

# SISTEMA DE AGUA POTABLE

Diseño práctico para ingenieros  
y no ingenieros

Alejandro  
Quijano Ardila

edu

Ingeniería

---

# Sistema de agua potable

Diseño práctico para  
ingenieros y no ingenieros

**Alejandro Quijano Ardila**

**edü**<sup>®</sup>

Conocimiento a su alcance

BOGOTÁ - MÉXICO, D.F.

Quijano Ardila, Alejandro

Sistema de agua potable / Alejandro Quijano Ardila -- 1a. edición. Bogotá: Ediciones de la U, 2024

308 p. ; 24 cm.

ISBN 978-958-792-634-7

e-ISBN 978-958-792-635-4

1. Ingeniería 2. Sistema de agua 3. Conducción I. Tít.

627 cd 24 ed.

Área: Ingeniería

Primera edición: Bogotá, Colombia, febrero de 2024

ISBN. 978-958-792-634-7

© Alejandro Quijano Ardila

© Ediciones de la U - Carrera 27 # 27-43 - Tel. (+57- 601) 6455049

www.edicionesdelau.com - E-mail: editor@edicionesdelau.com

Bogotá, Colombia

**Ediciones de la U** es una empresa editorial que, con una visión moderna y estratégica de las tecnologías, desarrolla, promueve, distribuye y comercializa contenidos, herramientas de formación, libros técnicos y profesionales, e-books, e-learning o aprendizaje en línea, realizados por autores con amplia experiencia en las diferentes áreas profesionales e investigativas, para brindar a nuestros usuarios soluciones útiles y prácticas que contribuyan al dominio de sus campos de trabajo y a su mejor desempeño en un mundo global, cambiante y cada vez más competitivo.

Coordinación editorial: Adriana Gutiérrez M.

Diagramación: Daniela Parra G.

Carátula: Ediciones de la U

Impresión: DGP Editores SAS

Calle 63 No. 70 D - 34, Pbx. (+57-601) 7217756

*Impreso y hecho en Colombia*

*Printed and made in Colombia*

No está permitida la reproducción total o parcial de este libro, ni su tratamiento informático, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, por fotocopia, por registro y otros medios, sin el permiso previo y por escrito de los titulares del Copyright.

*A mi esposa, Ruth Madrid Rueda, a mis hijos Erika Johanna, Helga Milena y Alejandro, a mis nietos Oliver José, Salomón y Dominique que mantienen activa la energía motivadora. A mis estudiantes de la ECCI y la UMNG, a mis amigos, compañeros de trabajo, docentes y conocidos que han pasado por las diferentes etapas de mi vida personal y profesional y que han dejado enseñanzas valiosas de trabajo y de vida.*

# Contenido

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Presentación.....</b>                                    | <b>15</b> |
| <b>Capítulo I. Introducción.....</b>                        | <b>17</b> |
| <b>Capítulo II. Marco teórico.....</b>                      | <b>23</b> |
| 2.1. Información básica .....                               | 26        |
| 2.2. Palabras claves .....                                  | 26        |
| 2.3. Datos requeridos para el diseño del sistema .....      | 28        |
| 2.4. Cálculo de la población a servir .....                 | 28        |
| 2.4.1. Población futura ( $P_f$ ) .....                     | 28        |
| 2.4.1.1. Método aritmético .....                            | 29        |
| 2.4.1.2. Método geométrico .....                            | 30        |
| 2.4.1.3. Método exponencial .....                           | 30        |
| 2.4.1.4. Método gráfico .....                               | 31        |
| 2.4.1.5. Método por componentes (demográfico) .....         | 31        |
| 2.4.1.6. Método de la tasa decreciente de crecimiento.....  | 32        |
| <b>Capítulo III. Sistema de agua potable.....</b>           | <b>33</b> |
| 3.1. Datos requeridos .....                                 | 35        |
| 3.2. Método para utilizar .....                             | 35        |
| 3.3. Preliminares del diseño del sistema .....              | 36        |
| 3.3.1. Determinación de la población futura .....           | 36        |
| 3.3.2. Nivel de complejidad del sistema.....                | 37        |
| 3.3.3. Dotación bruta ( $D_{bruta}$ ) .....                 | 38        |
| 3.3.4. Caudal medio diario ( $Q_{md}$ ).....                | 39        |
| 3.3.5. Caudal máximo diario ( $Q_{MD}$ ) .....              | 40        |
| 3.3.6. Caudal máximo horario ( $Q_{MH}$ ).....              | 40        |
| <b>Capítulo IV. Bocatoma .....</b>                          | <b>43</b> |
| 4.1. Caudal de diseño para bocatoma .....                   | 46        |
| 4.2. Diseño de rejilla .....                                | 48        |
| 4.2.1. Área de captación ( $A_c$ ) .....                    | 50        |
| 4.2.2. Número de barras (n) y número de espacios(n+1) ..... | 50        |

|   |    |
|---|----|
| 4.2.3. Área de la rejilla ( $A_R$ ) .....                     | 50 |
| 4.2.4. Longitud de la rejilla ( $L_R$ ) .....                 | 51 |
| 4.2.5. Medidas de fabricación ( $L_T$ , $B_T$ ).....          | 51 |
| 4.2.6. Dibujo de la rejilla .....                             | 51 |
| 4.2.7. Pérdidas menores de la rejilla ( $h_m$ ) .....         | 52 |
| 4.2.8. Altura de la lámina de agua sobre la rejilla (H) ..... | 53 |

**Capítulo V. Aducción .....55**

|   |    |
|---|----|
| 5.1. Canal rectangular de aducción entre rejilla y desarenador .....          | 57 |
| 5.1.1. Dimensiones del canal rectangular (b, h).....                          | 59 |
| 5.1.2. Velocidad horizontal o superficial ( $V_0$ ) .....                     | 60 |
| 5.1.3. Velocidad ascensional ( $V_A$ ).....                                   | 60 |
| 5.2. Opción de canal trapezoidal de aducción entre rejilla y desarenador .... | 61 |
| 5.2.1. Dimensiones del canal trapezoidal (b, h) .....                         | 63 |
| 5.2.2. Velocidad horizontal o superficial ( $V_0$ ) .....                     | 64 |
| 5.2.3. Velocidad ascensional ( $V_A$ ).....                                   | 65 |
| 5.3. Opción de canal triangular de aducción entre rejilla y desarenador       | 66 |
| 5.3.1. Dimensiones del canal triangular (b, h) .....                          | 68 |
| 5.3.2. Velocidad horizontal o superficial ( $V_0$ ) .....                     | 69 |
| 5.3.3. Velocidad ascensional ( $V_0$ ).....                                   | 69 |
| 5.4. Opción de tubería de aducción .....                                      | 69 |
| 5.4.1. Diámetro inicial de la tubería (D) .....                               | 70 |
| 5.4.2. Velocidad horizontal ( $V_0$ ) .....                                   | 72 |
| 5.4.3. Pérdidas totales en la tubería ( $H_T$ ).....                          | 72 |
| 5.4.4. Recalcular la pendiente de la tubería (S) .....                        | 74 |
| 5.4.5. Recalcular el diámetro de la tubería (D) .....                         | 74 |
| 5.4.6. Comprobación de resultados .....                                       | 75 |
| 5.4.7. Golpe de ariete.....   | 76 |
| 5.4.7.1. Tiempo crítico.....  | 76 |
| 5.4.7.2. Sobrepresión máxima en cierre rápido .....                           | 77 |
| 5.4.7.3. Sobrepresión máxima en cierre lento ( $h_a$ ) .....                  | 77 |
| 5.4.7.4. Celeridad o velocidad de la onda (C).....                            | 77 |

**Capítulo VI. Desarenador .....83**

|  |    |
|--|----|
| 6.1. Velocidad de sedimentación ( $V_s$ ) .....        | 85 |
| 6.2. Tiempo de sedimentación ( $t_s$ ).....            | 88 |
| 6.3. Altura del desarenador (H).....                   | 89 |
| 6.4. Capacidad del desarenador (Volumen) ( $V$ ) ..... | 89 |

|   |            |
|---|------------|
| 6.5. Superficie del desarenador o área de la superficie o espejo de agua ( $A_s$ ) .....            | 89         |
| 6.6. Velocidad ascensional ( $V_A$ ) .....  | 90         |
| 6.7. Dimensiones del desarenador ( $L, B$ ) .....   | 90         |
| 6.8. Velocidad superficial ( $V_0$ ) .....  | 91         |
| 6.9. Retención de partículas ( $V_s$ versus $V_A$ ) .....   | 91         |
| 6.10. Eficiencia ( $\epsilon$ ) .....   | 92         |
| 6.11. Profundidad adicional para lodos ( $h_0$ ) .....  | 92         |
| 6.12. Volumen de lodos (Tronco de pirámide) ( $V$ ) .....   | 92         |
| 6.13. Deflectores .....   | 93         |
| 6.13.1 Área efectiva de los orificios ( $A_{\text{orificios}}$ ) .....                              | 94         |
| 6.13.2. Número de orificios .....   | 94         |
| 6.13.3. Número de filas horizontales ( $m$ ) y verticales ( $n$ ) .....                             | 95         |
| 6.14. Plataforma de entrada al desarenador .....  | 96         |
| 6.14.1. Área de la plataforma .....   | 96         |
| 6.14.2. Altura de la plataforma de entrada al desarenador ( $H_P$ ) .....                           | 97         |
| 6.14.3. Altura de la lámina de agua en la entrada al desarenador ( $H_L$ ) .....                    | 98         |
| 6.15. Dibujo y dimensiones .....  | 98         |
| <b>Capítulo VII. Canaleta Parshall .....</b>  | <b>101</b> |
| 7.1. Ancho de la garganta ( $W$ ) .....   | 104        |
| 7.2. Dimensiones de la canaleta .....   | 105        |
| 7.3. Lámina de agua ( $h_a$ ) .....   | 107        |
| 7.4. Sección medida ( $W_a$ ) .....   | 107        |
| 7.5. Velocidad en la sección medida ( $V_a$ ) .....   | 108        |
| 7.6. Energía total disponible ( $E_1$ ) .....   | 108        |
| 7.7. Velocidad antes del resalto ( $V_2$ ) .....  | 109        |
| 7.8. Lámina de agua en el resalto ( $h_b$ ) .....   | 112        |
| 7.9. Grado de sumergencia ( $S$ ) .....   | 113        |
| 7.10. Canaleta Parshall como mezclador ( $\frac{H_a}{W}$ ) .....                                    | 114        |
| 7.11. Numero de Froude. ( $F_R$ ) .....   | 115        |
| 7.12. Lámina de agua en el tramo divergente ( $h_3$ ) .....   | 118        |
| 7.13. Lámina de agua al final de la canaleta, sección 4-4 ( $h_4$ ) .....                           | 119        |
| 7.14. Tiempo medio de la mezcla ( $t_d$ ) .....   | 120        |
| 7.15. Gradiente de velocidad ( $G$ ) .....  | 121        |
| 7.16. Distancia de la elevación de la cresta por encima del fondo del canal de salida ( $X$ ) ..... | 123        |
| 7.17. Longitud de desarrollo del resalto ( $L$ ) .....  | 124        |
| 7.18. Dimensiones y dibujo .....  | 124        |

7.19. Canal de entrada a la convergencia ..... 125  
 7.20. Canal de aguas abajo divergente..... 125

**Capítulo VIII. Sedimentador ..... 127**

8.1. Volumen del tanque sedimentador ( $V$ ) ..... 130  
 8.2. Espacio que recorre el agua horizontalmente (e)..... 131  
 8.3. Altura del sedimentador (h) ..... 132  
 8.4. Espacio entre las pantallas (b) ..... 132  
 8.5. Ancho del sedimentador (B)..... 133  
 8.6. Longitud de cada pantalla (W) ..... 133  
 8.7. Número de espacios ( $\theta+1$ ) y número de pantallas ( $\theta$ )..... 133  
 8.8. Longitud total del sedimentador ( $L_T$ ) ..... 134  
 8.9. Carga superficial ( $C_s$ ) ..... 135  
 8.10. Velocidad de sedimentación ( $V_s$ )..... 136  
 8.11. Velocidad ascensional ( $V_A$ )..... 138  
 8.12. Retención de partículas..... 139  
 8.13. Eficiencia ( $\epsilon$ )..... 139  
 8.14. Diámetro de la partícula que se retiene un 100% ( $d_p$ )..... 139  
 8.15. Volumen de lodos ( $V_{\text{lodos}}$ ) ..... 140  
 8.16. Tiempo de vaciado de zona de lodos..... 141

**Capítulo IX. Conducción ..... 143**

9.1. Tubería entre desarenador y sedimentador ..... 145  
 9.1.1. Pendiente de la tubería (S) ..... 145  
 9.1.2. Diámetro de la tubería de conducción (D) ..... 146  
 9.1.3. Velocidad del agua en la tubería (V) ..... 146  
 9.1.4. Pérdidas en la tubería ..... 147  
 9.1.5. Recalcular la pendiente de la tubería (S) ..... 149  
 9.1.6. Recalcular el diámetro de la tubería ..... 149  
 9.1.7. Revisión golpe de ariete..... 150

**Capítulo X. Aireación ..... 153**

10.1. Aireador de cascada..... 155  
 10.1.1. Número de escalones (n) ..... 156  
 10.1.2. Área de la plataforma mayor ..... 157  
 10.1.3. Dimensiones de la plataforma mayor ..... 157  
 10.1.4. Altura de la lámina de agua sobre el borde de la plataforma mayor ( $h_p$ ) ..... 157

|  |            |
|--|------------|
| 10.1.5. Volumen en plataforma mayor ( $\forall$ ) .....                            | 158        |
| 10.1.6. Altura del agua en la plataforma mayor ( $H_p$ ) .....                     | 158        |
| 10.1.7. Volumen del agua en cada escalón ( $\forall$ ) .....                       | 158        |
| 10.1.8. Altura del agua en cada escalón ( $H_e$ ) .....                            | 159        |
| 10.1.9. Altura de la lámina de agua sobre el borde de<br>c/escalón ( $h_e$ ) ..... | 159        |
| 10.2. Aireador de bandejas .....   | 160        |
| 10.2.1. Número de bandejas ( $n$ ).....  | 162        |
| 10.2.2. Área de bandejas ( $A_{bandejas}$ ) .....                                  | 162        |
| 10.2.3. Área de cada bandeja ( $A_b$ ) .....                                       | 163        |
| 10.2.4. Dimensiones de cada bandeja ( $L$ ).....                                   | 163        |
| 10.2.5. Área de cada orificio ( $A_{orificio}$ ).....                              | 163        |
| 10.2.6. Caudal de salida por cada orificio ( $Q_{orificio}$ ).....                 | 163        |
| 10.2.7. Número de orificios ( $N$ ).....   | 164        |
| 10.2.8. Cantidad de filas ( $m$ ) y columnas ( $n$ ) en cada bandeja .....         | 164        |
| 10.2.9. Separación entre orificios ( $Z$ ).....                                    | 165        |
| 10.2.10. Caudal de cada bandeja ( $Q_{bandejas}$ ).....                            | 165        |
| 10.2.11. Volumen del tanque de agua aireada.....                                   | 165        |
| <b>Capítulo XI. Conducción.....</b>  | <b>167</b> |
| 11.1. Tubería entre sedimentador y aireador de cascada .....                       | 172        |
| 11.1.1. Pendiente de la tubería ( $S$ ) .....                                      | 173        |
| 11.1.2. Diámetro de la tubería ( $D$ ) .....                                       | 173        |
| 11.1.3. Velocidad del agua en la tubería ( $V$ ) .....                             | 173        |
| 11.1.4. Pérdidas Totales en la tubería ( $H_T$ ).....                              | 174        |
| 11.1.5. Recalcular la pendiente de la tubería ( $S$ ) .....                        | 181        |
| 11.1.6. Recalcular el diámetro de la tubería ( $D$ ).....                          | 181        |
| 11.1.7. Revisión del golpe de ariete.....  | 182        |
| 11.2. Tubería entre aireador de cascada y aireador de bandeja .....                | 184        |
| 11.2.1. Pendiente de la tubería ( $S$ ) .....                                      | 184        |
| 11.2.2. Diámetro de la tubería ( $D$ ) .....                                       | 185        |
| 11.2.3. Velocidad del agua en la tubería ( $V$ ).....                              | 185        |
| 11.2.4. Pérdidas Totales en la tubería ( $H_T$ ) .....                             | 185        |
| 11.2.5. Recalcular la pendiente de la tubería ( $S$ ).....                         | 188        |
| 11.2.6. Recalcular el diámetro de la tubería ( $D$ ) .....                         | 189        |
| 11.2.7. Bomba de impulsión del agua.....   | 189        |
| 11.2.8. Potencia de la bomba requerida ( $P_b$ ).....                              | 189        |
| 11.2.9. Opción de tubería sin necesidad de instalar bomba<br>de impulsión.....     | 190        |

|   |     |
|---|-----|
| 11.2.9.1. Pendiente de la tubería (S).....                          | 191 |
| 11.2.9.2. Diámetro de la tubería (D) .....                          | 191 |
| 11.2.9.3. Velocidad del agua en la tubería (V).....                 | 192 |
| 11.2.9.4. Pérdidas Totales en la tubería ( $H_T$ ) .....            | 192 |
| 11.2.9.5. Recalcular la pendiente de la tubería (S) .....           | 195 |
| 11.2.9.6. Recalcular el diámetro de la tubería (D).....             | 195 |
| 11.2.9.7. Revisión del golpe de ariete .....                        | 196 |
| 11.3. Tubería entre aireador de bandejas y tanque de almacenamiento | 198 |
| 11.3.1. Pendiente de la tubería (S) .....                           | 199 |
| 11.3.2. Diámetro de la tubería (D) .....                            | 199 |
| 11.3.3. Velocidad del agua en la tubería (V) .....                  | 200 |
| 11.3.4. Pérdidas totales en la tubería ( $H_T$ ).....               | 200 |
| 11.3.5. Recalcular la pendiente de la tubería (S) .....             | 204 |
| 11.3.6. Recalcular el diámetro de la tubería (D).....               | 204 |
| 11.3.7. Bomba de impulsión del agua .....                           | 205 |
| 11.3.7.1. Potencia de la bomba ( $H_p$ ) .....                      | 206 |
| 11.3.7.2. Curva piezométrica neta de succión positiva (NPSH)        | 209 |
| 11.3.7.3. Revisión de golpe de ariete .....                         | 213 |

**Capítulo XII. Tanque de almacenamiento ..... 215**

|   |     |
|---|-----|
| 12.1. Capacidad de regulación ( $\forall_{Regulación}$ ) .....    | 218 |
| 12.2. Capacidad de almacenamiento ( $\forall_{Regulación}$ )..... | 219 |
| 12.3. Volumen útil del tanque ( $\forall_{Tanque}$ ) .....        | 219 |
| 12.4. Altura del tanque ( H ) .....                               | 220 |
| 12.5. Dimensiones del tanque .....                                | 221 |
| 12.6. Tiempo de vaciado (horas) .....                             | 222 |
| 12.7. Diámetro de tubería de alivio para evacuar excesos .....    | 223 |
| 12.8. Dibujo y dimensiones .....                                  | 223 |

**Capítulo XIII. Red secundaria ..... 225**

|   |     |
|---|-----|
| 13.1. Tubería entre tanque de almacenamiento y el nodo A de la red urbana ..... | 228 |
| 13.1.1. Pendiente de la tubería (S) .....                                       | 228 |
| 13.1.2. Diámetro de la tubería (D) .....  | 228 |
| 13.1.3. Velocidad del agua en la tubería (V) .....                              | 229 |
| 13.1.4. Pérdidas Totales en la tubería ( $H_T$ ).....                           | 229 |

|   |            |
|---|------------|
| 13.1.5. Recalcular la pendiente de la tubería (S) .....               | 232        |
| 13.1.6. Recalcular el diámetro de la tubería (D).....                 | 232        |
| 13.2. Método de Hardy Cross .....                                     | 233        |
| 13.2.1. Generalidades .....   | 233        |
| 13.2.2. Paso a paso para aplicar el método Hardy Cross .....          | 234        |
| 14.2.3. Chequeo de los caudales finales en la red secundaria .....    | 257        |
| 13.2.4. Esquema general de la red con el método de Hardy Croos.....   | 259        |
| 13.3. Tubería entre Nodo D y tanque de reserva de la red urbana ..... | 260        |
| 13.3.1. Pendiente de la tubería (S) .....                             | 260        |
| 13.3.2. Diámetro de la tubería (D) .....                              | 260        |
| 13.3.3. Velocidad del agua en la tubería (V).....                     | 261        |
| 13.3.4. Pérdidas Totales en la tubería ( $H_T$ ) .....                | 261        |
| 13.3.5. Recalcular la pendiente de la tubería (S) .....               | 264        |
| 13.3.6. Recalcular el diámetro de la tubería (D) .....                | 264        |
| 13.4. Software libre Epanet 2.0 .....                                 | 264        |
| 13.4.1. Paso a paso para aplicar el software .....                    | 265        |
| <b>Bibliografía .....</b>   | <b>305</b> |

## Índice de tablas

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 1. Métodos de cálculo para proyección de población.....                    | 29  |
| Tabla 2. Niveles de complejidad .....  | 37  |
| Tabla 3. Dotación neta máxima.....   | 38  |
| Tabla 4. Caudales de diseño .....  | 46  |
| Tabla 5. Factor de forma para rejillas.....                                      | 52  |
| Tabla 6. Coeficientes de rugosidad de Manning.....                               | 59  |
| Tabla 7. Coeficientes de Hazen Williams según material de la tubería .....       | 70  |
| Tabla 8. Coeficientes de pérdidas ( <i>K</i> ) para accesorios de tuberías ..... | 73  |
| Tabla 9. Módulo de elasticidad según material de las tuberías.....               | 78  |
| Tabla 10. Características de tuberías de PVC.....                                | 78  |
| Tabla 11. Valores de a/t para deflectores .....                                  | 88  |
| Tabla 12. Ancho de garganta según caudal.....                                    | 105 |
| Tabla 13. Constantes <i>K</i> y <i>n</i> para canaleta Parshall .....            | 106 |
| Tabla 14. Dimensiones típicas de medidores Parshall .....                        | 106 |
| Tabla 15. Valores de sumergencia para canaleta Parshall.....                     | 114 |
| Tabla 16. Parámetros de referencia de diseño mezcla rápida .....                 | 122 |
| Tabla 17. Parámetros de diseño de sedimentadores.....                            | 130 |
| Tabla 18. Densidad del agua a diferentes temperaturas.....                       | 137 |
| Tabla 19. Viscosidad del agua a diferentes temperaturas.....                     | 138 |
| Tabla 20. Coeficiente de pérdidas menores para accesorios.....                   | 148 |
| Tabla 21. Parámetros de referencia para aireadores de cascadas.....              | 156 |
| Tabla 22. Parámetros de referencia de diseño de aireador de bandejas.....        | 161 |
| Tabla 23. Coeficiente de pérdidas menores para accesorios.....                   | 174 |
| Tabla 24. Coeficiente de pérdidas para accesorios.....                           | 179 |
| Tabla 25. Coeficientes de pérdidas menores para accesorios .....                 | 186 |
| Tabla 26. Coeficientes de pérdidas para accesorios de tuberías .....             | 187 |
| Tabla 27. Coeficiente de pérdidas menores para accesorios.....                   | 193 |
| Tabla 28. Coeficiente de pérdidas menores de accesorios.....                     | 194 |
| Tabla 29. Características de tuberías en PVC.....                                | 196 |
| Tabla 30. Coeficientes de pérdidas de accesorios .....                           | 201 |
| Tabla 31. Coeficientes de pérdidas de accesorios .....                           | 202 |
| Tabla 32. Pérdidas de accesorios por longitudes equivalentes .....               | 203 |
| Tabla 33. Velocidad máxima para tuberías según diámetros.....                    | 206 |
| Tabla 34. Presión de vapor de agua a diferentes temperaturas .....               | 210 |
| Tabla 35. Características de tuberías en PVC.....                                | 212 |
| Tabla 36. Constante de capacidad de tanques de almacenamiento.....               | 220 |
| Tabla 37. Coeficiente de perdidas menores de tuberías .....                      | 230 |
| Tabla 38. Coeficientes de pérdidas de accesorios .....                           | 231 |
| Tabla 39. Coeficientes de pérdidas menores de accesorios.....                    | 262 |
| Tabla 40. Coeficientes de pérdidas menores para accesorios.....                  | 263 |

# Presentación

Este libro guía para ingenieros y no ingenieros es una recopilación de varios años de cátedra universitaria, de lectura y aplicación de la teoría y la práctica de los diferentes textos sobre la hidráulica, hidrología, acueductos y alcantarillados unida a la experiencia adquirida en la participación de innumerables proyectos de infraestructura, así como producto del deseo de dejar un texto propio mostrando la forma de explicar con un paso a paso y de manera sencilla , que sea entendible para quien no sea un experto, pero que le interese el tema, desde su inicio y hasta el final de un sistema de agua potable, preferiblemente usando la acción de la gravedad, pero también indicando cuando se requiere un impulsión por bombeo.

Como libro guía no pretende suplantar ningún otro texto existente, ni hay nada nuevo que no haya en los varios libros sobre el tema, pero si la novedad consiste en la forma en que está escrito buscando lo que consigo en clase con mis alumnos de tal forma que se entienda de forma clara y digerible lo que se lee y que se pueda aplicar como texto guía para las cátedras de acueducto y alcantarillados de las universidades y como guía práctica para los ingenieros que hayan terminado su ciclo educativo y quieren tener a la mano la explicación sencilla de cómo afrontar el estudio de un acueducto de un pueblo de los tantos que hay en Colombia llámense municipio, corregimientos, veredas o para usar como primer intento de explicar a una población necesitada de agua potable, de cómo se puede organizar un proyecto en sus inicios y en pocos pasos.

Este documento muy seguramente tiene algunas falencias o puede ser que alguien piense que falta incluir algún tema adicional o específico, para lo cual les agradezco hacer llegar a mi correo [aqa55@hotmail.com](mailto:aqa55@hotmail.com), sus apreciaciones y/o contribuciones que crean importantes como para incluir en una segunda edición.

Agradezco al ingeniero Harbey Laiceca Guaraca quien realizó las ilustraciones que se incluyen en el libro y que generosamente elaboró para el suscrito este trabajo de su mano e inspiración artística.

Agradezco igualmente a mi sobrino Henry Madrid Sánchez, quien contribuyó con algunos dibujos en AutoCAD para mostrar en detalle las estructuras a diseñar.



# Capítulo I Introducción

Ilustración de Harbey Laiceca Guaraca

# Capítulo I

## Introducción

En este libro se muestra la secuencia de estructuras para llevar agua potable a un municipio, corregimiento o zona poblada – desde la fuente superficial hasta el punto de distribución – utilizando como tratamiento ambiental la acción de la fuerza de la gravedad y el peso propio de las partículas, preferiblemente, cumpliendo lo indicado en la norma RAS 2000 y las modificaciones implementadas en la resolución 330 del 8 de junio de 2017.

El RAS 2000 (Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico) fue creado mediante la resolución 1096 del 17 de noviembre del año 2000, emitida por el Ministerio de desarrollo económico, dirección de agua potable y saneamiento básico MAVD.

La norma RAS 2000, se compone inicialmente de 3 secciones y 8 títulos, numerados de la siguiente forma:

|            |   |          |   |   |
|------------|---|----------|---|---|
| Sección I  | → | Título A | → | Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico. (versión 2000)             |
| Sección II | → | Título B | → | Sistemas de acueducto. (versión 2010)   |
|            |   | Título C | → | Sistemas de potabilización. (Versión 2010)  |
|            |   | Título D | → | Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y aguas lluvias. (versión 2016) |
|            |   | Título E | → | Tratamiento de aguas residuales. (versión 2021)   |
|            |   | Título F | → | Aseo urbano. (versión 2012)   |
|            |   | Título G | → | Aspectos complementarios. (versión 2000)  |

Sección III → Título H → Listado completo de normas técnicas colombianas y extranjeras que se aplican para los productos terminados; su proceso de fabricación y procedimientos propios del sector. También incluye información sobre las principales leyes, decretos y resoluciones del orden nacional que aplican al sector de agua potable y saneamiento básico a la fecha de su publicación. (versión 2013)

En el 2010, se emitió el Título J → Alternativas Tecnológicas en Agua y Saneamiento para el Sector Rural 2010, que complementa los títulos B, C, D, E y F y que se actualizó en una versión del 2021.

La última modificación del RAS 2000 se realizó mediante la resolución 330 del 8 de junio del 2017 emitida por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, ***“por el cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009”***, modificaciones que son tenidas en cuenta durante el desarrollo de este libro. (<https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/0330-2017.pdf>)

Dentro de las modificaciones, se emitió la Resolución 0844 de 08 de noviembre de 2018 *“Por la cual se establecen los requisitos técnicos para los proyectos de agua y saneamiento básico de zonas rurales que se adelanten bajo los esquemas diferenciales definidos en el capítulo 1, del Título 7, parte 3, del libro 2 del Decreto 1077 de 2015”*, Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio, el cual definió esquemas diferenciales para la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo, y para el aprovisionamiento de agua para consumo humano y doméstico y de saneamiento básico en zonas rurales del territorio nacional. (complemento de título J).

En el 2019 se publicó el Título I Componente ambiental para los sistemas de acueductos, alcantarillados y aseo. Presenta en términos generales la reglamentación ambiental que debe cumplir el sector de agua potable y saneamiento básico con el fin de reducir, mitigar o evitar los impactos sobre el medio ambiente en todas las etapas del proyecto.

El agua cruda que se pretende utilizar para el sistema de agua potable a diseñar, debe cumplir con las normas organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas de la calidad del agua potable definidas en el capítulo III, artículos 6° al 18° del decreto 475 de 1998, derogado por el decreto 1575 de 2007, donde se menciona el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano, **IRCA** (*grado de riesgo de ocurrencia de enfermedades relacionadas con el no cumplimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para consumo humano*), el Índice de Riesgo Municipal por Abastecimiento de Agua para Consumo Humano, **IRABAM** (*ponderación de los factores de Tratamiento y continuidad del servicio de los sistemas de acueducto, y distribución del agua en el área de jurisdicción del municipio correspondiente, que pueden afectar indirectamente la calidad del agua para consumo humano y, por ende, la salud humana.*), además del mapa de riesgo de la calidad de agua para consumo humano, que debe ser elaborado por la autoridad sanitaria y ambiental competente.

El agua para consumo humano es aquella que está libre de patógenos y de sustancias tóxicas que puedan constituir factor de riesgo para el individuo.

Para determinar las dimensiones de cada una de las estructuras a construir, se realiza un ejercicio práctico con datos de un municipio como los tantos que tenemos en Colombia, con el fin de enfrentar las dificultades del diseño para cada estructura y para que finalmente se tenga una guía a seguir para los profesionales que quieran profundizar en estos temas y para cualquier persona que le interese el tema ambiental.

Este libro está basado en las normas colombianas, pero puede ser usado como un texto guía para cualquier diseño en otros países donde se requiera diseñar, ampliar, rehabilitar y/o construir un sistema de agua potable para un municipio cualquiera, complementando con las normas específicas de cada zona o país de la región y las buenas prácticas de la ingeniería.

Según el título B, en aquellos casos donde el proyecto es una ampliación o mejora de un sistema existente, se debe identificar y evaluar toda la infraestructura existente aprovechable, ya sea por su buen estado o su capacidad hidráulica. Cuando el proyecto implique el desarrollo de su ampliación o rehabilitación, se debe formular un plan de reforzamiento del sistema.

## Capítulo II

# Marco teórico



San Gil, Santander  
Tomada de <https://i.pinimg.com>

## Capítulo II

# Marco teórico

En el contenido del libro, que es un compendio de las normas a cumplir en un sistema de agua potable, se hace el diseño de cada una de las estructuras utilizando fórmulas matemáticas sencillas, ecuaciones de la hidráulica básica, las indicaciones del RAS, la resolución 330 del 8 de junio de 2017, mencionando las recomendaciones y con el soporte de las tablas existentes para cada caso.

El diseño de las estructuras define las medidas en planta y perfil, áreas, volúmenes y diámetros de tuberías, sin incluir diseños estructurales ni análisis de laboratorio de aguas, que no son del alcance de esta edición, pero que deben tenerse en cuenta en la siguiente etapa.

En la fabricación de este tipo de estructuras para saneamiento básico, se puede utilizar diferentes materiales existentes en la industria nacional, sea construyendo en el sitio o prefabricándolos para instalar posteriormente, y que se definen básicamente teniendo en cuenta factores tales como topografía de la zona, materiales existentes en cada sitio, accesibilidad a la zona de los trabajos, costo de las estructuras según el material que se desee utilizar y nivel socio económico del municipio.

Para la disponibilidad del agua y el balance hídrico, se deben analizar los datos históricos y reportes de cantidad y calidad de las aguas en cada una de las posibles fuentes, teniendo en cuenta caudales de invierno y verano, con el fin de asegurar el suministro mínimo necesario calculado para el horizonte de población servida.

Todos y cada uno de los elementos que conforman los componentes del sistema de agua, deben utilizar el sistema de referencia MAGNA – SIRGAS adoptado por Colombia.

El **Instituto Geográfico Agustín Codazzi** -IGAC-, entidad gubernamental encargada de los sistemas geodésicos nacionales de referencia, desea que sus usuarios sean partícipes del proceso de apropiación, modernización

y aprovechamiento de los avances científicos y técnicos relacionados con la generación de datos espaciales de alta calidad. En consecuencia, el IGAC promueve la adopción de **MAGNA-SIRGAS** como sistema de referencia oficial del país, en reemplazo del **Datum BOGOTÁ**, definido en 1941. **MAGNA-SIRGAS** garantiza la compatibilidad de las coordenadas *colombianas* con las técnicas espaciales de posicionamiento, por ejemplo, los sistemas GNSS (Global Navigation Satellite Systems), y con conjuntos internacionales de datos georreferenciados.

<https://www.igac.gov.co/es/contenido/areas-estrategicas/magna-sirgas#:~:text=El%C2%A0Instituto%20Geogr%C3%A1fico,de%20datos%20georreferenciados.>

## 2.1. Información básica

Para iniciar el diseño del sistema de agua potable con el suministro y tratamiento del agua cruda, debe identificarse la disponibilidad del recurso hídrico, la fuente o fuentes de agua superficial, analizando mediante visitas técnicas, el estado de los terrenos aledaños, uso (ganadería o cultivos), topografía (diferencias de nivel), tipo de vegetación, pendiente del cauce, velocidad del agua, caudales históricos y actuales, precipitación, facilidades de acceso, tipo de suelo, olor, color y sabor del agua a usar para el abastecimiento, buscando además, que el sistema funcione por gravedad con el fin de evitar gastos innecesarios como es el utilizar inicialmente una bomba hidráulica para elevar el caudal. *(Cuanto mayor sea la diferencia de nivel entre el sitio de la bocatoma y la parte más alta de la zona urbana del municipio, mejor será su comportamiento por gravedad)*

## 2.2. Palabras claves

Extraídas del RAS y de los decretos y normas reglamentarias.

**Aducción:** Componente a través del cual se transporta agua cruda, ya sea a flujo libre (canal) o a presión (tubería).

**Agua cruda:** Es el agua natural que no ha sido sometida a proceso de tratamiento para su potabilización.

**Agua potable:** Es aquella que, por reunir los requisitos organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos, en las condiciones señaladas en el decreto

475 de 1998 (o el que lo derogue, modifique y/o reemplace) puede ser consumida por la población humana sin producir efectos adversos a su salud.

**Análisis organoléptico:** Se refiere a olor, sabor y percepción visual de sustancias y materiales flotantes y/o suspendidos en el agua.

**Análisis fisicoquímico del agua:** Son aquellas pruebas de laboratorio que se efectúan a una muestra para determinar sus características físicas, químicas o ambas.

**Análisis microbiológico del agua:** Son aquellas pruebas de laboratorio que se efectúan a una muestra para determinar la presencia o ausencia, tipo y cantidad de microorganismos.

**Captación:** Conjunto de estructuras necesarias para obtener el agua de una fuente de abastecimiento.

**Fuente de abastecimiento:** Depósito o curso de agua superficial o subterránea, utilizada en un sistema de suministro a la población, bien sea de aguas atmosféricas, superficiales, subterráneas o marinas.

**Fuente superficial:** Son los ríos, quebradas, lagos, lagunas y embalses de almacenamiento, incluido agua de lluvia y agua de mar.

**Golpe de ariete:** Efecto de choque violento que se produce en un fluido debido a una reducción abrupta en la velocidad del fluido, producido por el cierre de una válvula, generando una onda de presión que aumenta la tensión en las paredes de la tubería.

**Laboratorio de análisis del agua para consumo humano:** Es el establecimiento público o privado, donde se realizan los procedimientos de análisis de las características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas del agua para consumo humano, el cual debe cumplir con los requisitos previstos en los decretos 475 de 1998 y 1575 de 2007, u otro que emita el gobierno de turno.

**Planta de tratamiento o de potabilización:** Conjunto de obras, equipos y materiales necesarios para efectuar los procesos que permitan cumplir con las normas de calidad del agua potable.

**Pretratamiento:** Proceso que acondiciona el agua cruda proveniente de una fuente superficial o subterránea para su tratamiento posterior.

**Red de conducción:** Serie de tuberías que transportan el agua entre las estructuras diseñadas en su recorrido del agua o desde estas al tanque de almacenamiento, sin conexión de suscriptores

**Red de distribución:** Conjunto de tuberías, accesorios y estructuras que conducen el agua desde el tanque de almacenamiento o planta de tratamiento hasta los puntos de consumo.

**Sedimentación:** Proceso en el cual los sólidos en suspensión dentro del agua, se decantan por gravedad y por su peso propio.

**Sifón invertido:** Estructura compuesta por una o más tuberías que funcionan a presión. Se utilizan cuando es necesario pasar las tuberías por debajo de obstáculos inevitables, o cuando la tubería se encuentra por encima de la

línea piezométrica estática (que se debe evitar) y por debajo de esta línea más la presión atmosférica total.

**Sistema de acueducto:** Conjunto de elementos y estructuras cuya función es la captación de agua, el tratamiento, el transporte, almacenamiento y entrega al usuario final, de agua potable con unos requerimientos mínimos de calidad, cantidad y presión

**Sistema de suministro de agua para consumo humano:** Es el conjunto de estructuras, equipos, materiales, procesos, operaciones y el recurso humano utilizado para la captación, aducción, pretratamiento, tratamiento, almacenamiento, conducción y distribución del agua para consumo humano.

**Sobrepresión:** Efecto del golpe de ariete, causado por el aumento repentino y en gran magnitud de presión debido a la apertura de una válvula, el apagado de una bomba, etc.

**Subpresión:** Efecto del golpe de ariete, causado por la disminución repentina y en gran magnitud de la presión debido al cierre de una válvula, dejando la tubería vacía.

## 2.3. Datos requeridos para el diseño del sistema

- Dos (2) censos de población (preferiblemente los más recientes)
- Altura sobre el nivel de mar del municipio (m.s.n.m)
- Temperatura del agua en la quebrada o fuente de agua, en donde se va a ubicar el sitio de la bocatoma (°C)
- Altura sobre el nivel del mar en la quebrada o sitio de la fuente de agua, donde se va a ubicar la bocatoma (m.s.n.m)
- Temperatura ambiente del municipio (°C)
- Conocer el caudal actual (medirlo si no se tiene el dato en el municipio) y el caudal histórico en verano y en invierno (m<sup>3</sup>/s)
- Análisis físico- químico del agua de la quebrada para verificar su estado natural, grado de potabilidad y conocer el tamaño de las partículas de arena de la muestra.

## 2.4. Cálculo de la población a servir

### 2.4.1. Población futura ( $P_f$ )

**Población de diseño, o Población futura ( $P_f$ ):** Población que se espera atender por el proyecto, considerando el índice de cubrimiento, crecimiento y proyección de la demanda para el período de diseño.

Tabla 1. Métodos de cálculo para proyección de población.

| 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    |
| Método gráfico                             | X                                | X     |            |      |

Fuente: Tabla tomada del título B del RAS.

Para calcular la población futura o población a servir, el RAS (título B) identifica los siguientes métodos de cálculo:

#### 2.4.1.1. Método aritmético

Supone un crecimiento vegetativo balanceado por la mortalidad y la emigración. El RAS lo recomienda para todos los niveles de complejidad.

$$P_f = P_{UC} + \frac{P_{UC} - P_{CI}}{T_{UC} - T_{CI}} (T_f - T_{UC}) \quad (\text{B.2.1})$$

- $P_f$  → Población futura, correspondiente al año para el que se quiere proyectar la población (habitantes)
- $P_{UC}$  → Población último censo, correspondiente al último año censado con información (habitantes)
- $P_{CI}$  → Población censo inicial, correspondiente al censo inicial con información (habitantes)
- $T_{UC}$  → Año último censo, correspondiente al último año censado con información
- $T_{CI}$  → Año censo inicial, correspondiente al año del censo inicial con información
- $T_f$  → Año final, al cual se quiere proyectar el diseño, o la información.

### 2.4.1.2. Método geométrico

Útil en poblaciones que muestren una importante actividad económica, que genera un apreciable desarrollo y con áreas de expansión que pueden ser dotadas de servicios públicos sin mayores dificultades. El RAS lo recomienda para todos los niveles de complejidad.

$$P_f = P_{uc} * (1 + r)^{(T_f - T_{uc})} \quad (B.2.2)$$

$$\text{Donde } r \Rightarrow r = \left[ \frac{P_{uc}}{P_{ci}} \right]^{\left[ \frac{1}{T_{uc} - T_{ci}} \right]} - 1 \quad (B.2.3)$$

$P_f$  → Población final, correspondiente al año para el que se quiere proyectar la población. (habitantes)

$P_{uc}$  → Población último censo, correspondiente al último año censado con información. (habitantes)

$P_{ci}$  → Población censo inicial, correspondiente al censo inicial con información. (habitantes)

$T_{uc}$  → Año último censo, correspondiente al último año censado con información

$T_{ci}$  → Año censo inicial, correspondiente al año del censo inicial con información

$T_f$  → Año final, al cual se quiere proyectar el diseño o la información.

$r$  → Tasa de crecimiento anual de la población

### 2.4.1.3. Método exponencial

Requiere conocer por lo menos tres (3) censos para poder determinar el promedio de la tasa de crecimiento de la población (K). Recomendado para poblaciones que muestren apreciable desarrollo y posean abundantes áreas de expansión. El RAS lo sugiere para todos los niveles de complejidad:

$$P_f = P_{ci} * (e)^{K * (T_f - T_{ci})} \quad (B.2.4)$$

$$\text{Donde } K = \frac{\ln P_{cp} - \ln P_{ca}}{T_{cp} - T_{ca}} \quad (B.2.5)$$

$P_{ci}$  → Población del censo inicial (habitantes)

$T_{ci}$  → Año correspondiente al censo inicial

- $P_f$  → Población final, correspondiente al año para el que se quiere proyectar la población (habitantes)
- $e$  → # de Euler o constante de Napier →  $e = 2.71828182845904$  (adimensional)
- $K$  → Tasa de crecimiento de la población, la cual se define como el promedio de las tasas calculadas para cada par de censos
- $T_f$  → Año final, al cual se quiere proyectar la información
- $\ln$  → Logaritmo natural o neperiano
- $P_{cp}$  → Población del censo posterior (habitantes)
- $P_{ca}$  → Población del censo anterior (habitantes)
- $T_{cp}$  → Año correspondiente al censo posterior
- $T_{ca}$  → Año correspondiente al censo anterior

#### **2.4.1.4. Método gráfico**

Este método se utiliza principalmente cuando la información censal es insuficiente o poco confiable, lo cual hace que las proyecciones geométrica y exponencial arrojen resultados que no corresponden con la realidad. Se sugiere para los niveles de complejidad bajo y medio.

Consiste en comparar gráficamente la población del municipio en estudio con la de otros tres municipios del país.

Uno de los municipios (población B) debe ser de la misma región, con desarrollo, clima y tamaño similar al del municipio en estudio y con información confiable en cuanto a crecimiento de la población.

El otro municipio (población C) debe ser de la misma región, con desarrollo y clima similar al del municipio en estudio (población A) pero con un número de habitantes mayor al de este municipio.

El tercer municipio (población D) debe ser de otra región del país con un número de habitantes mayor al del municipio en estudio (población A) y con un desarrollo y clima similar.

#### **2.4.1.5. Método por componentes (demográfico)**

Cuando el tamaño de la población, las condiciones demográficas, el crecimiento de la población no continuo o las condiciones externas que generen períodos demográficos cambiantes en el tiempo requieran la utilización de métodos de cálculos de población diferentes a los presentados en la tabla

B.2.1, otros métodos podrán ser empleados bajo la aprobación de la persona prestadora del servicio y la opinión de expertos en estudios demográficos. Recomendada para los niveles de complejidad medio alto y alto.

#### **2.4.1.6. Método de la tasa decreciente de crecimiento**

Supone que la población tiene un límite de saturación y su tasa de crecimiento es una función de su déficit de población.

$$P_f = S - (S - P_2) * e^{-K_d(t-t_1)} \quad (B.2.6)$$

$$\text{Siendo } K_d = \frac{-\ln\left[\frac{S-P_2}{S-P_1}\right]}{t_2 - t_1} \quad (B.2.7)$$

- $P_f$  → Población correspondiente al año para el que se quiere realizar la proyección (habitantes)
- $S$  → Población de saturación (habitantes)
- $P_1$  → Población en el censo 1 (habitantes)
- $P_2$  → Población en el censo 2 (habitantes)
- $t$  → Año correspondiente a la población de saturación
- $t_1$  → Año correspondiente al censo 1
- $t_2$  → Año correspondiente al censo 2
- $K_d$  → Constante de la tasa decreciente de crecimiento

A landscape photograph showing a wetland area with a river in the background. In the foreground, there is a large, green, succulent-like plant with many small, brown, flower-like structures. The background features rolling hills and a cloudy sky.

## Capítulo III Sistema de agua potable

Río Bogotá en su nacimiento  
Tomada de <https://rutayguia.com>