



AGUA



NO ES IGUAL A

AGUA

**MANUAL DE TRATAMIENTOS DE AGUAS
POTABLES Y ULTRAPURAS**



Eduardo Yaglián Steiner (Buenos Aires 1948), es Ingeniero Agrónomo por la Universidad Nacional de Córdoba – Argentina.

Fue Profesor del Departamento de Tecnología Electrónica de la Universidad de Sevilla y actualmente, Profesor Honorario.

Es miembro del Grupo de Investigación I.E.A. (Instrumentación Electrónica y Aplicaciones de la Universidad de Sevilla - TIC 153).

Es Vicepresidente de la Fundación ProDTI (Fundación para la Promoción de la Investigación y el Desarrollo Tecnológico Industrial).

Responsable de una serie de proyectos y desarrollos de plantas desaladoras, en las que se utilizaron técnicas de control digital integrado y telecontrol dentro del equipo de trabajo del Grupo de Investigación I.E.A.

EDUARDO YAGLIÁN STEINER

AGUA NO ES IGUAL A AGUA

**MANUAL DE TRATAMIENTOS DE AGUAS
POTABLES Y ULTRA PURAS**

EDICIONES FUNDACIÓN ProDTI
C/ Virgen de África Nº 7
Edificio Escuela Politécnica Superior
de la
Universidad de Sevilla
41011 SEVILLA - ESPAÑA

1^a edición octubre 2020

ISBN: 978-84-936520-2-9

Depósito legal: SE 1696-2020

Ninguna parte de esta publicación, incluido el diseño de la cubierta, puede ser reproducida, almacenada o transmitida en manera alguna ni por ningún medio, ya sea eléctrico, químico, mecánico, óptico, de grabación o de fotocopia, sin permiso previo del autor.

ÍNDICE

NOTA DEL AUTOR	1
PRÓLOGO	5
CAPÍTULO I	7
1. LA ESTRUCTURA DEL ÁTOMO	7
1.1. TEORÍA ESTRUCTURAL	10
1.1.1. Teoría estructural clásica.....	10
1.1.2. Teoría cuántica.....	11
1.1.2.1. Números cuánticos.....	11
1.2.1.5. Orbitales — Niveles De Energía — Capas.....	15
1.2.1.5. Llenado de orbitales.....	16
1.2.1.4. Enlaces químicos.....	18
1.2.1.5. Enlace iónico.....	18
1.2.1.6. Enlace covalente.....	19
1.2.1.7. Enlace covalente coordinado.....	19
1.2. TABLA PERIÓDICA.....	20
1.3. DISOLVENTE	28
1.3.1. El Disolvente Universal es el Agua.....	28
1.3.1.1. Iones	28
1.4. ÁCIDO — BASE	29
1.5. ÓXIDO – REDUCCIÓN.....	30
1.6. ÍNDICE DE ACIDEZ Y ALCALINIDAD (pH)	30
1.7. ALGUNOS PRODUCTOS Y SU pH	32
1.8. SALES.....	33
1.8.1. Importancia de las sales en el agua	34

1.9. SÓLIDOS, LIQUIDOS, GASES	36
1.9.1. Propiedades de los gases	37
1.9.1.1. Ley de Boyle	37
1.9.1.2. Ley de Charles y Gay Lussac	39
1.9.1.3. Principio de Avogadro	40
1.9.1.4. Ley de los gases ideales.....	41
1.10. GEOMETRÍA DEL AGUA	41
1.10.1. El Puente Hidrógeno	44
1.11. ESTADOS DE LA MATERIA Y REACCIONES FÍSICO QUÍMICAS	48
1.11.1. Presión de vapor.....	50
1.11.2. Tensión superficial.....	51
1.11.3. Viscosidad	55
CAPÍTULO II	57
INSTRUMENTACIÓN Y PARÁMETROS DE MEDIDAS	57
2.1. COMPUESTOS INORGÁNICOS.....	57
2.1.1. pH, Métodos de Determinación e Instrumentos	57
2.1.1.1. Papel indicador del pH.....	57
2.1.1.2. Valoración ácido-base, titulación ácido base, volumetría ácido-base o equivalente de neutralización.....	58
2.1.1.3. Electrodo de pH:	59
2.1.2. Concentración de Sales	63
2.1.3. TDS.....	63
2.1.4. “Dureza” del agua (Índice De Languelier)	63
2.1.5. Conductividad	65
2.2. MATERIA ORGÁNICA – ÍNDICES DE MEDICIÓN	67
2.2.1. DQO (Demandra Química de Oxígeno)	67
2.2.2. DBO (Demandra Bioquímica o Biológica de Oxígeno).....	68
2.2.3. TOC o COT (Carbono Orgánico Total).....	68
2.2.4. Índice de turbidez	68

2.3. OXÍGENO LIBRE DISUELTO (DO U OD).....	69
2.4. CALIDADES DE AGUA	70
2.4.1. Agua ultra pura	70
2.4.2. Agua potable.....	70
2.4.3. Agua salobre.....	71
2.4.4. Agua salada o marina.....	71
CAPÍTULO III	73
3. FILTRACIÓN Y TRATAMIENTOS ASOCIADOS.....	73
3.1. TAMAÑO Y NATURALEZA DE PARTÍCULA.....	73
3.2. TIPOS DE FILTROS Y QUÍMICA ASOCIADA A SU USO	76
3.2.1. Desbaste.....	76
3.2.2. Decantación, coagulantes y tiempo de retención.....	78
3.2.3. Coloides y su Retención - Floculantes	80
3.2.4. Dosificación de Cl y oxido reducción de materia orgánica.....	81
3.2.5. Ozono	83
3.2.6. Filtros de arena a cielo abierto	84
3.2.7. Filtros de arena cerrados.....	87
3.2.8. Presión de trabajo, sección, velocidad, altura del filtro, componentes y materiales	88
3.2.8.1. Expulsión de aire de un sistema hidráulico - Ventosa.....	93
3.2.9. Pérdida de carga	94
3.2.10. Sistema de limpieza.....	95
3.3. OTROS TIPOS DE FILTROS	97
3.3.1. Filtros de Discos o anillas	97
3.3.2. Filtros de cartucho	99
3.4. ADSORCIÓN E INTERCAMBIO IÓNICO	103
3.4.1. Carbón activo.....	103
3.4.2. Tratamiento ultravioleta	105
3.4.3. Intercambio iónico.....	106

3.4.4. Descalcificación	107
3.4.5. Retención de hierro	108
3.4.6. Sílice o silicio	111
3.5. POST TRATAMIENTO - CLORACIÓN.....	111
CAPÍTULO IV	115
4. MICRO y ULTRA FILTRACIÓN	115
4.1. INTRODUCCIÓN	115
4.2. MICROFILTRACIÓN (U.F.)	115
4.3. ULTRAFILTRACIÓN	116
4.3.1. Membranas	116
4.3.2. Módulo	118
4.3.3. Casete	119
4.3.4. Tanque	120
4.3.5. Experiencia desarrollada	121
4.3.6. SDI – Índice de sedimentación	123
4.3.6.1. Procedimiento	125
CAPÍTULO V	129
5. NANO FILTRACIÓN Y ÓSMOSIS INVERSA (*)	129
5.1. INTRODUCCIÓN	129
5.2. COMPONENTES Y FUNCIONAMIENTO DE UNA PLANTA CONVENCIONAL	132
5.2.1. Introducción al proceso	132
5.2.2. Membranas	133
5.2.3. Información inicial y cálculo	137
5.2.4. Puesta en funcionamiento	138
5.2.4.1. Rotámetro	142
CAPÍTULO VI	145
6. VÁLVULAS Y TUBERÍAS	145
6.1. VÁLVULAS TIPOS Y SU USO	145

6.1.1. Válvulas esféricas	145
6.1.2. Electroválvulas o válvulas solenoide	149
6.1.3. Válvulas anti retorno	153
6.1.3.1. Válvula de muelle	153
6.2. TUBERÍAS	156
6.2.1. Introducción	156
6.2.2. Materiales	157
6.3. DIAGRAMA DE FLUJOS	162
6.3.1. Flujo laminar	163
6.3.2. Flujo turbulento	163
6.4. CÁLCULO DE DIÁMETROS	167
6.5. PÉRDIDAS DE CARGA.....	169
6.6. GOLPE DE ARIETE.....	169
6.7. ROSCAS	175
CAPÍTULO VII	179
7. BOMBAS	179
7.1. INTRODUCCIÓN	179
7.2. DEFINIENDO UNA BOMBA	179
7.3. UNIDADES UTILIZADAS EN PRESIONES Y CAUDALES	179
7.4. TIPOS DE BOMBAS MÁS UTILIZADAS EN EL SECTOR AGUA	182
7.4.1. Bombas centrífugas axiales	182
7.4.2. Bombas radiales	183
7.4.3. Bombas desplazamiento positivo	189
7.5. RANGO DE TRABAJO RELACIÓN CAUDAL PRESIÓN.....	191
7.6. EFICIENCIA ENERGÉTICA	193
7.7. CAUDALES VARIABLES – USO DE VARIADORES DE VELOCIDAD	199
7.7.1. Regulación de velocidad de las bombas	203
7.8. NPSH	206

7.8.1. Regla práctica	208
7.9. CAVITACIÓN	209
CAPÍTULO VIII	213
8. DESARROLLO DE PROTOTIPOS	213
8.1. INTRODUCCIÓN	213
8.2. OBJETIVOS DE LOS DESARROLLOS	214
8.2.1. Fundamentos para la elección del sistema de desalación.....	215
8.3. ANTECEDENTES QUE SE TUvIERON EN CUENTA PARA EL DESARROLLO DE LOS MODELOS CIBERDESAL®	216
8.3.1. Definición de los diseños para modelos estandarizados	217
8.4. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA CIBERDESAL®	223
8.4.1. Proceso de ósmosis inversa.....	223
8.4.2. Prototipos desarrollados desde el año 1997	226
8.5. PRE TRATAMIENTO Y COMPONENTES FUNGIBLES	239
8.5.1. Filtración.	239
8.5.1.1. Consideraciones acerca de la duración de los filtros de un solo uso.....	241
8.5.2. Membranas. Duración de las mismas como elemento semi-fungible	242
8.5.3. Dosificación de aditivos	244
8.5.4. Sistema de dilución.....	245
8.5.5. Consideraciones comparativas	247
8.6. MODELOS COMPACTOS.....	248
8.7. MANTENIMIENTO	249
8.8. EVOLUCIÓN DE MODELOS	251
8.9. RESULTADOS - RENDIMIENTO ENERGÉTICO	254
8.10. CONCLUSIONES	257
ANEXO I	259
1. ESTUDIO DE COSTES, FABRICACIÓN Y EXPLOTACIÓN...	259

1.1.	PLANTA MINI 6M02	259
1.2.	PLANTA PRIMA 6M03.....	261
1.3.	PLANTA MEGA 6M01	263
1.4.	PLANTA MEGA 18M01	265
1.5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	267
2.	COSTES DE EXPLOTACIÓN.....	269
3.	CONCLUSIONES	277
	ANEXO II	281
	ORAS E INSTALACIONES.....	281
	Recinto de Instalación de la planta y obras hidráulicas complementarias	281
	ANEXO III:	291
	NOTAS PERIODÍSTICAS.....	291
	ANEXO IV	300
	GUIA PRÁCTICA PARA LA ELECCIÓN DE TRATAMIENTOS DE AGUA.300	
	BIBLIOGRAFÍA (Orden alfabético)	303

NOTA DEL AUTOR

Por tratarse de trasmisir experiencias personales, me saltaré la norma de cualquier trabajo científico, y, en este título, lo haré en primera persona para un mejor relato de aquellas.

Casi por casualidad, como tantas cosas en la vida, hace ya casi 25 años se me planteó la posibilidad de trabajar, como técnico de ventas, en el sector de tratamientos de aguas, lo cual implicaba reciclar totalmente mi perfil profesional.

Fue un desafío que se presentó en un momento en el que estaba a la búsqueda de un trabajo, el que fuera, pero tuve la gran suerte de que el tema me gustaba y lo digo en tiempo pasado, ya que a lo largo de mi carrera en la facultad, solo recordaba un par de prácticas referidas a la calidad del agua para uso agronómico, asunto que despertó mi curiosidad. Pero en aquellos años no había internet, para poder indagar fácilmente y profundizar en la materia. Así, la cuestión se quedó en unos pequeños conocimientos básicos, porque había que seguir aprobando asignaturas con el objetivo de finalizar la carrera, algo que siempre se presentaba a “gran” distancia, difícil de evaluar.

Pero cuando finalmente ese día llegó, el derrotero de la vida me llevó a trabajar en otros temas de mi profesión que eran más demandados. No obstante, hubo un momento de interrupción en mi vida profesional (crisis económica mediante) y como decía al principio, frente a una posibilidad, que además me recordó el interés que había despertado el tema agua en mi época de estudiante, hizo que no tuviera ninguna duda en iniciar una nueva etapa profesional, en una empresa donde pude apreciar la amplitud de ese “nuevo mundo” para mí y que implicaba reciclar los conocimientos profesionales.

Al poco tiempo de estar trabajando, fui pensando en algunas ideas para nuevos desarrollos.

La idea en cuestión fue consecuencia de una observación. Las empresas dedicadas a la desalación de aguas, facturaban altos costes de mantenimiento de las pequeñas plantas desaladoras industriales que fabricaban, generados principalmente por los desplazamientos de personal técnico ante cualquier fallo. Lo cual a su vez, desanimaba a los posibles compradores.

Así fue como me encaminé hacia el ámbito universitario a fin de corroborar si era posible llevar adelante esas ideas dentro de costes lógicos.

De esa manera, una vez planteado el tema y con la certeza de la viabilidad técnica de generar una nueva línea de investigación aplicada, me incorporé al Grupo de Investigación I.E.A. (Instrumentación Electrónica y Aplicaciones) de la Universidad de Sevilla, que dirigía el Dr. Ing. Alberto Menéndez Martínez, quien

recibió con especial entusiasmo la posibilidad de abrir esa nueva línea de investigación.

Por ello, siempre agradeceré su gesto de confianza y optimismo, que a su vez me dio la oportunidad de poder llevar adelante lo que solo eran ideas dispersas, ampliando mi horizonte de conocimientos con un grupo de compañeros de inestimable capacidad profesional y sobre todo calidad humana.

Todos ellos figuran como autores en la bibliografía de este libro, generada durante más de 15 años de trabajo en equipo.

Así fue como pensé que se podrían ahorrar costes mediante el telecontrol, por varios aspectos tales como, prevenir fallos por inadecuada regulación del sistema, haciendo las oportunas correcciones por telecontrol, supervisar de la misma manera los pretratamientos, la determinación de posibles fallos antes de enviar el personal técnico, previendo así el o los repuestos necesarios y una serie de cuestiones que se irán viendo en cada capítulo.

Fue así como se generó una nueva línea de investigación y desarrollo, acerca de la cual no encontramos en ese momento ningún antecedente bibliográfico aunque era posible hacerlo con la tecnología disponible.

Asimismo, para poder proceder a la desalación propiamente dicha, hay una serie de pretratamientos previos y, si no todos, al menos se incluyen los conceptos básicos de ellos, que en algunos casos son suficientes para generar agua potable.

Volviendo a mis comienzos en el mundo del agua, lo primero que hice fue buscar bibliografía sobre el tema, para poder saber lo que tenía que vender, pero pude apreciar la falta de un “manual” para cualquier técnico que pretendiera iniciarse en ese mundo, sino más bien bibliografía dispersa y en general dedicada a las aguas residuales, que son un mundo aparte.

De ahí el propósito de escribir este libro, que pueda servir sobre todo a técnicos que desarrollen su labor en la calle, asesorando y vendiendo, porque sabido es que hay ingenieros y hay vendedores, pero reunir ambas condiciones en una persona, que con conocimientos y honestidad pueda orientar a quien necesite una maquinaria para solucionar el problema de calidad del agua que una industria, pequeño municipio o producción de cualquier tipo requiera, es lo que se pretende resumir en este volumen.

Un ingeniero que vende soluciones técnicas, debe hacer de nexo entre la calle y el centro de I+D de su empresa. Esa suerte de vasos comunicantes que generen los desarrollos que el mercado requiere, fundamento de la investigación aplicada.

Por lo tanto, no es un libro de alto nivel científico, sino la síntesis de una experiencia personal, en la que se incluyen los fundamentos teóricos necesarios de iniciación en el tema de aguas de calidad, potable o para usos industriales y los logros alcanzados en esta la línea de I+D llevada adelante por el Grupo de Investigación I.E.A. de la Universidad de Sevilla con la gestión de la Fundación ProDTI (www.prodti.us.es) a lo largo de más de 15 años.

Sevilla, septiembre de 2020.

PRÓLOGO

Los problemas de cantidad y de calidad de agua para uso humano son recurrentes en la actualidad y serán acuciantes, según todos los vaticinios, en el futuro. El conocimiento profundo del medio acuático, la detección de contaminantes y la aplicación adecuada del amplio abanico de tecnologías convencionales y emergentes disponibles, serán determinantes para la correcta preservación y gestión de las aguas para sus diferentes usos. La formación de los recursos humanos que han de participar en todas las vertientes comentadas y en todos los niveles (operarios, técnicos, responsables, gestores, políticos), es y será una labor crucial para la consecución del objetivo de disponer de agua de óptima calidad en todo momento.

El libro que se presenta aquí es una contribución actualizada a los propósitos antes comentados, particularizado en el ámbito tecnológico de las aguas potables. Consta de ocho capítulos y tres anexos, con dos partes bien diferenciadas. La primera parte, capítulos del uno al siete, comienza con una introducción a la física y la química del agua, un recorrido por la instrumentación y parámetros de medidas más habituales, una dedicación a las tecnologías de filtración y de membranas, finalizando con dos capítulos sobre los elementos comunes en cualquier sistema de tratamiento de aguas: válvulas, tuberías y bombas. Esta primera parte del libro, de carácter teórico-práctica, está destinada a cualquier técnico que se inicie en el mundo del agua, no requiriendo una previa formación cualificada de partida para su seguimiento. La segunda parte del libro, capítulo ocho y anexos uno al tres, está dedicada al desarrollo de prototipos de plantas de desalación con control digital integrado y telecontrol para pequeños y medianos núcleos de población, donde el autor vuelca su intensa experiencia de quince años en escenarios reales en este ámbito de actuación.

Uno de los aspectos más interesantes de esta cuidada obra es como el autor, de formación ingeniero agrónomo, profesor del departamento de tecnología electrónica de la Universidad de Sevilla y Vicepresidente de la Fundación ProDTI (Fundación para la Promoción de la Investigación y el Desarrollo Tecnológico Industrial), refleja su trayectoria multidisciplinar en un campo como es el del agua, eminentemente multidisciplinar.

Esteban Alonso
Catedrático de Universidad
Escuela Politécnica Superior
Universidad de Sevilla