tramo (n).

SumL=Sumatoria de todas las longitudes de la malla o longitud total.

L=Acumulador actúa para el (Q_h).
 $Q_c T$ =Caudal en cada tramo (teórico $q \cdot L T(n)$).
q=Caudal unitario.
 Q_h =Caudal de demanda de hidrante.
h(n)= Es el numero del hidrante en el tramo(n).
 $Q_N(I)$ = Caudal en el nodo (I).
#h(L)=Hidrante (este se ubica en algún lugar del tramo n o en algún nodo I según lo que desee el usuario).
 Q_{ac} =Caudal acumulado.
Sum Q_D =Es el caudal disponible en el nodo (I), básicamente es la sumatoria de los caudales que entran al nodo (I), menos la demanda ($Q_N(I)$) en el mismo.
Sum Q_s =Es la sumatoria de los caudales que salen del nodo(I).
 $Q_{Tramo}(n)$ =Es el caudal en el tramo(n) de acuerdo a la distribución ($\%T(n)$).
 $\%T(n)$ =Porcentaje del caudal neto en el nodo(I) (caudal que llega al nodo menos demanda en el nodo ($Q_N(I)$) que sale de este para alimentar el tramo (n). Este porcentaje es ingresado por el usuario.
I=Contador, es un acumulador de nodos.
HN=Es la diferencia de altura entre los nodos del tramo.
x=Contador (Acumulador de circuitos).
dir(x)=Es la dirección asignada al circuito (X), puede ser positiva (+) o negativa (-).
CH/Q=Es el cociente entre HN y $Q_T(n)$ de cada tramo(n).
SumHN(x)=Acumula la sumatoria del desnivel entre los nodos de los tramos (n) pertenecientes al circuito (x).
SumH/Q(x)=Acumula la sumatoria del cociente H/Q de cada tramo(n) pertenecientes al circuito(x).
n=Contador de tramos.
 $\Delta Q(x)_i$ =Corrección del caudal en tramos independientes o tramos que no son compartidos con otros circuitos.
 $\Delta Q(n)_c$ =Corrección del caudal en tramos compartidos con otros circuitos.
PNf(n)=Cota piezométrica en el nodo final del tramo (n).
P(n)=Es la presión en el nodo final del tramo (n).
Jc=Pérdida de carga unitaria.
PR1=Presión resultante en el nodo1.
 Q_{ic} =Caudal de incendios.
 $Q_T(n)$ =Es el caudal real del tramo (n) calculado a partir del diámetro real interno.
Din(n)=Es el diámetro interno de la tubería en el tramo (n).

Figura 248. Red de distribución

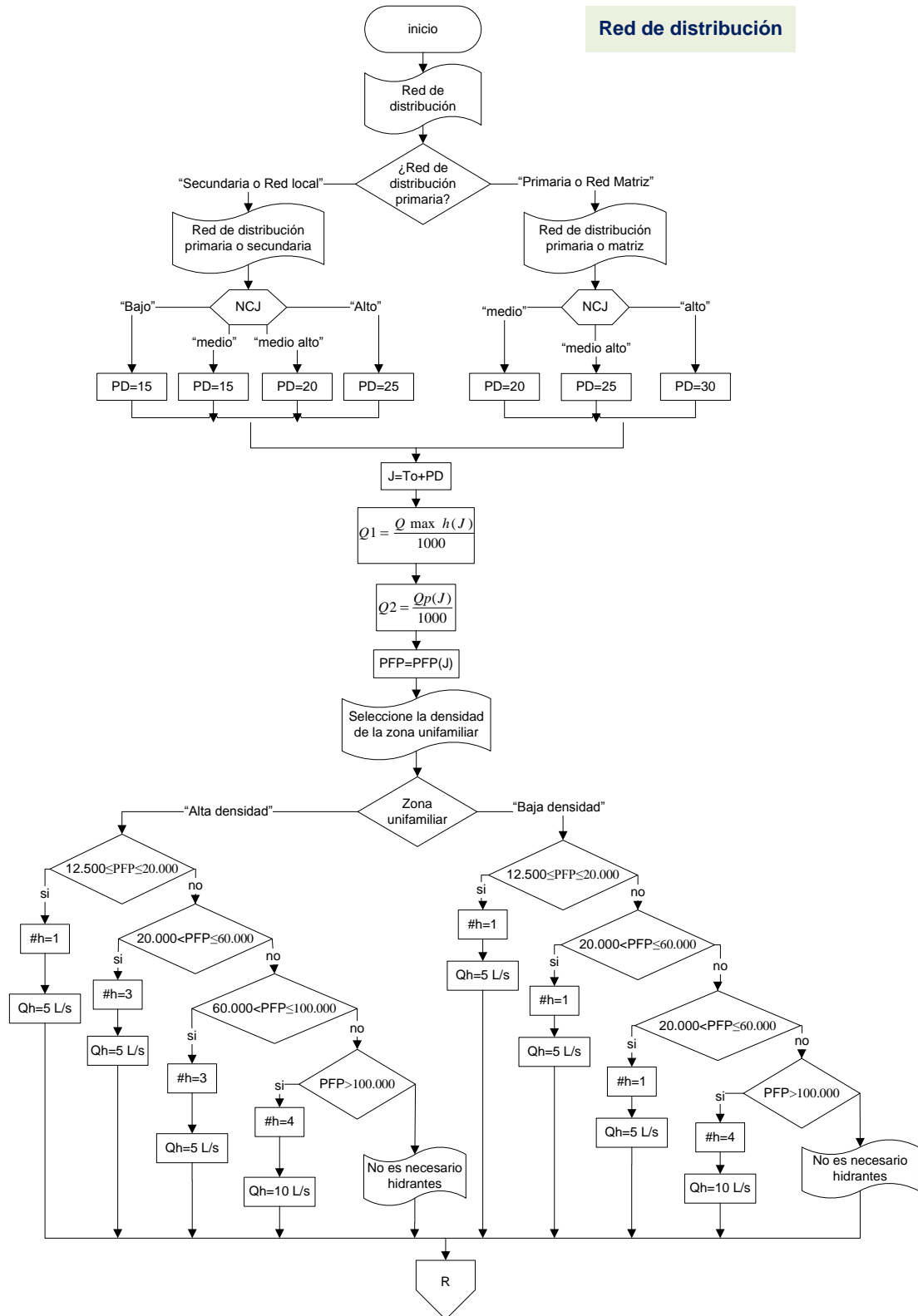


Figura 249. Red de distribución

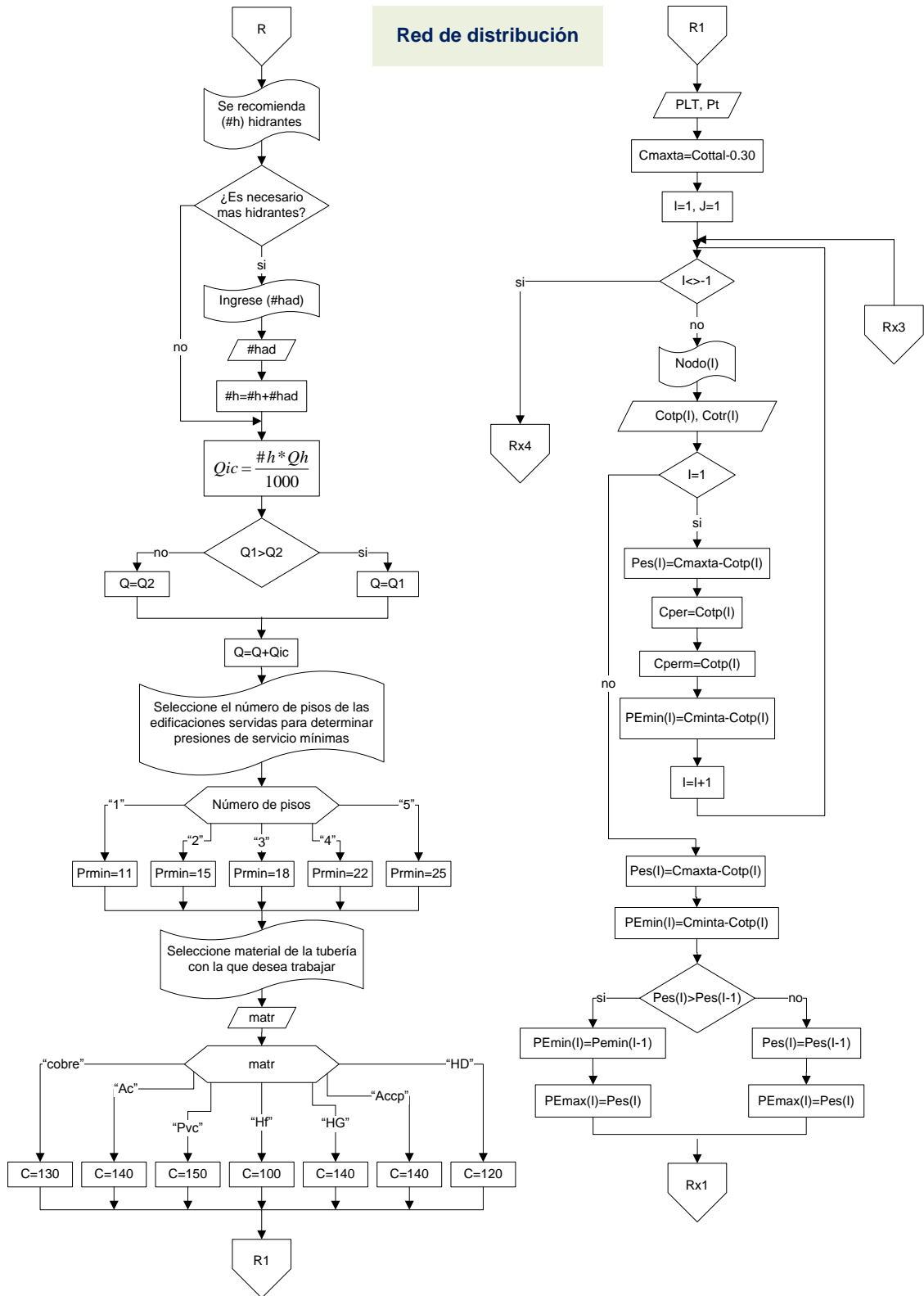


Figura 250. Red de distribución

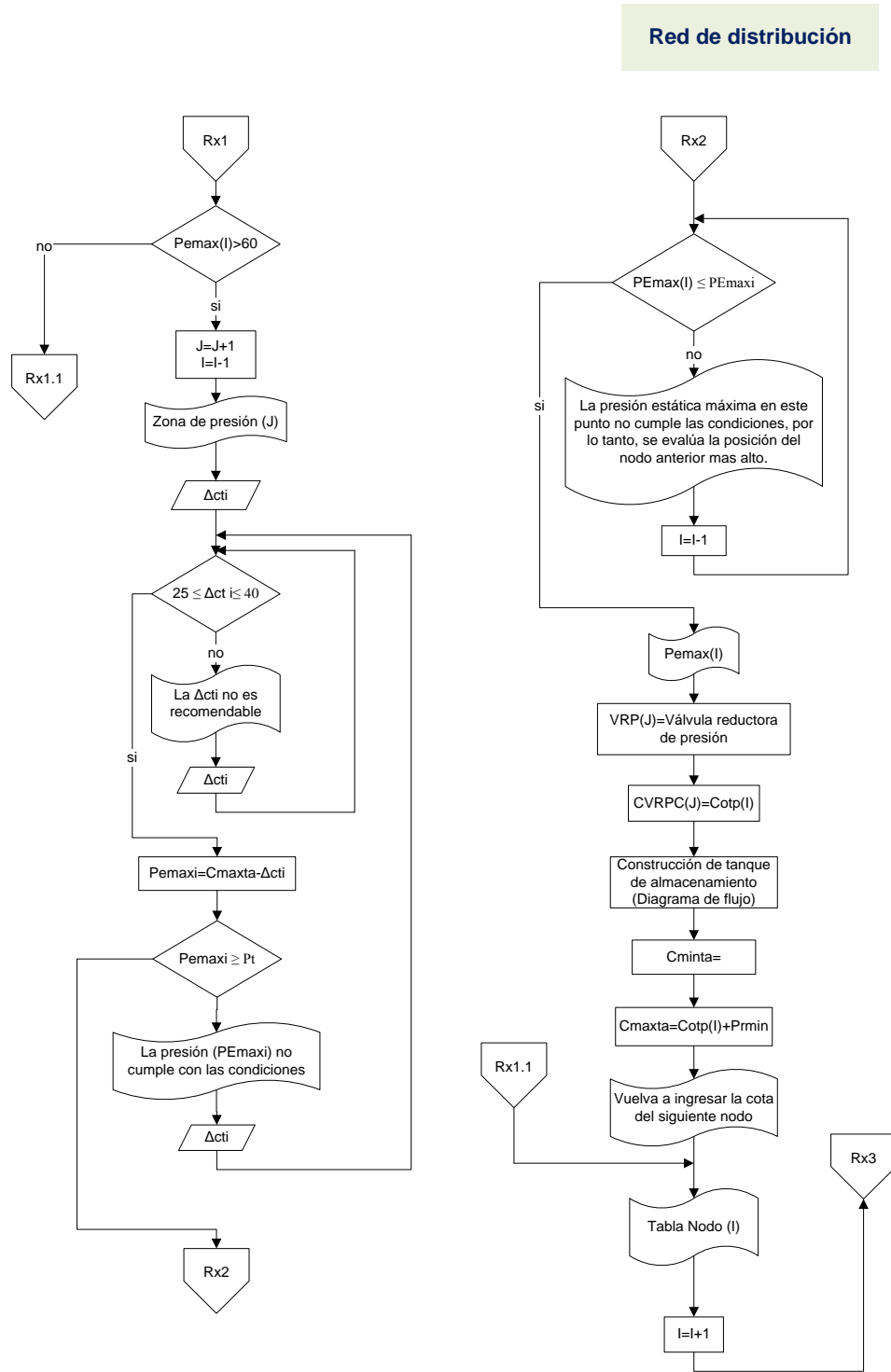


Figura 251. Red de distribución

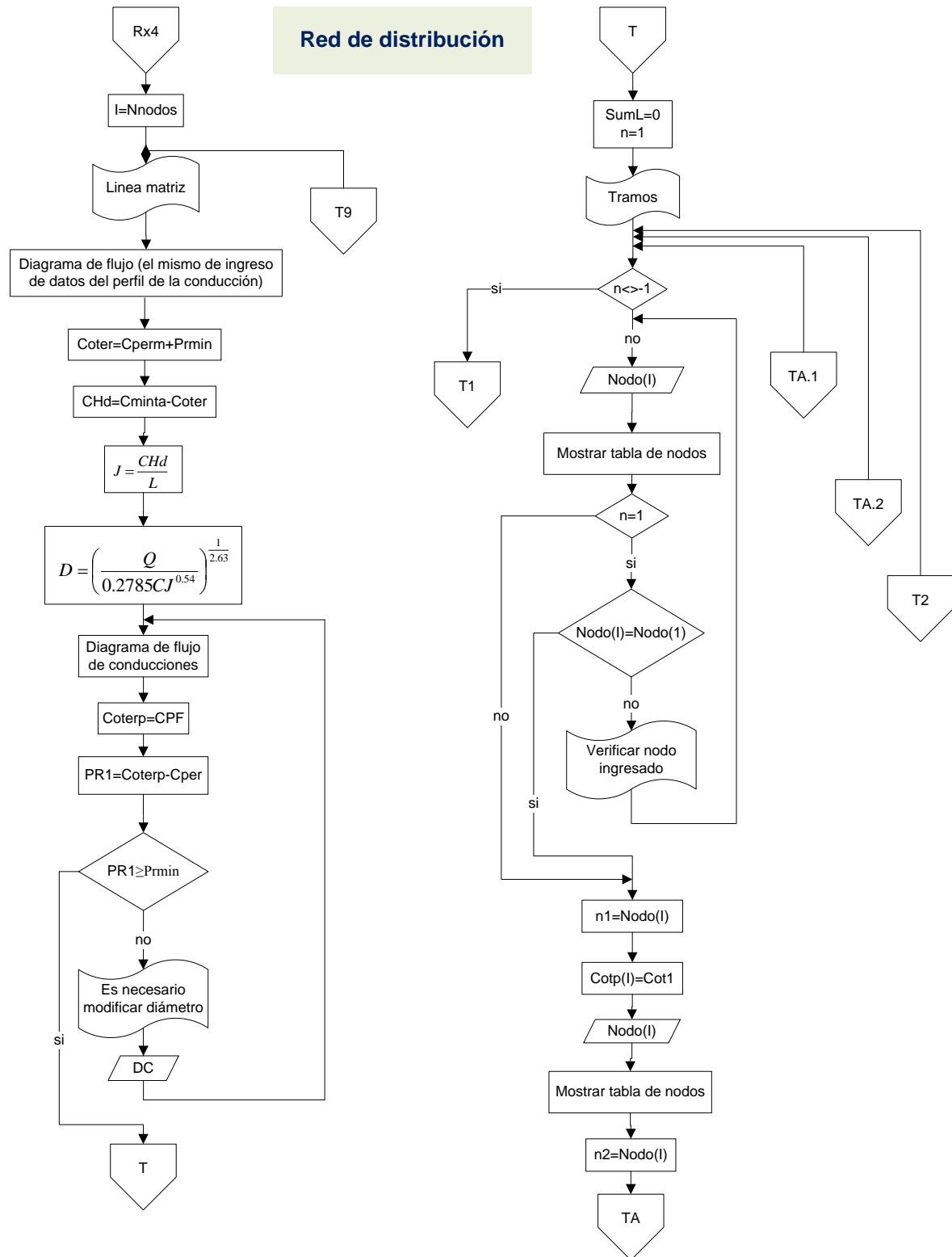


Figura 252. Red de distribución

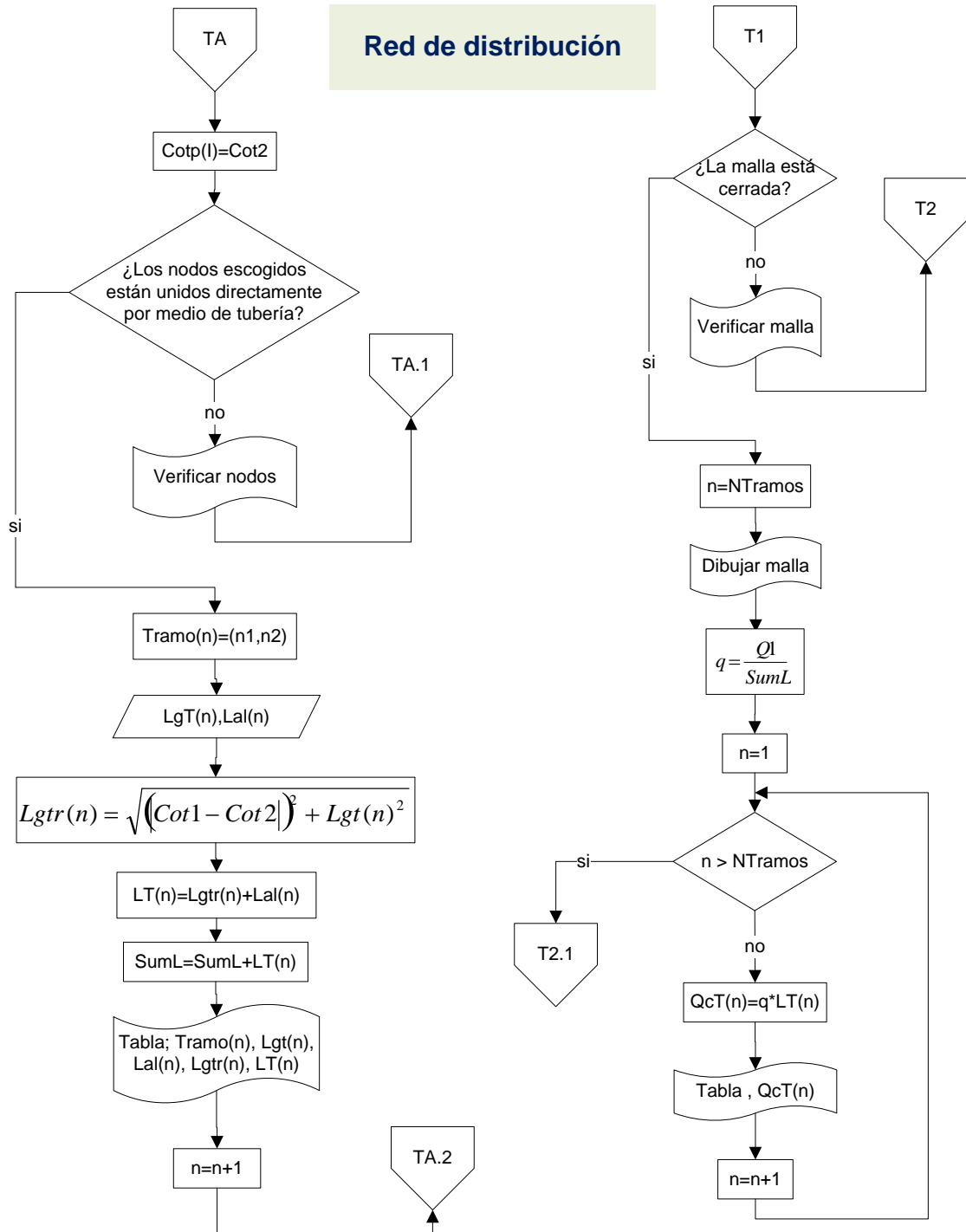


Figura 253. Red de distribución

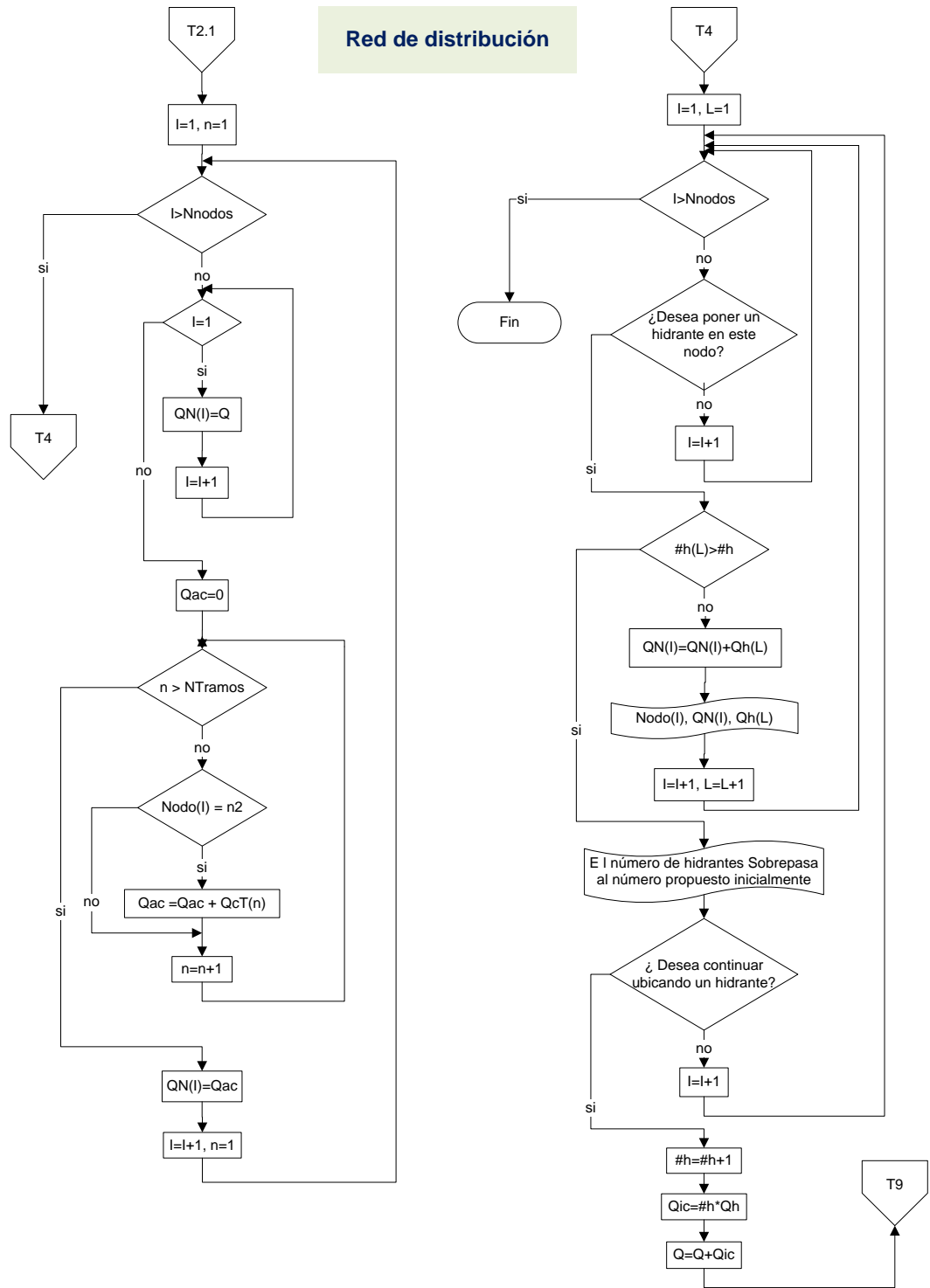


Figura 254. Hipótesis de distribución de la red

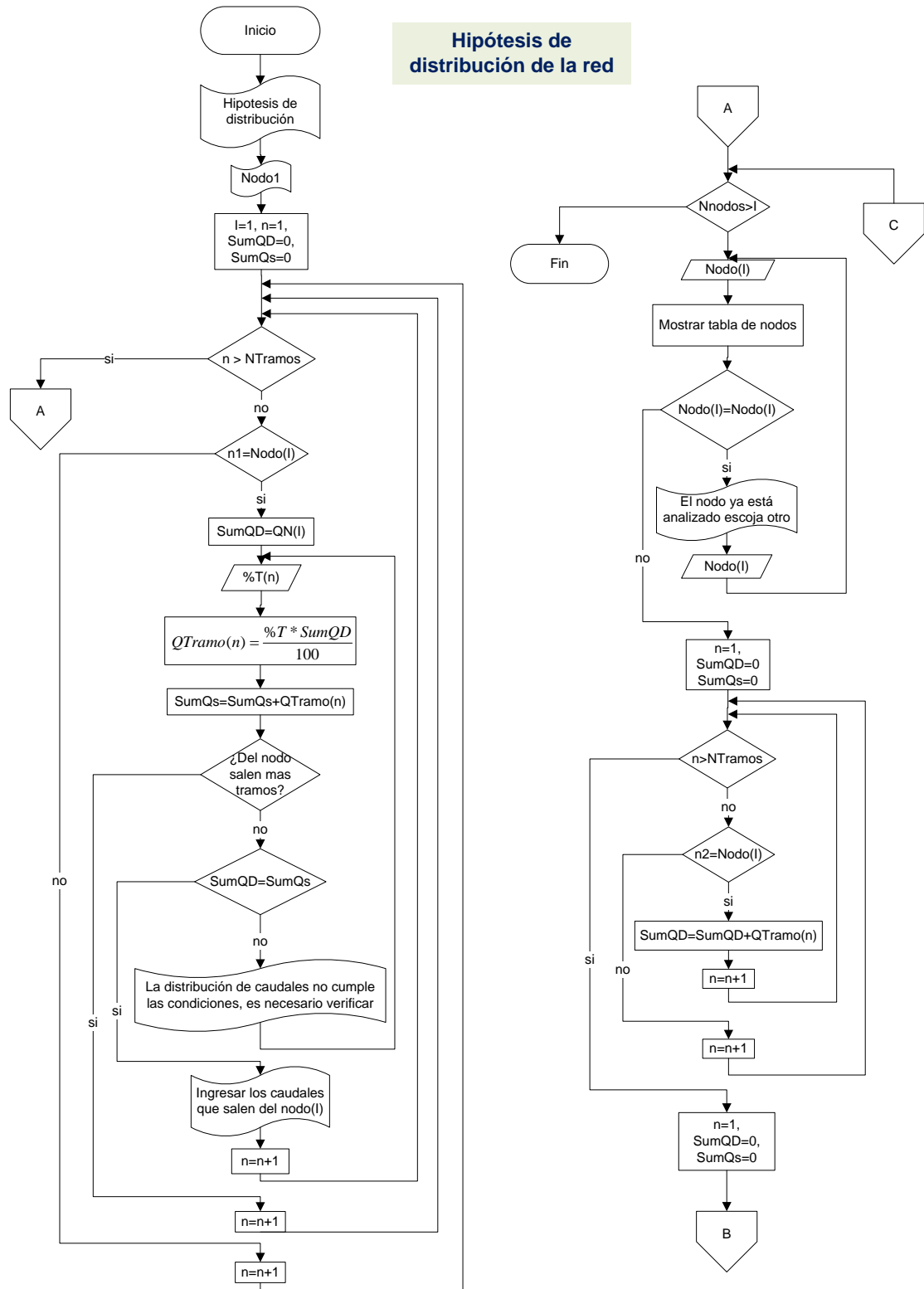


Figura 255. Hipótesis de distribución de la red

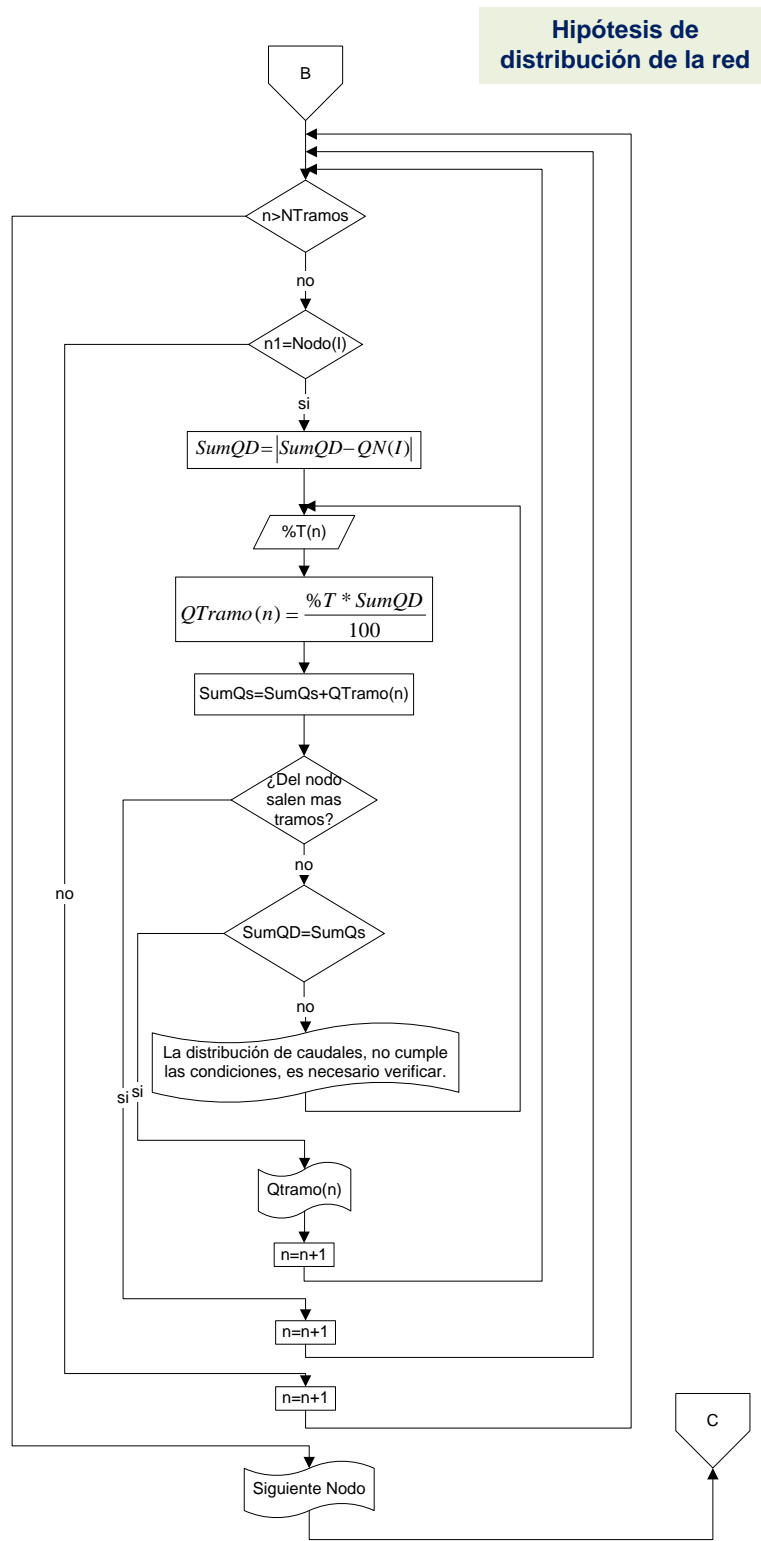


Figura 256. Método de Hardy Cross

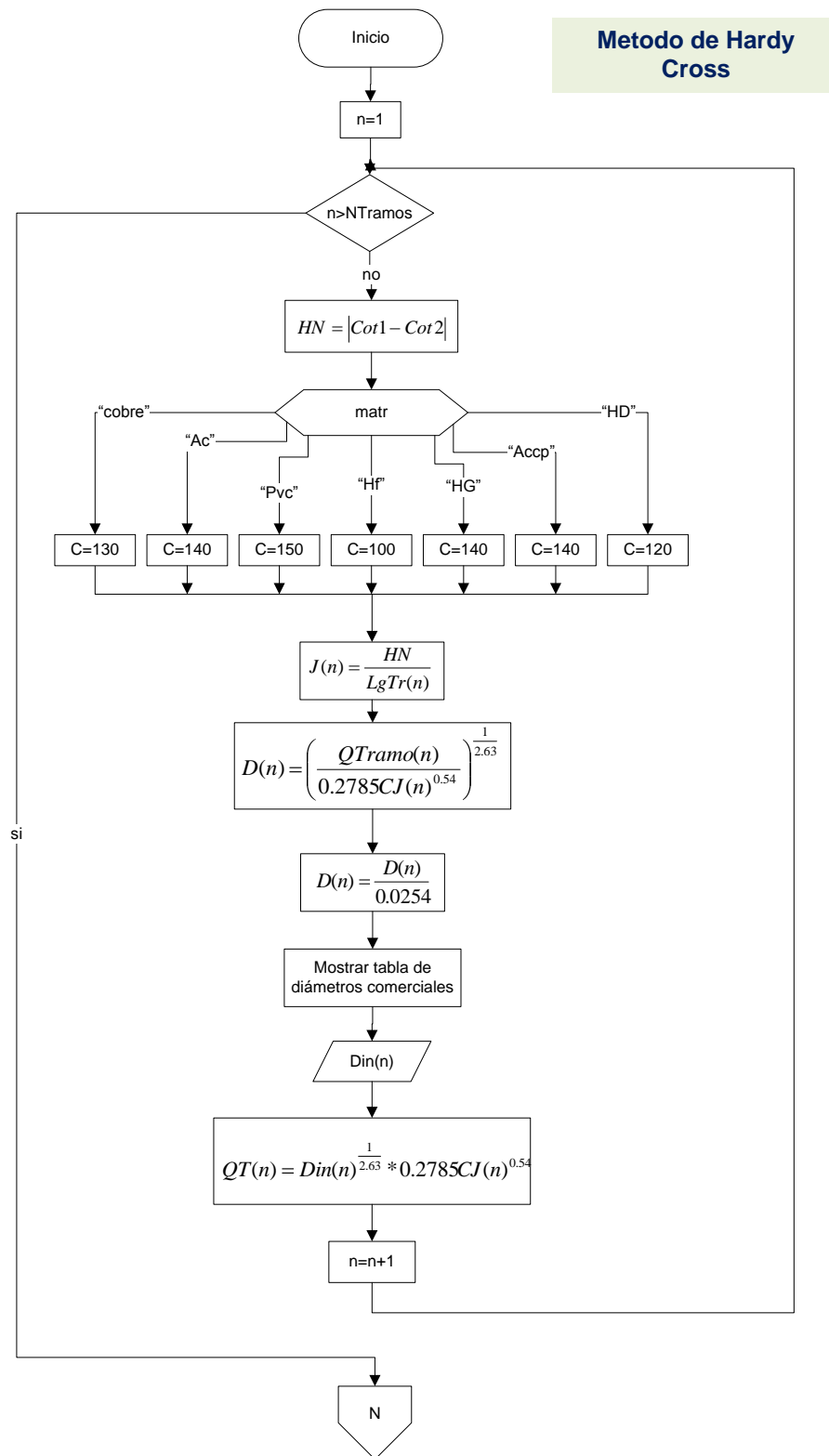


Figura 257. Método de Hardy Cross

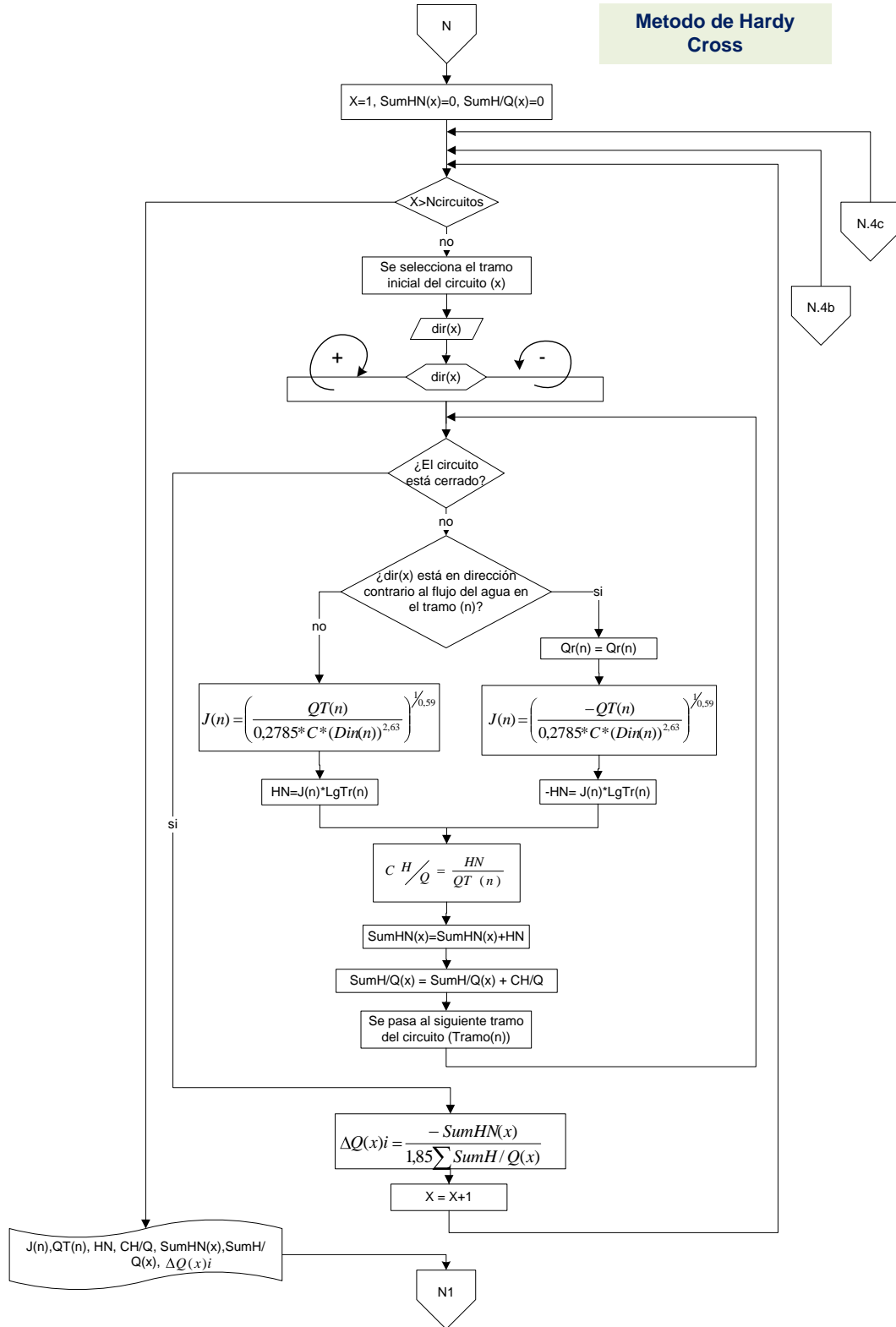


Figura 258. Método de Hardy Cross

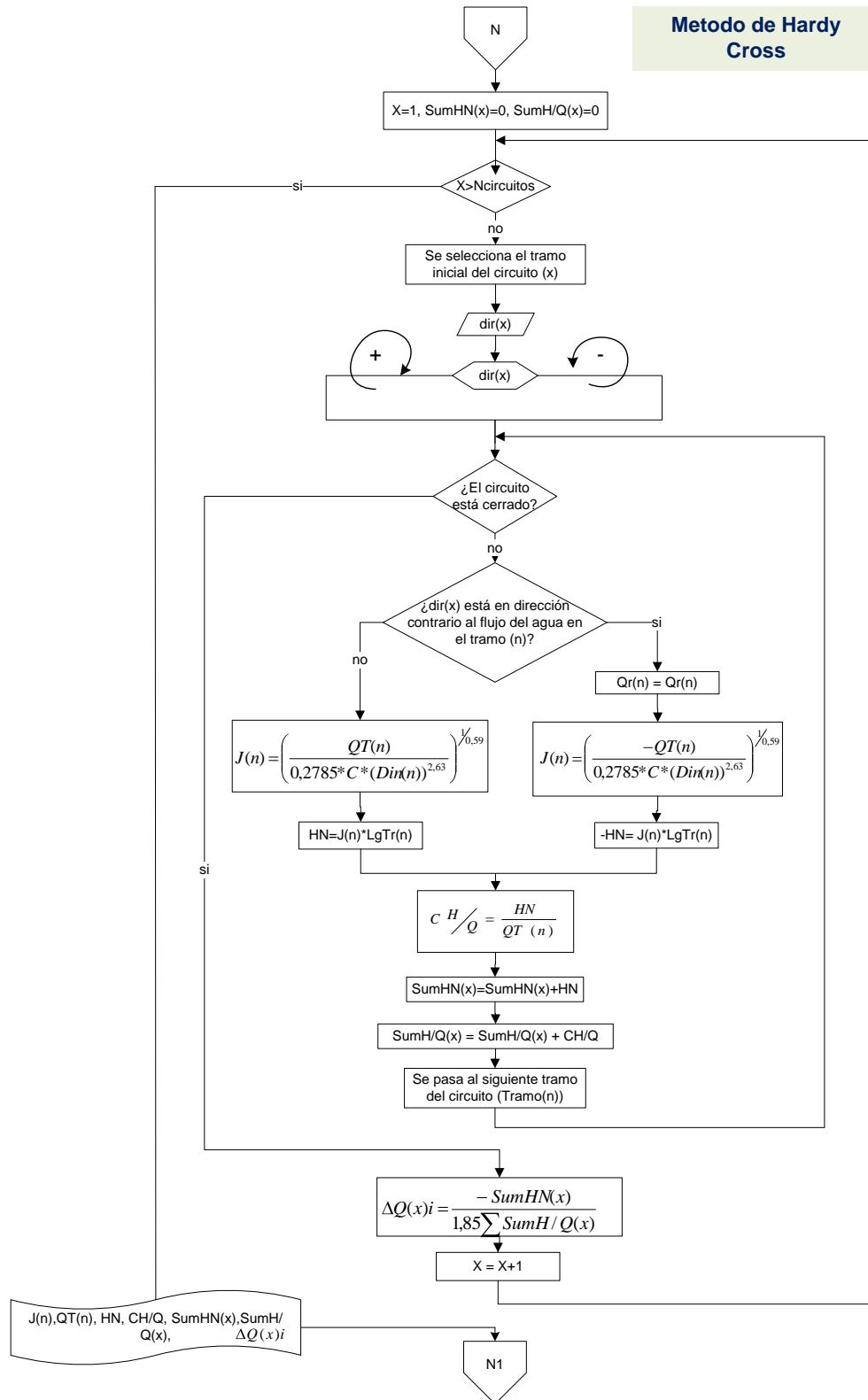


Figura 259. Método de Hardy Cross

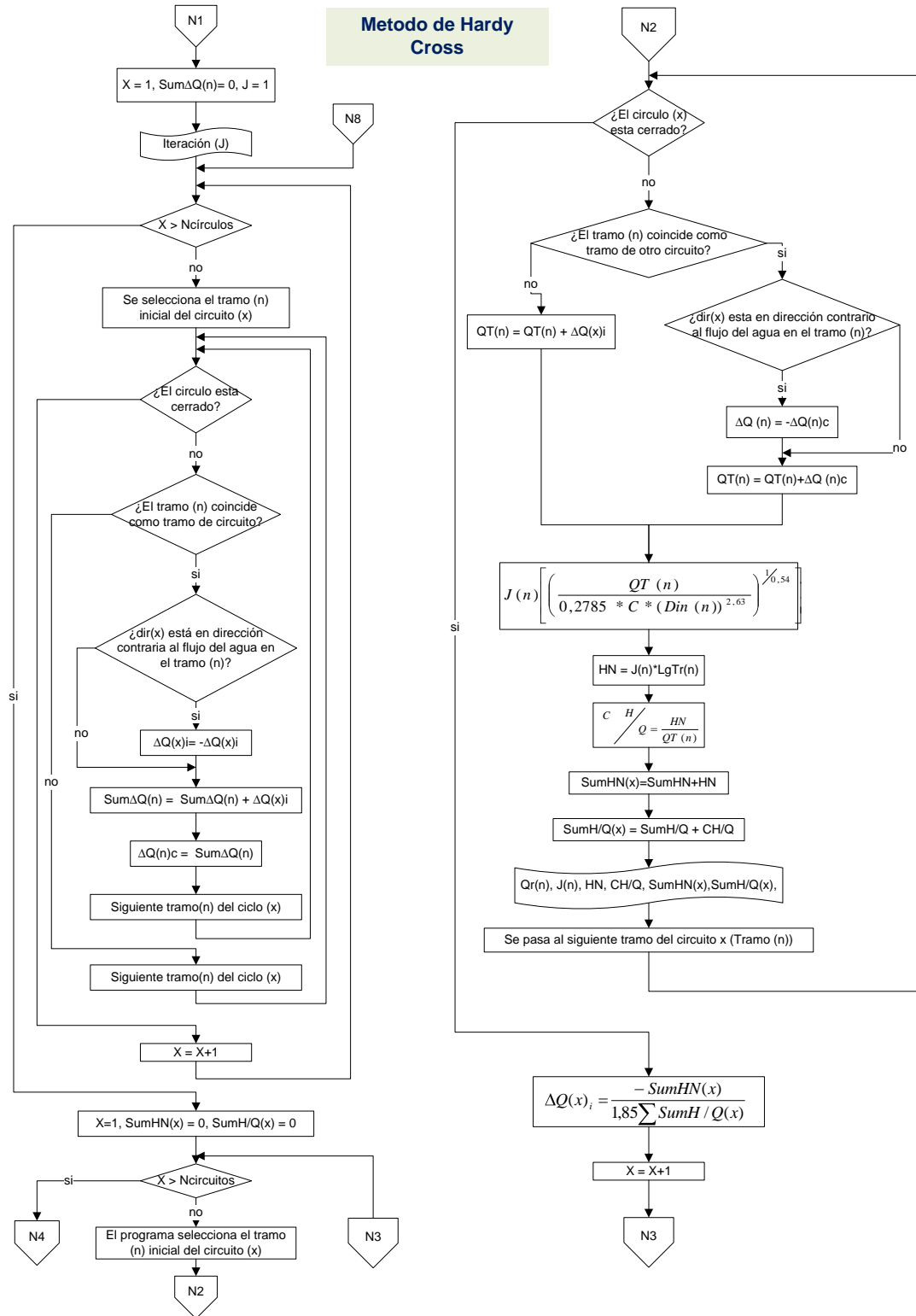


Figura 260. Método de Hardy Cross

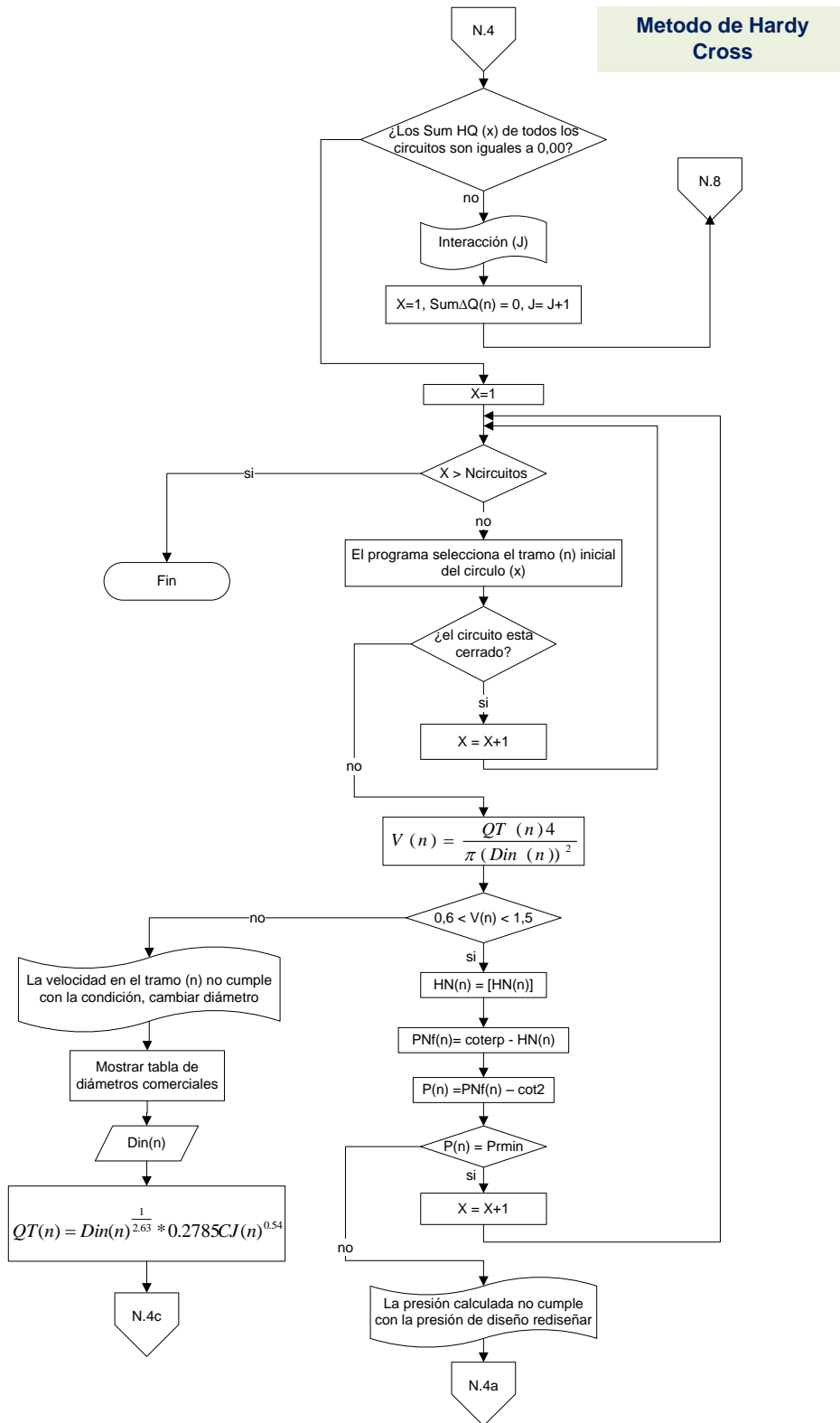
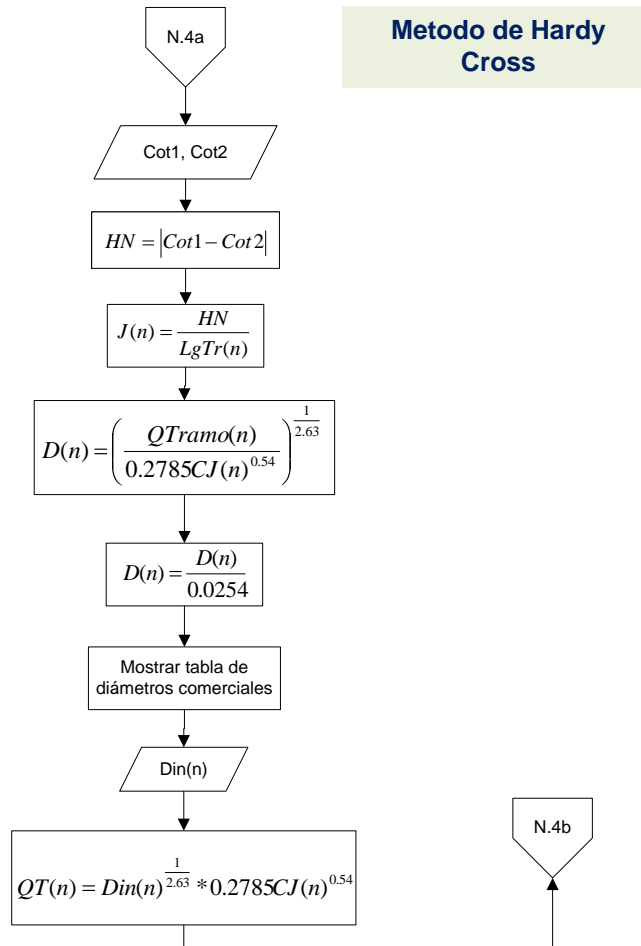


Figura 261. Método de Hardy Cross



7.8.6 Pantallas de datos

En las figuras 262 y 265 se muestra la red de distribución

Figura 262. Red de distribución

RED DE DISTRIBUCIÓN

Escoga el tipo de red de distribución

Secundario o red local

Primaria o red matriz

Enter

Periodo de diseño de la red

PD=

Seleccione la densidad de la zona unifamiliar

Alta densidad

Baja densidad

Enter

Se recomienda ____ hidrantes

¿Desea utilizar más hidrantes?

Si No

Ingrese

Número de hidrantes adicionales (#had) que desea agregar #had=

Seleccione el número de pisos de las edificaciones servidas, para determinar presiones de servicio mínimas

1 Piso

2 Pisos

3 Pisos

4 Pisos

5 Pisos

Ingresar

Figura 263. Red de distribución

RED DE DISTRIBUCIÓN

Seleccione material de la tubería,
con la que desea trabajar

Tipos de tuberías según el material	
<input type="checkbox"/>	Asbesto-cemento o AC
<input type="checkbox"/>	Cloruro de polivinilo o PVC
<input type="checkbox"/>	Plástico flexible PF + UAD
<input type="checkbox"/>	Cobre
<input type="checkbox"/>	Cilindro de Acero y Concreto ACCP
<input type="checkbox"/>	Hierro acoradado o lamina de acero H.A
<input type="checkbox"/>	Hierro fundido H.F
<input type="checkbox"/>	Hierro Dúctil- H.D
<input type="checkbox"/>	Hierro galvanizado H.G
<input type="checkbox"/>	Poliétileno de alta calidad

Coefficiente

Ingrese

Coefficiente de rugosidad C de Hazen Williams

C=

Profundidad de excavación de la tubería al lomo PLT =

Presión de trabajo de la tubería seleccionada Pt =

Enter

Figura 264. Red de distribución

RED DE DISTRIBUCIÓN

Nodo del extremo inicial de un tramo (n) "Nodo1(l)"

Ingrese

Cota proyecto en el nodo (l) Cotp(l) =

Cota rasante en el nodo (l) Cotr(l) =

Ingresar

Figura 265. Red de distribución

The image shows a software window titled "RED DE DISTRIBUCIÓN". Inside the window, there is a form with the following elements:

- A header bar with the text "RED DE DISTRIBUCIÓN".
- A label "Zona de presión (J)" in a light blue box.
- A blue "Ingresar" button.
- Text: "Diferencia de cotas para determinar la cota final de una zona de presión".
- A label "Δcti =" followed by an empty input field.
- A blue tooltip box containing the text "La Δcti no es recomendable".
- A blue "Ingresar" button at the bottom right.

8. CONCLUSIONES

- Los algoritmos aportan a la creación de una herramienta simple que orienta al usuario hacia una solución básica de los servicios de acueducto.
- Esta herramienta es muy práctica a la hora del diseño de un acueducto, ya que agilizaría de manera significativa el proceso de diseño de los distintos componentes de un sistema de acueducto en una población rural.
- El proyecto crea un interés para profundizar en el tema en cuanto a una herramienta útil por parte de los estudiantes y profesionales del campo de la ingeniería.
- El conjunto de algoritmos ayuda a la cuantificación de los materiales necesarios para la construcción de los elementos estructurales de un acueducto.
- Este sistema se adapta a la realidad, ya que se tiene la opción de trabajar con las clases de tuberías y sus distintos diámetros comerciales.
- Para una mejor determinación del número de habitantes, los algoritmos reúnen 4 métodos de estimación de la población futura, que hace del conjunto de algoritmos una herramienta confiable para el cálculo del caudal de diseño.
- Este trabajo se realizó minuciosamente para facilitar su codificación por parte de un profesional en sistemas.

9. RECOMENDACIONES

- Para un mejor uso de los algoritmos se debe utilizar el diámetro de la tubería interno real y comercial para una mayor precisión en el diseño de las tuberías en los diferentes capítulos.
- Este trabajo solo aporta al dimensionamiento de un tipo de estructura de captación que es la bocatoma de fondo.
- En el dimensionamiento de la estructura de captación, juega un papel muy importante la información de campo obtenida y la experiencia del diseñador del acueducto.
- Los algoritmos están orientados a poblaciones rurales en donde ha de concentrarse el mayor esfuerzo posible del ingeniero para dar soluciones adecuadas al problema de saneamiento ambiental.
- En el caso del diseño de las tuberías sometidas a presión se trabaja con la fórmula de Hazen-Williams por lo cual se deben tener en cuenta las restricciones correspondientes.
- Este trabajo no hace referencia únicamente al transporte de aguas por medio de tuberías.
- Las pantallas propuestas en este trabajo servirán como guía a la hora de realizar el software.

BIBLIOGRAFÍA

CAIRÓ, O. Metodología de la programación. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SIN). México D.C.: Instituto Tecnológico Autónomo de México (ITAM). alfaomega grupo editor, S.A. de C.V., 1995, p. 1-227. Tomo 1.

CÁLCULO DE pérdidas de carga en tuberías. Disponible en:
<http://www.miliarium.com/prontuario/MedioAmbiente/Aguas/PerdidaCarga.htm>

CORCHO ROMERO y Duque Serna. Acueductos teoría y diseño. Universidad de Medellín: Centro general de investigaciones, 1993. 591 p.

DIMENSIONADO DE las instalaciones. Disponible en:
<http://www.afta-asociacion.com/documentacion/manual2007/capitulo4.pdf>

EPANET

JOYANES AGUILAR L.. Programación en Algoritmos. Estructuras de datos y objetos. España: McGRAW - HILL/INTERAMERICANA de España,S.A.U, 2000. p.10-27.

FÓRMULAS PARA el cálculo de tuberías. Disponible en:
http://www.uclm.es/area/ing_rural/Prob_hidraulica/FormulasHidraulica.pdf

LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueducto y alcantarillados. 2 ed. Editorial escuela colombiana de ingeniería, 2007. 546 p.

NSR – 98. Normas Colombianas de diseño y construcción sismo resistente. Refuerzo de acero. En: Capítulo C.3. Materiales. Asociación colombiana de ingeniería sísmica “SIS”, 1998. p. c-14. tomo1.

PÉRDIDAS DE carga. Disponible en:

<http://www.fercofloor.com/descargas/Datos%20t%C3%A9cnicos/Multifer/P%C3%A9rdidas%20de%20carga%20Multifer.pdf>

RAS 2000. Ministerio de desarrollo económico de Colombia. Reglamento técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), Títulos A “Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico” y B “Sistemas de acueducto”. Revisión 1, Bogotá. Ministerio de desarrollo económico 2000. 126 p.

SALAZAR ROBERTO. Acueductos. Universidad de Nariño facultad de ingeniería, 2003. p. 335.

WIKIPEDIA LA enciclopedia libre. Acero de Retracción y fraguado.

WIKIPEDIA LA enciclopedia libre. Diagrama de flujo. Disponible en:
http://es.wikipedia.org/wiki/Diagrama_de_flujo