

# **REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO RAS - 2000**

SECCION II

TÍTULO C

## **SISTEMAS DE POTABILIZACIÓN**



República de Colombia  
Ministerio de Desarrollo Económico  
Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico

**BOGOTA D.C., NOVIEMBRE DE 2.000**

# ÍNDICE

<b>C.0.</b>	<b>REFERENCIACIÓN GENERAL</b>	<b>1</b>
<hr/>		
C.0.1	SISTEMA DE UNIDADES	1
C.0.2	VARIABLES	1
C.0.3	ABREVIATURAS	2
C.0.4	NORMAS TÉCNICAS REFERENCIADAS	3
C.0.4.1	NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS	3
C.0.4.2	NORMAS TÉCNICAS AWWA	4
C.0.4.3	NORMAS TÉCNICAS ASTM	4
C.0.5	LEYES, DECRETOS Y LEGISLACIÓN PERTINENTE	5
<b>C.1.</b>	<b>ASPECTOS GENERALES DE LOS SISTEMAS DE POTABILIZACIÓN</b>	<b>7</b>
<hr/>		
C.1.1	ALCANCE	7
C.1.2	DEFINICIONES	7
C.1.3	PROCEDIMIENTO GENERAL DE DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE POTABILIZACIÓN	15
C.1.3.1	PASO 1 - Definición del nivel de complejidad del sistema	15
C.1.3.2	PASO 2 - Justificación del proyecto y definición del alcance	15
C.1.3.3	PASO 3 - Conocimiento del marco institucional	15
C.1.3.4	PASO 4 - Acciones legales	15
C.1.3.5	PASO 5 - Aspectos ambientales	16
C.1.3.6	PASO 6 - Ubicación dentro de los planes de ordenamiento territorial y desarrollo urbano previsto	16
C.1.3.7	PASO 7 - Estudios de factibilidad y estudios previos	16
C.1.3.8	PASO 8 - Diseño y requerimientos técnicos	16
C.1.3.9	PASO 9 - Construcción y supervisión técnica	16
C.1.3.10	PASO 10 - Puesta en marcha, operación y mantenimiento	16
C.1.4	PROCEDIMIENTO PARTICULAR PARA EL DESARROLLO DE LOS SISTEMAS DE POTABILIZACIÓN	16
C.1.4.1	Dotación y caudal de diseño	16
C.1.4.2	Ubicación de la planta	17
C.1.4.3	Diseño conceptual	17
C.1.4.3.1	Nivel tecnológico apropiado	17
C.1.4.3.2	Capacidad de operación y mantenimiento por parte de la comunidad	17
C.1.4.3.3	Simplificación del sistema y nivel de financiación	17
C.1.4.4	Estudio de recursos locales	18
C.1.4.5	Adecuación hidráulica del sistema	18
<b>C.2.</b>	<b>ASPECTOS DE CALIDAD DEL AGUA Y SU TRATABILIDAD</b>	<b>19</b>
<hr/>		
C.2.1	ALCANCE	19

<b>C.2.2</b>	<b>GENERALIDADES</b>	<b>19</b>
<b>C.2.3</b>	<b>CALIDAD DE LA FUENTE Y GRADO DE TRATAMIENTO</b>	<b>19</b>
<b>C.2.4</b>	<b>CALIDAD DEL AGUA TRATADA</b>	<b>22</b>
<b>C.2.5</b>	<b>ESTUDIOS DE TRATABILIDAD</b>	<b>22</b>
C.2.5.1	Ensayos de laboratorio	22
C.2.5.1.1	Prueba de Jarras	22
C.2.5.1.2	Otros ensayos	23
	Adicionalmente en los ensayos de tratabilidad en pruebas de laboratorio debe determinarse:	23
C.2.5.1.3	Determinación del tipo de coagulación	23
C.2.5.2	Ensayos de planta piloto	23
<b>C.3.</b>	<b>PRETRATAMIENTO</b>	<b>25</b>
<b>C.3.1</b>	<b>ALCANCE</b>	<b>25</b>
<b>C.3.2</b>	<b>CLASIFICACIÓN DE LOS PROCESOS</b>	<b>25</b>
C.3.2.1	Remoción del material flotante.	25
C.3.2.2	Remoción del material suspendido.	25
C.3.2.3	Procesos de oxidación.	25
<b>C.3.3</b>	<b>ESTUDIOS PREVIOS</b>	<b>26</b>
C.3.3.1	Calidad del agua cruda	26
C.3.3.1.1	Remoción del material flotante	26
C.3.3.1.2	Remoción del material suspendido	26
C.3.3.1.3	Procesos de oxidación	26
C.3.3.2	Estudio de costos	27
<b>C.3.4</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS</b>	<b>27</b>
C.3.4.1	Remoción del material flotante	27
C.3.4.1.1	Rejillas y mallas	27
C.3.4.1.2	Trampas de grasa y aceite	27
C.3.4.2	Remoción del material suspendido	28
C.3.4.2.1	Desarenadores	28
C.3.4.2.2	Presedimentadores	28
C.3.4.2.3	Prefiltros	28
C.3.4.2.4	Microtamices	29
C.3.4.3	Procesos de oxidación	29
C.3.4.3.1	Aeración	29
C.3.4.3.2	Oxidación química	29
<b>C.3.5</b>	<b>PARÁMETROS DE DISEÑO</b>	<b>30</b>
C.3.5.1	Remoción del material flotante	30
C.3.5.1.1	Rejillas y mallas	30
C.3.5.1.2	Trampas de grasa y aceite	30
C.3.5.2	Remoción del material suspendido	30
C.3.5.2.1	Desarenadores	30
C.3.5.2.2	Presedimentadores	30
C.3.5.2.3	Prefiltros	30
C.3.5.2.4	Microtamices	31
C.3.5.3	Procesos de oxidación	32
C.3.5.3.1	Aeración	32
C.3.5.3.2	Oxidación química	32

<b>C.3.6</b>	<b>control de los procesos y operación</b>	<b>34</b>
C.3.6.1.1	Remoción del material flotante	34
C.3.6.1.2	Remoción del material suspendido	34
C.3.6.1.3	Procesos de oxidación	34
<b>C.4.</b>	<b>COAGULACIÓN - MEZCLA RÁPIDA</b>	<b>35</b>
<hr/>		
<b>C.4.1</b>	<b>ALCANCE</b>	<b>35</b>
<b>C.4.2</b>	<b>CLASIFICACIÓN DE LOS PROCESOS</b>	<b>35</b>
<b>C.4.3</b>	<b>ESTUDIOS PREVIOS</b>	<b>35</b>
C.4.3.1	Calidad del agua cruda	35
C.4.3.2	Estudio de costos	35
C.4.3.2.1	Mezcla rápida	35
C.4.3.2.2	Dosificación	36
<b>C.4.4</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS</b>	<b>36</b>
C.4.4.1	Dosificación	36
C.4.4.1.1	Coagulantes	36
C.4.4.1.2	Productos auxiliares	36
C.4.4.1.3	Selección del coagulante y productos auxiliares	37
C.4.4.1.4	Unidades de dosificación	37
C.4.4.2	Mezcla rápida	38
C.4.4.2.1	Mezcladores hidráulicos	38
C.4.4.2.2	Mezcladores mecánicos	39
<b>C.4.5</b>	<b>PARÁMETROS DE DISEÑO</b>	<b>39</b>
C.4.5.1	Dosificación	39
C.4.5.1.1	Coagulantes	39
C.4.5.1.2	Productos auxiliares	40
C.4.5.2	Mezcla rápida	41
C.4.5.2.1	Mezcladores hidráulicos como la canaleta Parshall	41
<b>C.4.6</b>	<b>CONTROL DE LOS PROCESOS Y OPERACIÓN</b>	<b>42</b>
C.4.6.1	Dosificadores	43
C.4.6.2	Mezcladores hidráulicos	43
C.4.6.3	Mezcladores mecánicos	43
<b>C.5.</b>	<b>FLOCULACIÓN</b>	<b>45</b>
<hr/>		
<b>C.5.1</b>	<b>ALCANCE</b>	<b>45</b>
<b>C.5.2</b>	<b>CLASIFICACIÓN DE LOS PROCESOS</b>	<b>45</b>
<b>C.5.3</b>	<b>ESTUDIOS PREVIOS</b>	<b>45</b>
C.5.3.1	Ensayo previo de floculación	45
C.5.3.2	Estudio de costos	45
<b>C.5.4</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS</b>	<b>45</b>
C.5.4.1	Floculadores hidráulicos	46
C.5.4.1.1	Floculador de flujo horizontal	46
C.5.4.1.2	Floculador de flujo vertical	46
C.5.4.1.3	Floculador Alabama	46

C.5.4.1.4	Floculador de flujo helicoidal	46
C.5.4.2	Floculadores mecánicos	46
<b>C.5.5</b>	<b>PARÁMETROS DE DISEÑO – FLOCULACIÓN CONVENCIONAL</b>	<b>46</b>
C.5.5.1	Floculadores hidráulicos	46
C.5.5.1.1	Floculadores de flujo horizontal y flujo vertical	46
C.5.5.1.2	Floculador Alabama	47
C.5.5.1.3	Floculador flujo helicoidal	47
C.5.5.2	Floculadores mecánicos	47
C.5.5.2.1	Tiempo de detención y gradiente de velocidad	47
C.5.5.2.2	Velocidad periférica	47
C.5.5.2.3	Dimensionamiento del agitador	48
C.5.5.2.4	Interconexión de las cámaras	48
C.5.5.2.5	Número de unidades	48
C.5.5.3	Dispositivos de paso entre las cámaras	48
<b>C.5.6</b>	<b>CONTROL DE LOS PROCESOS Y OPERACION</b>	<b>48</b>
C.5.6.1	Floculador hidráulico	48
C.5.6.2	Floculador mecánico	48
<b>C.6.</b>	<b>SEDIMENTACIÓN</b>	<b>51</b>
<b>C.6.1</b>	<b>ALCANCE</b>	<b>51</b>
<b>C.6.2</b>	<b>CLASIFICACIÓN DE LOS PROCESOS</b>	<b>51</b>
<b>C.6.3</b>	<b>ESTUDIOS PREVIOS</b>	<b>51</b>
C.6.3.1	Estudio de calidad del agua	51
C.6.3.1.1	Sedimentadores de flujo horizontal, vertical o de alta tasa	51
C.6.3.1.2	Sedimentador con manto de lodos	51
C.6.3.2	Ensayo previo de sedimentación	51
C.6.3.3	Estudio de costos	52
C.6.3.4	Número de unidades	52
<b>C.6.4</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS</b>	<b>52</b>
C.6.4.1	Dispositivo de recolección del agua sedimentada	52
C.6.4.2	Acceso a la unidad	52
C.6.4.3	Sedimentadores de flujo horizontal y flujo vertical	52
C.6.4.3.1	Sedimentador de flujo ascendente o vertical	52
C.6.4.4	Sedimentador de alta tasa	52
C.6.4.5	Sedimentador con manto de lodos	53
<b>C.6.5</b>	<b>PARÁMETROS DE DISEÑO</b>	<b>53</b>
C.6.5.1	Unidades de sedimentación	53
C.6.5.1.1	Sedimentadores de flujo horizontal	53
	Este tipo de decantación a entrado en desuso debido al gran espacio que ocupa y debe evitarse en lo posible. La unidad debe constar de:	53
C.6.5.1.2	Sedimentador de flujo ascendente o vertical	54
C.6.5.1.3	Sedimentador de alta tasa	55
C.6.5.1.4	Sedimentador con manto de lodos	55
C.6.5.2	Remoción y descarga de lodos	56
C.6.5.2.1	Remoción manual de lodos	56
C.6.5.2.2	Remoción mecánica de lodos	56
<b>C.6.6</b>	<b>CONTROL DE LOS PROCESOS Y OPERACIÓN</b>	<b>56</b>

C.6.6.1	Operación de las unidades de sedimentación	57
C.6.6.1.1	Sedimentador de flujo horizontal y flujo vertical	57
C.6.6.1.2	Sedimentador de alta tasa	57
C.6.6.1.3	Sedimentador de manto de lodos	57
C.6.6.2	Control del proceso	58
C.6.6.2.1	Ensayos para determinar la eficiencia	58
C.6.6.2.2	Análisis de los datos de operación	58
C.6.6.2.3	Estudio de los lodos	58
C.6.6.2.4	Estudio del comportamiento hidrodinámico	59

---

## **C.7. FILTRACIÓN** **61**

---

<b>C.7.1</b>	<b>ALCANCE</b>	<b>61</b>
<b>C.7.2</b>	<b>CLASIFICACIÓN DE LOS PROCESOS</b>	<b>61</b>
<b>C.7.3</b>	<b>ESTUDIOS PREVIOS</b>	<b>61</b>
C.7.3.1	Estudios de calidad del agua	61
C.7.3.1.1	Filtración rápida	61
C.7.3.1.2	Filtración lenta	62
C.7.3.2	Ensayos previos de filtración	62
C.7.3.3	Estudio de costos	62
<b>C.7.4</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS</b>	<b>62</b>
C.7.4.1	Sistemas de control del flujo	62
C.7.4.1.1	Filtración de tasa constante	62
C.7.4.1.2	Filtración con afluente igualmente distribuido y nivel variable	63
C.7.4.1.3	Pérdida de carga variable, nivel variable, tasa declinante con vertedero de control	63
C.7.4.2	Localización	63
C.7.4.3	Equipo de filtración	63
C.7.4.3.1	Filtros rápidos	63
C.7.4.3.2	Filtros lentos	64
<b>C.7.5</b>	<b>PARÁMETROS DE DISEÑO</b>	<b>64</b>
C.7.5.1	Filtros rápidos	64
C.7.5.1.1	Composición de los lechos filtrantes	64
C.7.5.1.2	Soporte del medio filtrante	65
C.7.5.1.3	Velocidad de filtración	65
C.7.5.1.4	Altura del agua sobre el lecho	66
C.7.5.1.5	Pérdida de carga	66
C.7.5.1.6	Número de unidades	66
C.7.5.1.7	Sistema de lavado de la unidad	66
C.7.5.1.8	Sistema de drenaje	68
C.7.5.2	Filtros lentos	68
C.7.5.2.1	Composición de los lechos filtrantes	68
C.7.5.2.2	Medio de soporte	69
C.7.5.2.3	Dispositivo de entrada	69
C.7.5.2.4	Dispositivo de salida	69
C.7.5.2.5	Velocidad de filtración	69
C.7.5.2.6	Altura del agua sobre el lecho	69
C.7.5.2.7	Velocidad a la entrada	69
C.7.5.2.8	Pérdida de carga	69
C.7.5.2.9	Número de unidades	69
C.7.5.2.10	Dispositivo de control de la velocidad de filtración	69
C.7.5.2.11	Sistema de drenaje	70

C.7.5.2.12	Dispositivo de raspado de la capa superficial	70
C.7.5.2.13	Filtración lenta en diversas etapas	70
<b>C.7.6</b>	<b>CONTROL DE LOS PROCESOS Y OPERACIÓN</b>	<b>70</b>
C.7.6.1	Filtro rápido	70
C.7.6.1.1	Medio filtrante	70
C.7.6.1.2	Operación del filtro	71
C.7.6.1.3	Operación de lavado del filtro	71
C.7.6.2	Filtro lento	72
C.7.6.3	Tanque de almacenamiento del agua tratada	72
C.7.6.4	Control de la calidad del proceso	73
C.7.6.4.1	Determinación de la calidad fisicoquímica del afluente	73
C.7.6.4.2	Determinación de la eficiencia	73
C.7.6.4.3	Estudio de calidad sobre una carrera del filtro	73
<b>C.8.</b>	<b>DESINFECCIÓN</b>	<b>75</b>
<b>C.8.1</b>	<b>ALCANCE</b>	<b>75</b>
<b>C.8.2</b>	<b>CLASIFICACIÓN DE LOS PROCESOS</b>	<b>75</b>
<b>C.8.3</b>	<b>ESTUDIOS PREVIOS</b>	<b>75</b>
C.8.3.1	Aplicación de los desinfectantes	75
C.8.3.1.1	Cloración	75
C.8.3.1.2	Ozonación	75
C.8.3.1.3	Dióxido de cloro	76
C.8.3.1.4	Rayos ultravioleta	76
C.8.3.2	Ensayos previos	76
C.8.3.3	Estudio de costos	76
<b>C.8.4</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS</b>	<b>76</b>
C.8.4.1	Cloración	76
C.8.4.1.1	Cloro gaseoso (Cl <sub>2</sub> )	76
C.8.4.1.2	Hipocloritos	77
C.8.4.1.3	Cal clorada	77
C.8.4.2	Reacciones del cloro en el agua	77
C.8.4.2.1	Las de hidrólisis.	77
C.8.4.2.2	Las de oxidación – reducción.	77
C.8.4.3	Dióxido de cloro	78
C.8.4.4	Ozonación	78
C.8.4.5	Rayos ultravioletas	78
<b>C.8.5</b>	<b>PARÁMETROS DE DISEÑO</b>	<b>79</b>
C.8.5.1	Dosis del desinfectante - Método concentración - tiempo	79
C.8.5.2	Curva de demanda en cloro	81
C.8.5.3	Concentración en cloro residual	81
C.8.5.4	Punto de aplicación	81
C.8.5.5	Tanque de contacto	81
C.8.5.6	Cloradores	82
C.8.5.6.1	Clorador tipo directo	82
C.8.5.6.2	Clorador del tipo de solución al vacío	82
C.8.5.6.3	Selección del clorador	82
C.8.5.6.4	Operación de los dosificadores	82
<b>C.8.6</b>	<b>SELECCIÓN DEL DESINFECTANTE</b>	<b>83</b>

<b>C.8.7</b>	<b>CONTROL DE LOS PROCESOS Y OPERACIÓN</b>	<b>83</b>
C.8.7.1.1	pH óptimo	84
C.8.7.1.2	Dosificación	84
C.8.7.1.3	Concentración residual de cloro	84
<b>C.9.</b>	<b>ESTABILIZACIÓN - ABLANDAMIENTO</b>	<b>85</b>
<b>C.9.1</b>	<b>ALCANCE</b>	<b>85</b>
<b>C.9.2</b>	<b>GENERALIDADES</b>	<b>85</b>
<b>C.9.3</b>	<b>CLASIFICACIÓN DE LOS PROCESOS</b>	<b>86</b>
<b>C.9.4</b>	<b>ESTUDIOS PREVIOS</b>	<b>86</b>
C.9.4.1	Estabilización con reactivos alcalinos	86
C.9.4.2	Precipitación química	86
C.9.4.3	Intercambio iónico	86
<b>C.9.5</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS</b>	<b>86</b>
C.9.5.1	Estabilización con reactivos alcalinos	86
C.9.5.1.1	Índice	87
C.9.5.2	Precipitación química	87
C.9.5.2.1	Dosificación	87
C.9.5.2.2	Remoción del magnesio	88
C.9.5.3	Proceso con resinas de intercambio iónico	88
<b>C.9.6</b>	<b>PARÁMETROS DE DISEÑO</b>	<b>88</b>
C.9.6.1	Estabilización con reactivos alcalinos	88
C.9.6.1.1	Dosificación	89
C.9.6.2	Precipitación química	89
C.9.6.3	Proceso con resinas de intercambio iónico	89
<b>C.9.7</b>	<b>OPERACIÓN Y CONTROL DE LOS PROCESOS</b>	<b>90</b>
C.9.7.1	Estabilización con reactivos alcalinos	90
C.9.7.2	Precipitación química	90
C.9.7.3	Proceso con resinas de intercambio iónico	91
<b>C.10.</b>	<b>CONTROL DE SABOR Y OLOR</b>	<b>93</b>
<b>C.10.1</b>	<b>ALCANCE</b>	<b>93</b>
<b>C.10.2</b>	<b>GENERALIDADES</b>	<b>93</b>
<b>C.10.3</b>	<b>CLASIFICACIÓN DE LOS PROCESOS</b>	<b>93</b>
<b>C.10.4</b>	<b>ESTUDIOS PREVIOS</b>	<b>94</b>
C.10.4.1	Aeración	94
C.10.4.2	Adsorción sobre carbón activado	94
C.10.4.2.1	Carbón activado granular	94
C.10.4.2.2	Carbón activado pulverizado	95
<b>C.10.5</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS</b>	<b>95</b>
C.10.5.1	Aeración	95
C.10.5.2	Adsorción sobre carbón activado	95

C.10.5.2.1	Carbón activado granular	95
C.10.5.2.2	Carbón activado pulverizado	95
<b>C.10.6</b>	<b>PARÁMETROS DE DISEÑO</b>	<b>95</b>
C.10.6.1	Aeración	96
C.10.6.2	Adsorción sobre carbón activado	96
C.10.6.2.1	Carbón activado granular	96
C.10.6.2.2	Carbón activado pulverizado	97
<b>C.10.7</b>	<b>CONTROL Y OPERACIÓN DEL PROCESO</b>	<b>97</b>
C.10.7.1	Aeración	97
C.10.7.2	Adsorción sobre carbón activado	97
C.10.7.2.1	Velocidad de mezcla en tuberías que transportan suspensiones	97
C.10.7.2.2	Carbón activado granular	97
C.10.7.2.3	Carbón activado pulverizado	97
<b>C.11.</b>	<b>DESFERRIZACIÓN Y DESMANGANETIZACIÓN</b>	<b>99</b>
<b>C.11.1</b>	<b>ALCANCE</b>	<b>99</b>
<b>C.11.2</b>	<b>GENERALIDADES</b>	<b>99</b>
<b>C.11.3</b>	<b>CLASIFICACION DE LOS PROCESOS</b>	<b>99</b>
<b>C.11.4</b>	<b>ESTUDIOS PREVIOS</b>	<b>100</b>
C.11.4.1	Oxidación química	100
C.11.4.2	Aeración	100
C.11.4.2.1	Aeración a presión seguida de filtración	100
C.11.4.2.2	Aeración a presión con tanque de contacto y filtración	100
C.11.4.2.3	Aeración en torres de múltiples bandejas con tanque de contacto y filtración	100
C.11.4.2.4	Aeración, sedimentación y filtración	100
C.11.4.3	Filtración sobre zeolita mangánica	100
<b>C.11.5</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS</b>	<b>101</b>
C.11.5.1	Oxidación química	101
C.11.5.2	Aeración	101
C.11.5.2.1	Aeración a presión seguida de filtración	101
C.11.5.2.2	Aeración a presión con tanque de contacto y filtración	101
C.11.5.2.3	Aeración en torres de múltiples bandejas con tanque de contacto y filtración	101
C.11.5.2.4	Aeración, sedimentación y filtración	101
C.11.5.3	Filtración sobre zeolita mangánica	101
<b>C.11.6</b>	<b>PARÁMETROS DE DISEÑO</b>	<b>102</b>
C.11.6.1	Oxidación química	102
C.11.6.1.1	Precloración	102
C.11.6.1.2	Oxidación con dióxido de cloro	102
C.11.6.1.3	Preozonización	102
C.11.6.1.4	Oxidación con permanganato de potasio	102
C.11.6.2	Aeración	103
C.11.6.2.1	Aeración a presión seguida de filtración	103
C.11.6.2.2	Aeración a presión con tanque de contacto y filtración	103
C.11.6.2.3	Aeración en torres de múltiples bandejas con tanque de contacto y filtración	103
C.11.6.2.4	Aeración, sedimentación y filtración	103
C.11.6.3	Filtración sobre zeolita mangánica	103

<b>C.11.7</b>	<b>CONTROL DE LOS PROCESOS Y OPERACIÓN</b>	<b>104</b>
C.11.7.1	Oxidación química	104
C.11.7.2	Aeración	104
C.11.7.2.1	Aeración a presión seguida de filtración	104
C.11.7.2.2	Aeración a presión con tanque de contacto y filtración	105
C.11.7.2.3	Aeración en torres de múltiples bandejas con tanque de contacto y filtración	105
C.11.7.2.4	Aeración, sedimentación y filtración	105
C.11.7.3	Filtración sobre zeolita mangánica	105
<b>C.12.</b>	<b>TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS</b>	<b>107</b>
<b>C.12.1</b>	<b>ALCANCE</b>	<b>107</b>
<b>C.12.2</b>	<b>GENERALIDADES</b>	<b>107</b>
<b>C.12.3</b>	<b>ESTUDIOS PREVIOS</b>	<b>107</b>
C.12.3.1	Flotación DAF	107
C.12.3.2	Floculación lastrada	107
C.12.3.3	Separación por membranas	107
<b>C.12.4</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS</b>	<b>109</b>
C.12.4.1	Flotación DAF	109
C.12.4.1.1	Descripción del proceso	109
C.12.4.1.2	Descripción del equipo	109
C.12.4.1.3	Utilización	110
C.12.4.1.4	Acondicionamiento previo del agua	110
C.12.4.1.5	Parámetros de diseño	110
C.12.4.1.6	Parámetros de control del proceso	111
C.12.4.2	Floculación lastrada	111
C.12.4.2.1	Descripción del proceso	111
C.12.4.2.2	Parámetros de diseño	111
C.12.4.2.3	Sistema de recolección de los lodos	111
C.12.4.2.4	Sistema de regeneración de la arena	112
C.12.4.3	Separación por membranas	112
C.12.4.3.1	Descripción del proceso	112
C.12.4.3.2	Parámetros de diseño	112
C.12.4.3.3	Control de los procesos	113
<b>C.13.</b>	<b>MANEJO DE LODOS</b>	<b>115</b>
<b>C.13.1</b>	<b>ALCANCE</b>	<b>115</b>
<b>C.13.2</b>	<b>CLASIFICACION DE LOS PROCESOS</b>	<b>115</b>
<b>C.13.3</b>	<b>ESTUDIOS PREVIOS</b>	<b>115</b>
C.13.3.1	Caracterización de los lodos	115
C.13.3.1.1	Determinación de la concentración al peso de los lodos	115
C.13.3.1.2	Peso específico de los lodos	116
C.13.3.2	Evacuación de los lodos	116
C.13.3.2.1	Evacuación periódica	116
C.13.3.2.2	Evacuación continua	116
C.13.3.3	Disposición final de lodos	117
C.13.3.4	Minimización de la producción de lodos	117

<b>C.13.4</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS</b>	<b>117</b>
C.13.4.1	Evacuación de los lodos	118
C.13.4.1.1	Sistema de evacuación	118
C.13.4.1.2	Tipo de evacuación	118
C.13.4.2	Manejo y transporte	119
C.13.4.3	Acondicionamiento de lodos	119
C.13.4.4	Disposición final de los lodos	119
C.13.4.4.1	Almacenamiento	119
C.13.4.4.2	Tratamiento	120
C.13.4.4.3	Descarga	120
<b>C.13.5</b>	<b>PARÁMETROS DE DISEÑO</b>	<b>121</b>
C.13.5.1	Evacuación de los lodos	121
C.13.5.1.1	Evacuación periódica	121
C.13.5.1.2	Evacuación continua	121
C.13.5.2	Disposición final de los lodos	122
C.13.5.2.1	Almacenamiento	122
C.13.5.2.2	Tratamiento	122
C.13.5.2.3	Descarga	123
<b>C.13.6</b>	<b>CONTROL DE LOS PROCESOS Y OPERACIÓN</b>	<b>123</b>
C.13.6.1	Evacuación de los lodos	123
C.13.6.1.1	Evacuación periódica	123
C.13.6.1.2	Evacuación continua	124
C.13.6.2	Disposición final de los lodos	124
C.13.6.2.1	Almacenamiento	124
C.13.6.2.2	Tratamiento	124
C.13.6.2.3	Descarga	124
<b>C.14.</b>	<b>EDIFICIO DE OPERACIÓN</b>	<b>127</b>
<b>C.14.1</b>	<b>ALCANCE</b>	<b>127</b>
<b>C.14.2</b>	<b>GENERALIDADES</b>	<b>127</b>
C.14.2.1	Nivel bajo de complejidad	127
C.14.2.2	Nivel medio de complejidad	127
C.14.2.3	Nivel medio - alto de complejidad	127
C.14.2.4	Nivel alto de complejidad	128
<b>C.14.3</b>	<b>ESTUDIO DE COSTOS</b>	<b>128</b>
<b>C.14.4</b>	<b>ASPECTOS DE DISEÑO</b>	<b>128</b>
C.14.4.1	Salas de dosificación y cloración	128
C.14.4.1.1	Área mínima	129
C.14.4.1.2	Sistema de dosificación	129
C.14.4.2	Bodegas de almacenamiento	130
C.14.4.2.1	Localización y estructura	130
C.14.4.2.2	Área mínima	130
C.14.4.2.3	Manejo y almacenamiento de los productos	130
C.14.4.2.4	Transporte interno del material	131
C.14.4.2.5	Transporte externo de los productos químicos	132
C.14.4.3	Sala de control	132
C.14.4.3.1	Área mínima	132
C.14.4.3.2	Organización	132
C.14.4.4	Sala de operadores con laboratorio de servicios	133

C.14.4.4.1	Área mínima	133
C.14.4.4.2	Organización	133
C.14.4.5	Depósito de reactivos y material de laboratorio	133
C.14.4.5.1	Área mínima	133
C.14.4.5.2	Organización	133
C.14.4.6	Oficina del laboratorista con su baño	133
C.14.4.6.1	Área mínima	133
C.14.4.6.2	Organización	133
C.14.4.7	Laboratorio fisicoquímico y microbiológico	134
C.14.4.7.1	Área mínima	134
C.14.4.7.2	Características de las instalaciones	134
C.14.4.7.3	Equipo mínimo de laboratorio	134
C.14.4.8	Oficina del administrador de la planta	135
C.14.4.8.1	Área mínima y organización	135
C.14.4.8.2	Características de la instalación	135
C.14.4.9	Sala de planoteca y reuniones	135
C.14.4.9.1	Área mínima	135
C.14.4.9.2	Organización	135
C.14.4.10	Oficinas del jefe de mantenimiento e ingeniero electrónico o similar	136
C.14.4.10.1	Área mínima	136
C.14.4.10.2	Organización	136
C.14.4.11	Batería de baños	136
C.14.4.11.1	Área mínima	136
C.14.4.11.2	Organización	136
C.14.4.12	Cocina y cafetería	136
C.14.4.12.1	Área mínima	136
C.14.4.12.2	Organización	136
C.14.4.13	Cuarto de aseo	137
C.14.4.13.1	Área mínima	137
C.14.4.13.2	Organización	137
C.14.4.14	Zonas de esparcimiento	137
C.14.4.14.1	Área mínima y organización	137
C.14.4.14.2	Organización	137
C.14.4.15	Parqueadero	137
C.14.4.15.1	Área mínima y organización	137
C.14.4.15.2	Organización	137
C.14.4.16	Servicios auxiliares	137
C.14.4.16.1	Área mínima	138
C.14.4.16.2	Organización	138
<b>C.14.5</b>	<b>CONDICIONES DE SEGURIDAD</b>	<b>138</b>
C.14.5.1	Salas de dosificación, cloración y bodegas de almacenamiento	138
C.14.5.2	Zonas de laboratorios y depósito de reactivos	139
C.14.5.3	Sala de control	139
C.14.5.4	Oficinas de administración	140
C.14.5.5	Servicios auxiliares	140

---

## **C.15. SISTEMAS DE INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL** **141**

<b>C.15.1</b>	<b>ALCANCE</b>	<b>141</b>
<b>C.15.2</b>	<b>GENERALIDADES</b>	<b>141</b>
C.15.2.1	Características generales	141
<b>C.15.3</b>	<b>CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS</b>	<b>142</b>

<b>C.15.4</b>	<b>ESTUDIOS PREVIOS</b>	<b>143</b>
<b>C.15.5</b>	<b>DESCRIPCION DE LOS SISTEMAS Y EQUIPOS</b>	<b>143</b>
C.15.5.1	Instrumentación primaria	143
C.15.5.1.1	Analizadores	143
C.15.5.1.2	Medidores de flujo	144
C.15.5.1.3	Medidores de nivel	144
C.15.5.1.4	Medidores de presión	145
C.15.5.2	Transmisores	145
C.15.5.3	Controladores	145
C.15.5.4	Elementos de control final	145
C.15.5.4.1	Actuadores eléctricos	145
C.15.5.4.2	Actuadores hidráulicos y neumáticos	145
C.15.5.4.3	Motores de velocidad variable	145
C.15.5.4.4	Válvulas de control	145
C.15.5.5	Sistemas de registro	146
<b>C.15.6</b>	<b>PARÁMETROS Y CONTROLES OPERACIONALES DE LOS SISTEMAS</b>	<b>146</b>
C.15.6.1	Instrumentación primaria	146
C.15.6.1.1	Analizadores en continuo	146
C.15.6.1.2	Medidores de flujo	149
C.15.6.1.3	Medidores de nivel	149
C.15.6.1.4	Medidores de presión	149
C.15.6.2	Transmisores	149
C.15.6.3	Controladores	150
C.15.6.4	Elementos de control final	150
C.15.6.4.1	Actuadores eléctricos	150
C.15.6.4.2	Actuadores hidráulicos y neumáticos	150
C.15.6.4.3	Motores de velocidad variable	150
C.15.6.4.4	Válvulas de control	150
<b>C.15.7</b>	<b>APLICACIÓN EN LOS NIVELES DE COMPLEJIDAD DEL SISTEMA</b>	<b>151</b>
<b>C.15.8</b>	<b>DIAGRAMA DE PROCESO E INSTRUMENTACIÓN (P &amp; ID)</b>	<b>151</b>
C.15.9		<b>158</b>
<b>C.16.</b>	<b>ACTIVIDADES DE PUESTA EN MARCHA Y OPERACIÓN</b>	<b>161</b>
<b>C.16.1</b>	<b>ALCANCE</b>	<b>161</b>
<b>C.16.2</b>	<b>GENERALIDADES</b>	<b>161</b>
<b>C.16.3</b>	<b>PERSONAL REQUERIDO</b>	<b>161</b>
<b>C.16.4</b>	<b>ASPECTOS DE PUESTA EN MARCHA</b>	<b>162</b>
C.16.4.1	Recepción de equipos	162
C.16.4.2	Instalación de equipos	163
C.16.4.3	Responsabilidades del diseñador	163
C.16.4.3.1	Capacitación del personal de planta	163
C.16.4.3.2	Manuales de operación y mantenimiento	163
C.16.4.3.3	Garantía de operación	163
C.16.4.4	Inspección preliminar de la planta	163
C.16.4.5	Actividades en la puesta en marcha	163

<b>C.16.5</b>	<b>ASPECTOS DE OPERACIÓN</b>	<b>164</b>
C.16.5.1	Toma de muestras de agua	164
C.16.5.2	Análisis y ensayos de agua para controlar la calidad de los procesos	164
C.16.5.3	Actividades en la operación normal	164
C.16.5.4	Manual de operación	165
C.16.5.4.1	Contenido	165
C.16.5.4.2	Características del manual	166
C.16.5.5	Plan operacional de emergencia	166
<b>C.16.6</b>	<b>REGISTROS</b>	<b>167</b>
<b>C.17. ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO</b>		<b>169</b>
<b>C.17.1</b>	<b>ALCANCE</b>	<b>169</b>
<b>C.17.2</b>	<b>GENERALIDADES</b>	<b>169</b>
<b>C.17.3</b>	<b>RECURSOS HUMANOS</b>	<b>169</b>
C.17.3.1	Salud ocupacional	169
C.17.3.2	Capacitación técnica	170
C.17.3.3	Capacitación para situaciones de emergencia	170
<b>C.17.4</b>	<b>RECURSOS FINANCIEROS</b>	<b>170</b>
<b>C.17.5</b>	<b>ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO</b>	<b>170</b>
C.17.5.1	Información necesaria	170
C.17.5.1.1	Libro de control de calidad	171
C.17.5.1.2	Manual de mantenimiento	171
C.17.5.2	Actividades de mantenimiento	171
C.17.5.2.1	Control de vibraciones y ruidos	171
C.17.5.2.2	Conexiones entre equipos	172
C.17.5.2.3	Lubricación y limpieza	172
C.17.5.2.4	Control y sobrecalentamiento de partes eléctricas	172
C.17.5.2.5	Revisión de motores	172
C.17.5.2.6	Control de fugas	173
C.17.5.2.7	Aplicación de pintura en estructuras	173
C.17.5.2.8	Revisión de instrumentos y controladores	173
C.17.5.2.9	Pruebas de aislamiento	173
<b>C.17.6</b>	<b>DISPONIBILIDAD DE ELEMENTOS</b>	<b>173</b>
<b>C.17.7</b>	<b>EVALUACIÓN DE LOS EQUIPOS EN PLANTA</b>	<b>174</b>
C.17.7.1	Actividades en el mantenimiento preventivo	174
C.17.7.1.1	Plan de mantenimiento preventivo	174
C.17.7.2	Contratación externa de servicios	175
C.17.7.3	Equipo de planta	175
<b>C.17.8</b>	<b>MANTENIMIENTO DE LOS AIREADORES</b>	<b>175</b>
<b>C.17.9</b>	<b>MANTENIMIENTO DE LOS MEZCLADORES</b>	<b>176</b>
C.17.9.1	Mezcladores hidráulicos	176
C.17.9.2	Mezcladores mecánicos	176
<b>C.17.10</b>	<b>MANTENIMIENTO DE LOS FLOCULADORES</b>	<b>176</b>
C.17.10.1	Floculadores hidráulicos	176

---

C.17.10.2	Floculadores mecánicos	176
<b>C.17.11</b>	<b>MANTENIMIENTO DE LOS SEDIMENTADORES</b>	<b>176</b>
<b>C.17.12</b>	<b>MANTENIMIENTO DE LOS FILTROS</b>	<b>177</b>
<b>C.17.13</b>	<b>MANTENIMIENTO DEL TANQUE DE AGUA TRATADA</b>	<b>177</b>
<b>C.17.14</b>	<b>MANTENIMIENTO DE LOS DOSIFICADORES</b>	<b>177</b>
<b>C.17.15</b>	<b>MANTENIMIENTO DE ESTABILIZACIÓN Y ABLANDAMIENTO</b>	<b>178</b>
C.17.15.1	Estabilización con reactivos alcalinos	178
C.17.15.2	Precipitación química	178
C.17.15.3	Proceso con resinas de intercambio iónico	178
<b>C.17.16</b>	<b>MANTENIMIENTO DE CONTROL DE OLOR Y SABOR</b>	<b>178</b>
C.17.16.1	Aeración	178
C.17.16.2	Adsorción sobre carbón activado	178
C.17.16.2.1	Carbón activado granular	178
C.17.16.2.2	Carbón activado pulverizado	179
<b>C.17.17</b>	<b>MANTENIMIENTO DE DEFERRIZACIÓN Y DESMANGANETIZACIÓN</b>	<b>179</b>

## CAPÍTULO C.0

### C.0. REFERENCIACIÓN GENERAL

---

#### C.0.1 SISTEMA DE UNIDADES

°	grados
°C	grado Celsius
año	año
cm <sup>2</sup>	centímetro cuadrado
cm <sup>3</sup>	centímetro cúbico
día	día
g	gramo
h	hora
hab	habitante
kg	kilogramo
kJ	kilojulio
km	kilómetro
km <sup>2</sup>	kilómetro cuadrado
kPa	kilopascal
kW	kilowattio
L	litro
m	metro
m <sup>2</sup>	metro cuadrado
m <sup>3</sup>	metro cúbico
M	Concentración molar (M = mol/L)
meq	miliequivalente (meq = mM * valencia del ión)
mg	miligramo
mg/L-CaCO <sub>3</sub>	mg de equivalente de carbonato de calcio por litro de solución
min	minuto
mM	milimol por litro de solución
µm	micra
mm	milímetro
N	Newton
nm	nanómetros
NMP/100 ml	Número más probable en 100 mL de solución
Pa	Pascal
ppm	partes por millón
rpm	revoluciones por minuto
s	segundo
t	tonelada
UNT	unidad nefelométrica de turbiedad
UPC	unidades de color (platino-cobalto)
W	Wattio

#### C.0.2 VARIABLES

COD	= carbón orgánico disuelto	mg C/L
COT	= carbón orgánico total	mg C/L
DBO	= demanda bioquímica de oxígeno	mg/L
DQO	= demanda química de oxígeno	mg/L
C	= concentración de cloro líquido	mg/L

$C_o$	= concentración inicial del trazador	mg/L
$C_t$	= concentración - tiempo	(mg.min)/L
$C_u$	= coeficiente de uniformidad	-
$d$	= diámetro de partícula	mm
$Fr$	= Número de Froude	-
$g$	= constante de la gravedad	$m/s^2$
$\bar{G}$	= gradiente medio de velocidad	$s^{-1}$
$I_s$	= índice de saturación de Langelier	-
$K_{sp}$	= constante de equilibrio	-
$L$	= longitud característica	m
$N_o$	= concentración de partículas a la entrada	-
$N_t$	= concentración de partículas a la salida	-
$P$	= potencia disipada	W
$P_L$	= peso del matraz + muestra de lodos	g
$P_s$	= peso de los lodos desecados	g
$P_w$	= peso del matraz + agua destilada	g
pH	= potencial de hidrógeno	-
$Re$	= Número de Reynolds	-
$S_{a_1}$	= peso específico del agua destilada	-
$S_a$	= peso específico de la muestra de lodos	-
$t_d$	= tiempo de detención	min
$T_c$	= tiempo de ciclo	
$T_e$	= tamaño efectivo	mm
$V$	= volumen del reactor	$m^3$
$V_s$	= volumen de los lodos secos	mL
$\rho$	= densidad	$kg/m^3$
$\mu$	= viscosidad	Pa-s
$\bar{O}$	= presión osmótica	kPa

### C.0.3 ABREVIATURAS

APHA	American Public Health Association
ASTM	American Society for Testing and Materials
AWWA	Association Water Works American
C-L	Diagramas de Caldwell - Lawrence
COD	Carbón orgánico disuelto
COT	Carbón orgánico total
COV	Compuestos orgánicos volátiles
CRA	Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico
DAF	Flotación por aire disuelto
DSPD	Dirección de Servicios Públicos Domiciliarios del Ministerio de Desarrollo Económico
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno
DQO	Demanda química de oxígeno
ED	Electrodiálisis
EDI	Electrodiálisis inversa
EPA	Environment Protection Agency
FGAC	Filtración gruesa ascendente en capas
FGAS	Filtración gruesa ascendente en serie
FL	Filtración lenta
FLDE	Filtración lenta en Diversas Etapas
HTMFP	Potencial de formación de trihalometanos
M.O	Materia orgánica
NF	Nanofiltración
NTC	Norma Técnica Colombiana

OI	Osmosis Inversa
P & ID	Diagrama de proceso e instrumentación
pH	Potencial de hidrógeno
PLC	Controlador lógico programable
P.M	Peso molecular
PMC	Peso molecular de corte
SCM	Streaming current monitors
SCADA	Supervisor control and data acquisition
SDT	Sólidos disueltos totales
SSP	Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios
THMs	Trihalometanos
UF	Ultrafiltración
WPCF	Water Pollution Control Federation

## C.0.4 NORMAS TÉCNICAS REFERENCIADAS

Las siguientes son las normas técnicas, tanto expedidas por el ICONTEC, por la AWWA, por la ASTM y otras entidades internacionales a las cuales se hace referencia en este capítulo. En caso de conflicto, prevalecerá lo establecido en este Reglamento.

### C.0.4.1 NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS

GTC 2	Manual de métodos analíticos para el control de calidad del agua
GTC 25	Técnicas generales de muestreo para estudios biológicos
GTC 30	Guía para el monitoreo de aguas subterráneas
GTC 31	Guía para la realización de pruebas de toxicidad (bioensayos) en organismos acuáticos
NTC 531	Rev. 5. Productos químicos para uso industrial. Sulfato de Aluminio
NTC 897	Agua. Determinación del contenido de sólidos
NTC 925	Rev. 2. Productos químicos para uso industrial. Cloro Líquido.
NTC 1312	Agua Potable. Determinación de cianuro
NTC 1398	Rev. 3. Productos químicos para uso industrial. Cal viva y Cal hidratada.
NTC 1454	Agua Potable. Determinación de boro
NTC 1460	Agua Potable. Determinación del selenio
NTC 1847	Rev. 3. Tratamiento de aguas, Hipoclorito de calcio y de sodio.
NTC 2753	Permanganato de potasio
NTC 2572	Aguas. Medios filtrantes utilizados en el tratamiento de aguas
NTC 3362	Agua. Determinación de aceites y grasas
NTC 3498	Agua. Determinación de la radioactividad
NTC 3629	Agua. Demanda Química de Oxígeno (DQO)
NTC 3630	Agua. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)
NTC 3645	Agua. Determinación de la temperatura
NTC 3651	Agua. Método para la determinación del pH en el agua.
NTC 3699	Poliaminas EPI-DMA para el tratamiento de aguas
NTC 3705	Gestión Ambiental. Agua. Medición de flujo de agua en canal abierto con vertedero de placa fina.
NTC 3903	Agua. Procedimiento para el método de jarras en la coagulación-floculación del agua.
NTC 3933	Agua. Método estándar para medición de flujo de agua en canal abierto con canaletas Parshall.
NTC 3945	Agua. Método estándar para medición de flujo en canal abierto mediante elementos rotativos Molinetes.
NTC 3976	Productos químicos para uso industrial, Cloruro ferro líquido
NTC 4117	Desinfección de plantas para tratamiento de aguas
NTC 4168	Productos químicos. Sulfato Cúprico.

NTC 4273	Productos químicos industriales. Carbón activado granulado.
NTC 4705	Agua. Determinación del oxígeno disuelto.
NTC 4707	Calidad del agua. Determinación de la turbiedad. Método Nefelométrico
NTC 5667-1	Calidad del agua. Muestreo directrices para el diseño de programas de muestreo
NTC 5667-11	Calidad del agua. Muestreo. Guía para el muestreo de aguas subterráneas
NTC ISO 5667-2	Calidad del agua. Muestreo. Técnicas generales de muestreo
NTC ISO 5667-3	Calidad del agua. Muestreo. Recomendaciones para la conservación y el manejo de las muestras
NTC ISO 5667-4	Calidad del agua. Guía para el muestreo de lagos naturales y artificiales
NTC ISO 5667-5	Calidad del agua. Guía para el muestreo de agua potable y agua utilizada para alimentos y procesamiento de bebidas
NTC ISO 5667-6	Calidad del agua. Muestreo. Guía para el muestreo de aguas de ríos y corrientes

#### **C.0.4.2 NORMAS TÉCNICAS AWWA**

B300	Standard for Hypochlorites
B301	Standard for Liquid Chlorine
B202	Standard for Quicklime and Hydrated Lime
B402	Standard for Ferrous Sulfate
B403	Standard for Aluminum Sulfate - Liquid, Ground, or Lump
B404	Standard for Liquid Sodium Silicate
B406	Standard for Ferric Sulfate
B408	Standard for Liquid Polyaluminum chloride
B451	Standard for Poly(diallyldimethylammonium chloride)
B453	Standard for Polyacrylamide
C653	Standard for Disinfection of Water Treatment Plants
M	Automation and control
M 19	Emergency planning for water utility management.

#### **C.0.4.3 NORMAS TÉCNICAS ASTM**

D 511	Test Methods for Calcium and Magnesium in Water
D 512	Test Methods for Chloride Ion in Water
D 516	Test Methods for Sulfate Ion in Water
D 596	Practice for Reporting Results of Analysis of Water
D 857	Test Methods for Aluminum in Water
D 858	Test Methods for Manganese in Water
D 888	Test Methods for Dissolved Oxygen in Water
D 1067	Test Methods for Acidity or Alkalinity of Water
D 1068	Test Methods for Iron in Water
D 1125	Test Methods for Electrical Conductivity and Resistivity of Water
D 1126	Test Methods for Hardness in Water
D 1179	Test Methods for Fluoride in Water
D 1246	Test Methods for Bromide Ion in Water
D 1252	Test Methods for Chemical Oxygen Demand (Dichromate Oxygen Demand) of Water
D 1293	Test Methods for pH of Water
D 1426	Test Methods for Ammonia Nitrogen in Water
D 1687	Test Methods for Chromium in Water
D 1688	Test Methods for Copper in Water
D 1691	Test Methods for Zinc in Water
D 1783	Test Methods for Phenolic Compounds in Water
D 1886	Test Methods for Nickel in Water
D 1889	Test Methods for Turbidity of Water
D 1971	Practices for Digestion of Samples for Determination of Metals by Flame Atomic Absorption or Plasma Emission Spectroscopy
D 2036	Test Methods for Cyanides in Water
D 2579	Test Methods for Total and Organic Carbon in Water

---

D 2580	Test Methods for Phenols in Water by Gas-Liquid Chromatography
D 2972	Test Methods for Arsenic in Water
D 3082	Test Methods for Boron in Water
D 3086	Test Methods for Organochlorine Pesticides in Water
D 3223	Test Methods for Total Mercury in Water
D 3372	Test Methods for Molybdenum in Water
D 3373	Test Methods for Vanadium in Water
D 3557	Test Methods for Cadmium in Water
D 3558	Test Methods for Cobalt in Water
D 3590	Test Methods for Total Kjeldahl Nitrogen in Water
D 3645	Test Methods for Beryllium in Water
D 3697	Test Methods for Antimony in Water
D 3856	Guide for Good Laboratory Practices in Laboratories Engaged in Sampling and Analysis of Water
D 3864-79	
D 3866	Test Methods for Silver in Water
D 3867	Test Methods for Nitrite-Nitrate in Water
D 3870	Practice for Establishing Characteristics for Colony Counting Methods in Microbiology
D 3920	Test Methods for Strontium in Water
D 3973	Test Methods for Low-Molecular Weight Halogenated Hydrocarbons in Water
D 4129	Test Methods for Total and Organic Carbon in Water by High-Temperature and Coulometric Detection
D 4382	Test Methods for Barium in Water, Atomic Absorption Spectrophotometry, Graphite Furnace
D 4839	Test Methods for Total Carbon and Organic Carbon in Water by Ultraviolet, or Persulfate Oxidation, or Both, and Infrared Detection
D 5128-90	
D 5257	Test Methods for Dissolved Hexavalent Chromium in Water by Ion Chromatography
D 5413-93	
D 5540-94	
D 5851-95	

### **C.0.5 LEYES, DECRETOS Y LEGISLACIÓN PERTINENTE**

Decreto 1594 del 26 de junio de 1984 del Ministerio de Salud

Decreto 475 del Ministerio de Salud, por el cual se establece la calidad del agua potable

Ley 388 de 1997 sobre planes de ordenamiento territorial.

|| Decreto 3489/82 sobre declaratoria de estado de emergencia.

## CAPÍTULO C.1

### C.1. ASPECTOS GENERALES DE LOS SISTEMAS DE POTABILIZACIÓN

---

#### C.1.1 ALCANCE

El presente título está dirigido al desarrollo de estudios y diseño de todos los componentes de un sistema de potabilización del agua, en sus etapas de conceptualización, diseño, puesta en marcha, operación y mantenimiento que se desarrolle en la República de Colombia, con el fin de garantizar su seguridad, durabilidad, funcionalidad, calidad, eficiencia, sostenibilidad y redundancia dentro de un nivel de complejidad determinado.

Las obras o componentes de los sistemas de potabilización a los cuales se refiere este título son los siguientes: desarenadores, prefiltros, microtamices, trampas de grasas y aceites, aireador, unidades de mezcla rápida y floculación, sedimentación, flotación, filtración, desinfección, estabilización, ablandamiento, adsorción sobre carbón activado, desferrización, desmanganetización, manejo de lodos, floculación lastrada, flotación, tanque de almacenamiento del agua tratada, dispositivos de control de las unidades de la planta e instrumentación, laboratorio, sala de dosificación y almacenamiento de los productos, cuyas prescripciones particulares se referencian en la tabla C.1.1. Igualmente se referencian los productos químicos que pueden ser empleados en el tratamiento del agua potable, en caso de emplear otro producto químico debe solicitarse permiso al Ministerio de Salud.

No se incluyen las operaciones de captación, aducción y conducción del agua cruda a la planta de tratamiento, ni el transporte y distribución domiciliaria del agua potable.

TABLA C.1.1  
Contenido del presente título

Contenido	Capítulo
Aspectos generales de los sistemas de potabilización	C.1
Aspectos de calidad del agua y su tratabilidad	C.2
Pretratamiento	C.3
Coagulación - mezcla rápida	C.4
Floculación	C.5
Sedimentación	C.6
Filtración	C.7
Desinfección	C.8
Estabilización – ablandamiento	C.9
Control de sabor y olor	C.10
Desferrización y desmanganetización	C.11
Tecnologías alternativas	C.12
Manejo de lodos	C.13
Edificio de operación	C.14
Sistemas de instrumentación y control	C.15
Actividades de puesta en marcha y operación	C.16
Actividades de mantenimiento	C.17

#### C.1.2 DEFINICIONES

Para interpretar y aplicar este reglamento se tendrán en cuenta las siguientes definiciones:

**Ablandamiento** Remoción de la dureza (calcio y/o magnesio) del agua.

**Actuador** Sistema encargado de transformar la señal de acción generada por el controlador en una acción. Por ejemplo, un variador de velocidad en el caso de una bomba, el cual transforma una señal de voltaje en una velocidad y como consecuencia en un caudal.

**Agitación hidráulica** Movimiento obtenido al aprovechar la energía del agua para producir turbulencia.

**Agitación mecánica** Movimiento obtenido mediante dispositivos mecánicos (paletas, aspas, etc.) para producir turbulencia.

**Agua cruda** Agua que no ha sido sometida a proceso de tratamiento.

**Agua dura** Agua que contiene cationes divalentes y sales disueltas en concentraciones tales que interfieren con la formación de la espuma del jabón.

**Agua potable** Agua que por reunir los requisitos organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos, en las condiciones señaladas en el Decreto 475 de 1998, puede ser consumida por la población humana sin producir efectos adversos a la salud.

**Aeración** Proceso en el que se produce un contacto entre el aire y el agua con el objetivo de oxigenarla o de excluir gases o sustancias volátiles.

**Aireador** Dispositivo o equipo que permite transferir aire al agua.

**Alcalinidad** Capacidad del agua para neutralizar los ácidos. Esta capacidad se origina en el contenido de carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ), hidróxidos ( $\text{OH}^-$ ) y ocasionalmente boratos, silicatos y fosfatos. La alcalinidad se expresa en miligramos por litro de equivalente de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ).

**Alcance (Span)** Diferencia entre el valor máximo y mínimo del campo de medida.

**Análisis físico-químico del agua** Pruebas de laboratorio que se efectúan a una muestra para determinar sus características físicas, químicas o ambas.

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

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

**Barredor de lodos** Dispositivo mecánico para recoger el lodo del fondo de los tanques.

**Boquilla** Dispositivo para aumentar la velocidad del agua.

**Calibración** Determinación, verificación o rectificación de la graduación de cualquier instrumento que proporcione medidas cuantitativas.

**Calidad del agua** Conjunto de características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas propias del agua.

**Campo de medida (Rango)** Espectro o conjunto de valores sobre los cuales el instrumento permite medir la variable observada.

**Capacidad de almacenamiento** Volumen de agua retenido en un tanque o embalse.

**Capacidad hidráulica** Caudal que puede manejar un componente o una estructura hidráulica conservando sus condiciones normales de operación.

**Capacidad máxima** Caudal máximo de diseño de una estructura hidráulica.

**Carbón activado** Forma de carbón altamente adsorbente, usada para remover material orgánico disuelto causante del mal sabor, color y olor del agua.

**Caudal de diseño** Caudal estimado con el cual se diseñan los equipos, dispositivos y estructuras de un sistema determinado.

**Clarificación** Proceso de separación de los sólidos del agua por acción de la gravedad.

**Cloración** Aplicación de cloro al agua, generalmente para desinfectar o para oxidar compuestos indeseables.

**Cloro residual** Concentración de cloro existente en cualquier punto del sistema de abastecimiento de agua, después de un tiempo de contacto determinado.

**Coagulación** Aglutinación de las partículas suspendidas y coloidales presentes en el agua mediante la adición de coagulantes.

**Coagulantes** Sustancias químicas que inducen el aglutinamiento de las partículas muy finas, ocasionando la formación de partículas más grandes y pesadas.

**Coefficiente de uniformidad** Relación entre el diámetro por debajo del cual se encuentra el 60% de menor tamaño y el tamaño efectivo (10%).

**Coloides** Sólidos finamente divididos (que no disuelven) que permanecen dispersos en un líquido por largo tiempo debido a su menor diámetro y a la presencia de una carga eléctrica en su superficie.

**Contaminación del agua** Alteración de sus características organolépticas, físicas, químicas, radiactivas y microbiológicas, como resultado de las actividades humanas o procesos naturales, que producen o pueden producir rechazo, enfermedad o muerte al consumidor.

**Control de calidad del agua potable** Análisis organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos realizados al agua en cualquier punto de la red de distribución, con el objeto de garantizar el cumplimiento de las disposiciones establecidas en el Decreto 475 de 1998.

**Control en lazo abierto o por anticipación** En este esquema de control, la medición sobre la variable por controlar no es utilizada. Se utiliza exclusivamente el conocimiento causa-efecto para calcular y aplicar una estrategia de control.

**Control en lazo cerrado o por realimentación** La medición de la variable por controlar es utilizada en el cálculo de la acción de control por aplicar.

**Controlador** Elemento encargado de generar la señal de control (decisión) conociendo el valor o estado deseado. El controlador se presenta en varias formas un equipo electrónico, un algoritmo sobre un computador dotado de un sistema de adquisición, un controlador lógico programable (PLC).

**Cortocircuito** Condición que ocurre en los tanques cuando parte del agua pasa a una velocidad mayor que el resto del fluido, disminuyendo el tiempo de residencia medio de la masa líquida en el reactor.

**Criterio de diseño** Parámetros establecidos como base de diseño de una obra.

**Desarenador** Componente destinado a la remoción de las arenas y sólidos que están en suspensión en el agua, mediante un proceso de sedimentación.

**Densidad** Relación existente entre la masa de un cuerpo y el volumen ocupado por éste.

**Desinfección** Proceso físico o químico que permite la eliminación o destrucción de los organismos patógenos presentes en el agua.

**Desinfectante** Sustancia que tiene el poder de destruir microorganismos patógenos.

**Difusor** Dispositivo para dispersar un fluido en otro.

**Dosificación** Acción mediante la cual se suministra una sustancia química al agua.

**Dosis óptima** Concentración que produce la mayor eficiencia de reacción en un proceso químico.

**Dotación** Cantidad de agua asignada a una población o a un habitante para su consumo en cierto tiempo, expresada en términos de litro por habitante por día o dimensiones equivalentes.

**Drenaje** Dispositivo para la extracción o inyección de agua de una superficie.

**Dureza** 1. Resistencia que opone un determinado material a ser rayado por otro; se relaciona con su estructura cristalina. 2. Característica del agua debida a la presencia de varias sales.

**Edificio de operación** Área o conjunto de dependencias de una planta de tratamiento de agua potable que cumple determinadas funciones auxiliares, directa o indirectamente ligadas al proceso de tratamiento, necesarias para su correcta operación, mantenimiento y control.

**Eficiencia de remoción** Medida de la efectividad de un proceso en la remoción de una sustancia específica.

**Efluente** Flujo proveniente de un sistema hidráulico.

**Emergencia** Evento repentino e imprevisto que se presenta en un sistema de suministro de agua para consumo humano, como consecuencia de fallas técnicas, de operación, de diseño, de control o estructurales, que pueden ser naturales, accidentales o provocadas que alteran su operación normal o la calidad del agua, y que obliguen a adoptar medidas inmediatas para minimizar las consecuencias.

**Ensayos con trazador** Pruebas en las que se emplean sustancias, con el fin de observar y estudiar el comportamiento hidrodinámico del fluido.

**Ensayo de sedimentabilidad** Determinación de la velocidad de asentamiento de los sólidos en suspensión en un líquido.

**Ensayo de tratabilidad** Estudios efectuados a nivel de laboratorio o de planta piloto, a una fuente de abastecimiento específica, para establecer el potencial de aplicación de un proceso de tratamiento.

**Error** Diferencia entre el error medido y el valor real de la variable observada.

**Escherichia Coli (E-Coli)** Bacilo aerobio gram-negativo que no produce esporas, pertenece a la familia de los enterobacteriaceas y se caracteriza por poseer las enzimas  $\beta$ -Galactosidasa y  $\beta$ -Glucoranoasidasa. Se desarrolla a  $44 \pm 0.5$  °C en medios complejos, fermenta la lactosa liberando ácido y gas, produce indol a partir del triptófano y no produce oxidasa.

**Filtración** Proceso mediante el cual se remueven las partículas suspendidas y coloidales del agua al hacerlas pasar a través de un medio poroso.

**Filtración de contacto o en línea** Proceso de filtración sin floculación ni sedimentación previa.

**Filtración lenta** Proceso de filtración a baja velocidad.

**Filtración rápida** Proceso de filtración a alta velocidad.

**Floculación** Aglutinación de partículas inducida por una agitación lenta de la suspensión coagulada.

**Flotación** Proceso de separación de los sólidos del agua mediante adhesión de microburbujas de aire a las partículas para llevarlas a la superficie.

**Fuente de abastecimiento de agua** Depósito o curso de agua superficial o subterráneo, natural o artificial, utilizado en un sistema de suministro de agua.

**Gradiente de velocidad medio** Raíz cuadrada de la potencia total disipada (P) en la unidad de volumen de una estructura hidráulica (V) dividida por la viscosidad absoluta del agua ( $\mu$ ), expresada así:

$$\bar{G} = \sqrt{\frac{P}{V\mu}} \quad (\text{C.1.1})$$

**Granulometría** Técnica para la medida del tamaño de los granos o partículas y estudio de la distribución de los mismos con arreglo a una escala de clasificación.

**Histéresis** Máxima diferencia que se presenta cuando el instrumento recorre la escala de medición en sentidos opuestos.

**Impacto ambiental** Afectación del entorno ocasionada por la realización de una obra.

**Índice coliforme** Número estimado de microorganismos del grupo coliforme presentes en cien centímetros cúbicos de agua ( $100 \text{ cm}^3$ ), cuyo resultado se expresa en términos de número más probable (NMP) por el método de los tubos múltiples y por el número de microorganismos en el método del filtro de membrana.

**Instrumento de medición (transductor y elementos primarios)** Elementos encargados de medir una variable transformándola en una variable fácil de medir; por ejemplo, en voltaje o corriente.

**Lecho de filtración** Medio constituido por material granular poroso por el que se hace percolar un flujo.

**Lodo** Contenido de sólidos en suspensión o disolución que contiene el agua y que se remueve durante los procesos de tratamiento.

**Mantenimiento** Conjunto de acciones que se ejecutan en las instalaciones y/o equipos para prevenir daños o para la reparación de los mismos cuando se producen.

**Mantenimiento preventivo** Conjunto de actividades que se llevan a cabo en un equipo, instrumento o estructura, con el propósito de que opere a su máxima eficiencia de trabajo, evitando que se produzcan paradas forzosas o imprevistas.

**Mantenimiento correctivo** Conjunto de actividades que se deben llevar a cabo cuando un equipo, instrumento o estructura ha tenido una parada forzosa o imprevista.

**Material flotante** Aquellos materiales que se sostienen en equilibrio en la superficie del agua y que influyen en su apariencia.

**Mezclador** Equipo para producir turbulencia en el agua.

**Mezcla rápida** Agitación violenta para producir dispersión instantánea de un producto químico en la masa de agua.

**Mezcla lenta** Agitación suave del agua con los coagulantes, con el fin de favorecer la formación de los flocúlos.

**Microtamizado** Cribado del agua en mallas.

**Muestra compuesta de agua** Integración de muestras puntuales tomadas a intervalos programados y por períodos determinados, preparadas a partir de mezclas de volúmenes iguales o proporcionales al flujo durante el periodo de toma de muestras.

**Muestra puntual de agua** Muestra tomada en un punto o lugar en un momento determinado.

**Norma de calidad del agua potable** Valores de referencia admisibles para algunas características presentes en el agua potable, que proporcionan una base para estimar su calidad.

**Número de Froude** Relación entre las fuerzas inerciales y la fuerza de gravedad.

$$Fr = V^2/(L \cdot g) \quad (\text{C.1.2})$$

donde V es la velocidad, L la longitud característica y g la constante de la gravedad.

**Número de Reynolds** Relación entre las fuerzas inerciales y las fuerzas de fricción.

$$Re = \rho \cdot V \cdot L / \mu \quad (\text{C.1.3})$$

donde  $\rho$  es densidad, V velocidad, L longitud característica y  $\mu$  viscosidad absoluta del agua.

**Operación** Conjunto de acciones para mantener en funcionamiento un sistema.

**Ozonización / Ozonizador** Aplicación de ozono al agua. El ozonizador es el dispositivo empleado para hacer este proceso.

**Pantalla** Guía o mecanismo similar para desviar la dirección del agua.

**Parámetros de control de un proceso** Criterios preestablecidos que se utilizan como base para compararlos con los obtenidos en un proceso, con el fin de controlar o medir la eficiencia del mismo.

**Parámetros de diseño** Criterios preestablecidos con los que se diseñan y construyen cada uno de los equipos de la planta de tratamiento.

**Patógenos** Microorganismos que pueden causar enfermedades en otros organismos, ya sea en humanos, animales y plantas.

**Pérdida de carga** Disminución de la energía de un fluido debido a la resistencia que encuentra a su paso.

**pH óptimo** Valor de pH que produce la máxima eficiencia en un proceso determinado.

**Período de diseño** Tiempo para el cual se diseña un sistema o los componentes de éste, en el cual su(s) capacidad(es) permite(n) atender la demanda proyectada para este tiempo.

**Plan operacional de emergencia** Procedimiento escrito que permite a las personas que prestan el servicio público de acueducto, atender en forma efectiva una situación de emergencia.

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

**Planta piloto** Modelo para simular operaciones, procesos y condiciones hidráulicas de la planta de tratamiento, utilizando para este efecto el agua de la fuente de abastecimiento.

**Polución del agua** Alteración de las características organolépticas, físicas, químicas o microbiológicas del agua como resultado de las actividades humanas o procesos naturales.

**Porosidad** Relación entre el volumen de los poros formados dentro de un medio filtrante y el volumen total del mismo.

**Poscloración** Adición de cloro al efluente de la planta para propósitos de desinfección después de que éste ha sido tratado.

**Potencia** Tasa a la cual se ejecuta un trabajo.

**Potencial de hidrógeno (pH)** Expresión de la intensidad de la condición básica o ácida de un líquido.

**Precisión** Define los límites máximo y mínimo de error en un instrumento en condiciones normales de utilización.

**Precloración** Adición de cloro al iniciar un proceso o una serie de procesos.

**Presión** Fuerza por unidad de superficie.

**Presión osmótica (II)** Presión mínima necesaria para contrarrestar la difusión natural del agua a través de una membrana semi-permeable de la solución menos salina a la más salina, es expresada en Pascal :

$$\Pi = 82.05 * (T + 273) * \sum_i M_i$$

Donde T es la temperatura en grados Celcius y  $M_i$  la molaridad en moles por litro de los iones individuales de la solución.

**Pretratamiento** Proceso previo que tiene como objetivo remover el material orgánico e inorgánico flotante, suspendido o disuelto del agua antes del tratamiento final.

**Prueba de jarras** Ensayo de laboratorio que simula las condiciones en que se realizan los procesos de oxidación química, coagulación, floculación y sedimentación en la planta.

**Puesta en marcha** Actividades que se realizan cuando un sistema va a empezar a funcionar al final de la etapa constructiva.

**Punto de muestreo** Sitio específico destinado para tomar una muestra representativa del cuerpo de agua.

**Punto de quiebre en cloración (break point)** Adición de cloro al agua hasta que la demanda de cloro ha sido satisfecha, para tener un residual de cloro libre en el agua tratada.

**Reactor** Estructura hidráulica en la cual un proceso químico, físico o biológico se lleva a cabo.

**Reactor de flujo de pistón** Aquel en que todas las partículas del fluido tienen igual tiempo teórico de detención.

**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.

**Registro de control de calidad** Recopilación escrita de los resultados de los análisis del agua que se suministra a la población.

**Repetibilidad** Capacidad del instrumento para repetir la misma lectura en condiciones idénticas.

**Resalto hidráulico** Discontinuidad de la superficie del agua en la cual el flujo pasa de una manera abrupta de un régimen rápido (supercrítico) a un régimen tranquilo (subcrítico) y depende del número de Froude.

**Sedimentación** Proceso en el cual los sólidos suspendidos en el agua se decantan por gravedad, previa adición de químicos coagulantes.

**Sensibilidad** Razón entre el incremento en una lectura y el incremento en la variable que lo ocasiona.

**Sistema de adquisición de datos** Conjunto de equipos que se adiciona a un computador con el propósito de permitirle recuperar señales externas convirtiéndolas en números.

**Sistema de control** El sistema de control permite mantener variables de un proceso dentro de un rango de operación, tomando acciones a partir de comparar el valor deseado con el valor requerido. Un sistema de control está compuesto usualmente por los siguientes elementos Instrumentación de medición-transductor, transmisor, controlador, actuador y sistema de registro.

**Sistemas de control continuos** Se caracterizan porque el sistema de control se diseña a partir del comportamiento dinámico del proceso. En estos casos la estrategia de control genera una señal que varía en el tiempo dentro de un rango continuo de valores. Ejemplos típicos son el control de una variable física como el cloro residual, utilizando para ello la velocidad de una bomba de dosificación, la cual puede asumir cualquier valor entre el límite inferior y superior de operación. Reguladores PID, algebraicos y redes de compensación son ejemplos típicos de sistemas de control continuos.

**Sistemas de control a eventos discretos** En ésta aproximación, la estrategia de control utiliza información sobre el estado en que se encuentra el proceso. El número de estados es usualmente finito. La acción del sistema de control se ejecuta a través de un conjunto discreto y limitado de acciones, usualmente de carácter booleano. Ejemplos de este tipo de control es la decisión de arranque o parada de una bomba dependiendo por ejemplo del caudal requerido. En este caso, la acción todo o nada o la bomba está encendida o está apagada. Típicamente, en estos casos se pretende llevar el proceso a través de una serie de estados previamente establecidos como respuesta a hechos medibles. Un controlador lógico programable es un buen ejemplo de este tipo de sistemas de control.

**Sistema de suministro de agua potable** Conjunto de obras, equipos y materiales utilizados para la captación, aducción, conducción, tratamiento y distribución del agua potable para consumo humano.

**Sistema de conducción** Conjunto de tuberías, ductos o canales que sirven para conducir un fluido.

**Sistema de potabilización** Conjunto de procesos unitarios para purificar el agua y que tienen por objeto hacerla apta para el consumo humano.

**Sistema de succión** Producción de una presión inferior a la atmosférica.

**Sistema de registro** Dispositivo encargado de registrar las variables seleccionadas sobre un método apropiado: papel, magnético, entre otros.

**Sistema SCADA** Conjunto de programas de computador con funciones de registro y visualización de variables del proceso, generación de alarmas, cálculo y aplicación de señales de acción, los cuales interactúan con el proceso por intermedio de un sistema de adquisición.

**Sólidos disueltos** Mezcla de un sólido (soluto) en un líquido solvente en forma homogénea.

**Sólidos suspendidos** Pequeñas partículas de sólidos dispersas en el agua; no disueltas.

**Solubilidad** Capacidad de una sustancia o soluto de mezclarse homogéneamente en un solvente para unas condiciones de presión y temperatura específicas.

**Subproductos de la desinfección (SPD)** Compuestos formados por la reacción del desinfectante con la materia orgánica o sustancia química preexistente en el agua.

**Sustancias flotantes** Materiales que se sostienen en equilibrio en la superficie del agua y que influyen en su apariencia.

**Sustancias húmicas** Compuestos orgánicos responsables del color natural del agua, producidos por la extracción de sustancias orgánicas provenientes de la vegetación o por la solubilización de la materia orgánica del suelo.

**Tamaño efectivo** Diámetro por debajo del cual se encuentra el 10% en peso seco del total de las partículas de una distribución granulométrica dada.

**Tanque de almacenamiento** Depósito destinado a mantener agua para su uso posterior.

**Tasa de aplicación superficial (carga superficial)** Relación entre el caudal y el área superficial de una determinada estructura hidráulica ( $m^3/m^2 \cdot día$ ).

**Tiempo de contacto para la desinfección** Tiempo que toma al agua moverse desde el punto de aplicación del desinfectante hasta el punto donde se mide la concentración residual del mismo.

**Tiempo teórico de detención ( $t_d$ )** Volumen de un reactor (V) dividido por el caudal (Q) con que trabaja o el tiempo teórico que tarda una masa líquida en desplazarse de un punto a otro, suponiendo flujo pistón.

$$t_d = \frac{V}{Q} \quad (C.1.4)$$

**Tiempo de operación** Periodo de funcionamiento de un sistema.

**Transductor** Elemento que convierte una variable física en una señal medible.

**Transmisor** Elemento encargado de tomar la señal generada por el instrumento de medición y transmitirla en dirección del controlador.

**Tratamiento** Conjunto de operaciones y procesos que se realizan sobre el agua cruda, con el fin de modificar sus características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas, para hacerla potable de acuerdo a las normas establecidas en el Decreto 475 de 1998.

**Turbiedad** Propiedad óptica del agua basada en la medida de luz reflejada por las partículas en suspensión.

**Unidad de la planta de tratamiento** Cada uno de los procesos de tratamiento.

**Valor admisible** Valor establecido para la concentración de un componente o sustancia, que garantiza que el agua de consumo humano no representa riesgo para la salud del consumidor.

**Velocidad de filtración** Caudal de filtración por unidad de área.

**Velocidad de lavado** Caudal de lavado por unidad de área.

**Vertedero** Dispositivo hidráulico de rebose de un líquido.

**Vida útil** Tiempo estimado para la duración de un equipo o componente de un sistema sin que sea necesaria la sustitución del mismo; en este tiempo solo se requieren labores de mantenimiento para su adecuado funcionamiento.

**Vigilancia de la calidad del agua** Actividades realizadas por las autoridades competentes para comprobar, examinar e inspeccionar el cumplimiento de las normas de calidad del agua potable establecidas en el Decreto 475 de 1998.

**Zonas muertas** Sitios en un reactor en donde no hay desplazamiento unidimensional de la masa de agua.

**Zona muerta de un instrumento** Es el campo de valores dentro del cual el instrumento no reporta una variación de la variable observada.

### **C.1.3 PROCEDIMIENTO GENERAL DE DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE POTABILIZACIÓN**

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

#### **C.1.3.1 PASO 1 - Definición del nivel de complejidad del sistema**

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

#### **C.1.3.2 PASO 2 - Justificación del proyecto y definición del alcance**

La implementación de cualquier componente de un sistema de potabilización debe justificarse con la identificación de un problema de salud pública, del medio ambiente o de bienestar social. La ejecución del sistema propuesto debe dar solución a los problemas identificados, mediante la construcción de una planta nueva, la ampliación o la rehabilitación de la existente. (Referirse al literal A.6)

Además, el proyecto debe cumplir los criterios de priorización establecidos en el literal A.6.2

#### **C.1.3.3 PASO 3 - Conocimiento del marco institucional**

El diseñador debe identificar cada una de las entidades relacionadas con la prestación del servicio público de suministro de agua potable, estableciendo responsabilidades y funciones de cada uno. Los aspectos a identificar son los siguientes:

1. Entidad responsable del proyecto
2. Diseñador
3. Rol del municipio, ya sea como prestador del servicio o como administrador del sistema
4. Empresa de Servicios Públicos y su carácter (oficial, mixto o privado)
5. Entidades territoriales competentes
6. Entidad reguladora (CRA, DSPD u otra)
7. Entidad de vigilancia y control (SSP, DASP u otra)
8. Operador
9. Interventor
10. Acciones proyectadas de la comunidad en el sistema
11. Autoridad ambiental competente (Ministerio del Medio Ambiente, Corporaciones Autónomas Regionales u otras)
12. Fuentes de financiación

#### **C.1.3.4 PASO 4 - Acciones legales**

El diseñador debe conocer todo el marco legal: leyes, decretos, reglamentos y normas técnicas relacionadas con la conceptualización, diseño, construcción, mantenimiento, supervisión técnica y operación de un sistema de potabilización o cada uno de sus componentes en particular.

Para garantizar el adecuado desarrollo del sistema de potabilización deben tomarse las medidas legales necesarias.

#### **C.1.3.5 PASO 5 - Aspectos ambientales**

Para la aprobación de la realización del proyecto, el diseñador debe efectuar y presentar un estudio de impacto ambiental, mostrando los efectos positivos o negativos generados por el proyecto, incluyendo las medidas para controlar y mitigar los efectos en el medio ambiente, siguiendo todo lo establecido en el literal A.6.6.

#### **C.1.3.6 PASO 6 - Ubicación dentro de los planes de ordenamiento territorial y desarrollo urbano previsto**

El diseñador debe conocer los planes de desarrollo y de ordenamiento territorial planteados dentro del marco de la Ley 388 de 1997 y establecer las implicaciones que el sistema de potabilización tendría dentro del desarrollo urbano.

Adicionalmente, para el diseño del sistema de potabilización se debe prever el crecimiento de la población a corto, mediano y largo plazo, la estratificación económica, desarrollo industrial y protección de recursos naturales y ambientales entre otros.

#### **C.1.3.7 PASO 7 - Estudios de factibilidad y estudios previos**

Todo proyecto de sistema de potabilización debe llevar a cabo los estudios de factibilidad y los estudios previos mencionados en el capítulo A.6.

#### **C.1.3.8 PASO 8 - Diseño y requerimientos técnicos**

El diseño de cualquier componente de un sistema de potabilización debe cumplir con los requisitos mínimos establecidos en el presente Título.

El diseño de cualquier sistema de potabilización debe someterse a una evaluación socioeconómica y estar sujeto a un plan de construcción, operación, mantenimiento y expansión de costo mínimo, siguiendo lo establecido en el capítulo A.7.

#### **C.1.3.9 PASO 9 - Construcción y supervisión técnica**

Los procesos de construcción y supervisión técnica se ajustarán a los requisitos mínimos establecidos en el Título G - Aspectos Complementarios.

#### **C.1.3.10 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 distintos componentes de un sistema de potabilización, deben seguir los requerimientos establecidos para cada componente en particular (ver tabla C.1.1.) y lo definido en los capítulos C.16 y C.17.

### **C.1.4 PROCEDIMIENTO PARTICULAR PARA EL DESARROLLO DE LOS SISTEMAS DE POTABILIZACIÓN**

Entre los aspectos previos que deben tenerse en cuenta para el desarrollo del proyecto, se encuentran los siguientes:

#### **C.1.4.1 Dotación y caudal de diseño**

Deben satisfacerse los requerimientos mínimos de agua para la población, considerando la dotación bruta establecida en el literal B.2.6.

El caudal de diseño de la planta de tratamiento debe ser el caudal máximo diario cuando se cuente con almacenamiento, o en su defecto el caudal máximo horario, los cuales deben establecerse según los literales B.2.7.2 y B.2.7.3 respectivamente.

### **C.1.4.2 Ubicación de la planta**

Los aspectos que deben considerarse en la ubicación de la planta son los siguientes:

1. Disponibilidad de la tierra (precio e impuestos).
2. Investigación geotécnica previa para establecer la condición geológica del sitio (estrato del subsuelo y monitoreo de las aguas subterráneas).
3. Selección del sitio donde el agua cruda puede gravitar desde la fuente hasta la planta, en último caso por bombeo.
4. Selección de un sitio cercano a un lugar donde pueda tomarse la energía eléctrica y/o un sitio de depuración (manejo de lodos facilitado).
5. Establecer las condiciones climáticas del sitio.
6. El acceso motorizado a la planta debe ser posible (carros y camiones).

### **C.1.4.3 Diseño conceptual**

El diseño debe contener la siguiente información:

1. Estudio de Tratabilidad.
2. Los criterios y parámetros adoptados.
3. Planos de las unidades del sistema a nivel prediseño.
4. Presupuesto estimativo por etapas y componentes, costos ambientales, de inversión, de operación y de mantenimiento.
5. Selección del tratamiento de acuerdo a la calidad del agua.
6. Alternativas técnicas, dentro del tratamiento seleccionado, con los correspondientes estudios de costos, eficiencia, simplicidad, etc.

Para la selección de las alternativas de tratamiento para sistemas de potabilización de poblaciones menores de 30.000 hab, debe usarse el programa para la Selección de Tecnología y Análisis de Costos en Sistemas de Potabilización del Ministerio de Desarrollo Económico y Cinara.

Para la selección de la alternativa óptima, deben considerarse los factores técnicos, económicos, financieros, institucionales y ambientales. Además, deben evaluarse los siguientes criterios:

#### **C.1.4.3.1 Nivel tecnológico apropiado**

Debe ser el más conveniente de acuerdo con las características de la comunidad, el nivel de desarrollo y la capacidad técnico - administrativa de la entidad responsable de la operación y mantenimiento de los sistemas; además, debe tenerse en cuenta que sea de simple construcción, fácil manejo y bajo costo de operación.

#### **C.1.4.3.2 Capacidad de operación y mantenimiento por parte de la comunidad**

Debe escogerse la tecnología más adecuada, acorde con los conocimientos de las personas seleccionadas dentro de la comunidad para el manejo y mantenimiento de las unidades de la planta de tratamiento; así mismo, debe considerarse la capacitación del personal en el control y manejo del proceso seleccionado. Lo anterior tiene como objetivo evitar la implantación de tecnologías que excedan la capacidad técnica local para su operación.

#### **C.1.4.3.3 Simplificación del sistema y nivel de financiación**

La alternativa seleccionada debe ofrecer soluciones óptimas que reduzcan el uso de energía eléctrica, combustible, mecanismos complejos o sofisticados, tecnología importada, periodos cortos de construcción con el fin de buscar un tratamiento que ofrezca la mayor eficiencia con los menores costos de construcción, operación y mantenimiento.

#### **C.1.4.4 Estudio de recursos locales**

Este estudio consta de dos partes:

1. Recursos materiales y equipos. Se deben identificar los materiales y equipos disponibles localmente para emplearlos durante la construcción; esto permite obtener un diseño más económico.
2. Recursos humanos y administrativos. Debe evaluarse la capacidad local y de organización que permita la supervisión, construcción, operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de acuerdo con la tecnología seleccionada. Este estudio debe ir acompañado de un análisis de la capacidad económica para determinar si se cuenta con los recursos financieros necesarios.

#### **C.1.4.5 Adecuación hidráulica del sistema**

Debe adecuarse la hidráulica general del sistema, respecto a la pérdida de carga necesaria para un funcionamiento correcto de cada uno de los elementos del sistema. Deben considerarse la topografía del sitio, las pérdidas de cabeza producidas por los filtros y las conexiones entre unidades, entre otros aspectos. Hidráulicamente la planta debe estar en capacidad de transportar el caudal de diseño a través de todas sus unidades

## CAPÍTULO C.2

### C.2. ASPECTOS DE CALIDAD DEL AGUA Y SU TRATABILIDAD

---

#### C.2.1 ALCANCE

En este literal se establecen las condiciones y requisitos mínimos que debe cumplir el agua cruda para su tratamiento. Además, se establece la calidad del agua tratada, los análisis que deben realizarse, los ensayos de tratabilidad del agua y la protección que debe darse a la fuente.

Se establecen las condiciones para los cuatro **niveles de complejidad** del sistema. Todas las normas son aplicables a los cuatro niveles del sistema, a no ser que se especifique lo contrario.

#### C.2.2 GENERALIDADES

Es necesario de antemano conocer: El tipo de fuente, la calidad del agua de la misma, las características organolépticas, fisico-químicas y microbiológicas esenciales, los estudios de tratabilidad para seleccionar los procesos de potabilización, el procedimiento de muestreo para el control de calidad, las características de producción que debe cumplir la fuente para el abastecimiento que se requiere, la protección que debe suministrarse a este recurso y otros aspectos adicionales, para lo cual debe referirse al literal B.3 del Título B.

*Entre los ensayos de tratabilidad, el ensayo de jarras tiene gran aplicación. Esta prueba es válida para simular un tratamiento convencional (el cual ocurre esencialmente por un mecanismo de coagulación de barrido), y otros tipos de tratamiento. Para este último caso se deben adecuar las condiciones de la mezcla rápida, si es necesario. Para el caso de la filtración directa deben alcanzarse unos gradientes medios de velocidad más altos que para el caso de la coagulación de barrido, referirse al literal C.5.3.1 de este Título.*

*La realización de pruebas de filtrabilidad es muy conveniente cuando se buscan las condiciones óptimas de funcionamiento de un proceso por filtración directa, como se indica en el numeral C.3.5.1.2 de este Título. En este caso la etapa previa de coagulación - floculación del agua cruda debe realizarse de una forma adecuada.*

*Los ensayos en planta piloto son una gran herramienta en el diseño de plantas de tratamiento de gran complejidad o cuando existen procesos que deben investigarse para obtener los parámetros de diseño. Pero desafortunadamente su alto costo hace difícil su aplicación en plantas pequeñas.*

#### C.2.3 CALIDAD DE LA FUENTE Y GRADO DE TRATAMIENTO

La calidad de la fuente debe caracterizarse de la manera más completa posible para poder identificar el tipo de tratamiento que necesita y los parámetros principales de interés en periodo seco y de lluvia. Además, la fuente debe cumplir con lo exigido en el Decreto 1594 del 26 de junio de 1984, en sus artículos 37 y 38, o en su ausencia el que lo reemplace. Los análisis de laboratorio deben realizarse de acuerdo con métodos estándar reconocidos nacional e internacionalmente y los muestreos de acuerdo con las Normas NTC-ISO 5667. En la tabla C.2.1 se presenta la clasificación de los niveles de calidad de las fuentes de abastecimiento en función de unos parámetros mínimos de análisis físico- químicos y microbiológicos, y el grado de tratamiento asociado. La Tabla C.2.2 muestra algunos valores máximos admisibles de las normas microbiológicas, organolépticas, físicas y químicas de la calidad del agua potable que, de acuerdo al Decreto 475/98, expedido por los Ministerios de Salud y de Desarrollo Económico, se deben cumplir en todo el territorio nacional en la red de distribución de los sistemas de acueducto independiente de su nivel de complejidad. La misma tabla contiene los parámetros de

comparación mínimos recomendados para caracterizar el agua de la fuente superficial o subterránea, según su nivel de calidad.

TABLA C.2.1.  
Calidad de la fuente

Parámetros	Análisis según		Nivel de calidad de acuerdo al grado de polución			
	Norma técnica NTC	Standard Method ASTM	1. Fuente aceptable	2. Fuente regular	3. Fuente deficiente	4. Fuente muy deficiente
<b>DBO 5 días</b>	3630					
Promedio mensual mg/L			≤ 1.5	1.5 - 2.5	2.5 - 4	>4
Máximo diario mg/L			1 - 3	3 - 4	4 - 6	>6
<b>Coliformes totales</b> (NMP/100 mL)						
Promedio mensual		D-3870	0 - 50	50 - 500	500 - 5000	> 5000
<b>Oxígeno disuelto</b> mg/L	4705	D-888	≥ 4	≥ 4	≥ 4	< 4
<b>PH promedio</b>	3651	D 1293	6.0 - 8.5	5.0 - 9.0	3.8 - 10.5	
<b>Turbiedad</b> (UNT)	4707	D 1889	< 2	2 - 40	40 - 150	≥ 150
<b>Color verdadero</b> (UPC)			< 10	10 - 20	20 - 40	≥ 40
<b>Gusto y olor</b>		D 1292	Inofensivo	Inofensivo	Inofensivo	Inaceptable
<b>Cloruros</b> (mg/L - Cl)		D 512	< 50	50 - 150	150 - 200	300
<b>Fluoruros</b> (mg/L - F)		D 1179	< 1.2	< 1.2	< 1.2	> 1.7
<b>GRADO DE TRATAMIENTO</b>						
- Necesita un tratamiento convencional			NO	NO	Sí, hay veces (ver requisitos para uso FLDE : literal C.7.4.3.3)	SI
- Necesita unos tratamientos específicos			NO	NO	NO	SI
- Procesos de tratamiento utilizados			(1) = Desinfección + Estabilización	(2) = Filtración Lenta o Filtración Directa + (1)	(3) = Pretratamiento + [Coagulación + Sedimentación+ Filtración Rápida] o [Filtración Lenta Diversas Etapas] + (1)	(4) = (3) + Tratamientos específicos

En ausencia de Normas Técnicas Colombianas, los métodos de análisis, deben hacerse de acuerdo con los métodos estándar: Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water (APHA, AWWA y WPCF, 1995).

Los criterios que se debe tener en cuenta para establecer la confiabilidad de un método de análisis pueden ser:

1. El método debe ser capaz de llegar a los límites de detección requeridos.
2. El método debe ser capaz de suministrar resultados con errores aleatorios y sistemáticos adecuadamente pequeños

*La elección de un método analítico, en general, debe quedar en libertad para cada laboratorio de aguas, teniendo como única restricción la de que el método seleccionado debe cumplir con las exigencias de exactitud, precisión y límite de detección requeridos. Para el presente propósito, se debe dar especial énfasis a las técnicas de recolección y manipulación de muestras de agua cruda ya sea de fuentes superficial o subterránea, considerándolas como parte del método de análisis.*

*Sin embargo, debe tenerse en cuenta que el análisis de parámetros como por ejemplo sustancias flotantes, gusto y olor, dependen del método usado. Para el caso específico de **gusto y olor** es de extrema importancia que todos los laboratorios usen el método ASTM D 1292 o, si esto no es posible, debe demostrarse desde el principio que el método utilizado es capaz de dar resultados comparables a los obtenidos con éste.*

TABLA C.2.2  
Normas de calidad del agua potable, según el Decreto 475/98

Características	Valor máximo Admisible	Procedimientos analíticos recomendados		Parámetros de comparación de la calidad de la fuente recomendados según el nivel calidad de la fuente			
		Norma técnica NTC	Standard Method ASTM	1. Aceptable	2. Regular	3. Deficiente	4. Muy deficiente
<b>MICROBIOLÓGICAS</b>							
Coliformes totales UFC/100 cc	0			X	X	X	X
Escherichia coli UFC/100 cc	0		D 5392			X	X
<b>ORGANOLEPTICAS Y FISICAS</b>							
PH	6.5 – 9.0		D 1293	X	X	X	X
Turbiedad UNT	5	4707	D 1889	X	X	X	X
Color verdadero – UC	15			X	X	X	X
Conductividad US/cm	50 – 1.000		D 1125	X	X	X	X
Sustancias flotantes	Ausentes			X	X	X	X
Olor y sabor	Ninguno		D 1292	X	X	X	X
<b>QUIMICAS CON EFECTOS ADVERSOS EN LA SALUD HUMANA</b>							
Fenoles totales – mg/L	0.001	4582	D 1783				X
Grasas y aceites– mg/L	Ausentes	3362	D 4281				X
Aluminio – mg/L	0.20		D 857				X
Nitratos – mg/L	10		D 3867				X
Nitritos – mg/L	0.1		D 3867	X	X	X	X
Antimonio – mg/L	0.005		D 3697				X
Arsénico – mg/L	0.01		D 2972				X
Bario– mg/L	0.5		D 4382				X
Cadmio – mg/L	0.003		D 3557				X
Cianuros totales – mg/L	0.1	1312	D 2036				X
Cobre – mg/L	1.0		D 1688				X
Cromo hexavalente – mg/L	0.01		D 1687				X
Mercurio – mg/L	0.001		D 3223				X
Níquel – mg/L	0.02		D 1886				X
Plomo – mg/L	0.01		D3559				X
Selenio – mg/L	0.01	1460	D 3859				X
Sustancias activas al azul de metileno– mg/L AB5	0.5		D 2330				X
<b>PLAGUICIDAS Y OTRAS SUSTANCIAS</b>							
Tóxicos tipo I– mg/L	0.001						X
Tóxico tipo II y III– mg/L	0.01						X
Baja toxicidad– mg/L	0.1						X
Trihalometanos totales– mg/L	0.1						X
<b>QUIMICAS CON EFECTO INDIRECTO SOBRE LA SALUD HUMANA</b>							
Alcalinidad total – mg/L	100		D 1067	X	X	X	X
Acidez – mg/L	50		D 1067	X	X	X	X
Dureza total– mg/L	160	4706	D 1126	X	X	X	X
Calcio– mg/L	60		D 511	X	X	X	X
Magnesio– mg/L	36		D 858	X	X	X	X
Cloruros– mg/L	250		D 512	X	X	X	X
Sulfatos – mg/L	250	4708	D 516	X	X	X	X
Hierro total– mg/L	0.3		D 1068	X	X	X	X
Manganeso	0.1		D 858			X	X
Fosfatos	0.2		D 515			X	X
Zinc	5		D 1691				X
Fluoruros (mg/L)	1.2		D 1179				X

## C.2.4 CALIDAD DEL AGUA TRATADA

El agua para consumo humano no debe contener microorganismos patógenos, ni sustancias tóxicas o nocivas para la salud. Por tanto, el agua para consumo debe cumplir los requisitos de calidad microbiológicos y fisicoquímicos exigidos en el Decreto 475 de marzo 10 de 1998, expedido por el Ministerio de Salud o en su defecto, el que lo reemplace. La calidad del agua no debe deteriorarse ni caer por debajo de los límites establecidos durante el periodo de tiempo para el cual se diseñó el sistema de abastecimiento.

Es responsabilidad de la entidad prestadora del servicio público de acueducto, controlar la calidad de agua en la red de distribución ya sea en puntos previamente escogidos como por ejemplo, hidrantes o pilas diseñadas para recoger muestras, o en acometidas escogidas aleatoriamente. En dicho sitio debe darse cumplimiento como mínimo a los análisis organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos establecidos en el artículo 19 del Decreto 475 de 1998 y el número mínimo de muestras será la que establecen los artículos 20, 21, 22 y 27 del citado Decreto.

El control de la calidad del agua es responsabilidad de las Empresas de Servicios Públicos de Acueducto y la vigilancia de la misma está a cargo del Ministerio de Salud a través de las autoridades de salud de los Departamentos, Distritos o Municipios, tal como está estipulado en el Decreto 475 de 1998 en su artículo 41.

## C.2.5 ESTUDIOS DE TRATABILIDAD

Para la selección de los procesos de tratamiento previos o paralelos al diseño de una planta, **deben** realizarse ensayos en el laboratorio siendo obligatorio entre estos, el Ensayo de Jarras; y posteriormente, si se justifica, realizar ensayos en planta piloto para determinar el tratamiento al que **debe** ser sometida el agua. Para los **niveles bajo y medio de complejidad** no se recomienda la realización de los ensayos de planta piloto, a menos que se estudie un nuevo proceso o variables desconocidas que no pueden ser analizadas en el laboratorio. La prueba de jarras es obligatoria para **cualquier nivel de complejidad**, no solamente para los estudios de tratabilidad en el proceso de diseño, sino también diariamente, durante la operación de la planta, y cada vez que se presenten cambios en la calidad del agua.

Los ensayos de laboratorio y planta piloto deben emplearse para determinar:

1. El grado de comportamiento de ciertos procesos de tratamiento.
2. Los criterios básicos de diseño para la planta a escala real (dosificaciones de los productos químicos, necesidad de mezcla y floculación, velocidad de filtración, tiempos de contacto, entre otros aspectos).

Estos ensayos deben realizarse con todas las muestras tomadas por lo menos un ciclo hidrológico anual, con el fin de analizar todas las posibles calidades de agua cruda que se puedan presentar; es decir, cambios en la turbiedad, color o demanda de cloro, temperatura, pH, alcalinidad, contenido de algas, hierro y manganeso, cambios en el sabor y olor, entre otros.

### C.2.5.1 Ensayos de laboratorio

#### C.2.5.1.1 Prueba de Jarras

Estas pruebas consisten en simular en vasos de precipitado o jarras, el proceso de coagulación-floculación que se producirá en la planta de tratamiento y evaluar distintos parámetros durante o al final de los ensayos para caracterizar su funcionamiento.

Este procedimiento debe realizarse de acuerdo a la Norma Técnica Colombiana NTC 3903, su objetivo básico es la determinación de los coagulantes y auxiliares de coagulación (metálicos o prepolimerizados), sus dosis óptimas, secuencia de adición de los mismos para una turbiedad, un color, un pH, una temperatura, una alcalinidad y una dureza dados. Estas pruebas deben repetirse no menos de 10 veces para distintas condiciones del agua cruda.

Los coagulantes y auxiliares de coagulación que pueden ser empleados en estos ensayos de laboratorio, se encuentran especificados en el literal C.4.4.1 de este Título.

Los análisis de laboratorio deben hacerse de acuerdo con la normatividad vigente y en su ausencia con los métodos estándar (Normas Icontec (véase literal C.2.3), Normas ASTM (véase literal C.2.3); Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water de la APHA, AWWA y WPCF, 1995).

Las pruebas de jarras se pueden usar para la determinación de:

- 1) Dosis óptima de coagulantes, alcalinizantes y desinfectante.
- 2) Evaluaciones cualitativas:
  - a) Tamaño del flóculo producido
  - b) Tiempo inicial de formación del flóculo.
- 3) Evaluaciones cuantitativas:
  - a) Determinaciones físicas: turbiedad y color residuales, así como tiempos y gradientes óptimos de velocidad. Cuando sea pertinente pueden también determinarse: la velocidad de sedimentación de los flóculos formados, y el número de partículas presentes por tamaños.
  - b) Determinaciones químicas: pH y alcalinidad antes y después de la coagulación. Adicionalmente la concentración del aluminio residual, hierro y/o manganeso si procede.

#### C.2.5.1.2 Otros ensayos

Adicionalmente en los ensayos de tratabilidad en pruebas de laboratorio debe determinarse:

1. Dosis de alcalinizante para obtener el pH de saturación o el pH óptimo de coagulación
2. Porcentaje de lodos producidos en la sedimentación
3. Demanda de cloro y determinación del punto de quiebre
4. Isoterma de adsorción sobre carbón activado

#### C.2.5.1.3 Determinación del tipo de coagulación

En este estudio debe asumirse el mecanismo de coagulación con que se requiere trabajar de acuerdo con las características del agua cruda. Entre los posibles mecanismos se encuentran:

1. Adsorción y neutralización de carga. Se basa en la acción de la energía electroquímica sobre los coloides, al existir una acción electrostática entre el coagulante y las partículas en suspensión.
2. Barrido. Se presenta cuando se adicionan cantidades elevadas de sales metálicas como el aluminio o el hierro, que exceden el límite de solubilidad del compuesto en el agua. Esto ocasiona la precipitación rápida del hidróxido metálico, como  $Al_2(OH)_3$  o  $Fe(OH)_3$ , que forma una masa esponjosa. Las partículas coloidales son removidas al quedar atrapadas en el precipitado.
3. Puente químico. Se presenta cuando las cadenas poliméricas del coagulante se entrelazan con las partículas coloidales y se unen entre sí.
4. Una mezcla de los mecanismos anteriores.

#### C.2.5.2 Ensayos de planta piloto

Estos ensayos deben usarse para simular los procesos de una manera más cercana a la realidad. Debe utilizarse la fuente de abastecimiento seleccionada como flujo continuo de entrada a la planta piloto. Puede estar constituida de un floculador con o sin sedimentador y un filtro, y tener un grado de sistematización o no, en función de las necesidades y la importancia de la planta que se quiere diseñar.

*Una estación experimental de filtro puede constar de las siguientes partes:*

- 1. Columnas de filtración prismáticas o cilíndricas, hechas de material traslúcido para poder observar el proceso de filtración y lavado.*
- 2. Sistema de entrada por bombeo o por gravedad. El sistema debe repartir el flujo entre las unidades de acuerdo con el sistema de control que se escoja.*
- 3. Sistema de control a la entrada o a la salida. Si se hace a la salida puede consistir en una válvula de aguja, un flotador que oprima una manguera elástica. Si se hace a la entrada, puede dividirse el flujo por medio de vertederos u orificios entre las distintas unidades de manera que sea constante. En este caso se puede permitir una variación de nivel sobre el lecho del filtro de 1.8 a 2.4 m.*
- 4. Sistema de lavado. El agua utilizada puede bombearse de un tanque o sacarse por gravedad de un depósito a presión. El sistema escogido debe ser capaz de limpiar el medio filtrante adecuadamente al término de cada carrera.*
- 5. Sistemas de medición de turbiedad. La turbiedad debe medirse tanto en el afluente y en el efluente del filtro, así como a diferentes alturas del lecho filtrante.*
- 6. Sistema de medida de presión a diferentes alturas del medio filtrante.*
- 7. El lecho filtrante de la planta piloto debe diseñarse con una escala de 1:1.*
- 8. La relación mínima entre el diámetro de la partícula más grande del lecho filtrante y el diámetro de la columna debe ser de 1:50.*
- 9. En caso de existir una planta de tratamiento constituida, que trabaje con la fuente que se investiga, deben tomarse los datos de turbiedad y presión a un filtro de la planta, como punto de comparación con la planta piloto.*

## CAPÍTULO C.3

### C.3. PRETRATAMIENTO

---

#### C.3.1 ALCANCE

En este literal se establecen los requisitos mínimos de diseño de las distintas unidades de pretratamiento. Se establecen los estudios previos, características mínimas de las unidades y parámetros de diseño de los sistemas de remoción de material flotante, como rejillas, mallas y trampas de grasa y aceite, de los sistemas de remoción del material suspendido, como desarenadores, sedimentadores, presedimentadores, prefiltros y microtamices y de los procesos de oxidación, como Aeración y oxidación química.

Se establecen las condiciones para los cuatro **niveles de complejidad** del sistema. Todas las normas son aplicables a los cuatro niveles del sistema, a no ser que se especifique lo contrario.

#### C.3.2 CLASIFICACIÓN DE LOS PROCESOS

Generalmente es necesario realizar uno o varios pretratamientos al agua cruda con el objetivo de dejarla en condiciones óptimas para el tratamiento subsecuente. Entre los pretratamientos que pueden emplearse están los siguientes:

##### C.3.2.1 Remoción del material flotante.

Debe emplearse cuando se requiere retirar del agua el material sobrenadante, para que posteriormente pueda ser tratada por los procesos convencionales. Para estos procesos preparatorios pueden utilizarse: rejillas, mallas, y trampas de grasa y aceite. Para las especificaciones de diseño de las rejillas y las mallas, debe seguirse lo establecido en el literal B.4.4.5 del Título B.

##### C.3.2.2 Remoción del material suspendido.

Deben usarse cuando exista un exceso de material suspendido en el agua, en especial arcillas y algas que pueden interferir en los subsiguientes procesos de tratamiento. Entre los procesos preliminares que pueden emplearse, se tienen: desarenadores, presedimentadores con o sin aplicación de químicos, prefiltros y microtamices.

##### C.3.2.3 Procesos de oxidación.

Esta oxidación puede ser por Aeración u oxidación química. Para la Aeración pueden emplearse: las bandejas de coque y la Aeración forzada; Esta última a su vez se divide en inyección de aire comprimido y Aeración mecánica.

La Aeración por ventilación forzada, en lo posible no debe implementarse en el **nivel bajo de complejidad** del sistema.

En caso de emplear algún equipo o unidad de pretratamiento distinta de las aquí mencionadas, el diseñador debe pedir autorización a la Comisión Asesora del Código de potabilización y Saneamiento Básico para su implementación, para lo cual debe comprobar la eficiencia de dicho proceso, ya sea por resultados obtenidos a nivel internacional o nacional, por investigaciones o trabajos de laboratorio y/o planta piloto que demuestren su efectividad.

En caso de emplear otro producto químico distinto de los aquí mencionados para la oxidación química, se debe pedir permiso al Ministerio de Salud para su aplicación; además, debe probar su eficiencia, ya

sea por resultados obtenidos a nivel internacional o nacional, por investigaciones o trabajos de laboratorio y/o planta piloto que demuestren su efectividad.

### **C.3.3 ESTUDIOS PREVIOS**

#### **C.3.3.1 Calidad del agua cruda**

De acuerdo a la calidad del agua cruda, puede ser necesario uno o varios de los siguientes procesos:

##### **C.3.3.1.1 Remoción del material flotante**

###### **1. Rejillas y mallas**

Los estudios previos que deben realizarse para este tipo de proceso por medio de rejillas aparecen en el literal B.4.4.5 del Título B.

###### **2. Trampas de grasa y aceite**

Deben emplearse para retener las grasas y aceites que contiene el agua cruda; para tal fin deben determinarse las características químicas de dichas sustancias, tales como densidad, peso específico, etc.

##### **C.3.3.1.2 Remoción del material suspendido**

###### **1. Desarenadores**

Los estudios previos que deben realizarse para este tipo de proceso aparecen en el literal B.4.4.6 del Título B.

###### **2. Presedimentadores**

La presedimentación debe emplearse cuando la turbiedad del agua interfiera con los procesos de tratamiento convencional y la sedimentación simple de partículas remueva al menos el 40% de la turbiedad. Se recomienda el uso de presedimentadores cuando la turbiedad del agua es muy elevada, mayor de 1000 UNT, o cuando presenta un alto contenido de partículas gruesas.

###### **3. Prefiltros**

Este proceso de pretratamiento debe emplearse para reducir los niveles de turbiedad y de sólidos en suspensión a límites aceptables. También reducir los niveles de contaminación bacteriológica, sobre todo cuando ésta es elevada.

El prefiltro debe emplearse en los casos en que el contenido de sólidos suspendidos interfiera con los procesos posteriores de tratamiento.

###### **4. Microtamices**

Se recomienda su uso para retener el material sólido fino no coloidal en suspensión. Pueden emplearse en los siguientes casos:

- a) Cuando el agua presenta algas u otros microorganismos en tal cantidad que sea imprescindible removerlos antes de aplicar un tratamiento.
- b) Cuando permita la potabilización del agua sin necesidad de otro tratamiento distinto de la desinfección.

##### **C.3.3.1.3 Procesos de oxidación**

###### **1. Aeración**

En la Aeración debe ponerse en contacto el agua cruda con el aire, con el propósito de modificar la concentración de sustancias volátiles contenidas en ella. La Aeración se recomienda en los siguientes casos:

- Para transferir oxígeno al agua y aumentar el oxígeno disuelto.

- Disminuir la concentración del dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ).
- Disminuir la concentración del sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ )
- Remover el metano ( $\text{CH}_4$ ).
- Oxidar hierro (Fe) y manganeso (Mn).
- Remover compuestos orgánicos volátiles (COV).

## 2. Oxidación química

La oxidación química debe emplearse cuando los siguientes parámetros excedan los límites permisibles y no puedan ser removidos por el proceso de tratamiento u otros procesos permitidos:

- Color
- Algas
- Nitrógeno amoniacal
- Olor y sabor
- Hierro y manganeso
- Disminuir la formación de trihalometanos (THMs)
- Evitar el crecimiento de algas sobre las paredes de las unidades

Para la oxidación química pueden emplearse los siguientes productos químicos: dióxido de cloro ( $\text{ClO}_2$ ), permanganato de potasio ( $\text{KMnO}_4$ ), ozono ( $\text{O}_3$ ), peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) y cloro en todas sus formas.

Para la aplicación de la oxidación y la selección del oxidante a utilizar, debe realizarse un estudio técnico y económico detallado de las ventajas y desventajas de cada solución.

### C.3.3.2 Estudio de costos

Debe realizarse el estudio de costos de todas las alternativas viables de pretratamiento. En él no solo deben aparecer los costos de construcción, operación y mantenimiento de cada alternativa, sino que además debe incluirse la reducción de costos en el diseño y operación que ocasiona su implementación en las unidades subsecuentes de tratamiento. Además, deben incluirse las ventajas y limitaciones, con el fin de seleccionar la alternativa que ofrezca mejores rendimientos y se ajuste al presupuesto del proyecto.

## C.3.4 DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS

### C.3.4.1 Remoción del material flotante

#### C.3.4.1.1 Rejillas y mallas

Véase el literal B.4.4.5 del Título B.

#### C.3.4.1.2 Trampas de grasa y aceite

La unidad puede contar con uno o dos compartimientos; en éstos últimos, en la primera cámara debe realizarse la separación de la grasa y en la segunda cámara debe realizarse el almacenamiento de la grasa. Debe ubicarse en un sitio de fácil acceso para su limpieza.

La entrada, la salida y los accesorios deflectores son típicamente de diseño T con una extensión vertical de 0.3 m del fondo del tanque y sobresalen sobre el nivel del agua. La distancia entre los dispositivos de entrada y salida debe ser suficiente para permitir retener la grasa y evitar que esta sea arrastrada en el efluente.

### **C.3.4.2 Remoción del material suspendido**

#### **C.3.4.2.1 Desarenadores**

Véase el literal B.4.4.6 del Título B.

#### **C.3.4.2.2 Presedimentadores**

Pueden emplearse sedimentadores de flujo horizontal, vertical o sedimentadores de placas o embalses retenedores de agua cruda siempre y cuando se cuente con un sistema eficiente de remoción de lodos. La extracción de los lodos puede ser continua o intermitente.

En caso de emplearse tanques, éstos pueden ser circulares o rectangulares; el fondo debe tener forma de embudo para facilitar la remoción manual o hidráulica de los lodos o debe contarse con un equipo de remoción mecánica.

#### **C.3.4.2.3 Prefiltros**

##### **1. Filtros gruesos dinámicos**

Se pueden emplear para reducir la cantidad de sólidos en suspensión o para controlar los picos de turbiedad de corta duración. Son tanques que deben tener poca profundidad, con una capa de grava fina (con Te de 3 mm a 6 mm) y una intermedia (con Te de 6 a 13 mm) sobre un lecho de grava más grueso (con Te de 13 mm a 25 mm) y un sistema de drenaje en el fondo.

El conducto de desagüe de esta cámara debe tener diámetro y pendiente suficiente para permitir la evacuación del agua de lavado.

##### **2. Filtros gruesos de flujo horizontal**

La unidad de filtración gruesa horizontal debe tener uno o varios módulos que conformen varios compartimientos separados por una pared perforada. Estos compartimientos pueden construirse en concreto reforzado, concreto ciclópeo o mampostería estructural. Se recomienda disponer de por lo menos tres compartimientos.

##### **3. Filtros gruesos de flujo vertical ascendente**

Estos filtros pueden estar constituidos por una o varias unidades en serie, las cuales deben contener el material grueso granular de diferentes diámetros, con una graduación que debe ir de grueso a fino en la dirección del flujo, que alterna de abajo hacia arriba en una unidad y de arriba hacia abajo en la siguiente. La unidad debe tener un dren amplio para remover rápidamente el volumen de agua en el filtro. Se pueden distinguir dos tipos de filtración; la filtración gruesa ascendente en capas (FGAC) cuando los lechos son instalados en una misma unidad y la filtración gruesa ascendente en serie (FGAS) cuando los lechos de grava son instalados en dos o más unidades, cada una con un tamaño predominante.

En la selección del número de unidades, velocidad de filtración y longitud del lecho filtrante, debe tenerse en cuenta el riesgo sanitario relacionado con el agua cruda, la eficiencia de remoción de la unidad y los requerimientos de calidad de agua efluente.

##### **4. Filtros gruesos de flujo vertical descendente**

Son similares a los filtros de flujo ascendente, solo que en éstos el flujo va de arriba hacia abajo. Este filtro debe estar constituido por lo menos por tres unidades en serie, a fin de obtener una buena eficiencia; cada una debe contener un tamaño de grava específica, desde gruesa en el primer compartimiento hasta fina, en el último. La unidad debe contar con un sistema de drenes que faciliten la rápida remoción del agua.

La selección del tipo adecuado de prefiltro depende de las características del agua cruda por tratar y de los requerimientos técnico-económicos del proyecto.

#### C.3.4.2.4 Microtamices

Los microtamices que pueden emplearse son los de disco, los rotativos de bandejas y los rotativos cilíndricos.

Para el microtamiz de tambor rotatorio, la malla filtrante debe disponerse en el perímetro del tambor. El agua debe entrar por el extremo abierto del tambor y salir a través del tejido filtrante rotatorio. Los sólidos separados deben removerse a contracorriente mediante inyectores de agua a presión. Esta unidad debe girar a baja velocidad.

Los microtamices de disco son mallas generalmente de acero inoxidable. Puede seleccionarse un tamaño de abertura entre 2 y 60 mesh (mallas por pulgada).

### C.3.4.3 Procesos de oxidación

#### C.3.4.3.1 Aeración

##### 1. Bandejas de coque

Debe constar de una serie de bandejas equipadas con ranuras, fondos perforados o mallas, las cuales deben contener un medio grueso de coque. El agua debe distribuirse sobre estas bandejas y caer a un tanque receptor. El coque aumenta la eficiencia del intercambio de gases y la distribución del agua.

La corrosión, la formación de lamas biológicas y el crecimiento de algas son factores que deben considerarse en la selección del material de construcción. Acero inoxidable, aluminio, concreto o maderas resistentes son los materiales más usados por su durabilidad.

Debe asegurarse una buena distribución del agua sobre el área total de la bandeja para obtener una buena eficiencia.

##### 2. Ventilación forzada

###### a) Inyección de aire comprimido

En el interior del tanque debe ubicarse tubería perforada o difusores colocados cerca del fondo. El aire comprimido, debe inyectarse a través del sistema a fin de producir burbujas.

###### b) Aeración mecánica

El tanque debe estar provisto de un eje vertical con paletas o hélices capaces de producir una alta turbulencia. La implementación de este tipo de aireador requiere de energía para accionar el motor. Se recomienda el empleo de placas deflectoras para impedir la formación de remolinos y zonas muertas en el tanque.

#### C.3.4.3.2 Oxidación química

Pueden emplearse esencialmente el cloro (gaseoso-Cl<sub>2</sub>, hipoclorito de sodio-NaClO e hipoclorito de calcio-Ca(ClO)<sub>2</sub>), el dióxido de cloro (ClO<sub>2</sub>), el ozono (O<sub>3</sub>), el permanganato de potasio (KMnO<sub>4</sub>).

En caso de ser posible pueden emplearse las mismas unidades de dosificación del desinfectante, debe controlarse la dosis administrada con el fin de prevenir la formación indeseable de subproductos.

## C.3.5 PARÁMETROS DE DISEÑO

### C.3.5.1 Remoción del material flotante

#### C.3.5.1.1 Rejillas y mallas

Para especificaciones de diseño de estas unidades, véase el literal B.4.4.5 del Título B.

#### C.3.5.1.2 Trampas de grasa y aceite

El dimensionamiento del tanque debe realizarse con base en el caudal de diseño.

##### 1. Tiempo de detención

Para el diseño de las trampas de grasa y aceite, el tiempo de retención en la unidad está en función del caudal de entrada.

##### 2. Ancho y longitud de la unidad

El tanque de retención de grasas y aceites debe mantener una relación de 1:1.8 entre el ancho y la longitud, aproximadamente.

##### 3. Control de olores

Para prevenir o reducir el olor que se genera en esta unidad, debe emplearse una cubierta del separador de aceites o grasas.

### C.3.5.2 Remoción del material suspendido

#### C.3.5.2.1 Desarenadores

Para especificaciones de diseño de éstas unidades, véase el literal B.4.4.6 del Título B.

#### C.3.5.2.2 Presedimentadores

Deben realizarse ensayos de laboratorio para el **nivel alto de complejidad** del sistema, con el fin de determinar si la remoción de sólidos obtenida justifica la inversión, obteniendo además los parámetros de diseño. Para los demás niveles es opcional.

*En caso de no realizar pruebas experimentales, las unidades deben diseñarse teniendo en cuenta una carga superficial y un tiempo de detención estimados, con base en la información disponible tomada en el sitio.*

#### C.3.5.2.3 Prefiltros

Las unidades pueden diseñarse con los siguientes parámetros:

##### 1. Velocidad de filtración

Para garantizar la correcta remoción de sólidos en los prefiltros, estas unidades deben trabajar en los rangos establecidos en la tabla C.3.1.

TABLA C.3.1.  
**Velocidad de filtración para cada tipo de filtro**

Tipo de prefiltro	Velocidad de filtración
Filtros gruesos dinámicos	2 - 3 m/h
Filtros gruesos de flujo horizontal	0.3 - 1.5 m/h
Filtros gruesos de flujo vertical ascendente	0.3 - 0.7 m/h.
Filtros gruesos de flujo vertical descendente	0.3 - 0.7 m/h

2. Velocidad de lavado

Para garantizar el máximo de remoción de los sólidos en el medio filtrante durante el lavado, los filtros gruesos dinámicos deben diseñarse de forma que la velocidad de lavado en esta unidad esté entre 0.15 m/s y 0.3 m/s.

3. Altura del agua sobrenadante

Para garantizar que el nivel del agua sobre el lecho filtrante sea adecuado para facilitar la filtración, los filtros gruesos de flujo ascendente deben diseñarse de forma que la altura del agua sobrenadante sea aproximadamente 0.2 m.

4. Composición del medio filtrante

a) Los filtros gruesos dinámicos deben estar constituidos por un lecho con tres capas de grava, cuyos tamaños deben variar entre 3 mm y 25 mm en la dirección del flujo. La capa fina debe ubicarse en la superficie, en contacto directo con el agua cruda. Las otras capas pueden ser consideradas más como lecho de soporte que como medio filtrante, debido a su mayor tamaño.

b) En los filtros gruesos horizontales el lecho debe estar constituido por grava con tamaño comprendido entre 25 mm y 19 mm para la primera unidad, 19 mm y 13 mm en la segunda y entre 13 mm y 4 mm en la última, en una unidad de tres compartimientos.

c) En los filtros gruesos de flujo ascendente, el lecho filtrante debe estar constituido por 5 capas de grava, las cuales pueden estar distribuidas en 1, 2 o 3 compartimientos. Sus tamaños deben variar entre 25 mm y 4 mm en la dirección del flujo. Los primeros 0.2 m a 0.4 m de grava en contacto con el sistema de drenaje constituyen el lecho de soporte, cuyo diámetro debe variar según el tamaño de la capa de grava presente en cada unidad y con el diámetro de los orificios del múltiple.

d) Los filtros gruesos de flujo descendente. En el primer compartimiento el tamaño debe variar entre 25 mm y 19 mm, en el segundo 13 mm a 19 mm y en el tercero 4 mm a 13 mm.

Las características de la arena, la antracita, la grava entre otros materiales que se emplean como lechos filtrantes están definidas en la Norma Técnica Colombiana NTC 2572.

5. Espesor del medio filtrante

En la tabla C.3.2 se presenta el espesor recomendado para cada uno de los prefiltros según el medio filtrante.

TABLA C.3.2.  
**Profundidad o longitud del medio filtrante**

Tipo de prefiltro	Espesor del medio filtrante
Filtros gruesos dinámicos	0.4 - 0.6 m
Filtros gruesos de flujo horizontal (longitud)	0.8 - 0.16 m
Filtros gruesos de flujo vertical ascendente	0.85 - 1.25 m

C.3.5.2.4 Microtamices

Los parámetros de dimensionamiento de la unidad deben ser establecidos a partir de los resultados de los ensayos de laboratorio obtenidos de acuerdo con la calidad del agua cruda por tratar.

En el diseño de la unidad de microtamizado, deben incluirse los siguientes aspectos:

1. Caracterización de los sólidos suspendidos en cuanto a concentración y tamaño.
2. Elección de los valores de los parámetros de diseño que no sólo aseguren la capacidad de tratamiento, sino que también procuren el rendimiento deseado para el intervalo de cargas hidráulicas y de sólidos esperados.
3. Provisión de los dispositivos de lavado a contracorriente y de limpieza necesarios para mantener la capacidad del tamiz.

### C.3.5.3 Procesos de oxidación

#### C.3.5.3.1 Aeración

La aplicabilidad de los diferentes tipos de aireadores y su dosificación deben ser determinadas preferiblemente a través de ensayos.

En los aireadores debe controlarse el tiempo de Aeración y la eficiencia de remoción. Esta última está dada por la relación entre la concentración de la variable química por remover entre el efluente y el afluente, expresada en porcentaje.

##### 1. Bandejas de coque

###### a) Diseño de la unidad

Los aireadores de bandejas de coque deben diseñarse teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- Cargas superficiales menores de  $100 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{día})$ .
- Área de 0.5 a  $2 \text{ m}^2$  por cada  $1000 \text{ m}^3$  de capacidad.
- De 3 a 5 bandejas.
- El espaciamiento entre bandejas de 0.3 m a 0.75 m.
- Profundidad del agua en la bandeja de aproximadamente 0.15 m.

###### b) Lecho de coque

Para el lecho de coque, el espesor debe ser de 0.15 m a 0.3 m y el tamaño de partícula de coque de 0.05 m a 0.15 m.

##### 2. Ventilación forzada

###### a) Inyección de aire comprimido

Se recomienda realizar pruebas de laboratorio para determinar los parámetros de diseño. En caso de no ser posible, las unidades deben diseñarse teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- El tiempo de retención debe ser mayor de 5 minutos.
- La profundidad del tanque debe estar entre 2.5 m y 4 m.
- La relación entre la longitud y el ancho debe ser mayor de 2.
- El aireador debe garantizar una entrada de 1.5 litros de aire por litro de agua.

###### b) Aeración mecánica

Esta unidad debe diseñarse de forma que garantice la cantidad de oxígeno necesario para completar la oxidación.

#### C.3.5.3.2 Oxidación química

En caso de decidir implementarlo, se recomienda tener en cuenta las siguientes condiciones, en función del oxidante que se escoja:

## 1. Cloración

La dosis de cloro ( $\text{Cl}_2$  o hipocloritos) que debe emplearse corresponde a los valores por debajo del máximo de la curva de demanda en cloro (punto A). (Véase el literal C.8.5.1.2). Esta dosis reduce la formación de trihalometanos (THMs). En caso de emplear una dosis distinta, debe solicitarse permiso y debe comprobarse la eficiencia del proceso.

Los parámetros que deben ser controlados en el proceso son:

- La dosis de cloro residual obtenida después de la precloración.
- Cloro residual.
- Concentración de trihalometanos después de la desinfección final, en caso de que exista precursores y se halla demostrado un exceso de trihalometanos.
- Efecto sobre los polielectrolitos, en caso de emplear algún oxidante que afecte la formación de los flóculos.
- Eficiencia de remoción de la turbiedad, medida después de la sedimentación.

En caso de emplear cloro líquido o hipocloritos como oxidantes químicos, éstos deben cumplir con las Normas Técnicas ANSI/AWWA B301-92 y ANSI/AWWA B300-92 respectivamente.

## 2. Oxidación por el dióxido de cloro ( $\text{ClO}_2$ )

La eficiencia de remoción del color y sabor es superior a la del cloro (no reacciona con los fenoles presentes). Se recomienda el uso del dióxido de cloro ( $\text{ClO}_2$ ) para remover hierro y manganeso del agua cruda. Con este oxidante no hay formación de trihalometanos. No debe emplearse en aguas con nitrógeno amoniacal debido a que el dióxido de cloro ( $\text{ClO}_2$ ) no reacciona con éste y, por tanto, no permite su eliminación.

Pueden formarse subproductos como los cloritos ( $\text{ClO}_2^-$ ) y los cloratos ( $\text{ClO}_3^-$ ) (en pequeñas cantidades), que pueden ser tóxicos. La concentración máxima total debe ser de 1 mg/L para  $\text{ClO}_2$ ,  $\text{ClO}_2^-$ ,  $\text{ClO}_3^-$  en el agua tratada. Se recomienda para la remoción de algas presentes en el agua cruda, que pueden interferir en los procesos subsecuentes.

Es conveniente la realización de un estudio de laboratorio para completar las condiciones del proceso.

## 3. Ozonización

Se recomienda su empleo cuando las aguas contienen altas concentraciones de materia orgánica o color. La preozonización presenta las siguientes ventajas:

- a) El ozono es un oxidante potente.
- b) Disminuye la formación de subproductos clorados (THMs).
- c) Facilita la coagulación - floculación - decantación (fenómeno de polimerización de la materia orgánica y coloides presentes).

La dosis está comprendida entre 0.3 mg  $\text{O}_3$  y 0.5 mg  $\text{O}_3$  por mg de carbón orgánico total (COT). Debe tenerse en cuenta que el uso del ozono, puede generar subproductos (bromatos) cuya peligrosidad se desconoce.

## 4. Oxidación por $\text{KMnO}_4$

Puede usarse en el pretratamiento de aguas ricas en hierro y manganeso. El  $\text{KMnO}_4$  es más eficiente que otros oxidantes en la remoción de estos metales, pero es mucho más costoso. Debe controlarse la dosis, ya que su sobredosisificación puede generar la presencia de color.

Ninguno de los procesos de oxidación anteriormente mencionados puede utilizarse antes de haber realizado los correspondientes estudios de laboratorio y/o planta piloto, complementado con un cuidadoso estudio económico de costo beneficio (véase el capítulo A.7), así como la identificación de problemas operativos.

En caso de emplear permanganato de potasio como oxidante químico, éste debe cumplir con lo exigido por la Norma Técnica Colombiana NTC 2753.

### **C.3.6 CONTROL DE LOS PROCESOS Y OPERACIÓN**

#### C.3.6.1.1 Remoción del material flotante

##### 1. Rejillas y mallas

Para las condiciones de operación de estas unidades debe tenerse en cuenta lo establecido en el literal B.4.6.4 del Título B.

##### 2. Trampas de grasas y aceites

Deben ser operadas adecuadamente y limpiadas regularmente para prevenir escapes de grasa y la generación de malos olores. La frecuencia de la limpieza debe determinarse con base en la experiencia y en la observación.

#### C.3.6.1.2 Remoción del material suspendido

##### 1. Desarenadores

Para las condiciones de operación de estas unidades véase el literal B.4.4.6 del Título B.

##### 2. Presedimentador

Es necesario establecer un punto de observación para medir el nivel de lodos; se recomienda el punto más profundo de la zona de depósito. Cuando el depósito de sedimento alcance el nivel máximo, se debe proceder a la limpieza manual o hidráulica según el caso.

##### 3. Microtamices

Los aspectos de operación y mantenimiento de los microtamices se establecen en el literal E.4.4.2.5 del Título E.

#### C.3.6.1.3 Procesos de oxidación

##### 1. Aeración

En los aireadores debe verificarse que la caída del agua se efectúa uniformemente en toda la longitud del borde de las bandejas con el fin de optimizar el proceso. Es indispensable inspeccionar periódicamente la variable química por remover, tanto en el afluente como en el efluente, para determinar la eficiencia del proceso.

##### 2. Oxidación química

Durante la operación debe controlarse los siguientes aspectos:

- a) Debe constatar que se esté realizando la remoción del compuesto de interés.
- b) Debe vigilarse la calidad del agua afluente, en caso de variación debe ajustarse la dosis óptima para obtener los resultados deseados.
- c) Debe controlarse la concentración residual obtenida con el oxidante empleado.
- d) En caso de emplear cloro y si hay antecedentes de trihalometanos (THMs), debe vigilarse la concentración de éste.

## CAPÍTULO C.4

### C.4. COAGULACIÓN - MEZCLA RÁPIDA

---

#### C.4.1 ALCANCE

En este literal se establecen los requisitos mínimos de diseño de las unidades de coagulación-mezcla rápida. Se establecen los tipos de coagulantes y auxiliares de coagulación, con su dosis óptima; así como los estudios previos, características mínimas de las unidades y parámetros de diseño de los sistemas de mezcla rápida, como son: el resalto hidráulico, los difusores, los vertederos y los mezcladores mecánicos.

Todas las normas son aplicables a los cuatro **niveles de complejidad** del sistema, a no ser que se especifique lo contrario.

#### C.4.2 CLASIFICACIÓN DE LOS PROCESOS

Los procesos que deben llevarse a cabo en esta etapa del tratamiento del agua potable son la dosificación y la mezcla rápida.

Una vez adicionados los coagulantes y auxiliares de la coagulación deben dispersarse rápida y homogéneamente en el cuerpo de agua, para lo cual deben emplearse las unidades de mezcla rápida. Estos equipos pueden ser hidráulicos o mecánicos. Entre las unidades hidráulicas de mezcla rápida que pueden usarse se encuentran el resalto hidráulico, los vertederos, los mezcladores estáticos y los difusores; entre las unidades mecánicas de mezcla rápida que pueden emplearse se encuentran los mezcladores mecánicos.

Para los **niveles bajo y medio de complejidad**, en lo posible, no se recomienda el empleo de mezcladores mecánicos sino hidráulicos.

En caso de emplear algún equipo de mezcla rápida distinto de los mencionados en este título, debe pedirse autorización a la Junta Técnica Asesora del Reglamento para su implementación y demostrar la eficiencia y efectividad de dicho proceso, ya sea por resultados obtenidos a nivel internacional o nacional, por investigaciones, trabajos de laboratorio y/o planta piloto.

#### C.4.3 ESTUDIOS PREVIOS

##### C.4.3.1 Calidad del agua cruda

Debe realizarse la prueba de jarras para determinar el coagulante o los coagulantes y auxiliares de coagulación, así como la dosis y las condiciones óptimas de operación necesarias para obtener una calidad de agua tratada que se encuentre dentro de los estándares exigidos en el Decreto 475 de marzo 10 de 1998 del Ministerio de Salud o en su defecto, el que lo reemplace. Para la realización de este ensayo referirse a la Norma Técnica Colombiana NTC 3903 y los literales C.2.5.1.1 y C.2.5.1.2 de este Título.

##### C.4.3.2 Estudio de costos

###### C.4.3.2.1 Mezcla rápida

En el estudio de costo que debe realizarse, debe incluirse el costo de construcción, operación y mantenimiento de cada una de las posibles unidades proyectadas para la realización de la mezcla rápida.

#### C.4.3.2.2 Dosificación

Debe realizarse un estudio de costo para la selección del coagulante o los coagulantes y auxiliares de la coagulación; este estudio debe tener en cuenta los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio (prueba de jarras).

### C.4.4 DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS

#### C.4.4.1 Dosificación

##### C.4.4.1.1 Coagulantes

Los coagulantes que pueden emplearse son los coagulantes metálicos y los polímeros orgánicos e inorgánicos.

1. Coagulantes metálicos. Pueden ser de tres tipos: sales de aluminio, sales de hierro y compuestos varios, como el carbonato de magnesio. Los coagulantes con sales de aluminio son el sulfato de aluminio, sulfato de aluminio amoniacal y aluminato de sodio. Los coagulantes con sales de hierro son el cloruro férrico, el sulfato férrico y el sulfato ferroso. Para la dosificación en la coagulación por adsorción-neutralización debe tenerse en cuenta la relación estequiométrica entre la dosis del coagulante y la concentración de los coloides, ya que una sobredosis conduce a una reestabilización de las partículas. Para aguas con bajo nivel de alcalinidad, se recomienda aumentar el pH añadiendo hidróxido de calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ).
2. Los polímeros inorgánicos. Se pueden emplear los polímeros de hierro (III) y aluminio como coagulantes. Se recomienda el uso de policloruro de aluminio para el tratamiento de aguas blandas y turbias. Entre los polímeros orgánicos o polielectrolitos que se pueden emplear están los derivados del almidón y la celulosa, materiales proteicos. Para la aplicación de los coagulantes sintéticos debe solicitarse la aprobación del Ministerio de Salud o constatarse que haya sido aprobado su uso en el tratamiento del agua potable por la Comunidad Europea, por Estados Unidos o por Canadá. En la operación, la velocidad de agitación debe ser menor, ya que altas velocidades pueden llegar a romper las largas cadenas poliméricas; por tanto, debe mantenerse una mezcla uniforme y se debe evitar la ruptura de los puentes formados entre polímeros y coloides. Para su empleo se recomienda la realización de ensayos de jarras en rangos amplios de dosificaciones, para determinar la dosificación óptima.

En caso de emplearse los polielectrolitos debe tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. Es necesario conocer las características físicas y químicas del polímero: si es catiónico, aniónico o no iónico. Los polielectrolitos catiónicos coagulan rápidamente las algas.
2. Los polielectrolitos no son igualmente efectivos con todas las aguas.
3. La sobredosis de polielectrolitos produce reestabilización.
4. Deben añadirse en solución diluida para asegurar una completa mezcla.
5. Debe conocerse la máxima concentración en que se puede aplicar, lo mismo que los volúmenes que se pueden manejar y las condiciones óptimas de preparación de las soluciones diluidas.

##### C.4.4.1.2 Productos auxiliares

Debe adicionarse un auxiliar de la coagulación, de la floculación o de la filtración, si en los ensayos de laboratorio se ha determinado que es conveniente. En su selección, debe escogerse aquel que no vaya a tener efectos adversos sobre la calidad del agua tratada.

Deben emplearse sustancias auxiliares de la coagulación para lograr el pH óptimo de coagulación.

#### C.4.4.1.3 Selección del coagulante y productos auxiliares

En la selección del coagulante, debe tenerse en cuenta su facilidad de adquisición, almacenamiento, manejo, seguridad y dosificación. No deben usarse aquellos productos fácilmente deteriorables o que requieran condiciones muy específicas para su manejo y conservación.

Dentro de la amplia gama de coagulantes, debe escogerse aquel que no vaya a tener efectos nocivos sobre la calidad física, química o biológica del agua tratada y que represente un efecto favorable sobre el tamaño del floculo y sobre la velocidad de asentamiento.

Deben realizarse ensayos de laboratorio para determinar cuál es el coagulante o cuáles son los coagulantes más apropiados para el tratamiento.

#### C.4.4.1.4 Unidades de dosificación

De acuerdo con las características de los productos químicos, pueden emplearse dosificadores en seco y en solución.

##### 1. Dosificadores en seco

Deben emplearse para la aplicación de sustancias químicas en polvo, los dosificadores pueden ser volumétricos o gravimétricos.

###### a) Volumétricos

En este tipo de dosificadores la dosis requerida debe determinarse midiendo el volumen de material que libera una superficie que se desplaza a velocidad constante. Los dosificadores más utilizados son la válvula alveolar, el disco giratorio, el cilindro giratorio, el plato oscilante y de tornillo.

El disco giratorio se recomienda para dosificar sulfato de aluminio, cal, carbonato de sodio o de calcio.

Debe proveerse de agua de buena calidad para la preparación de la solución, lo mismo que una adecuada mezcla.

###### b) Gravimétricos

La cantidad de producto químico dosificado debe medirse pesando el material, o con base en una pérdida de peso constante del material depositado en la tolva. Los dosificadores más empleados son la de correa transportadora y la de pérdida de peso.

Para el empleo de dosificadores en seco deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- 1) Los productos químicos dosificados en seco deben ser disueltos en agua antes de su aplicación.
- 2) Deben preverse tolvas de acumulación con dosificadores cuya capacidad sea de 8 a 12 horas de consumo.

##### 2. Dosificadores en solución

Deben usarse para dosificar por vía húmeda o para dosificar líquidos. Pueden ser de dos tipos: por bombeo y por gravedad.

###### a) Sistemas por bombeo

Se pueden emplear las bombas de pistón y de diafragma. La bomba dosificadora de pistón es muy precisa, pero debe emplearse con precaución en el caso de productos abrasivos o muy corrosivos. La bomba dosificadora de diafragma es accionada hidráulicamente, debe utilizarse para líquidos corrosivos, tóxicos, abrasivos, viscosos; puede estar provista de membrana simple o doble.

## b) Sistemas por gravedad

Pueden emplearse los de carga constante y los de carga regulable. En los de carga constante debe mantenerse una carga constante de agua sobre un orificio para obtener un caudal de dosificación constante. El caudal debe calibrarse a la salida mediante una válvula.

Este sistema debe contar de un tanque de solución, un tanque dosificador y un dispositivo de medida. Para el **nivel bajo de complejidad** del sistema, puede emplearse un único tanque para la preparación de la solución y la dosificación.

Para la preparación de soluciones o suspensiones en tanques, debe contarse con dos unidades con capacidad para funcionar al menos durante 8 a 12 horas, con la dosis media.

Los saturadores de cal pueden emplearse para producir una solución saturada de hidróxido de calcio,  $\text{Ca(OH)}_2$ , este equipo consta de un tanque donde se deposita la cal que debe ser disuelta. El agua debe introducirse en la cal por el fondo del tanque, y la solución saturada debe colectarse en la superficie libre mediante canaletas, o en la proximidad a la superficie.

## 3. Selección del dosificador

En la selección del tipo de dosificador se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- a) La precisión requerida, la confiabilidad para aplicar siempre la dosis predeterminada, el tipo de producto por dosificar y el rango de caudal de trabajo.
- b) Factores técnicos y económicos.
- c) Los dosificadores deben tener una capacidad para dosificar por lo menos, la dosis que cubra las condiciones más desfavorables del agua por tratar.
- d) Deben conseguirse en el mercado las piezas de repuestos para el tipo de dosificador seleccionado.
- e) Para los **niveles bajo y medio de complejidad** deben preferirse los dosificadores con control manual; para los **niveles medio alto y alto de complejidad** el control puede ser automático, pero debe estar diseñado para permitir su manejo manual en caso de daño o emergencia y tener por lo menos dos unidades de dosificación.

**C.4.4.2 Mezcla rápida**

Todo sistema de coagulación debe contar con una mezcla rápida capaz de dispersar los coagulantes en el tiempo requerido por el proceso. Si la coagulación es por desestabilización-adsorción, el tiempo debe ser menor de 1 segundo; si es por barrido, el tiempo debe estar entre 1 y 10 segundos.

Las unidades de mezcla rápida deben ubicarse preferiblemente cerca del cuarto de dosificación.

## C.4.4.2.1 Mezcladores hidráulicos

## 1. Resalto hidráulico

Los mezcladores hidráulicos pueden emplearse cuando se dispone de suficiente cabeza o energía en el flujo de entrada. El resalto debe producirse en la garganta, por lo que el dispositivo debe diseñarse para garantizar esta condición. Tienen la ventaja de no requerir equipo mecánico.

Puede emplearse la canaleta Parshall como dispositivo para la generación del salto hidráulico siempre y cuando no trabaje ahogado. También pueden usarse vertederos de cresta ancha con dientes productores de resalto

## 2. Difusores

El difusor puede ser un tubo perforado o una canaleta de distribución. Debe diseñarse teniendo en cuenta que a mayor número de puntos de aplicación se obtiene una mayor dispersión del coagulante y se logra una mayor eficiencia.

Para la utilización de los difusores, como dispositivo de mezcla, deben satisfacerse las siguientes condiciones:

- La aplicación de la solución debe ser uniforme en toda la sección transversal.
- El sistema difusor debe permitir la limpieza periódica.

### 3. Vertederos

Esta unidad puede emplearse también para medir el caudal de entrada a la planta. La dosificación del coagulante debe realizarse a través de la longitud del vertedero. Los vertederos sólo deben utilizarse para los **niveles bajo y medio de complejidad**.

### 4. Mezcladores estáticos de inserción

El mezclador estático debe insertarse dentro del tubo. El material con que se diseñe debe ser resistente a la corrosión; se recomienda emplear acero inoxidable o cerámica. Produce mezclas instantáneas muy útiles en los casos de coagulación por adsorción-neutralización de cargas.

#### C.4.4.2.2 Mezcladores mecánicos

Los tanques pueden diseñarse con sección circular o cuadrada. El mezclador mecánico empleado puede ser del tipo hélices, paletas, turbinas u otros elementos similares acoplados a un eje de rotación impulsado por una fuerza motriz. Los ejes deben girar a un número elevado de revoluciones para agitar el agua en forma violenta y facilitar el mezclado rápido y uniforme con el coagulante.

La entrada del agua debe ser por la parte inferior del tanque y la salida por la parte superior para que la mezcla sea completa. Debe diseñarse una pantalla, a la entrada del mezclador, para facilitar el ingreso del flujo por la parte inferior. El mezclador debe tener desagües para la limpieza.

Para el correcto funcionamiento de los mezcladores mecánicos debe tenerse en cuenta que la potencia suministrada está en función del gradiente de velocidad medio requerido.

## C.4.5 PARÁMETROS DE DISEÑO

### C.4.5.1 Dosificación

#### C.4.5.1.1 Coagulantes

##### 1. Concentración y dosificación

Para todos los **niveles de complejidad del sistema** debe determinarse la dosis óptima en el laboratorio mediante la prueba de jarras de acuerdo a la Norma Técnica Colombiana 3903.

Los coagulantes que pueden emplearse en el tratamiento son los siguientes:

- Sulfato de aluminio, de acuerdo a la norma NTC 531 (Rev. 5) o AWWA B403
- Cloruro férrico líquido, de acuerdo a la norma NTC 3976
- Sulfato férrico, de acuerdo a la norma AWWA B406
- Sulfato ferroso, de acuerdo a la norma AWWA B402
- Aluminato de aluminio
- Hidroxicloruro de aluminio, de acuerdo a la norma AWWA B408

Para los polímeros orgánicos e inorgánicos debe obtenerse la dosis óptima y las condiciones óptimas de operación a partir de ensayos en el laboratorio. Los polímeros pueden usarse como coagulantes, como ayudantes de la floculación o como ayudantes de la coagulación, solos o acompañados de coagulantes metálicos o como ayudantes de la filtración. Se pueden emplear para mejorar la separación de las partículas o para bajar los costos del proceso.

En caso de emplear el polímero poliaminas EPI-DMA para el tratamiento del agua, éste debe cumplir con lo exigido por la Norma Técnica Colombiana NTC 3699. Para el uso del cloruro de polialuminio, policloruro de dialildimetilamonio y la poliacrilamida éstas deben cumplir con lo exigido en las Normas Técnicas ANSI/AWWA B408-93, ANSI/AWWA B451-92 y la ANSI/AWWA B453-96 respectivamente.

En caso de emplear productos químicos distintos de los aquí mencionados, debe pedirse permiso al Ministerio de Salud para su aplicación.

## 2. Tipo de dosificador

La tabla C.4.1 muestra la clase de dosificador y el material con el que se recomienda diseñar, de acuerdo con el tipo de coagulante.

En caso de emplear otro material distinto de los mencionados en la tabla, éste debe ser resistente a la corrosión generada por la solución química.

### C.4.5.1.2 Productos auxiliares

#### 1. Concentración y dosificación

La concentración y la dosificación de los productos auxiliares debe determinarse en el laboratorio. Los productos auxiliares que pueden emplearse en el tratamiento son los siguientes:

- Cal viva, de acuerdo a la norma NTC 1398 (Rev. 3)
- Cal hidratada, de acuerdo a la norma NTC 1398 (Rev. 3)
- Cal-agua solución  $\text{Ca}(\text{OH})_2$
- Cal-lechada suspensión  $\text{Ca}(\text{OH})_2$
- Carbonato de sodio
- Silicato de sodio
- Sílica activada

TABLA C.4.1  
Tipo de dosificador y material a emplear con los coagulantes

Coagulante	Tipo de Dosificador	Material	
		Tuberías	Tanques de disolución (protegidos contra la corrosión)
Sulfato de aluminio	Dosificadores en seco o en solución con tanques	Caucho, plástico PVC.	Concreto revestido con pintura bituminosa o epóxica
Cloruro férrico en solución	Dosificador en solución con tanque	Caucho, plástico	Plástico
Cloruro férrico en cristales	Dosificador en solución con tanque	Caucho, plástico PVC	Acero inoxidable, concreto con revestimiento cerámico o plástico
Cloruro férrico anhídrido	Dosificador en solución con tanque	Plástico PVC	
Sulfato férrico	Dosificador en seco o en solución con tanque y agitador	Caucho, plástico PVC	Concreto revestido, acero inoxidable
Sulfato ferroso	Dosificador en seco o en solución con tanque y agitador	Caucho, plástico PVC	Acero inoxidable, concreto revestido
Aluminato de aluminio	Dosificador en seco o en solución con tanque y agitador	Caucho, hierro fundido, plástico	Hierro, concreto, acero inoxidable

El silicato de sodio y la sílica activada deben manejarse bajo condiciones especiales.

En caso de seleccionar cal viva, cal hidratada o silicato de sodio como auxiliares de la coagulación, éstos deben cumplir con lo exigido por las Normas Técnicas ANSI/AWWA B202-93 y la ANSI/AWWA B404-92.

En caso de emplear productos químicos distintos de los aquí mencionados, debe pedirse permiso al Ministerio de Salud para su aplicación.

## 2. Tipo de dosificador

La tabla C.4.2 muestra la clase de dosificador y el material con el que se recomienda diseñar, de acuerdo con el tipo de auxiliar de la coagulación.

En caso de emplear otro material distinto de los aquí mencionados, este debe ser resistente a la corrosión generada por la solución química.

TABLA C.4.2  
**Tipo de dosificador y material por emplear con los auxiliares de la coagulación**

Producto	Dosificador	Materiales	
		Tuberías	Tanques
Cal viva	Apagador, dosificador en seco o en solución	Hierro fundido, acero galvanizado plástico	Concreto, Acero, Madera
Cal hidratada	Dosificador en seco o en solución		
Cal-agua solución $\text{Ca}(\text{OH})_2$	Saturador		
Cal-lechada suspensión $\text{Ca}(\text{OH})_2$	Dosificador de solución, agitador	Acero galvanizado, plásticos	Concreto revestido, Acero, caucho, madera
Carbonato de sodio	Dosificador en seco o en solución	Caucho, acero	
Silicato de sodio	Dosificador de solución	Plástico	
Sílica activada			

### C.4.5.2 Mezcla rápida

Para el mezclado del coagulante y auxiliares de la coagulación pueden emplearse los siguientes dispositivos:

#### C.4.5.2.1 Mezcladores hidráulicos como la canaleta Parshall

##### 1. Resalto hidráulico

###### a) Parámetros de diseño

Deben tenerse en cuenta los siguientes parámetros de diseño:

- La velocidad mínima en la garganta debe ser mayor de 2 m/s.
- La velocidad mínima del efluente debe ser aproximadamente 0.75 m/s.
- El resalto no debe ser oscilante; es decir que el número de Froude (Fr) no debe estar entre 2.5 y 4.5.
- El número de Froude debe estar entre 1.7 y 2.5 o entre 4.5 y 9.0.
- $H_a/w$  debe estar entre 0.4 y 0.8. Donde  $H_a$  es la altura del agua y  $w$  es el ancho de la canaleta.
- Debe disponerse de un dispositivo aguas abajo con el fin de controlar la posición del resalto hidráulico.

###### b) Punto de aplicación del coagulante

La aplicación de la solución de coagulante debe realizarse en el punto de mayor turbulencia.

## 2. Difusores de tubo perforado:

Deben diseñarse teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- Espacio entre orificios menor que o igual a 0.1 m.
- Diámetro del orificio menor que o igual a 3 mm.
- Velocidad del agua a través del orificio, aproximadamente 3 m/s, en sentido perpendicular al flujo.

## 3. Vertederos

Debe implementarse en el diseño el empleo de sectores dentado o perfiles Criquer en la base del vertedero para fijar el resalto en un solo punto.

## 5. Mezcladores estáticos de inserción

El gradiente de velocidad obtenido en esta unidad debe ser suficiente para lograr mezcla uniforme.

## 6. Mezcladores mecánicos

### a) Parámetros de diseño

Deben tenerse en cuenta los siguientes criterios de diseño:

- Tiempo de detención ( $t_d$ ) menor de 60 s.
- Gradiente medio de velocidad ( $\bar{G}$ ) entre  $500 \text{ s}^{-1}$  y  $2000 \text{ s}^{-1}$ .
- La planta debe contar por lo menos con dos unidades.

### b) Punto de aplicación

Los productos químicos que se adicionan deben ser introducidos en la parte inferior de la turbina o de la hélice del agitador.

### c) Pantallas

Se recomienda la ubicación de pantallas transversales a la dirección de flujo para prevenir la formación de vórtices

## C.4.6 CONTROL DE LOS PROCESOS Y OPERACIÓN

Para garantizar la eficiencia del proceso de coagulación, debe vigilarse la correcta operación de los procesos de dosificación y mezcla rápida.

En la operación de dosificación debe controlarse la aplicación del coagulante, cuidando que esta sea constante y que se disperse de manera uniforme en toda la masa del agua, en la cual debe existir una fuerte turbulencia para que la mezcla del coagulante se realice en la forma más adecuada.

Para garantizar que la coagulación - floculación esté realizándose correctamente, deben verificarse los siguientes parámetros:

- La eficiencia de remoción de la turbiedad en el agua decantada o filtrada, si se trata de un tratamiento por filtración directa.
- La eficiencia de remoción del color en el agua decantada o filtrada, o del carbón orgánico disuelto (COD).
- La concentración residual de Al (+++) o Fe (+++) del agua filtrada o efluente de la planta, la cual debe cumplir con el Decreto 475 de marzo 10 de 1998 de los Ministerios de Salud y de Desarrollo Económico o, en su defecto, el que lo reemplace.

De la eficiencia de este proceso dependen los rendimientos de todos los tratamientos posteriores al agua, como la sedimentación, la filtración y la desinfección.

#### C.4.6.1 Dosificadores

Debe determinarse la dosis óptima de coagulante necesaria para el agua cruda que se esté tratando. Esta dosis óptima debe ofrecer la formación de un flóculo estable.

Se deben tener en cuenta los siguientes aspectos en la operación de los dosificadores operación:

1. Fijar la cantidad de sustancia química a dosificar.
2. Obtener la concentración óptima para la dosis a aplicar.
3. Observar que se esté efectuando la dosificación.
4. Dar la velocidad requerida al agitador.

#### C.4.6.2 Mezcladores hidráulicos

Las siguientes condiciones deben tenerse en cuenta para la operación de los mezcladores hidráulicos como la canaleta Parshall.

1. Debe verificarse que la estructura de control de entrada permita el acceso del agua a la canaleta Parshall.
2. Debe verificarse que la dosificación del coagulante esté realizándose por el eyector, regadera o tubo perforado.
3. Debe constatar que la solución esté aplicándose uniformemente en el punto de máxima turbulencia.
4. Debe determinarse el gradiente de velocidad por medio de la evaluación de la pérdida de carga en la canaleta Parshall.
5. La velocidad con la cual los coagulantes deben dispersarse en toda la masa de agua depende de la velocidad de reacción de los coagulantes con la alcalinidad y con los otros constituyentes del agua. Una vez obtenido, este gradiente óptimo debe verificarse y corregirse cuando sea necesario
6. Para facilitar la determinación es recomendable tener dos reglas fijas niveladas, localizadas en los puntos de medición, recordando que el gradiente medio óptimo se produce para valores mayores de  $1000 \text{ s}^{-1}$ .
7. Debe evitarse que se produzcan grandes turbulencias, caídas y restricciones luego del punto de aplicación de la sustancia química.
8. Debe tenerse en cuenta que la concentración de iones hidrógeno de la mezcla final de agua y el coagulante es de fundamental importancia en la formación del flóculo, por tanto debe medirse el pH antes y después de la coagulación.
9. Debe determinarse el tiempo óptimo de reacción, para lo cual debe tenerse en cuenta el pH de la solución y la alcalinidad del agua. El tiempo seleccionado debe permitir que el coagulante entre en contacto con toda la masa de agua.

#### C.4.6.3 Mezcladores mecánicos

Las condiciones de operación que deben verificarse son las siguientes:

1. Debe medirse el pH antes y después de la coagulación.
2. Que el nivel del agua en la cámara esté en el rango de operación del equipo.
3. Que la dosificación del coagulante esté realizándose por el eyector en el tanque de disolución del dosificador, según el caso.
4. Es indispensable determinar el gradiente de velocidad producido por el mezclador; se aconseja realizar esta evaluación por medio de la medición de la potencia demandada por el mezclador, midiendo el voltaje, el amperaje y el desfase.

5. Debe ajustarse el gradiente medio de velocidad ( $\bar{G}$ ) al óptimo deseado si es necesario, por medio del dispositivo de regulación de velocidad del mezclador, si lo posee.
6. Debe verificarse que el tiempo de detención ( $t_d$ ) sea el establecido para permitir que el coagulante entre en contacto con toda la masa de agua.

## CAPÍTULO C.5

### C.5. FLOCULACIÓN

---

#### C.5.1 ALCANCE

En este literal se establecen los requisitos mínimos de diseño de las unidades de floculación. Se establecen las condiciones mínimas con que debe operarse esta unidad, las pruebas previas que deben realizarse y los parámetros y características mínimas con las que deben diseñarse estas unidades.

Se establecen las condiciones para los cuatro **niveles de complejidad** del sistema. Todas las normas son aplicables a los cuatro niveles del sistema, a no ser que se especifique lo contrario.

#### C.5.2 CLASIFICACIÓN DE LOS PROCESOS

En el proceso de floculación pueden emplearse los floculadores hidráulicos y mecánicos. Entre los floculadores hidráulicos que pueden ser implementados están los de flujo horizontal, flujo vertical, flujo helicoidal y Alabama.

En el **nivel bajo de complejidad del sistema**, se deben evitar en lo posible los floculadores mecánicos.

En caso de emplear algún equipo de floculación distinto de los mencionados en este título, el diseñador debe pedir autorización para implementarlo. Es necesario comprobar la eficiencia de dicho proceso, ya sea por resultados obtenidos a nivel internacional o nacional, por investigaciones, trabajos de laboratorio y/o planta piloto que demuestren su efectividad.

#### C.5.3 ESTUDIOS PREVIOS

##### C.5.3.1 Ensayo previo de floculación

Debe realizarse en el laboratorio la prueba de jarras, la cual determina las condiciones adecuadas con las que deben operar los floculadores. Para la realización de este ensayo remitirse a la Norma Técnica Colombiana NTC 3903 y los literales C.2.5.1.1 y C.2.5.1.2 de este Título.

En caso de que sea necesario el uso de ayudantes de la floculación, debe tenerse en cuenta lo establecido en el literal C.4.4.1.2 de este Título.

##### C.5.3.2 Estudio de costos

En el estudio de costo que debe realizarse, según lo establecido en el Capítulo A.7, debe incluirse el costo de construcción, operación y mantenimiento de cada una de las posibles unidades proyectadas para la realización de la floculación.

#### C.5.4 DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS

La agitación no debe ser ni muy lenta que favorezca la sedimentación, ni muy rápida que provoque el rompimiento de los flóculos ya formados. El tiempo y el gradiente óptimo deben ser los obtenidos en la prueba de jarras. Para el gradiente medio de la velocidad es necesario tener en cuenta el cambio de escala y la hidrodinámica en el sistema real. Cuando sea posible optimizar el valor de  $\bar{G}$  en el mismo sitio.

### C.5.4.1 Floculadores hidráulicos

#### C.5.4.1.1 Floculador de flujo horizontal

Para utilizar floculador de flujo horizontal, el tanque debe estar dividido por pantallas de concreto u otro material adecuado, dispuesto de forma que el agua haga un recorrido de ida y vuelta alrededor de las mismas. Debe dejarse suficiente espacio para la limpieza de los canales; si éstos son muy estrechos las pantallas deber ser removibles.

#### C.5.4.1.2 Floculador de flujo vertical

En el floculador de flujo vertical el agua debe fluir por encima y por debajo de las pantallas que dividen el tanque. La unidad puede tener una profundidad de 2 m a 5 m, debe dejarse una abertura en la base de cada pantalla con un área equivalente al 5% del área horizontal del compartimiento, para prevenir la acumulación de lodos.

#### C.5.4.1.3 Floculador Alabama

En los floculadores Alabama debe ubicarse un codo en cada cámara para impulsar el fluido hacia arriba. Los codos deben colocarse de forma alternada, en una cámara a la derecha y en la que sigue a la izquierda; en el fondo debe dejarse un desagüe conectado a un múltiple para permitir la extracción de los lodos. En cada tabique debe dejarse una boca de drenaje.

#### C.5.4.1.4 Floculador de flujo helicoidal

En los floculadores de flujo helicoidal el agua debe entrar por el fondo, en la esquina de la cámara y debe salir por encima en la esquina opuesta; la cámara debe ser cuadrada o circular. Pueden usarse pantallas horizontales delgadas que cubran el 30% del área superficial; deben colocarse de manera que impidan la formación de cortocircuitos. Además, debe diseñarse un desagüe por cámara para la extracción de los lodos; se recomienda utilizarlos en aguas con baja turbiedad y que no contengan sólidos pesados en especial arena.

### C.5.4.2 Floculadores mecánicos

Debe contarse con una fuente de energía exterior segura para garantizar una mezcla lenta mediante agitadores mecánicos. Los floculadores pueden ser giratorios (de eje horizontal o de eje vertical) o reciprocantes. El tipo de agitador mecánico más usado es el de paletas. Deben adicionarse pantallas con el fin de prevenir cortocircuitos en el tanque. La entrada y la salida del tanque deben diseñarse de manera que eviten los cortocircuitos y la destrucción de los flóculos. En los floculadores de eje horizontal debe disponerse cuando sea necesario de un pozo seco al lado del tanque para colocar los motores. Pueden también usarse correas en V o cadenas. En este último caso, siempre y cuando quede protegido de la corrosión, el motor se coloca en el borde del tanque.

## C.5.5 PARÁMETROS DE DISEÑO – FLOCULACIÓN CONVENCIONAL

Las unidades de floculación y mezcla rápida deben ubicarse lo más cerca posible. En caso de que esto no sea viable, el flujo del agua a través del canal o ducto de transporte entre las dos unidades no debe tener una velocidad menor de 1.0 m/s.

### C.5.5.1 Floculadores hidráulicos

Deben diseñarse teniendo en cuenta los siguientes criterios:

#### C.5.5.1.1 Floculadores de flujo horizontal y flujo vertical

1. Tiempo de detención y gradiente de velocidad

El tiempo de detención y el gradiente de velocidad deben determinarse a través de pruebas de laboratorio. El gradiente medio de velocidad ( $\bar{G}$ ) debe estar entre  $20 \text{ s}^{-1}$  y  $70 \text{ s}^{-1}$  y el tiempo de detención ( $t_d$ ) entre 20 y 30 minutos, deben determinarse en base a las pérdidas de carga y la longitud de trayectoria del flujo.

## 2. Velocidad del agua

El floculador debe diseñarse de manera que la velocidad del agua a través del tanque de  $0.2 \text{ m/s}$  a  $0.6 \text{ m/s}$ .

### C.5.5.1.2 Floculador Alabama

#### 1. Número de cámaras

Se recomienda un número mínimo de 8 cámaras.

#### 2. Velocidad en el codo

En los codos la velocidad debe estar entre  $0.4 \text{ m/s}$  y  $0.2 \text{ m/s}$ . Se recomienda colocar un dispositivo a la salida del codo, como una platina de orificio para regular el gradiente de velocidad. Debe evitarse la ruptura del floc en los cambios de dirección

#### 3. Gradiente de velocidad y tiempo de detención

El gradiente de velocidad debe estar entre  $20 \text{ s}^{-1}$  y  $70 \text{ s}^{-1}$  de acuerdo con la obtenida en la prueba de jarras y el tiempo de detención entre 20 y 40 minutos, debe determinarse de acuerdo con las pérdidas hidráulicas.

### C.5.5.1.3 Floculador flujo helicoidal

#### 1. Dimensionamiento

La unidad debe ser cuadrada, con una relación mínima entre el lado y la profundidad de 1:2 como mínimo o puede circular con una relación de diámetro a profundidad mínima de 1:2 cuidando no romper el floc entre los pasos entre cámaras.

#### 2. Volumen de la unidad

El volumen del floculador debe obtenerse al dividir el volumen total de acuerdo con el tiempo de detención entre el número de cámaras.

#### 3. Tiempo de detención y gradiente

Debe determinarse a través de la prueba de jarras y calcularse con base en las pérdidas de carga en cada paso.

## C.5.5.2 Floculadores mecánicos

### C.5.5.2.1 Tiempo de detención y gradiente de velocidad

Estos parámetros deben obtenerse por ensayos previos en laboratorio para diferentes calidades de agua. El tiempo de detención debe estar entre 20 y 40 minutos, el gradiente de velocidad para los floculadores debe ser de  $15 \text{ s}^{-1}$  a  $75 \text{ s}^{-1}$ .

### C.5.5.2.2 Velocidad periférica

La velocidad periférica máxima en la punta de la paleta para los floculadores de alta energía debe ser  $3 \text{ m/s}$  y para los floculadores de baja energía de  $0.3 \text{ m/s}$  a  $0.75 \text{ m/s}$ . La velocidad de los agitadores debe ser ajustable, de manera que se pueda variar para obtener la velocidad óptima para flocular el agua.

#### C.5.5.2.3 Dimensionamiento del agitador

La distancia de los extremos de las paletas a los muros, al piso y a la superficie libre del agua, debe estar entre 0.15 m y 0.30 m.

#### C.5.5.2.4 Interconexión de las cámaras

Para evitar los cortocircuitos en las cámaras de los floculadores mecánicos se debe colocar la pared con orificios sumergidos y vertedero ahogado intercalados.

#### C.5.5.2.5 Número de unidades

Como la eficiencia es función del número de cámaras, para los **niveles bajo y medio de complejidad** no debe diseñarse menos de dos unidades en serie y para los **niveles medio alto y alto de complejidad** mínimo cuatro unidades.

### C.5.5.3 Dispositivos de paso entre las cámaras

El gradiente de velocidad en los canales, compuertas, orificios, vertederos, tuberías o cualquier otra estructura de paso del agua floculada no debe tener un gradiente de velocidad superior al de la cámara de floculación precedente. El gradiente de velocidad en los pasos entre cámaras no debe ser mayor de  $20 \text{ s}^{-1}$ . Por lo tanto debe calcularse el gradiente en cada caso.

## C.5.6 CONTROL DE LOS PROCESOS Y OPERACION

### C.5.6.1 Floculador hidráulico

Para la agitación de la masa líquida, los floculadores hidráulicos derivan su energía de la carga de velocidad que el flujo adquiere al escurrir por un conducto. Una correcta operación en un floculador hidráulico requiere las siguientes condiciones:

1. Debe verificarse que la dosificación y la mezcla rápida estén operando satisfactoriamente.
2. Es necesario constatar que el nivel del agua en las cámaras, no varíe más del 10% por arriba o por abajo del nivel de diseño.
3. Debe mantenerse el gradiente medio óptimo de velocidad en el floculador por medio de la diferencia de nivel entre la entrada y la salida; para efectuar esta operación es conveniente tener reglas fijas niveladas en la entrada y salida del floculador. En caso de no ser así, debe ajustarse a los óptimos obtenidos en la prueba de jarras
4. Debe garantizarse que el tiempo de contacto en la unidad sea el suficiente, para permitir que los flóculos alcancen el tamaño y peso adecuado, lo cual es función de la dosis, el gradiente de velocidad y el tiempo que se mantenga la agitación en concordancia con la prueba de jarras.
5. Debe observarse en la salida del floculador el tamaño del flóculo y determinarse la turbiedad residual después de decantada y compararla con la obtenida bajo los mismos parámetros en la prueba de jarras.

### C.5.6.2 Floculador mecánico

Los floculadores mecánicos requieren una fuente de energía externa para que mueva el agitador en el tanque o en una serie de tanques, en donde el agua permanece un tiempo teórico de detención. Para obtener un correcto funcionamiento de este tipo de floculadores es necesario tener en cuenta las siguientes condiciones:

1. Constatar que la dosificación y la mezcla rápida estén operando satisfactoriamente.
2. Verificar que el nivel del agua siempre cubra las paletas del agitador.

3. Es indispensable fijar y mantener la velocidad de rotación que genera el gradiente óptimo de acuerdo con la calidad del agua cruda.
4. Garantizar que el tiempo de contacto en la unidad sea suficiente para permitir que los flóculos alcancen el tamaño y peso adecuado.
5. Evaluar las características del agua cruda a fin de ajustar el gradiente de velocidad, si es necesario, e inspeccionar el buen funcionamiento del equipo de mezcla lenta.
6. Verificar que del tamaño de flóculo formado en la unidad sea el adecuado; en caso de no ser así, debe cambiarse la dosis óptima de coagulante.
7. En caso de emplear polielectrolitos, deben adicionarse en las cámaras donde ya se ha formado el flóculo.
8. Evitar que los motores derramen o adicionen aceite al agua.

## CAPÍTULO C.6

### C.6. SEDIMENTACIÓN

---

#### C.6.1 ALCANCE

En este literal se establecen las condiciones y requisitos para el diseño de las unidades de sedimentación. Se establecen algunos estudios previos, criterios de diseño, parámetros y características mínimas que deben cumplirse en el diseño de estas unidades, tanto para los sedimentadores convencionales, de alta tasa y con manto de lodo.

Se establecen las condiciones para los cuatro **niveles de complejidad** del sistema. Todas las normas son aplicables a los cuatro niveles del sistema, a no ser que se especifique lo contrario.

#### C.6.2 CLASIFICACIÓN DE LOS PROCESOS

Los sedimentadores que pueden emplearse son el de flujo horizontal y flujo vertical. También puede realizarse la sedimentación en unidades con manto de lodos, los que a su vez se dividen en sedimentadores de manto de lodos de suspensión hidráulica y sedimentadores de manto de lodos de suspensión mecánica. Puede además emplearse los sedimentadores de alta tasa.

Para los **niveles bajo y medio de complejidad** se acepta el empleo del sedimentador de flujo horizontal o de alta tasa, no se acepta para ningún caso los sedimentadores de manto de lodos de suspensión mecánica o hidráulica.

En caso de emplear algún sedimentador distinto de los mencionados en este título, debe pedir autorización a la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA) para la implementación. Es necesario comprobar la eficiencia de dicho equipo, ya sea por resultados obtenidos a nivel internacional, por investigaciones, trabajos de laboratorio y/o planta piloto que demuestren su efectividad.

#### C.6.3 ESTUDIOS PREVIOS

##### C.6.3.1 Estudio de calidad del agua

###### C.6.3.1.1 Sedimentadores de flujo horizontal, vertical o de alta tasa

Deben hacerse estudios estadísticos de calidad del agua cruda que cubran por lo menos un periodo de lluvias y uno seco. Si la turbiedad alcanza valores de 1000 UNT por periodos continuos mayores de quince días debe hacerse pretratamiento.

###### C.6.3.1.2 Sedimentador con manto de lodos

Deben hacer estudios estadísticos de la calidad del agua cruda que cubran por lo menos un período de lluvias y uno seco, si la calidad es muy variable en corto tiempo o si la turbiedad es mayor de 500 UNT por periodos continuos superiores a quince días que puedan densificar la masa de partículas, o con turbiedades menores de 10 UNT por periodos mayores que impidan formar un lecho adecuado de partículas en el 50% del tiempo, no se debe usar sistemas de mantos de lodos.

##### C.6.3.2 Ensayo previo de sedimentación

El ensayo previo que debe realizarse para determinar la eficiencia en la prueba de jarras. (Véase el literal C.6.6.2.1).

### C.6.3.3 Estudio de costos

En el estudio de costo mínimo que debe realizarse, según lo establecido en el Capítulo A.7, debe incluirse el costo de construcción, operación y mantenimiento de las unidades de sedimentación.

### C.6.3.4 Número de unidades

Independientemente del nivel de complejidad del sistema, todos los sistemas de decantación deben tener por lo menos 2 unidades en servicio así sea en la primera etapa

## C.6.4 DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS

El proceso de sedimentación debe realizarse siempre que se tiene que producir coagulación de barrido o por adsorción, para poder remover la turbiedad. En otros casos es opcional de acuerdo con los ensayos de laboratorio o planta piloto.

### C.6.4.1 Dispositivo de recolección del agua sedimentada

El agua sedimentada puede recolectarse mediante un sistema de tubos perforados sumergidos, canaletas o vertederos no ahogados, organizados de modo que garanticen un caudal uniforme a lo largo de estos. La proporción de desborde del flujo sobre el vertedero debe ser de 6 a 12 m<sup>3</sup>/h por metro lineal.

El nivel máximo del agua en el interior de la canaleta debe estar a una distancia mínima de 0.10 m abajo del borde libre de la canaleta. No deben emplearse canaletas lisas, todas deben ser dentadas o con orificio.

### C.6.4.2 Acceso a la unidad

Todos los sistemas de sedimentación debe tener escaleras permanentes o escalones en las paredes interiores sobre el nivel del agua, con el fin de tener acceso al fondo de la unidad. Deben incluirse barandas perimetrales en todas las zonas de paso.

### C.6.4.3 Sedimentadores de flujo horizontal y flujo vertical

Los sedimentadores pueden ser rectangulares, circulares o cuadrados.

Para determinar el número de sedimentadores debe tenerse en cuenta los siguientes factores: el tamaño de la planta, las etapas, la forma y las condiciones del terreno y su operación.

Los sedimentadores deben estar provistos de dispositivos que permitan la limpieza, incluidas tuberías de agua a presión con hidrantes.

#### C.6.4.3.1 Sedimentador de flujo ascendente o vertical

El tanque puede ser circular con fondo cónico o piramidal y con un tubo central por donde entra el agua a la unidad, y se realiza la floculación integrada a la unidad. No se aceptan floculadores separados en este tipo de sedimentador. El área de sedimentación debe tener las mismas cargas que un sedimentador de flujo horizontal.

### C.6.4.4 Sedimentador de alta tasa

El tanque debe estar provisto de módulos de tubos circulares, cuadrados, hexagonales, octogonales, de placas planas paralelas, de placas onduladas o de otras formas, que deben colocarse inclinadas de modo que el agua ascienda por las celdas con flujo laminar. El diseño debe ser flexible para facilitar el retiro o el cambio de placas. Pueden utilizarse dos tipos de placas:

Placa angosta (alrededor con 1.20 m de alto por 2.40 m de ancho), y placa profunda (de aproximadamente 1.2 a 1.5 m de ancho por 2.4 a 3.2 m de profundidad). Debe en todos los casos evitarse un pandeo mayor de 0.05 m

Debe dejarse acceso fácil al fondo del tanque debajo de las placas, con su respectiva escalera. Debe quedar espacio suficiente debajo de las mismas para que el operario pueda desplazarse con facilidad a todo lo largo de la unidad.

#### C.6.4.5 Sedimentador con manto de lodos

La unidad puede ser de dos tipos: sedimentador de manto de lodos de suspensión hidráulica y sedimentador de manto de lodos de suspensión mecánica. Para los dos tipos, en la misma unidad debe llevarse a cabo la inyección de los coagulantes, la mezcla rápida de éstos con el agua, la floculación y la sedimentación. Se acepta que la dosificación de los coagulantes y la mezcla rápida se efectúe fuera de la unidad. El régimen que debe tener el manto de lodos es turbulento, donde las partículas suben y bajan con un movimiento rotacional.

Esta unidad debe estar provista de conexiones para la extracción de muestras con el fin de determinar los parámetros de operación. Los puntos donde deben adicionarse los dispositivos para el muestreo son:

- Tubería afluyente o de entrada de agua cruda.
- Zona de mezcla rápida.
- Toma de muestra manto de lodos.
- Drenes.

### C.6.5 PARÁMETROS DE DISEÑO

#### C.6.5.1 Unidades de sedimentación

Para **todos los niveles de complejidad del sistema**, deben realizarse estudios de tratabilidad en el laboratorio y/o planta piloto para determinar los parámetros de diseño.

*Para el correcto diseño y construcción de las plantas de tratamiento, se deben efectuar ensayos de tratabilidad del agua, con muestras tomadas en el punto de captación, en lo posible cubriendo un ciclo hidrológico anual completo.*

En caso de no realizar ensayos previos las unidades deben diseñarse teniendo en cuenta los siguientes criterios:

##### C.6.5.1.1 Sedimentadores de flujo horizontal

Este tipo de decantación a entrado en desuso debido al gran espacio que ocupa y debe evitarse en lo posible. La unidad debe constar de:

##### Zona de entrada

La entrada del agua a los sedimentadores debe ser realizada por un dispositivo hidráulico capaz de distribuir el caudal uniformemente a través de toda la sección transversal, disipar la energía que trae el agua y garantizar una velocidad longitudinal uniforme, de igual intensidad y dirección. Para los sedimentadores el dispositivo de entrada a la unidad debe trabajar con un gradiente igual al de la última cámara de floculación.

El trayecto entre las dos unidades debe ser lo más corto posible, por lo cual los floculadores deben quedar próximos a la estructura de entrada de los sedimentadores.

En caso de emplear pantallas perforadas debe cumplirse con los siguientes requisitos:

- a) Debe hacerse un gran número de orificios con diámetro pequeño.
- b) Los orificios más bajos deben estar a una distancia del fondo de 1/4 a 1/5 de la altura de la lámina de agua y los orificios más altos deben quedar por debajo de la superficie del agua, a una distancia de 1/5 o 1/6 de la altura de la lámina de agua.

Cuando los sedimentadores están colocados a continuación de un floculador de paletas, deben tomarse las precauciones necesarias para evitar que la turbulencia generada por éste afecte la zona de entrada en el sedimentador.

#### Zona de sedimentación

Debe constar de una cámara con volumen y condiciones de flujo adecuados que permitan la sedimentación de las partículas. No debe contener ningún elemento que interfiera el paso del flujo dentro de esta zona.

#### Zona de salida

Debe estar constituida por vertederos, canaletas o tubos con perforaciones.

#### Zona de recolección de lodos

Debe diseñarse teniendo en cuenta los parámetros del literal C.6.5.2 de este Título.

#### Tiempo de detención

La unidad debe diseñarse de forma que permita un tiempo de detención entre 2 h y 4 h.

#### Carga superficial

Debe estar entre  $15 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{día})$  y  $30 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{día})$ .

#### Velocidad del flujo

El sedimentador de flujo horizontal debe diseñarse de forma que permita una velocidad horizontal del flujo de agua de máximo 1 cm/s.

#### Altura del agua

La altura del nivel del agua debe estar entre 4 m y 5 m.

#### Pendiente longitudinal

La pendiente longitudinal del fondo debe ser mayor al 2%.

#### Descarga de lodos

Debe existir un dispositivo de descarga apropiado de lodos que permita un vaciado de la unidad en máximo seis horas.

#### Dimensiones

Para tanques rectangulares, la relación entre el ancho y el largo es de 1:4 a 1:8 y la relación entre el largo y la profundidad debe estar entre 5 : 1 y 25 : 1.

#### Número de unidades

Para los **niveles bajo y medio de complejidad**, la planta de tratamiento debe tener como mínimo dos unidades. Para los **niveles medio alto y alto de complejidad** debe tener como mínimo tres unidades.

#### C.6.5.1.2 Sedimentador de flujo ascendente o vertical

En el diseño del sedimentador de flujo ascendente, deben tenerse en cuenta los siguientes criterios:

##### a) Tiempo de detención

La unidad debe permitir un tiempo de detención entre 2 h y 4 h.

##### b) Carga superficial

El sedimentador debe diseñarse de forma que permita una carga superficial entre  $20 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{día})$  y  $30 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{día})$ , máximo  $60 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{día})$ .

##### c) Altura del agua

La altura del nivel del agua debe estar entre 4 m y 5 m.

d) Dimensiones

Para tanques circulares, el diámetro del tanque debe ser menor de 40 m.

e) Número de unidades

Para los **niveles bajo y medio de complejidad** la planta de tratamiento debe tener como mínimo dos unidades. Para los **niveles medio alto y alto de complejidad**, debe tener como mínimo tres unidades.

C.6.5.1.3 Sedimentador de alta tasa

1. Tiempo de detención

La unidad debe diseñarse de manera que el tiempo de detención esté entre 10 min y 15 min.

2. Profundidad

La profundidad del tanque debe estar entre 4 m y 5.5 m.

3. Carga superficial

La carga superficial de la unidad debe estar entre 120 y 185  $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{día})$  para placas angostas y de 200 a 300  $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{día})$  para placas profundas. Para velocidades mayores deberá hacerse ensayos en planta piloto.

4. Sistema de salida

El sistema debe cubrir la totalidad del área de sedimentación acelerada y debe constar de tuberías perforadas o canaletas que trabajen con un tirante de agua no inferior a 8 cm.

5. Número de Reynolds

El número de Reynolds (Re) debe ser menor a 500, se recomienda un Reynolds menor a 250.

6. Sedimentadores con placas

Para sedimentadores con placas debe tenerse en cuenta además lo siguiente:

- La inclinación de las placas debe ser de 55° a 60°.
- El espacio entre las placas debe ser de 5 cm.
- En caso de emplear placas de asbesto - cemento el espesor de la placa debe ser de 8 mm a 10 mm.
- Con placas profundas para cada fila de placas debe dejarse un ducto de ingreso del agua por el fondo a una altura aproximada de 15 a 30% de la longitud de la placa y en la parte superior se colocará el sistema de recolección por medio de vertederos u orificios. Cada placa debe tener su elemento hidráulico de extracción del flujo

7. Número de unidades

Para los todos los **niveles de complejidad** la planta de tratamiento debe tener como mínimo dos unidades.

8. Extracción de lodos

Puede hacerse con múltiples perforados colocados en superficies inclinadas con un ángulo no menor de 45° o con sistemas patentados. La extracción debe ser continua.

C.6.5.1.4 Sedimentador con manto de lodos

En el diseño deben tenerse en cuenta los siguientes criterios:

1. Tiempo de detención. El sedimentador debe diseñarse de forma que el tiempo de detención en la unidad esté entre 1 h y 1.5 h.

2. Velocidad del flujo. La velocidad ascendente del flujo en la unidad debe estar entre 30 m/día y 60 m/día.
3. Altura del tanque. La altura del tanque debe estar entre 4.0 m y 7.0 m.
4. Concentración del manto de lodos. La concentración de sólidos en el manto debe estar entre el 10 % y el 20 % en volumen.
5. Altura del manto. La altura del manto varía según la unidad, de 1 m a 3 m.

Los anteriores parámetros sólo se pueden exceder si el diseñador demuestra a través de estudios en planta piloto su factibilidad técnica y económica.

#### **C.6.5.2 Remoción y descarga de lodos**

Para los sistemas utilizados en la evacuación o remoción de los lodos producidos en las unidades de sedimentación y su disposición final, remitirse al literal C.13 de este Título. Para los **niveles medio alto y alto de complejidad** se podrán adoptar equipos mecánicos de limpieza para la sedimentación, luego de su justificación técnico-económica.

Deben tenerse en cuenta los siguientes criterios para la remoción y descarga de lodos en las unidades de sedimentación:

1. Las válvulas de descarga del lodo deben situarse en un lugar de fácil acceso para realizar el mantenimiento. Cuando la remoción de lodos es continua, esta válvula debe automatizarse en los **niveles medio alto y alto de complejidad**.
2. Cuando la descarga de lodo sea automática, deben existir dispositivos de ajuste de tiempo de funcionamiento.
3. Deben preverse dispositivos para la observación de las características del lodo descargado.
4. Para los sedimentadores con remoción hidráulica de lodos, se pueden hacer tolvas continuas o tolvas separadas para cada orificio. El número y tamaño de los orificios deben ser calculados como un múltiple.
5. Los sedimentadores deben poderse vaciar en menos de seis horas.

##### **C.6.5.2.1 Remoción manual de lodos**

Los sedimentadores con remoción manual de lodos deben presentar además las siguientes características:

1. El punto de descarga del sedimentador debe situarse preferencialmente en la zona de mayor acumulación de lodo.
2. El fondo debe tener pendiente no inferior a 5° en el sentido del punto de la descarga.
3. Las unidades deben tener una altura adicional suficiente para acumular el lodo resultante de 60 días de funcionamiento, si no se hace remoción continua de lodos.

##### **C.6.5.2.2 Remoción mecánica de lodos**

En caso de implementar como remoción mecánica de lodos el barrelos, deben cumplirse las siguientes condiciones:

1. La velocidad máxima en el raspador debe ser 30 cm/min.
2. La descarga del lodo debe ser automática y estar sincronizada con el movimiento del raspador.

### **C.6.6 CONTROL DE LOS PROCESOS Y OPERACIÓN**

Para obtener una buena operación de sedimentación, es necesario que la etapa de coagulación - floculación se realice adecuadamente, luego se debe asegurar una distribución adecuada del caudal, minimizar los cambios bruscos de flujo, asegurar una carga de rebose apropiada sobre los vertederos efluentes y controlar las cargas superficiales y los tiempos de retención.

### C.6.6.1 Operación de las unidades de sedimentación

#### C.6.6.1.1 Sedimentador de flujo horizontal y flujo vertical

La unidad de sedimentación debe llenarse con agua hasta el nivel de operación y dejarse en reposo como mínimo 1 hora antes de la operación normal. Luego de esto debe darse paso al agua de entrada al sedimentador para la operación normal de la unidad.

Una vez la unidad entra en operación debe determinarse la turbiedad y/o color del agua sedimentada.

Deben realizarse las siguientes actividades de operación:

1. Comprobar si por el efluente hay salida de flóculos.
2. Retirar el material flotante en el decantador por medio de una espumadera.
3. Verificar si existe desprendimiento de burbujas de aire, originadas por fermentación de lodos.
4. Verificar semanalmente si existe crecimiento de algas.
5. Medir el nivel de lodo depositado por medio del equipo adecuado para determinar si se ha excedido la zona de lodos.
6. Cuando el nivel de lodos alcance el nivel máximo de la zona de lodos, debe drenarse la unidad y realizarse la limpieza de los lodos depositados.
7. Cuando se realice una parada de periodo largo (mayor a 24 horas) debe mantenerse un residual de cloro por lo menos de 5 ppm o vaciar la unidad para evitar la fermentación de los lodos.

#### C.6.6.1.2 Sedimentador de alta tasa

La unidad de sedimentación debe llenarse con agua hasta el nivel de operación y dejarse en reposo como mínimo 30 minutos antes de la operación normal. Luego debe darse paso al agua de entrada al sedimentador para que la unidad entre en operación. Debe determinarse la turbiedad y/o color del agua sedimentada con la frecuencia establecida en el literal C.16.5.2 para cada planta de tratamiento de acuerdo a los diferentes niveles de confiabilidad del servicio.

Deben realizarse las siguientes actividades de operación:

1. Comprobar si por el efluente hay salida de flóculos.
2. Retirar el material flotante en el decantador por medio de una espumadera.
3. Verificar si existe desprendimiento de burbujas de aire, originadas por fermentación de lodos.
4. Drenar varias veces por día, accionando la válvula de purga.
5. Cuando se realice una parada de periodo largo (mayor a 24 horas) debe mantenerse un residual de cloro por lo menos de 5 ppm o vaciar la unidad para evitar la fermentación de los lodos.

#### C.6.6.1.3 Sedimentador de manto de lodos

Debe determinarse el nivel óptimo en el cual puede operar el manto de lodos, que normalmente es de 1 m a 3 m, el cual depende del caudal circulante y la densidad del lodo, luego de este procedimiento se puede realizar la toma de muestra a ese nivel.

La posición del manto de lodos debe determinarse a intervalos frecuentes durante la operación (por lo menos cada 1 a 2 horas) y los valores observados deben ser registrados en el formato previsto para este efecto. El lodo acumulado en los receptores debe removerse en forma intermitente, generalmente bajo control automático, es recomendable realizar este procedimiento mediante una válvula automática de diafragma. Deben realizarse las siguientes actividades de operación:

1. Iniciar el muestreo del nivel de manto de lodos y la turbiedad del efluente con una frecuencia mínima de 30 minutos hasta que se alcance el nivel óptimo de manto de lodos.

2. Ajustar los tiempos de intervalos y duración de las purgas para poner en funcionamiento el equipo automático de purga de lodos.
3. Verificar que no hay pérdida de manto de lodos por el efluente del decantador.
4. Determinar la concentración de lodos en el manto, normalmente 5 - 20% en volumen.
5. Dejar lleno de agua el decantador en una parada inferior a 24 horas y recircularla para mantener en suspensión los flóculos y partículas.
6. Si la detención es mayor a 24 horas, debe además, mantenerse un residual de cloro de por lo menos 5 ppm en el agua almacenada en el decantador, para evitar la descomposición de los lodos.

### C.6.6.2 Control del proceso

Para verificar el correcto funcionamiento de la unidad, deben realizarse los siguientes análisis:

#### C.6.6.2.1 Ensayos para determinar la eficiencia

Comúnmente se toma como la relación entre la concentración de partículas a la salida ( $N_i$ ) y la concentración de partículas a la entrada ( $N_o$ ) del decantador, es decir:

$$\text{Eficiencia (\%)} = \left(1 - \frac{N_i}{N_o}\right) * 100 = \left(1 - \frac{\text{Turbiedad de salida}}{\text{Turbiedad de entrada}}\right) * 100 \quad \text{(C.6.1)}$$

Este sistema de medir la eficiencia tiene el inconveniente de que está influenciado por el valor de  $N_o$ . Si  $N_o$  es alto, las reducciones aparecen mucho más grandes que si es pequeño. Por otra parte según el tipo de suspensión, un decantador remueve mayor o menor porcentaje de partículas de determinado diámetro, ya que separará con más facilidad las partículas de más rápida velocidad de asentamiento. Debe por tanto tenerse en cuenta en la eficiencia, la distribución estadística de las partículas por tamaños y velocidades de caída.

#### C.6.6.2.2 Análisis de los datos de operación

El estudio estadístico de los datos de la turbiedad del agua cruda y del agua sedimentada suele suministrar, en especial cuando se hace en forma crítica, valiosa información sobre la forma como los decantadores actúan trabajando con diferentes concentraciones de la misma suspensión.

#### C.6.6.2.3 Estudio de los lodos

##### 1. Calidad de los lodos

En los sedimentadores de flujo vertical y manto de lodos, debe estudiarse la calidad y cantidad de los fangos sumergidos. El análisis de los lodos ya depositados y compactados en los concentradores, da relativamente poca información. Para estudiar la concentración (véase el literal C.13.3.1) y velocidad de asentamiento de la interfase, lo principal es tomar una muestra de manto sin disturbar, con ésta se puede hacer uno o varios de los siguientes ensayos, según lo que se desee:

- a) Determinación de la velocidad de descenso de la interfase en función del tiempo o curva de Kynch.
- b) Determinación de la concentración volumétrica de lodos.
- c) Determinación de la concentración en peso de los lodos (remitirse al capítulo C.13 de este Título).
- d) Determinación del peso específico de los lodos (remitirse al capítulo C.13 de este Título).

##### 2. Concentración volumétrica de los lodos

Para los sedimentadores de manto de lodos debe determinarse la concentración volumétrica de los lodos, la prueba es la siguiente:

Deben tomarse las muestras y verterse en un cilindro graduado donde deben dejarse decantar por un tiempo mínimo de 24 horas, antes de leer el volumen de los lodos compactados en el fondo. La fracción volumétrica es igual al volumen de lodos dividido entre el volumen total de la muestra analizada.

Para que la determinación sea consistente debe evitarse la formación de puentes entre las partículas que incrementan el volumen de los sólidos sedimentados aumentando su hidratación, por lo cual no es conveniente el uso de conos imhoff o cilindros graduados de diámetro pequeño.

Para ayudar a la compactación conviene agitar muy suavemente el material depositado cada cierto tiempo o colocar el cilindro sobre un vibrador suave. Cuando se toman muestras a diferentes profundidades y distintas zonas del sedimentador puede estimarse la forma como el manto está suspendido, lo ideal es conseguir una concentración uniforme en todo el manto.

#### C.6.6.2.4 Estudio del comportamiento hidrodinámico

##### 1. Ensayos con trazador

Los trazadores deben emplearse para conocer el comportamiento hidráulico de los floculadores y sedimentadores. El objeto de las pruebas con trazadores es el de determinar la proporción de flujo de pistón y flujo mezclado, de cortocircuitos y zonas muertas existentes en floculadores y sedimentadores.

##### 2. Tipos de trazadores

Las sustancias trazadoras que pueden emplearse son:

- Colorantes como fluoresceína o rodamina.
- Iones como cloruros, fluoruros y litio.
- Elementos radioactivos como isótopos.

En caso de emplear radioisótopos debe contarse con equipo y personal especializado.

##### 3. Selección del trazador

En la selección del tipo de trazador debe tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- a) Debe verificarse la concentración de estas sustancias en el agua cruda y seleccionar aquellas que se presenten en concentraciones constantes o muy bajas.
- b) Se recomienda escoger como trazador aquella sustancia que no reaccione en gran cantidad con los compuestos que existen en el agua, y que por tanto la concentración total que se determine a la salida, sea sensiblemente igual a la que se aplique a la entrada.

##### 4. Adición del trazador

La adición de trazadores puede hacerse de dos maneras distintas, en forma instantánea y en forma continua.

###### a) Adición instantánea

Debe aplicarse una concentración  $C_0$  a la entrada de la unidad en un tiempo muy corto, el cual debe ser inferior a  $1/30$  del tiempo teórico de detención  $t_d$  y en un punto tal que se mezcle instantáneamente con la masa de agua que se piensa analizar. La concentración  $C_0$  que se escoja debe ser tal que se pueda determinar con facilidad en el agua.

###### b) Adición continua

Debe aplicarse la concentración  $C_0$  continuamente, por un tiempo no menor de tres veces el periodo de detención teórico, y luego debe interrumpirse bruscamente la dosificación.

Con los resultados de las pruebas se obtienen una serie de curvas, las cuales permiten determinar el porcentaje de flujo de pistón y el porcentaje de zona muerta.

Durante el ensayo deben tomarse las siguientes precauciones :

- 1) Procurar uniformidad en la aplicación.
- 2) Controlar las dosis por peso o volumen dosificado.
- 3) Anotar de hora en hora la temperatura y la turbiedad del agua cruda desde las 24 horas anteriores a la iniciación del ensayo y durante el transcurso del mismo.

Debe tenerse en cuenta que los datos obtenidos se refieren solamente al momento en que se hace la prueba, que no necesariamente representa el comportamiento promedio.

## 5. Estudio de la forma de los depósitos de lodos

Puede evaluarse la eficiencia con que se está llevando a cabo el proceso de sedimentación mediante el estudio de la forma que han tomado los lodos en el decantador, de manera que se puedan conocer y analizar los siguientes puntos:

- a) Existencia de corrientes preferenciales motivadas por la dirección en la cual giran las paletas de los agitadores de los floculadores.
- b) Si existe mala distribución del flujo en las aberturas de las paredes perforadas al sedimentador, es decir gran número en la parte inferior y pocas en la superior, o viceversa.
- c) Comparar las diversas secciones longitudinales. El punto de mayor altura debe estar, como máximo, a una distancia igual al 5% de la longitud del decantador después de la pared perforada.
- d) El volumen de lodos almacenados en cada sector.
- e) La velocidad de paso por la sección más estrecha que corresponde al punto donde los depósitos de lodos son más altos. Deben en lo posible ser inferior a 0.5 cm/s (máximo 3 cm/s), pues velocidades mayores podrían ocasionar arrastre de flóculo.
- f) Si existe rebote de la corriente en las paredes longitudinales.
- g) La influencia de los vientos predominantes.

El procedimiento para el estudio del comportamiento de los lodos es el siguiente:

- a) Si el decantador es del tipo intermitente de vaciado manual, un día antes de que se hagan las pruebas debe aumentarse en un 50% la dosis de sulfato de aluminio, cuando la alcalinidad lo permite, y suspender por la noche el flujo en él para que quede en reposo durante no menos de 12 horas, o hasta que el agua se clarifique bien. Si el decantador es del tipo continuo con sistema barrelodos, éste debe pararse una a cuatro semanas antes del ensayo, según la cantidad de lodos que traiga el agua cruda, para permitir que se forme una buena capa de sedimentos en el fondo del tanque. Esta prueba no es conveniente para el sedimentador de placas.
- b) El día de la prueba se miden las profundidades de lodos y del fondo con relación al nivel del agua en la superficie del tanque.
- c) Para tanques grandes deben escogerse cinco secciones longitudinales: dos próximas a las paredes, una cerca del centro del tanque y dos entre las anteriores, es decir, en los cuartos de su ancho. En tanques pequeños se pueden obtener solamente tres secciones. La mayor cantidad de puntos deben concentrarse en el primer tercio del decantador pues es ahí donde debiera localizarse aproximadamente el 80% de los lodos cuando el decantador funciona bien.
- d) Se pueden tomar además muestras de lodos (2 en cada tramo) por medio de un tubo largo y determinarle a cada una el porcentaje de lodos secos por evaporación.
- e) Con los datos tomados se dibuja la topografía de los lodos sedimentados, con sus secciones transversales y longitudinales.
- f) Luego se calculan los volúmenes de sedimentos depositados en cada tramo, para lo cual hay que tener en cuenta la pendiente del fondo del tanque. Hay que ubicar cada sección por separado, y sumar luego todas.

## CAPÍTULO C.7

### C.7. FILTRACIÓN

---

#### C.7.1 ALCANCE

En este literal se establecen las condiciones y requisitos mínimos de las unidades de filtración. Se presentan los estudios previos que deben realizarse, se describen los distintos sistemas de control que pueden emplearse en las unidades de filtración, se muestran las características que deben tener los distintos materiales que pueden ser empleados en el lecho filtrante y el lecho de soporte, lo mismo que las características de diseño que deben tener las unidades así como los parámetros mínimos de diseño de las mismas. También se establecen algunos criterios sobre el sistema de lavado y drenaje de las unidades de filtración.

Todos los criterios son aplicables a los cuatro **niveles de complejidad** del sistema, a no ser que se especifique lo contrario.

#### C.7.2 CLASIFICACIÓN DE LOS PROCESOS

Este proceso se puede realizar por filtración rápida o filtración lenta. La filtración rápida se divide en filtración ascendente y descendente. Puede filtrarse por gravedad o por presión, el lavado puede ser intermitente o continuo. También puede emplearse la filtración lenta sola o con diversas etapas de prefiltración.

En caso de emplear algún filtro distinto a los mencionados en este título, debe pedir autorización a la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA) para la implementación, para lo cual debe comprobar la eficiencia de dicho equipo, ya sea por resultados obtenidos a nivel internacional, por investigaciones, trabajos a nivel laboratorio y/o planta piloto donde se demuestre su efectividad.

#### C.7.3 ESTUDIOS PREVIOS

##### C.7.3.1 Estudios de calidad del agua

Deben realizarse estudios de la calidad del agua que va a filtrarse para determinar el tipo de filtración que debe realizarse. De acuerdo con los resultados pueden seguirse las siguientes recomendaciones para la selección del tipo de filtración:

##### C.7.3.1.1 Filtración rápida

Debe filtrarse agua previamente tratada (coagulación y/o floculación con o sin sedimentación o flotación) para lograr la remoción de las últimas partículas que no hayan sido retenidas por el sedimentador.

Entre los filtros rápidos se tiene:

##### 1. Filtración directa

La filtración puede ser de contacto (sin floculación, ni sedimentación) o filtración directa propiamente dicha (sin sedimentación pero con coagulación-floculación total o parcial).

En este proceso debe trabajarse con una coagulación por neutralización de cargas diferente de la coagulación de barrido. El agua cruda debe tener una turbiedad y un color inferiores a 8 UNT y 30 UC respectivamente el 90% del tiempo. El 10% restante, la fuente no puede tener una turbiedad superior a 15 UNT y 50 UC de color. En caso de que por tiempos cortos (no mayores de 5 horas) se excedan estos límites, debe proveerse una solución para que haya continuidad del servicio

## 2. Filtración convencional

Debe utilizarse como pulimento final de los procesos de mezcla rápida, floculación y sedimentación. Generalmente se emplea cuando se ha realizado una coagulación de barrido. La turbiedad de ingreso a los filtros no debe ser mayor de 8.0 UNT y el color no mayor de 20 UC.

### C.7.3.1.2 Filtración lenta

#### 1. Como tratamiento único

Puede emplearse como tratamiento final del agua cruda prefiltrada, para mejorar la calidad bacteriológica y remover las partículas suspendidas más finas. Puede utilizarse como tratamiento único de la calidad del agua cruda cuando ésta mantiene una turbiedad no mayor a 15 UNT, bajo color menor a 20 UPC y un NMP de coliformes fecales por debajo de 500.

Debe operarse con bajas tasas y la unidad debe lavarse por raspado de las capas superficiales del medio filtrante.

#### 2. Filtración lenta en diversas etapas

La filtración lenta en diversas etapas (FLDE) se recomienda para el acondicionamiento o pretratamiento de fuentes superficiales de agua, cuya calidad puede interferir en los mecanismos de purificación o superar la capacidad de remoción de la filtración lenta en arena produciéndose efluentes de calidad deficiente.

Debe emplearse como multibarrera para controlar los cambios bruscos de la calidad de agua de las fuentes. Se debe emplear para aguas que presenten un color menor a 30 UPC y una turbiedad inferior a 80 UNT.

### C.7.3.2 Ensayos previos de filtración

Cuando se quiere trabajar con parámetros de ingreso distintos a los establecidos anteriormente debe demostrarse su viabilidad en estudios de planta piloto con duración efectiva no menor de 6 meses útiles en donde se puedan obtener series de datos estadísticos.

### C.7.3.3 Estudio de costos

En el estudio de costo que debe realizarse, debe incluirse el costo de construcción, operación y mantenimiento de las unidades de filtración. Además, debe indicarse la fuente de los materiales y su costo, en especial la procedencia del medio filtrante y de soporte.

## C.7.4 DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS

### C.7.4.1 Sistemas de control del flujo

A continuación se establecen los principales métodos que pueden emplearse para controlar la tasa de filtración.

#### C.7.4.1.1 Filtración de tasa constante

Es el tipo de control tradicional de los filtros rápidos convencionales. Debe emplearse un controlador variable que mantenga una pérdida de carga total constante al abrirse gradualmente la válvula, a medida que el lecho se colmata. Requiere medida de la pérdida de carga.

El controlador puede ser de diafragma operado por contrapeso, de sifón, o de válvula de mariposa operada por un flotador, que mantiene un nivel constante de agua en el filtro, o por sistemas electrónicos.

#### C.7.4.1.2 Filtración con afluente igualmente distribuido y nivel variable

El caudal debe distribuirse por igual mediante un orificio o vertedero de entrada sobre cada filtro. El vertedero de control debe quedar en un nivel superior al nivel máximo en el filtro. La unidad debe ser bastante profunda para permitir una variación del nivel de por lo menos 2.0 m. Debe introducirse un sistema de disipación de energía a la entrada del flujo para no disturbar el medio filtrante. No requiere medida de la pérdida de carga.

#### C.7.4.1.3 Pérdida de carga variable, nivel variable, tasa declinante con vertedero de control

El afluente debe entrar al filtro por debajo del nivel de la canaleta de lavado. Debe contar con un vertedero de control, un orificio o una válvula que evite el vaciado del filtro al comienzo de las carreras. No requiere medida de la pérdida de carga.

### C.7.4.2 Localización

La localización del filtro debe proyectarse de manera que ofrezca una buena visibilidad al operador a fin de facilitar el control de la operación de lavado. Por eso mismo el área filtrante debe quedar a la vista del operador.

### C.7.4.3 Equipo de filtración

La selección del tipo de filtro debe hacerse teniendo en cuenta las características del agua por tratar, las condiciones técnico-económicas del proyecto, así como las condiciones de operabilidad y mantenimiento del sistema, en una localidad dada.

La selección del tipo de filtro debe justificarse, así como las características particulares del mismo, en cuanto al número de unidades, medio filtrante, lavado, recolección, drenaje, etc.

#### C.7.4.3.1 Filtros rápidos

Estas unidades se clasifican en dos grupos: filtros rápidos de flujo descendente y flujo ascendente. El flujo a través de los medios filtrantes debe pasar por gravedad. No se aceptan filtros a presión para municipios.

##### 1. Filtros rápidos de flujo descendente

En el diseño de la unidad deben considerarse los siguientes componentes:

- Sistema de entrada de agua
- Medio filtrante
- Caja del filtro
- Sistema de drenaje
- Sistema efluente
- Sistema de lavado del filtro

##### 2. Filtros rápidos de flujo ascendente

El agua cruda debe entrar por debajo del lecho y asciende para descargar en un sistema efluente. Puede hacerse lavado continuo o lavado intermitente. En este último caso el lavado se hace en el mismo sentido de la filtración, lo que tiene el inconveniente de producir conexiones cruzadas de agua limpia con agua de lavado. El sistema de drenaje, por trabajar con agua cruda debe ser a prueba de atascamiento. Se aceptan solo como prefiltros, pero pueden usarse como filtro terminales, previo estudio de planta piloto.

## C.7.4.3.2 Filtros lentos

## 1. Como tratamiento único

El uso de plantas de filtración lenta debe ser considerado preferentemente en los **niveles bajo y medio de complejidad**.

La unidad de filtración lenta debe constar de un tanque que contiene una capa sobrenadante de agua cruda, de un lecho de arena filtrante, de un sistema de drenaje y de un juego de dispositivos de regulación y control del filtro.

El material poroso del lecho filtrante puede ser cualquier material estable; el material granular que se recomienda emplear es la arena, por ser un material barato, inerte, durable, disponible y que ofrece muy buenos resultados.

## 2. Filtración lenta en diversas etapas

La filtración lenta en diversas etapas combina dos etapas de pretratamiento en medios gruesos (filtro grueso dinámico y filtro grueso ascendente) y un tratamiento en filtros lentos de arena. Las etapas de pretratamiento permiten enfrentar las concentraciones de sólidos suspendidos y microorganismos presentes en el agua cruda, mientras que la filtración lenta en arena es una etapa de pulido o tratamiento final antes de la desinfección como barrera de seguridad.

## C.7.5 PARÁMETROS DE DISEÑO

## C.7.5.1 Filtros rápidos

## C.7.5.1.1 Composición de los lechos filtrantes

El filtro puede ser de un solo medio (arena o antracita), de medio dual (arena y antracita) o lechos mezclados. Puede ser de profundidad convencional de 0.6 m a 0.9 m o de capa profunda de más de 0.9 m de altura.

Las partículas deben ser duras, resistentes, de forma preferiblemente redondeada sin esquistos ni partículas extrañas, libre de lodo, arcilla o materias orgánicas.

## 1. Lechos de arena

La arena (fina, estándar o gruesa) debe estar dentro de los límites señalados en la tabla C.7.1

TABLA C.7.1  
Característica de la arena, para filtros rápidos

	Tamaño efectivo		Coeficiente de uniformidad	
	Mínimo (mm)	Máximo (mm)	Mínimo	Máximo
Arena Fina	0.35	0.45	1.35	1.70
Arena estándar	0.45	0.65		
Arena gruesa	0.65	0.85		

La arena fina (0.35 mm - 0.45 mm) **solamente** se recomienda en los siguientes casos:

- Cuando el pretratamiento sea poco satisfactorio.
- Cuando se requiera un alto grado de remoción.

c) Cuando se pueda operar con periodos cortos de filtración y no sea importante el ahorro de agua de lavado.

d) Cuando el sistema de lavado esté diseñado únicamente para arena fina.

La arena estándar (0.45 mm - 0.65 mm) se recomienda cuando las condiciones del agua se encuentren entre las que se especifique para arena fina y gruesa.

La arena gruesa (0.65 mm - 0.85 mm) se recomienda en los siguientes casos:

a) Cuando el pretratamiento sea satisfactorio.

b) Cuando no se requiera un alto grado de remoción.

c) Cuando se requieran periodos largos en los filtros y ahorro de agua de lavado.

d) Cuando el filtro sea diseñado para altas tasas de lavado.

## 2. Lechos de antracita

Para los lechos de antracita, este material debe tener un contenido bajo de cenizas y material volátil, baja friabilidad, alto contenido de carbono fijo y atraxilón (fósiles coloidales), y además libre de mica, polvo, arcilla, sulfuro de hierro, limo y materiales extraños. Las partículas deben ser piramidales con el fin de obtener una mayor área superficial por unidad de volumen, con una densidad no inferior a  $1450 \text{ kg/m}^3$  y una dureza de 3.5 en la escala de Mohs. La antracita puede reemplazar la arena parcial o totalmente como lecho filtrante.

Las características físicas y químicas de los medios filtrantes, muestreo, ensayos, embarque y colocación del material filtrante, deben cumplir la Norma Técnica Colombiana NTC 2572

## 3. Lechos mezclados de arena y antracita

Para este tipo de lecho debe formarse una interfase de los dos materiales donde ellos se juntan, que no puede ser mayor a 0.15 m. Por tanto los tamaño de los granos de cada lecho deben ser tales que el diámetro del medio de antracita más grueso (que va encima:  $d_1$ ) sea como máximo cuatro a seis veces mayor que el diámetro del medio menor de arena ( $d_2$ ) que va debajo. ( $d_1 = 4 \text{ a } 6 d_2$ ).

### C.7.5.1.2 Soporte del medio filtrante

El lecho de soporte que sustenta la arena debe ser de grava, con unas dimensiones y características que dependen del sistema de drenaje adoptado. Las partículas deben ser de material duro y resistente a golpes y a la abrasión, de superficie lisa y deben tener en conjunto un mínimo porcentaje de formas alargadas o planas.

Las características físicas y químicas de la grava, muestreo, ensayos, y embarque, deben cumplir la Norma Técnica Colombiana NTC 2572.

Este lecho puede remplazarse por placas porosas de diseño especial garantizado.

### C.7.5.1.3 Velocidad de filtración

La tasa de filtración debe depender de la calidad del agua, de las características de la filtración y de los recursos de operación y control. La tasa normal debe garantizar la eficiencia del proceso. Para el diseño deben adoptarse las siguientes tasas:

1. Para lechos de arena o antracita sola con  $T_e$  de 0.45 mm a 0.55 mm y una profundidad máxima de 0.75 m, la tasa debe ser inferior a  $120 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{día})$ .
2. Para lechos de antracita sobre arena y profundidad estándar, la tasa máxima es de  $300 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{día})$ , siempre y cuando la calidad del floc lo permita.
3. Para lechos de arena sola o antracita sola de tamaño grueso, con profundidad mayor de 0.9 m, la tasa de filtración máxima es de  $400 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{día})$ .

Tasas de filtración mayores a  $360 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{día})$  deben determinarse en filtros pilotos, siempre que la calidad del floc lo permita.

## C.7.5.1.4 Altura del agua sobre el lecho

La altura del agua sobre el lecho puede ser variable o constante, según el tipo de control que se use pero no puede ser inferior a 0.5 m. El lecho filtrante en ningún momento debe trabajar seco.

## C.7.5.1.5 Pérdida de carga

La hidráulica del filtro debe diseñarse para que como mínimo pueda disponer de 2 m de pérdida de carga durante la carrera de filtración. La sumatoria de los descensos de nivel en un filtro de tasa variable declinante durante la carrera debe ser por lo menos igual a 2.0 m.

## C.7.5.1.6 Número de unidades

Cuando el lavado de los filtros se hace con fuente externa (tanque de lavado), el número mínimo de unidades deben ser tres; y para lavado mutuo el número mínimo de unidades debe ser cuatro.

## C.7.5.1.7 Sistema de lavado de la unidad

La selección del método de lavado depende de las consideraciones económicas o de operación.

El fondo de los filtros debe estar diseñado de modo que permita una distribución uniforme y satisfactoria del agua de lavado en toda el área del lecho filtrante.

Debe preverse un lugar conveniente para el vertimiento de las aguas de lavado y su tratamiento y reutilización si fuera el caso.

El agua empleada en el lavado de los filtros debe ser agua potable y utilizarse en lo posible la mínima cantidad. El porcentaje promedio mensual del consumo de agua tratada para el lavado de filtros debe ser máximo del 3%.

## 1. Velocidad de lavado

La velocidad del lavado para los filtros debe estar de acuerdo con el tipo de lecho filtrante, el tamaño de los granos, su peso específico y su profundidad.

## 2. Sistemas de lavado

El lavado de los filtros puede realizarse de distintas maneras. Los lechos uniformes gruesos se pueden lavar con aire y agua a velocidades que no produzcan expansiones mayores del 20%. Los lechos mixtos de antracita y arena deben fluidizarse con expansiones no menores del 20%, y no pueden ser lavados con aire y agua simultáneamente.

Las técnicas de lavado son:

- a) Flujo ascendente. El sistema debe diseñarse de forma que la velocidad del agua que se inyecta por los drenes produzca expansión del lecho del 20 al 40%. La velocidad de lavado debe estar por encima de las velocidades de fluidización del 70% superior del lecho.
- b) Flujo ascendente y lavado superficial. El lavado ascendente debe complementarse con un lavado superficial; el agua debe inyectarse a presión sobre la superficie del lecho filtrante para romper las bolas de barro. Puede emplearse el equipo de brazos giratorios tipo Palmer, o de rociadores fijos. Deben emplearse tasas de flujo de 80 a 160 L/(min.m<sup>2</sup>) con presiones de 15 a 30 m.
- c) Lavado simultáneo con agua y aire. La unidad debe diseñarse de forma que la tasa de aire inyectado a través de boquillas sea de 0.3 a 0.9 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>.min). El agua debe aplicarse a una velocidad de máximo 0.3 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>.min) y producir una expansión máxima del 10% del lecho filtrante. Debe emplearse un sistema de drenaje que permita la inyección de aire y agua simultáneamente. No puede utilizarse lecho de grava cuando hay lavado con aire.
- d) Flujo ascendente y lavado subsuperficial. Este sistema se recomienda para filtros con medio de arena y antracita, y cuando existe tendencia a que las partículas floculadas penetren profundamente. En estas condiciones, las bolas de barro pueden formarse dentro del lecho.

Según el tipo del medio filtrante empleado existen diversas modalidades de ejecutar el lavado, como se observa en la tabla C.7.2.

TABLA C.7.2  
Modalidades de lavado de filtros

LAVADO ASCENDENTE CON AGUA		AGITACIÓN AUXILIAR		Medio filtrante con que se una este lavado
Tipo	Descripción	Tipo	Descripción	
De alta velocidad (0.60 a 1.00 m/min)	Se usa velocidad constante durante el lavado con fluidificación de todas las capas del medio filtrante y estratificación de partículas.	Sin agitación auxiliar	Se usa lavado ascendente solo.	Arena fina sola arena y antracita
		Con agua	- Chorros fijos - Chorros rotatorios	Arena fina sola arena y antracita.
		Con aire	Aire sin flujo de agua ascendente primero y agua sola después.	Arena fina sola arena y antracita, antracita sola
De baja velocidad (0.3 a 0.45 m/min)	Velocidad inicial más baja durante la primera fase del lavado que durante la segunda sin fluidización en ambas.	Con aire	Aire simultáneamente con el agua primero y luego agua sola a una rata mayor.	Arena gruesa sola o antracita sola
De baja velocidad seguida de alta velocidad (0.3 a 0.45 + 0.60 a 1.0 m/min)	Velocidad baja durante la primera fase de lavado sin fluidificación y alta durante la segunda con fluidificación de partículas	Con aire	Aire simultáneamente con un flujo de agua ascendente bajo primero y agua sola con alta velocidad después.	Arena gruesa sola.
Nota: por arena fina se entiende la arena de un $T_e = 0.45$ a $0.55$ mm y arena gruesa la de un $T_e = 0.8$ a $2.4$ mm.				

### 3. Métodos de aplicación del agua de lavado

El flujo de agua de lavado puede provenir de:

- a) Tanque elevado de lavado, este puede estar sobre una colina cercana (si la topografía lo permite), sobre estructuras metálicas o sobre el edificio de la misma planta. El tanque de lavado, debe quedar cerca de los filtros. Este tanque debe tener una capacidad que permita el lavado completo de dos filtros por lo menos durante 10 minutos.
- b) Lavado con bomba. El filtro puede lavarse también por inyección directa con bombas de gran capacidad y baja presión. La planta de tratamiento debe contar con dos bombas por lo menos. El agua puede ser tomada del final del tanque de contacto con cloro o del tanque de distribución. Debe instalarse un dispositivo para evitar una inyección brusca de agua al filtro.

- c) Lavado procedente de otras unidades de filtración

En este caso debe tenerse en cuenta lo siguiente:

- 1) Todos los filtros deben tener igual área filtrante.
- 2) Se requiere que el caudal dado por la planta sea por lo menos igual al flujo necesario para el lavado de un filtro.

- 3) Deben diseñarse como mínimo cuatro unidades para que trabajen con una carga superficial a una velocidad de ascenso no menor de 0.60 m/min.
- 4) El canal de entrada debe conducir el agua a cualquier filtro, en cualquier momento, con el caudal máximo requerido para el lavado.
- 5) Sin importar el diseño que se adopte, es necesario que las unidades puedan aislarse en caso de reparación, sin impedir la circulación de flujo de lavado entre los demás filtros que están en operación.

Cuando el flujo del lavado se hace con una fuente externa (tanque elevado o bomba) debe instalarse un sistema de regulación del caudal para mantenerlo constante.

#### C.7.5.1.8 Sistema de drenaje

En la tabla C.7.3 se especifican los tipos de drenes aceptados.

TABLA C.7.3  
Sistemas de drenaje

Tipo	Consiste en	Se usa con
Tubería perforada	Tubo principal y laterales perforados, se emplea con grava, bloques difusores o boquillas insertadas	Lavado con solo agua, con o sin lavado superficial para alta o baja velocidad descendente
Falsos fondos	Bloques perforados de arcilla	Lavado con solo agua, con o sin lavado superficial para alta velocidad ascendente
	Bloques o canaletas perforadas en acero o plástico para uso con o sin grava	Lavado con aire primero y agua después o con aire y agua simultáneamente, con alta o baja tasa de lavado.
	Boquillas de cola corta	Lavado con solo agua y alta velocidad ascendente con o sin lavado superficial
	Boquillas de cola larga	Lavado con aire y agua simultáneamente para baja velocidad ascendente
	Prefabricados de concreto para uso con grava	Lavado mutuo con agua de un filtro con el flujo de los otros, para velocidad ascendente. Para el lavado mutuo pueden utilizarse los otros sistemas adecuándolos debidamente
Placas porosas	Placas flexibles para reemplazo de grava	Lavado con aire y agua o agua sola según el dren y alta velocidad ascendente

#### C.7.5.2 Filtros lentos

##### C.7.5.2.1 Composición de los lechos filtrantes

El medio filtrante debe estar compuesto por un material granular, inerte, durable y limpio. Normalmente se usa arena exenta de arcilla y preferiblemente libre de materia orgánica. No debe contener más de 2% de carbonato de calcio y magnesio, para evitar que en aguas con un alto contenido de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) éste quede atrapado y se produzca cavitación en el medio filtrante.

El tamaño efectivo recomendado para la arena es del orden de 0.35 mm a 0.55 mm, con un coeficiente de uniformidad entre 2 y 4. El espesor del lecho filtrante en arena debe estar entre 0.8 m y 1.0 m. En la práctica es muy importante asegurar la limpieza del material, antes de ser colocado.

## C.7.5.2.2 Medio de soporte

El medio o capa de soporte debe estar constituido por grava. Las piedras deben ser duras y redondeadas, con un peso específico superior a 2.5, debe estar libre de limo, arena y materia orgánica; en caso de no ser así, debe lavarse cuidadosamente para asegurar su limpieza. La grava no debe perder más del 5% de su peso al sumergirla en ácido clorhídrico por 24 horas. La capa de grava debe diseñarse teniendo en cuenta dos valores, el tamaño de los granos de arena en contacto con ésta para decidir el tamaño de la grava más fina y las características del drenaje para seleccionar el tamaño de la grava más gruesa. En la tabla C.7.4 se establecen especificaciones para este medio de soporte.

TABLA C.7.4  
Especificaciones de la grava soporte

Capa	Tamaño de la grava (mm)	Espesor del medio (m)
1	9 - 10	0.10 - 0.15
2	2 - 9	0.05
3	1 - 1.5 (arena)	0.05

## C.7.5.2.3 Dispositivo de entrada

Puede estar constituido por una cámara de distribución con compuertas y un aliviadero de rebose; puede emplearse un vertedero triangular de pared delgada para aforar el afluente. Se recomienda que la entrada del agua al filtro se efectúe por medio de un vertedero ancho, de pared gruesa con el fin de obtener una lámina delgada de agua, y colocar un aditamento apropiado para amortiguar el impacto que genera la caída de agua sobre el lecho filtrante.

## C.7.5.2.4 Dispositivo de salida

Se recomienda un vertedero de control a una altura de por lo menos 0.1 m mayor que la cota del nivel máximo del lecho de arena.

## C.7.5.2.5 Velocidad de filtración

La tasa de filtración de la unidad debe estar entre  $2.4 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{día})$  a  $7.2 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{día})$ .

## C.7.5.2.6 Altura del agua sobre el lecho

La altura del agua sobrenadante debe ser de 0.7 a 1 m.

## C.7.5.2.7 Velocidad a la entrada

La velocidad máxima de flujo a la entrada debe ser de 0.1 m/h.

## C.7.5.2.8 Pérdida de carga

La pérdida de carga del filtro debe estar entre 0.10 m a 1.0 m.

## C.7.5.2.9 Número de unidades

El número mínimo de unidades de filtración lenta que debe tener la planta es dos.

## C.7.5.2.10 Dispositivo de control de la velocidad de filtración

Puede ser de dos tipos:

## 1. A la entrada

A la entrada de la unidad debe colocarse un orificio o vertedero que deje pasar un caudal constante. El canal de alimentación debe distribuir de manera uniforme el caudal que transporta entre todas las unidades. Para evitar que el filtro se vacíe cuando la pérdida de carga es mínima, puede diseñarse un pozo de recolección de agua filtrada, con la salida en la parte superior, de modo que se conserve un nivel de agua sobre el lecho.

## 2. A la salida

En este sistema la altura del agua en el filtro debe usarse para regular el caudal. El control de este sistema debe lograrse con un dispositivo hidráulico el cual recibe las variaciones de nivel y controla el paso del flujo.

En general y por facilidades en operación, se recomienda el control a la entrada.

### C.7.5.2.11 Sistema de drenaje

La recolección del agua filtrada debe efectuarse por medio del sistema de drenaje, el cual puede estar conformado por drenes o por ladrillos de construcción.

Para el diseño con drenes, los tubos de drenaje deben estar compuestos por un dren principal y de ramificaciones o drenes laterales a partir de la salida del agua filtrada. Estos drenes laterales deben unirse al dren principal mediante tees o cruces y pueden ser de tubería PVC corrugada para drenaje. Los drenes laterales deben tener orificios de 2 a 4 mm de diámetro, separados entre sí de 0.10 a 0.30 m y dispuestos en la parte inferior de los drenes. La separación entre los drenes laterales debe ser de 1/16 de su longitud o un máximo de 2 m; con respecto a la pared la distancia de separación debe ser de 1/32 de su longitud o como máximo 1 m. La pérdida de carga obtenida a través de este sistema de drenaje no debe exceder un 10% de la pérdida de carga del medio filtrante (cuando la arena está limpia y su altura es mínima). La velocidad máxima en los drenes es 0.5 m/s.

Para sistemas de drenaje con ladrillo de construcción, éstos deben sentarse con mortero cuando los filtros están localizados en zonas sísmicas, en caso contrario se pueden acomodar simplemente formando canales. Los ladrillos que cubren los canales deben ir suspendidos dejando ranuras de 20 mm para el paso del agua filtrada.

### C.7.5.2.12 Dispositivo de raspado de la capa superficial

El raspado o remoción de la capa superficial del lecho de arena puede realizarse de forma manual o mecánica.

### C.7.5.2.13 Filtración lenta en diversas etapas

#### 1. Diseño

Para el diseño de los filtros gruesos dinámicos y filtros gruesos ascendente véase el literal C.3.5.2.3. de este Título. Para el diseño del filtro lento de arena véase el literal C.7.5.2 de este mismo Título.

#### 2. Limpieza de la unidad

En estas unidades se busca que sólo después de largos períodos de tiempo sea necesario realizar la limpieza manual de los filtros.

## C.7.6 CONTROL DE LOS PROCESOS Y OPERACIÓN

### C.7.6.1 Filtro rápido

#### C.7.6.1.1 Medio filtrante

El medio filtrante es de especial cuidado, por lo cual debe mantenerse apto para la operación del sistema, por medio de lavados continuos y cambios del lecho filtrante cuando sea necesario. El operador debe tener especial cuidado con la operación de lavado de filtros a fin de obtener una limpieza efectiva del medio filtrante y evitar los problemas de: formación de bolas de barro, consolidación del lecho filtrante, desplazamiento de la grava de soporte, entrapamiento de aire o pérdidas de medio filtrante.

#### C.7.6.1.2 Operación del filtro

Las siguientes actividades deben ejecutarse para asegurar una correcta operación del filtro:

1. Evitar turbulencias indebidas y agitación de la arena en el llenado del filtro.
2. Mantener una buena coagulación del agua, ajustando la dosis óptima permanentemente para obtener el mejor filtrado.
3. Determinar la turbiedad, el color y la pérdida de carga en el efluente del filtro.
4. No producir pérdida de carga negativa en el lecho filtrante.
5. Lavar el filtro cuando éste alcance la pérdida de carga máxima permitida por el sistema o cuando la calidad del agua alcance el límite máximo permitido por las normas, utilizando las velocidades adecuadas a las características del medio filtrante, de acuerdo con las recomendaciones del diseñador y la experiencia.

#### C.7.6.1.3 Operación de lavado del filtro

El lavado debe hacerse cada vez que la pérdida de carga es igual a la presión estática sobre el fondo del lecho, o la calidad del efluente desmejore. La mayoría de los problemas del filtro se originan en un lavado deficiente incapaz de desprender la película que recubre los granos del lecho, romper las grietas o cavidades en donde se acumula el material que trae el agua y transportar el material desde el interior del lecho hasta las canaletas de lavado. En el lavado ascendente con agua, según la magnitud ascendente de lavado, el lecho filtrante puede tener:

1. Todas sus partículas fluidificadas.
2. Las partículas más finas fluidificadas pero no las más gruesas.
3. Ninguna fluidificación de casi la totalidad del lecho filtrante salvo las capas muy superficiales.

En los tres sistemas, los gradientes de velocidad son relativamente pequeños y es necesario, frecuentemente por eso, aumentarlos, introduciendo sistemas auxiliares tales como: lavado superficial con agua y lavado con aire. Estos sistemas utilizan una fuente de energía adicional de forma que la potencia debida a la agitación auxiliar, más la potencia debida al lavado ascendente, salvo en el caso en que se use consecutivamente primero lavado de aire y luego con agua. En este caso el lavado con aire sirve para producir fricción entre los granos (pues no hay fluidificación del medio filtrante) y el lavado con agua para acarrear la película de lodo desprendida hasta las canaletas de lavado.

El lavado auxiliar con agua puede hacerse de tres formas distintas:

1. Con brazos rotatorios superficiales. Para utilizarlos se vacía el filtro hasta dejar unos 30 cm de capa de agua y se inicia el lavado superficial, el cual se continúa por uno o varios minutos. Suspendido éste, se produce una expansión de un 15% a 25%, para arrastrar todo el material que se ha desprendido en el proceso anterior. Este sistema tiene la ventaja de ser económico en el uso de agua, pues la aplica en forma concentrada solamente sobre el área por donde se desplazan los brazos.
2. Los rociadores fijos aplican el flujo a toda la superficie del filtro simultáneamente. Las presiones más altas se prefieren cuando existe tendencia a la formación de bolas de barro.

El lavado auxiliar con aire requiere de drenes especiales y se usa con dos modalidades distintas:

1. Primero aire y luego retrolavado, consiste en introducir aire con velocidad de 0.3 m/min a 0.45 m/min y en ocasiones hasta 0.6 m/min durante los primeros minutos de lavado y luego flujo ascendente con velocidades de 0.3 m/min. En estas condiciones el lecho filtrante no se expande ni se estratifica y la agitación inicial se usa solo para frotar un grano con otro. Como se tarda un tiempo para suspender el aire e iniciar el retrolavado, las partículas removidas tienen en esta modalidad ocasión de volver a sedimentar, lo cual produce dificultades para mantener el lecho limpio. Este tipo de lavado es aceptable solo para arena fina.

2. Retrolavado y aire simultáneamente, se usa únicamente para arena gruesa en dos etapas: Una primera en que se inyecta aire por las boquillas con velocidad de 0.6 m/min a 1.2 m/min, conjuntamente con un flujo ascendente con velocidad de 0.25 m/min. Se suspende luego el aire y se aumenta la velocidad del retrolavado a 0.45 m/min - 0.50 m/min. Como se trata de arena gruesa no hay estratificación.

Existen diversas maneras de ejecutar el lavado, tal como se observo antes en la tabla C.7.2

#### **C.7.6.2 Filtro lento**

A través de la válvula de carga de fondo debe introducirse agua limpia, de manera que el agua ascienda lentamente a través del sistema de drenaje, la grava y el lecho de arena hasta que alcance un nivel por encima de la superficie de arena, lo cual asegura que el aire acumulado en el sistema es expulsado, el nivel del agua debe estar mínimo 20 cm sobre la superficie de la arena para prevenir daños cuando se inicie la etapa de llenado con agua de proceso. Deben tenerse en cuenta las siguientes condiciones de operación:

1. Es necesario que el filtro se use continuamente, día y noche, con una velocidad de filtración constante para obtener los mejores resultados.
2. Toda espuma y material flotante debe removerse continuamente.
3. Realizar continuamente la medición de la velocidad de filtración.
4. Cuando la altura del agua sobrenadante suba rápidamente, o su nivel alcance el del vertedero de excesos, se debe sacar el filtro de servicio para su limpieza.
5. Cuando la arena ha llegado a tener 50 cm de espesor, es necesario reponer la arena removida. La decisión de rearenar debe tomarse con la debida anticipación teniendo en cuenta que pasará un largo tiempo antes de que el lecho pueda ser puesto nuevamente en servicio. La arena que servirá de material filtrante debe estar bien limpia y lavada antes de ser colocada en el filtro. La caja del filtro se debe llenar con arena hasta el nivel de diseño. La superficie de la arena debe quedar a un nivel uniforme.

Debe planearse la realización del trabajo en un periodo de baja demanda de agua, este plan debe cumplir los siguientes requisitos mínimos:

- Raspado de la capa superior de la arena en el filtro.
  - Ajuste del nivel del agua hasta la grava.
  - Remoción de la arena restante.
  - Colocación del lecho de arena.
  - Reposición de la arena removida.
  - Nivelación de la superficie de la arena.
  - Ajuste de la caja de entrada al nivel de la arena.
  - Puesta en marcha del filtro.
  - Período de maduración, el cual varía de 3 a 7 días en condiciones tropicales y hasta dos semanas o más en áreas más frías.
6. Las limpiezas deben programarse de modo tal, que nunca se saque más de 1 filtro de la operación.

#### **C.7.6.3 Tanque de almacenamiento del agua tratada**

El tanque de almacenamiento debe estar disponible para suministrar agua en horas de máxima demanda y a la vez debe mantener presiones adecuadas en la red de distribución. Es necesario tener en cuenta las siguientes condiciones:

1. Realizar la operación de las válvulas según el régimen de servicio.

2. Medir el caudal distribuido.
3. Aforar el caudal de ingreso al tanque.
4. Controlar la calidad del agua almacenada.
5. Vaciar y lavar el tanque cuando se detecten sedimentos, en especial residuos de cal.
6. Desinfección de tanques . (Hacer referencia a la norma)

#### **C.7.6.4 Control de la calidad del proceso**

##### C.7.6.4.1 Determinación de la calidad fisicoquímica del afluente

Las características fisicoquímicas del afluente deben determinarse, ya que afectan el comportamiento de los filtros.

1. Características físicas. Debe determinarse la turbiedad, el color, el aluminio residual y el pH del afluente.
2. Características químicas. Debe determinarse la interrelación existente entre el pH, la dosis óptima y la eficiencia del filtro.

##### C.7.6.4.2 Determinación de la eficiencia

Debe obtenerse la eficiencia de filtración de la unidad, para lo cual debe emplearse la siguiente expresión:

$$\text{Eficiencia (\%)} = \left( \frac{\text{Turbiedad (afluente)} - \text{Turbiedad (efluente)}}{\text{Turbiedad (afluente)}} \right) * 100 \quad (\text{C.7.1})$$

##### C.7.6.4.3 Estudio de calidad sobre una carrera del filtro

Debe estudiarse la evolución de los parámetros del proceso citados anteriormente, en función del tiempo sobre una carrera de filtración. Además, se recomienda controlar la variación de la concentración del aluminio o hierro residual u otros metales pesados en el efluente.

## CAPÍTULO C.8

### C.8. DESINFECCIÓN

---

#### C.8.1 ALCANCE

En este literal se establecen los tipos de desinfección que pueden realizarse en el tratamiento del agua potable. Se establecen los estudios previos que deben realizarse, los productos químicos que se pueden emplear, las condiciones óptimas de operación y los criterios que deben ser considerados en el momento de seleccionar el tipo de desinfectante.

Todas las normas son aplicables a los cuatro **niveles de complejidad** del sistema, a no ser que se especifique lo contrario.

#### C.8.2 CLASIFICACIÓN DE LOS PROCESOS

Es obligatorio en todos los niveles de confiabilidad, desinfectar el agua sin importar el tipo de tratamiento previo que se haya realizado para su potabilización.

Entre los procesos de desinfección que pueden realizarse esta la cloración, ozonación, desinfección con dióxido de cloro, con rayos ultravioleta entre otros procesos que se describen con más detalle en este capítulo.

Para la desinfección por cloración, deben emplearse tanques de contacto en los **niveles medio alto y alto de complejidad**; En los otros niveles es opcional. El tanque debe proporcionar el tiempo necesario que garantice la desinfección del agua.

No se recomienda el uso de cloro gaseoso en el **nivel bajo de complejidad**. Para este nivel se recomienda el empleo de compuestos en estado sólido o líquido, como: cal clorada, hipoclorito de sodio e hipoclorito de calcio.

En caso de emplear otro producto químico distinto a los aquí mencionados para la desinfección, debe pedirse permiso al Ministerio de Salud para su aplicación, además, debe probar su eficiencia, ya sea por resultados obtenidos a nivel internacional o nacional, por investigaciones, trabajos a nivel laboratorio y/o planta piloto donde se demuestre su efectividad.

#### C.8.3 ESTUDIOS PREVIOS

##### C.8.3.1 Aplicación de los desinfectantes

###### C.8.3.1.1 Cloración

La cloración puede ser empleada en los siguientes casos:

- Desinfección de las aguas.
- Control de olores y sabores
- Prevención del crecimiento de algas y microorganismos.

###### C.8.3.1.2 Ozonación

Se recomienda el uso del ozono (O<sub>3</sub>) en los siguientes casos:

- Para mejorar la calidad organoléptica (color, sabor, etc).
- Por su acción bactericida y virulicida.
- Para la oxidación de la materia orgánica.
- Para la oxidación de micro-contaminantes.
- Para el mejoramiento de la biodegradabilidad antes de un proceso de adsorción sobre el carbón activado granulado (CAG).

No puede emplearse el ozono en aguas que contienen hierro o amoníaco.

**C.8.3.1.3 Dióxido de cloro**

Se recomienda su empleo para controlar el sabor y el olor y para destruir sustancias orgánicas.

**C.8.3.1.4 Rayos ultravioleta**

Se recomienda este tipo de desinfección cuando el contenido de materia orgánica y la turbiedad del agua son muy bajas.

**C.8.3.2 Ensayos previos**

Debe realizarse ensayos a nivel de laboratorio para determinar la dosis óptima de desinfectante y las condiciones adecuadas de operación.

Para la cloración la dosis óptima de cloro debe determinarse controlando la producción de trihalometanos (THMs). La cantidad de cloro depende del grado de contaminación del agua.

**C.8.3.3 Estudio de costos**

En el estudio de costo que debe realizarse, debe incluirse el costo de construcción, operación y mantenimiento de las unidades de desinfección.

Para el empleo de la ozonización y los rayos ultravioleta deben considerarse los costos de instalación, operación y mantenimiento, la necesidad de suministro continuo de energía e importación de equipos y repuestos, así como los trabajos necesarios de reparación.

En la adquisición de equipos para la producción de ozono, éstos deben ser aprobados por el Ministerio de Salud o en su defecto el proveedor debe comprobar más de 10 años de funcionamiento de sus unidades instaladas.

**C.8.4 DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS**

Para la desinfección de las aguas de abastecimiento público se pueden usar los siguientes procesos en función del agente desinfectante empleado:

**C.8.4.1 Cloración**

Para la desinfección y el tratamiento de aguas se puede emplear:

- Cloro gaseoso generado a partir de la vaporización de cloro líquido almacenado bajo presión en cilindros, el cual debe cumplir con la norma NTC 925 (Rev. 2) o la AWWA B301
- Hipoclorito de sodio (líquido), el cual debe cumplir con la norma NTC 1847 (Rev. 3) o la AWWA B300.
- Hipoclorito de calcio (sólido en forma granular), el cual debe cumplir con la norma NTC 1847 (Rev. 3) o la AWWA B300

Son varios los compuestos que pueden ser empleados en la cloración del agua, por lo que en el momento de su selección se recomienda tener en cuenta lo siguiente:

**C.8.4.1.1 Cloro gaseoso (Cl<sub>2</sub>)**

Los factores a tener en cuenta en el diseño del sistema de dosificación del cloro son:

1. Existen cilindros de 68 kg, 907 kg (comúnmente llamados de tonelada) y 1000 kg (tonelada métrica). La tasa máxima de extracción de gas cloro de un cilindro está basada en la temperatura externa. La tasa máxima de extracción de cloro a 20°C de un cilindro de 68 kg (160 lb), debe ser de aproximadamente 16 kg/día a temperatura ambiente y descarga a presión atmosférica. En cilindros de una tonelada la tasa máxima de extracción debe ser de 180 kg/día. Si la tasa de extracción es mayor de 681 kg/día, se recomienda la extracción de cloro líquido y el uso de un evaporador. La tasa de extracción puede ser mayor a 681 kg/día si la operación es intermitente, en caso de no ser así debe implementarse evaporador.

2. Adicionalmente, existen otros tipos de contenedores para cloro como: Carrotanques de 20 y 30 toneladas que se utilizan como unidades de transporte y posteriormente como unidades estacionarias de suministro de cloro en las plantas de tratamiento, Contenedores tipo ISO en tamaños medianos (50 a 1500 USWG), Intermodales (2500 a 9200 USWG), Estacionarios (3900 a 18000 USWG).
3. El sistema de dosificación debe estar dispuesto de tal forma que garantice una temperatura constante.
4. Debe emplearse un dispositivo de alternabilidad de los cilindros, cuando se opere con unidades en paralelo, o en su defecto llevar un registro del consumo de cloro de tal manera que se garantice un oportuno cambio de cilindros de cloro y el agua siempre recibirá la dosificación apropiada.
5. Para el control de la dosificación de cloro deben tenerse báscula plataforma o un sistema automático apropiado al tipo y cantidad de cilindros requeridos.
6. La distancia entre el clorador y el cilindro de cloro debe ser tan corta como sea posible para evitar la relicuefacción del gas de cloro.

#### C.8.4.1.2 Hipocloritos

##### 1. Hipoclorito de calcio ( $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ )

Tiene la ventaja de ser más fácil su manipulación que el cloro gaseoso en pequeñas comunidades, tiene una alta solubilidad, de fácil transporte, no es tóxico a menos que sea ingerido, no requiere de equipos complejos para su dosificación. Este producto tiene un alto costo y sufre alteraciones una vez abierto el recipiente.

##### 2. Hipoclorito de sodio ( $\text{NaClO}$ )

Es de fácil manejo, no es tóxico a menos que sea ingerido, de fácil transporte, no requiere de equipos sofisticados para su aplicación. Tiene la desventaja de tener poca estabilidad, tiene una baja concentración de cloro activo (entre 2.5 y 15%, la concentración más común 10%).

En caso de emplear cloro líquido o hipocloritos como desinfectantes, éstos deben cumplir con las Normas Técnicas ANSI/AWWA B301-92 y ANSI/AWWA B300-92 respectivamente.

#### C.8.4.1.3 Cal clorada

Tiene la ventaja de fácil manejo, no es tóxica, de fácil transporte, buena solubilidad en el agua, no requiere equipos sofisticados para su dosificación. Genera residuos calcáreos, baja estabilidad, debe ser almacenado lejos del calor y la luz solar. Para su aplicación debe contarse con un depósito para la preparación de la solución.

### **C.8.4.2 Reacciones del cloro en el agua**

Básicamente podemos considerar dos tipos de reacciones del cloro en el agua que se producen en el siguiente orden:

#### C.8.4.2.1 Las de hidrólisis.

Al agregar cloro al agua, lo primero que ocurre es que este se hidroliza para producir ácido hipocloroso  $\text{HOCl}$  e ion hipoclorito  $\text{OCl}^-$ . A estos compuestos se les llama cloro libre el cual es un desinfectante muy activo.

#### C.8.4.2.2 Las de oxidación – reducción.

A continuación se produce una reacción de oxidación - reducción en donde el cloro se combina con el nitrógeno amoniacal para producir cloraminas, a las cuales se les llama también cloro combinado utilizable.

Las cloraminas son un desinfectante menos eficaz que el cloro libre por lo que se requiere de un tiempo de contacto largo o dosificaciones mayores. El adicionar amoníaco para formar las cloraminas ocasiona un aumento en los costos de desinfección. La dosis de  $\text{NH}_3$  esta comprendida entre  $\frac{1}{4}$  y  $\frac{1}{2}$  de la dosis en cloro. Las cloraminas disminuyen el riesgo de la formación de trihalometanos en el agua.

*Debe tenerse en cuenta que pueden formarse subproductos de la cloración con  $\text{Cl}_2$  (g) o hipocloritos (SPD) por reacción con la materia orgánica o COD presente como son los trihalometanos (THMs).*

*Entre los compuestos de THMs se tienen el cloroformo ( $\text{CHCl}_3$ ), dibromoclorometano ( $\text{CHClBr}_2$ ), diclorobromometano ( $\text{CHCl}_2\text{Br}$ ), bromoformo ( $\text{CHBr}_3$ ). Estos compuestos presentan un carácter cancerígeno en roedores, por lo cual constituyen un riesgo potencial para los seres humanos. Debe mantenerse una concentración de THMs totales inferior a 0.1 mg/L, según lo establecido en el Decreto 475 de marzo 10 de 1998 del Ministerio de Salud o en su defecto, el que lo reemplace.*

Para la eliminación de los trihalometanos pueden emplearse los siguientes métodos:

- Remoción de los subproductos una vez se han formado con carbón activado granular o en polvo o por Aeración.
- Reducción de la concentración en compuestos orgánicos o reduciendo la demanda en cloro en el agua antes de clorar.
- Cambiando el cloro por otro desinfectante.

#### **C.8.4.3 Dióxido de cloro**

El Dióxido de cloro es un gas de carácter explosivo, por lo que dicho gas no debe ser transportado, sino que debe producirse en el sitio donde se piensa aplicar. Para evitar explosiones debe mantenerse a una concentración inferior al 10% en el aire y a 30 g/L en el agua. Sin embargo, tiene la ventaja de no producir trihalometanos y ser un muy potente oxidante (remoción de color y metales).

Debe obtenerse un residual de  $\text{ClO}_2$  al final de la red, por lo que algunas veces se requiere altas dosis del desinfectante, debido a la reducción del  $\text{ClO}_2$  por la materia orgánica del agua (COD). Debe tenerse en cuenta que su empleo puede producir el ión  $\text{ClO}_2^-$  (clorito) que es un subproducto de la desinfección (SPD), considerado como tóxico, otro subproducto que puede formarse en proporciones menores es el ión  $\text{ClO}_3^-$  (clorato). Se recomienda una concentración total en  $\text{ClO}_2$ ,  $\text{ClO}_2^-$  y  $\text{ClO}_3^-$  menor a 1 mg/L.

#### **C.8.4.4 Ozonación**

Puede esterilizarse el agua por medio de ozono ( $\text{O}_3$ ), gas inestable que debe ser generado en aparatos especiales por descargas eléctricas en cámaras de aire seco. El ozono debe aplicarse directamente del ozonizador al agua tratada en una cámara de contacto especialmente diseñada para tal efecto, como una columna empacada, un reactor a dispersión de burbujas o un tubo en "U" para incrementar la cinética de transferencia del  $\text{O}_3$ . Se recomienda mantener una concentración residual de 0.2 a 0.4 mg/L durante 4 minutos.

Debe tenerse en cuenta que entre los subproductos de la desinfección que se forman con el ozono está el ión  $\text{BrO}_3^-$  (bromato), considerado como cancerígeno. Se recomienda una concentración máxima admisible de 25  $\mu\text{g/L}$ .

En caso de implementar la ozonación debe tenerse en cuenta los siguientes aspectos;

- La planta debe contar con un suministro de energía durante las 24 horas del día.
- Debe contarse con personal técnico altamente calificado para el manejo de los equipos.
- Debido a que el ozono no proporciona concentración residual debe emplearse un desinfectante secundario que genere este efecto residual con el fin de proteger el agua en el sistema de distribución.
- Que no haya otro desinfectante que ofrezca las mismas ventajas.

#### **C.8.4.5 Rayos ultravioletas**

La esterilización se logra por medio de rayos ultravioletas de longitud de onda entre 200 y 300 nm. Pueden emplearse lámparas de vapor de mercurio a muy baja o alta presión.

El agua que se ha de esterilizar debe circular por las proximidades de la fuente de rayos ultravioleta, en una corriente del menor espesor posible. Para asegurar la desinfección, el agua debe ser completamente clara, es decir, libre de sustancias que puedan absorber la luz y de materias

suspendidas que interponga una sombra a los organismos contra la luz. Se recomiendan longitudes de onda de luz entre 240 y 280 nm.

Debe emplearse un segundo agente desinfectante para obtener un residual adecuado que asegure que no vuelvan a desarrollarse microorganismos en el sistema de distribución.

## C.8.5 PARÁMETROS DE DISEÑO

### C.8.5.1 Dosis del desinfectante - Método concentración - tiempo

Cualquiera sea el nivel de complejidad, la determinación de la dosis de desinfectante con la cual debe operar la planta de tratamiento y el dimensionamiento de los distintos componentes de la misma debe hacerse por el método concentración-tiempo.

Este método parte del principio de que la concentración "C" de desinfectante aplicado (cloro libre) multiplicada por el tiempo de detención "t" desde que se aplica dicha dosis hasta que se consume el agua, es igual a una constante "K", o sea que  $Ct=K$ . Los valores de esa constante K están dados en las tablas C.8.2.A, C.8.2.B y C.8.2.C. Fueron tomados de los que aparecen en las regulaciones de la Agencia de Protección del Ambiente de los Estados Unidos, los cuales varían con el pH y la temperatura del agua, según sea la eficiencia del tratamiento que se le de a éste en los procesos previos a la desinfección (sedimentación y filtración) en los que se remueve un cierto porcentaje de organismos patógenos, que en algunos casos puede llegar hasta el 99%.

Sin embargo, entre más organismos patógenos pasen en los procesos previos, en especial cuando son virus y protozoarios (Amibas, Giardias, Cristosporidium) más alta debe ser la dosis empleada, dado que estos son muy resistentes a los desinfectantes usuales, sobre todo cuando están en presencia de concentraciones relativamente altas de partículas (turbiedad mayor de 1.0 UNT) que los encapsulan y protegen de la acción germicida de los mismos.

En consecuencia, antes de fijar la dosis de desinfectante, debe estimarse la eficiencia de los procesos de sedimentación y filtración previos para establecer el grado de remoción de coliformes totales y de turbiedad.

Si la operación de la planta permite durante el 90% de su operación, la remoción del 95 al 99% de coliformes en los procesos previos de sedimentación y filtración y la turbiedad del agua filtrada se mantiene durante el 95% del tiempo menor de 1,0 UNT, debe usarse la tabla C.8.2.A .

TABLA C.8.2.A

Valores de  $Ct = K$  en mg-min/l para inactivación de quiste Giardia por Cloro libre para log 2

Dosis de Cloro Aplicada mg/l	10°C				15°C				20°C				25°C			
	pH				pH				pH				pH			
	6,0	6,5	7,0	7,5	6,0	6,5	7,0	7,5	6,0	6,5	7,0	7,5	6,0	6,5	7,0	7,5
<=0.4	24	29	35	42	16	20	23	28	12	15	17	21	8	10	12	14
0,6	25	30	36	43	17	20	24	29	13	15	18	21	8	10	12	14
0,8	26	31	37	44	17	20	24	29	13	15	18	22	9	10	12	15
1	26	31	37	45	18	21	25	30	13	16	19	22	9	10	12	15
1,2	27	32	38	46	18	21	25	31	13	16	19	23	9	11	13	15
1,4	27	33	39	47	18	22	26	31	14	16	19	23	9	11	13	16
1,6	28	33	40	48	19	22	26	32	14	17	20	24	9	11	13	16
1,8	29	34	41	49	19	23	27	33	14	17	20	25	10	11	14	16
2	29	35	41	50	19	23	28	33	15	17	21	25	10	12	14	17
2,2	30	35	42	51	20	23	28	34	15	18	21	26	10	12	14	17
2,4	30	36	43	2	20	24	29	35	15	18	22	26	10	12	14	17
2,6	31	37	44	53	20	24	29	36	15	18	22	27	10	12	15	18
2,8	31	37	45	54	21	25	30	36	16	19	22	27	10	12	15	18
3	32	38	46	55	21	25	30	37	16	19	23	28	11	13	15	18

Si la operación de la planta permite el 90 al 95% de la remoción de coliformes en los procesos previos de sedimentación y filtración y la turbiedad del agua filtrada está entre 1,0 y 2,0 UNT, debe usarse la tabla C.8.2.B

TABLA C.8.2.B

Valores de  $Ct = K$  en mg-min/l para inactivación de quiste *Giardia* por Cloro libre para log 3

Dosis de Cloro Aplicada mg/l	10°C				15°C				20°C				25°C			
	pH				pH				pH				pH			
	6,0	6,5	7,0	7,5	6,0	6,5	7,0	7,5	6,0	6,5	7,0	7,5	6,0	6,5	7,0	7,5
<=0.4	37	44	52	63	25	30	35	42	18	22	26	31	12	15	18	21
0,6	38	45	54	64	25	30	36	43	19	23	27	32	13	15	18	22
0,8	39	46	55	66	26	31	37	44	20	23	28	33	13	16	19	22
1	40	47	56	67	27	32	38	45	20	24	28	34	13	16	19	23
1,2	40	48	57	69	27	32	38	46	20	24	29	35	14	16	19	23
1,4	41	49	58	70	28	33	39	47	21	25	29	35	14	17	20	24
1,6	42	50	60	72	28	33	40	48	21	25	30	36	14	17	20	24
1,8	43	51	61	74	39	34	41	49	22	26	31	37	15	17	21	25
2	44	52	62	75	29	35	42	50	22	26	31	38	15	18	21	25
2,2	45	53	64	77	30	35	43	51	22	27	32	39	15	18	21	26
2,4	45	54	65	79	30	36	43	53	23	27	33	39	15	18	22	26
2,6	46	55	66	80	31	37	44	54	23	28	33	40	16	19	22	27
2,8	47	56	67	82	31	37	45	55	24	28	34	41	16	19	23	27
3	48	57	69	83	32	38	46	56	24	29	34	42	16	19	23	28

Para el caso de plantas que usen una fuente altamente contaminada o que en la operación de los procesos previos de sedimentación y filtración se remueva menos del 90% de los coliformes totales y la turbiedad del agua filtrada esta entre 2,0 y 5,0 UNT, se debe utilizar la tabla C.8.2.C.

TABLA C.8.2.C

Valores de  $Ct = K$  en mg-min/l para inactivación de quiste *Giardia* por Cloro libre para log 4

Dosis de Cloro aplicada mg/l	10°C				15°C				20°C				25°C			
	pH				pH				pH				pH			
	6,0	6,5	7,0	7,5	6,0	6,5	7,0	7,5	6,0	6,5	7,0	7,5	6,0	6,5	7,0	7,5
<=0.4	49	59	69	83	33	39	47	55	24	29	35	41	16	19	23	28
0,6	50	60	71	85	33	40	48	57	25	30	36	43	17	20	24	29
0,8	52	61	73	87	35	41	49	59	26	31	37	44	17	21	25	29
1	53	63	75	89	35	42	50	60	26	31	37	45	17	21	25	30
1,2	53	63	76	91	36	43	51	61	27	32	38	46	18	21	25	31
1,4	55	65	77	93	37	43	52	63	27	33	39	47	18	22	26	31
1,6	55	66	79	96	37	44	53	64	28	33	39	48	19	22	27	32
1,8	57	67	81	98	38	45	54	65	29	34	41	49	19	23	27	33
2	58	69	83	100	39	46	55	67	29	35	41	50	19	23	27	33
2,2	59	70	85	102	39	47	57	68	29	35	42	51	20	23	28	34
2,4	60	71	86	105	40	48	57	70	30	36	43	52	20	24	29	35
2,6	61	73	87	107	41	49	59	71	31	37	44	53	21	25	29	35
2,8	62	74	89	109	41	49	59	73	31	37	45	54	21	25	30	36
3	63	75	91	111	42	51	61	74	31	38	45	55	21	25	31	37

Las tablas anteriores están elaboradas para desinfección con cloro libre, entendiéndose por tal el que queda después de satisfecha la demanda.

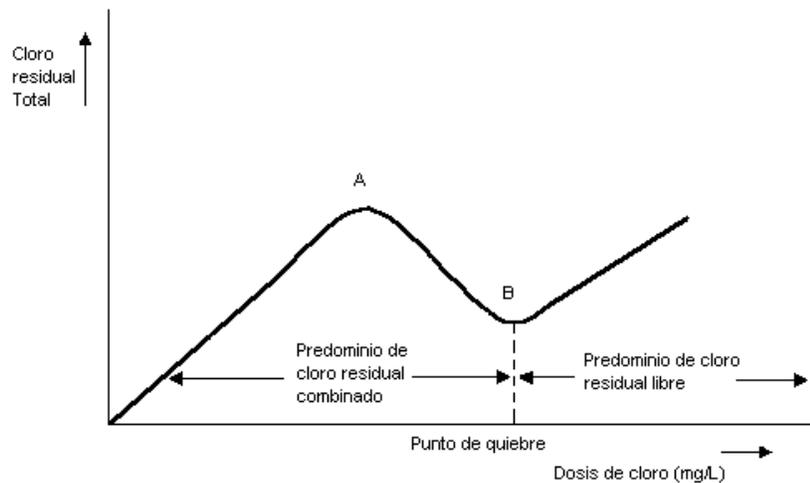
El Ministerio de Salud podrá exigir una remoción mayor para aguas con alta contaminación.

### C.8.5.2 Curva de demanda en cloro

Debe construirse una gráfica de la dosis aplicada de cloro contra los residuales obtenidos, en el caso en que esté presente nitrógeno amoniacal y/o orgánico. La curva se asemeja a la de la figura C.8.1. Debe determinarse la relación de  $\text{Cl}_2$  :N para lograr el punto de quiebre (punto B), en la práctica dicha relación tiene un valor cercano a 10 :1.

Debe obtenerse la demanda de cloro, diferencia entre la cantidad de cloro aplicado al agua y la cantidad de cloro total remanente al final de un período de contacto especificado, para determinar el número y la capacidad de los cloradores a emplear, así como el tipo de agente desinfectante.

FIGURA C.8.1.  
Curva de demanda de cloro



### C.8.5.3 Concentración en cloro residual

La concentración de cloro residual libre en el sistema de distribución debe estar entre 0.2 mg/L y 1.0 mg/L, según lo fijado por el Decreto 475 de marzo 10 de 1998 del Ministerio de Salud o en su defecto, el que lo reemplace.

### C.8.5.4 Punto de aplicación

El cloro debe aplicarse en un punto donde provea una mezcla óptima y asegure un máximo tiempo de contacto.

### C.8.5.5 Tanque de contacto

Para los **todos los niveles de complejidad** se deben implementar los tanques de contacto. Estas unidades son de forma rectangular en cuyo interior debe contener pantallas de forma que permitan un flujo tipo pistón dentro de la unidad. Debe implementarse como mínimo dos unidades de desinfección.

El tanque de contacto debe diseñarse con tabiques de ida y regreso de tal manera que retenga el agua durante todo el tiempo  $t$  de contacto, dado por las tablas antes de que el flujo pase al tanque de almacenamiento o a la red de distribución.

El tanque de almacenamiento no se puede utilizar como tanque de contacto porque su nivel está variando constantemente y por tanto no siempre retiene el flujo durante el tiempo requerido para una buena desinfección. En forma excepcional se puede utilizar la tubería de conducción entre la planta y la red para obtener el tiempo de contacto, siempre y cuando dicha conducción sea expresa y no tenga suministro en ruta antes de que el flujo complete el tiempo  $t$  de contacto requerido, en cuyo caso se requiere proveer de un tanque pequeño de contacto a la planta de tratamiento solo para su uso interno

### C.8.5.6 Cloradores

Para la aplicación del cloro gaseoso, pueden usarse los cloradores tipo directo y cloradores del tipo de solución al vacío.

#### C.8.5.6.1 Clorador tipo directo

Se debe aprovechar la presión del cilindro de cloro para aplicar el gas directamente a la masa líquida a ser desinfectada. La máxima presión en el punto de aplicación es de  $1.41 \text{ kg/cm}^2$ .

#### C.8.5.6.2 Clorador del tipo de solución al vacío

En esta unidad se succiona el gas por medio de vacío generado en un inyector, el cual lo mezcla con agua para formar una solución, que luego es conducida al punto de aplicación. La operación de esta unidad puede ser por control manual (recomendado para los **niveles bajo y medio de complejidad**), control semiautomático y control automático (recomendado para los **niveles medio alto y alto de complejidad** del sistema).

#### C.8.5.6.3 Selección del clorador

En la selección del clorador debe tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. Para los **niveles bajo y medio de complejidad** del sistema, los dispositivos de dosificación deben ser sencillos y en lo posible funcionar a gravedad.
2. Debe disponerse de un equipo de reserva con capacidad suficiente para reemplazar la unidad más grande durante un paro de la misma.
3. Debe determinarse la demanda de cloro, ya que ésta permite cuantificar el número y la capacidad de los cloradores, así como la cantidad de cloro y el tipo de agente desinfectante.
4. La unidad debe satisfacer la demanda máxima con un margen de seguridad.

#### C.8.5.6.4 Operación de los dosificadores

La operación de los dosificadores debe realizarse con el mayor control posible, ya que una pequeña variación en la concentración de las sustancias químicas puede llegar a ser representativa y afectar la calidad del agua aumentando los costos de producción.

Todos los cloradores deben instalarse para funcionamiento continuo, libres de problemas de operación. La selección del punto de aplicación del cloro debe hacerse con base en:

1. Contrapresión según especificación del fabricante.
2. Mezcla rápida y homogénea del cloro en el agua.
3. Facilidad de acceso al equipo de cloración para inspección.
4. Disponibilidad de agua y espacio para almacenamiento de cilindros.
5. Disponibilidad de energía eléctrica.

## C.8.6 SELECCIÓN DEL DESINFECTANTE

En la selección del desinfectante deben satisfacerse los siguientes criterios:

1. Debe destruir o inactivar, dentro de un tiempo dado, las clases y número de microorganismos patógenos que pueden estar presentes en el agua que se va a desinfectar.
2. El análisis para determinar la concentración de desinfectante en el agua debe ser exacto sencillo, rápido y apropiado para hacerlo tanto en el terreno como en el laboratorio.
3. El desinfectante debe ser confiable para usarse dentro del rango de condiciones que pueden encontrarse en el abastecimiento de agua.
4. Debe poder mantener una concentración residual adecuada en el sistema de distribución de agua para evitar la recontaminación o que los microorganismos se reproduzcan.
5. De ser posible no debe introducir ni producir sustancias tóxicas, o en caso contrario éstas deben mantenerse bajo los valores guía o los exigidos
6. Debe poder medirse la concentración del desinfectante en el agua con rapidez y facilidad.
7. El desinfectante debe ser razonablemente seguro y conveniente de manejar y aplicar en las situaciones en que se requiera su uso.
8. El personal debe estar calificado para manejar el agente desinfectante o si se requiere debe tenerse en cuenta la capacitación que debe suministrarse al personal.
9. El costo del equipo, su instalación, operación, mantenimiento y reparación, así como la adquisición y el manejo de los materiales requeridos para sustentar permanentemente una dosificación eficaz, debe ser razonable.

## C.8.7 CONTROL DE LOS PROCESOS Y OPERACIÓN

Los factores o parámetros que influyen en la desinfección y que deben ser controlados durante la operación son:

1. La mezcla debe ser rápida, uniforme y eficiente entre el cloro y el agua.
2. El desinfectante y el agua deben estar en contacto el tiempo estimado, para garantizar una completa desinfección del agua.
3. Debe desinfectarse el agua a un pH inferior a 7.5. Valores de pH superiores a 7.5 retardan las reacciones entre el cloro y el amoníaco.
4. Debe controlarse el nivel de turbiedad del agua, debido a que los microorganismos pueden encapsularse dentro de la partículas haciendo más lenta la acción del desinfectante. Se recomienda tener una turbiedad menor de 1 UNT para la optimización del proceso.
5. Debe garantizarse que la desinfección con cloro no produzca trihalometanos al final de la red superior a lo indicado por la norma.
6. Controlar con análisis adecuados que la contaminación patógena no esté presente en la red de distribución incluyendo las zonas de extremo de red.
7. Medir el contenido de cloro residual libre y combinado, como mínimo cada hora.
8. La cloración debe realizarse con un clorador, este debe tener un rotámetro que permita cuantificar el cloro dosificado en el efluente de la planta de tratamiento.
9. Debe vigilarse y chequearse la posición del rotámetro, cuando se utilice cloro proveniente de cilindros a presión.
10. En caso de ser necesario debe emplearse un segundo desinfectante.
11. En caso de aplicar un proceso de estabilización al agua tratada es aconsejable neutralizar después de desinfectar, para operar a condiciones óptimas de pH.
12. No debe aplicarse cal y cloro al mismo tiempo.
13. En general, la calidad del agua debe cumplir con lo establecido en el Decreto 475 de 1998.

En caso de emplear otro desinfectante, que no sea la cloración, deben disponerse de equipo confiable para su aplicación y para la determinación de la concentración residual, reconocidos en la última edición de "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" o normas ASTM.

#### C.8.7.1.1 pH óptimo

Debe alcalinizarse el agua después de la cloración y no antes de ella. Debe tratarse de mantener un pH bajo para aumentar la eficiencia en el proceso de desinfección, es aconsejable entre 6 - 7. Se deben realizar mediciones continuas para determinar la calidad del agua tratada.

#### C.8.7.1.2 Dosificación

Debe estudiarse si el agua requiere precloración y postcloración o solo postcloración, ésto depende de las características de la fuente, debe emplearse la precloración cuando hay excesiva producción de algas en la planta o cuando el NMP/100 mL de coliformes en el agua cruda sea superior a 5000. La postcloración debe usarse en todos los casos. Las dosis dependen de la demanda de cloro en la red, redes extensas en las que el agua tiene un largo período de detención requieren por lo común dosis iniciales mayores que redes cortas.

Para determinar la dosis óptima, deben realizarse pruebas de laboratorio agregando las cantidades crecientes de cloro al agua tratada y midiendo su concentración a través del tiempo. La dosis óptima sería la que produzca un residual de cloro libre de mínimo 0.2 ppm al extremo de la red. Si lo anterior no fuera económicamente viable porque las concentraciones iniciales resultaron muy altas, es necesario proyectar recloraciones en puntos seleccionados de la red.

La operación exitosa del proceso de cloración requiere principalmente:

1. Suministro adecuado y permanente del agente desinfectante.
2. Control eficiente, continuo y exacto de la dosificación.
3. Manejo seguro en todo momento del compuesto y de los equipos utilizados para su aplicación.
4. Mezcla completa y continua del cloro con todo el agua a tratar.

#### C.8.7.1.3 Concentración residual de cloro

La muestra debe tomarse cerca de la salida del tanque de contacto o de almacenamiento del agua filtrada. Es necesario medir el contenido de cloro residual, si este contenido está por debajo del valor deseado, se debe ajustar la dosificación del cloro y después de 1 hora repetir la operación hasta el ajuste requerido. Se debe seguir el siguiente procedimiento:

1. Limpieza del equipo de muestreo con agua limpia.
2. Debe vertirse la muestra en el tubo especial, añadiendo el reactivo químico a la muestra para permitir que alcance su máxima intensidad siguiendo las instrucciones específicas del laboratorio.
3. Debe compararse el color de la muestra con un juego de patrones y registrar el valor encontrado para la concentración de cloro en la muestra.
4. Los ensayos deben efectuarse diariamente.

## CAPÍTULO C.9

### C.9. ESTABILIZACIÓN - ABLANDAMIENTO

---

#### C.9.1 ALCANCE

En este literal se establecen los requisitos mínimos para llevar a cabo el proceso de estabilización-ablandamiento como proceso complementario de la planta de potabilización de aguas con el fin de lograr las características fisicoquímicas, organolépticas y bacteriológicas que se exigen en la consistencia de un agua potable. Se establecen los tipos de procesos para cumplir esta finalidad junto con los estudios previos, los parámetros de diseño y el control que se debe llevar sobre cada proceso.

Se establecen las condiciones para los cuatro **niveles de complejidad** del sistema. Todas las normas son aplicables a los cuatro niveles del sistema, a no ser que se especifique lo contrario.

Debe utilizarse el proceso de estabilización si es económicamente factible y si la calidad del agua lo permite, en caso contrario debe emplearse otro método que esté comprobado eficientemente para controlar los problemas de corrosión en la red.

El proceso de ablandamiento debe utilizarse cuando las condiciones del agua se encuentren fuera de lo estipulado por el Decreto 475 de 1998 del Ministerio de Salud o en su defecto el que lo reemplace.

#### C.9.2 GENERALIDADES

El agua tratada a la salida de la planta no debe presentar propiedades corrosivas con respecto a las tuberías del sistema de distribución y abastecimiento a la entrada de las casas.

El pH del agua debe acercarse al pH de saturación, si es necesario hacer uso de inhibidores que a la vez pueden ayudar a proteger la red, éstos pueden utilizarse si son económicamente factibles.

Para proteger las tuberías de los agentes corrosivos presentes puede ajustarse la composición del agua, pH, concentración en iones de calcio y la alcalinidad al valor del equilibrio de saturación del carbonato de calcio para una temperatura del agua dada.

El agua ideal debe tener una dureza total entre 40 mg/L y 60 mg/L de equivalente de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), a un pH y alcalinidad que alcance las condiciones de saturación y una dureza de magnesio de no más que 36 mg/L para minimizar la formación de hidróxido de magnesio a temperaturas elevadas.

Por medio del ablandamiento del agua debe reducirse el contenido de minerales disueltos, particularmente calcio y magnesio que son los mayores impulsores de la dureza del agua, otros iones que pueden producir dureza son el hierro, manganeso, estroncio, bario, zinc y aluminio, de cualquier modo, estos iones no están presentes en cantidades significantes.

Los beneficios que deben obtenerse con el ablandamiento del agua son los siguientes:

- Control del crecimiento biológico.
- Un ligero grado de remoción de trazas orgánicas.
- Economía de jabón y detergentes.
- Mejor lavado de ropa y utensilios domésticos.
- Disminución de incrustaciones en artefactos domésticos.
- Mejor cocción y preparación de alimentos.
- Si se opera en forma correcta, puede prevenir la corrosión.
- Incremento en la eficacia de la filtración.

### C.9.3 CLASIFICACIÓN DE LOS PROCESOS

El agua debe tratarse por el método más adecuado de acuerdo a las características fisicoquímicas del afluente, el **nivel de complejidad** del sistema, los costos que implica y la disponibilidad de espacio para alcanzar los niveles de calidad exigidos.

Los procesos que deben analizarse como sistema complementario de los tratamientos convencionales son estabilización con reactivos alcalinos, ablandamiento por precipitación química y/o proceso de intercambio iónico utilizando resinas específicas.

Teniendo en cuenta que el tratamiento convencional, generalmente coagulación con sulfato de aluminio y cloración con cloro gaseoso, produce aguas corrosivas, debe incrementarse el pH del agua con cal o agregar inhibidores de corrosión. Los inhibidores de corrosión que pueden usarse incluyen fosfatos inorgánicos, silicatos de sodio y mezclas de fosfatos y silicatos.

En caso de emplear algún proceso de estabilización-ablandamiento distinto a los mencionados en este título, el diseñador debe pedir autorización a la Comisión Reguladora de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA) para su aplicación, para lo cual debe comprobar la eficiencia de dicho proceso, ya sea por resultados obtenidos a nivel internacional o nacional, por investigaciones, trabajos a nivel de laboratorio y/o planta piloto donde se demuestre su efectividad.

### C.9.4 ESTUDIOS PREVIOS

El tratamiento y disposición debe considerarse junto con los requerimientos especiales como limitaciones de espacio, estética, características operacionales, recuperación y reutilización química.

#### C.9.4.1 Estabilización con reactivos alcalinos

El proceso de corrección del pH debe realizarse cuando las condiciones de calidad de agua tratada así lo requieran. Debe hacerse un análisis detallado del agua tratada para determinar la dosificación de los productos químicos, evitando así, aumentar los costos de producción.

#### C.9.4.2 Precipitación química

El proceso de ablandamiento de aguas requiere grandes inversiones iniciales y tiene un costo de operación elevado debido a los altos requerimientos de energía, por lo cual debe realizarse un estudio de justificación de su uso, en los casos en que sea necesario.

#### C.9.4.3 Intercambio iónico

La disposición de los residuos de la regeneración de las resinas intercambiadoras debe llevarse a cabo de una manera cuidadosa, ya que algunos son contaminantes muy fuertes. Para tal efecto debe realizarse un estudio de la factibilidad de someterlos a un tratamiento para luego desalojarlos en rellenos si el grado de contaminación lo justifica.

### C.9.5 DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS

#### C.9.5.1 Estabilización con reactivos alcalinos

La estabilización debe incrementar la remoción de la agresividad carbónica con un pretratamiento adecuado, con el objeto de llevar el agua a un valor cercano al pH de equilibrio o  $\text{pH}_s$  del sistema de carbonatos. La adición de reactivos alcalinos, en general una solución saturada de cal, puede ser realizada en totalidad a la salida de la instalación de tratamiento o parcialmente a la entrada y salida.

Para contrarrestar el problema de la corrosión debe buscarse la formación de la capa de Tillmans, la cual se presenta cuando las aguas tratadas con suficiente oxígeno en equilibrio calcocarbónico tienen la propiedad de permitir la formación de una capa protectora natural por coprecipitación de carbonato de calcio y óxido férrico.

#### C.9.5.1.1 Índice

El ajuste del índice de un agua requiere el control del pH dentro de un intervalo restringido, de manera que el equipo para alimentar ácido o álcali a fin de lograr un índice de estabilidad especificado en el agua de proceso, es por lo general complejo.

El índice de estabilidad recomendable para evaluar la corrosividad del agua es el Índice de saturación de Langelier (Is), el cual es igual a la diferencia entre el pH medido del agua considerada y su pH de equilibrio de saturación ( $pH_s$ ) y debe calcularse con la siguiente expresión:

$$Is = pH - pH_s \quad (C.9.1)$$

Si:

$Is > 0$  = Agua sobresaturada, incrustante, tiende a precipitar carbonato de calcio.

$Is = 0$  = Agua saturada en equilibrio con carbonato de calcio, ni disuelve ni deposita carbonato de calcio.

$Is < 0$  = Agua subsaturada, corrosiva, tiende a disolver carbonato de calcio.

El proceso de estabilización debe realizarse hasta llegar a un índice de saturación igual a +0.2, con lo cual se puede favorecer la formación de la capa protectora de Tillmans.

#### C.9.5.2 Precipitación química

Este método se fundamenta en la poca solubilidad del carbonato de calcio y del hidróxido de magnesio, los cuales son obtenidos agregando al agua cal y/o carbonato de calcio.

##### C.9.5.2.1 Dosificación

Para la remoción de la dureza de los no carbonatos, como dureza de calcio o magnesio presentes en cantidades alcalinas excesivas, debe dosificarse carbonato de sodio ( $Na_2CO_3$ ) o soda comercial (referirse a la Norma Técnica AWWA B 201-92). El proceso con cal y carbonato de sodio puede efectuarse en dos etapas: en la primera haciendo el tratamiento con cal y en la segunda con carbonato de sodio. También puede hacerse en una sola etapa conjunta, la cal debe hidratarse para su aplicación, la remoción previa de dióxido de carbono (referirse a la Norma Técnica AWWA B 510-95) disminuye la dosis necesaria de cal.

La cal requerida en el proceso debe relacionarse con el contenido de dióxido de carbono, la dureza carbonácea y la dureza por magnesio del agua.

Debe determinarse la alcalinidad del agua para hallar la cantidad de cal y carbonato de sodio o sosa comercial necesarias para el proceso.

La cantidad de cal necesaria para la primera etapa debe determinarse de acuerdo a las reacciones básicas del proceso, entre las cuales se encuentra la dureza carbonácea, la dureza por magnesio, el dióxido de carbono, la dureza no carbonácea y la recarbonatación, ésta última necesaria para la remoción del excedente de cal.

La recarbonatación debe hacerse en dos etapas, con objetivos diferentes en cada caso. La primera recarbonatación tiene por objeto convertir el exceso de cal agregado al agua en carbonato de calcio para permitir así su precipitación y remoción, así mismo, el hidróxido de magnesio que no se precipitó debe ser convertido en carbonato de magnesio. La segunda recarbonatación tiene como fin eliminar la tendencia del agua, ablandada con cal y carbonato de sodio anhídrido, a depositar carbonato de calcio sobre la arena de los filtros, aumentando de tamaño y causando una reducción en la capacidad hidráulica del sistema.

Debe anotarse que la precipitación del carbonato de calcio y del hidróxido de magnesio no es completa, pues para saturación ambos tienen una solubilidad del orden de 7 y 8 mg/L respectivamente; además, en el proceso las soluciones tienden a sobresaturarse y por ello, en la práctica sólo se pueden obtener durezas residuales mayores de 50 mg/L por el método de cal - carbonato de sodio anhídrido.

La remoción de dureza no carbonácea por calcio originalmente presente o la formada en la remoción de la dureza no carbonácea por magnesio debe dosificarse carbonato de sodio o sosa comercial, para el

efecto 1.06 mg/L de carbonato de calcio son necesarios para precipitar 1 mg/L de dureza no carbonácea.

Para el aproximamiento estequiométrico debe establecerse la solución de ecuaciones de equilibrio simultáneas para estimar la dosis de químicos (cal y carbonato de sodio) en el proceso de ablandamiento por precipitación química.

Las gráficas de barras pueden utilizarse cuando se presenta la necesidad de realizar ablandamiento, estas muestran las concentraciones de las especies envueltas en diferentes etapas durante el proceso. El uso de estas gráficas debe seguir los siguientes pasos para el análisis del ablandamiento del agua:

- Medir las concentraciones de los aniones y cationes principales.
- Convertir las concentraciones a meq/L.
- La suma de las concentraciones de los cationes y la suma de las concentraciones de los aniones deben ser aproximadamente iguales.
- Si el anterior paso no se cumple, deben revisarse los análisis o cálculos, o un ión significativo no ha sido medido.

#### C.9.5.2.2 Remoción del magnesio

En aguas con un contenido bajo de magnesio se puede remover solamente la dureza carbonácea por calcio mediante cal. Si se desea remover el magnesio debe agregarse cal en exceso para así obtener un pH alto, mayor de 10.8 generalmente y precipitar el magnesio como hidróxido; adicionalmente, si se desea remover la dureza no carbonácea se debe agregar carbonato de sodio o sosa comercial.

#### C.9.5.3 Proceso con resinas de intercambio iónico

En el proceso de ablandamiento con resinas de intercambio iónico, el calcio y el magnesio en solución en el agua deben ser desplazados por un ión del material sólido insoluble que constituye la resina.

En la práctica debe usarse una resina catiónica como las zeolitas operando en el ciclo del sodio para que el calcio y el magnesio sean reemplazados por el sodio de la zeolita y viceversa.

El ablandamiento debe realizarse por ciclos en el intercambiador, en cada uno de los cuales se alcanza a tratar un determinado volumen de agua, la duración de un ciclo debe definirse por la capacidad de intercambio.

## C.9.6 PARÁMETROS DE DISEÑO

### C.9.6.1 Estabilización con reactivos alcalinos

Para que se forme la capa de Tillmans, la cual no es necesariamente obligatoria, la composición del agua debe cumplir ciertas condiciones:

1. Concentración en oxígeno disuelto mayor a 4-5 mg/L.
2. Alcalinidad y dureza cálcica suficientes para sobrepasar el producto de solubilidad del bicarbonato de sodio.
3. pH del agua ligeramente superior al pH del equilibrio calcocarbónico o pH de saturación ( $pH_s$ ), se recomienda los siguientes valores, para el Índice de saturación de Langelier  $Is = +0.2$ .
4. Suma de las concentraciones en sulfatos y cloruros inferior a la alcalinidad.

Para llevar a cabo el objetivo en el proceso de neutralización, la cal debe ser de óptima calidad, para lo cual debe cumplir con las exigencias establecidas en la Norma Técnica AWWA B 202-93.

El valor del pH de saturación ( $pH_s$ ) puede determinarse en el laboratorio por medio de la prueba de mármol, dejando el agua en contacto con carbonato de calcio puro durante 12 horas que es el tiempo necesario para establecer las condiciones de equilibrio y midiendo el pH resultante que corresponde al pH de saturación ( $pH_s$ ).

#### C.9.6.1.1 Dosificación

La dosificación puede determinarse por medio de la prueba de mármol, donde debe medirse la alcalinidad, el contenido de calcio y el pH del agua y después del tiempo establecido, manteniendo constantes la alcalinidad y el contenido de calcio se debe buscar cuál es la variación del pH para realizar el correspondiente ajuste.

#### C.9.6.2 Precipitación química

La precipitación del dióxido de carbono debe satisfacer las reacciones de dureza carbonácea y dureza por magnesio, por lo cual la remoción previa de dióxido de carbono disminuye la dosis necesaria de cal, para tal efecto se cumplen las siguientes condiciones:

- 1.68 mg/L de hidróxido de calcio son necesarios para reaccionar con 1 mg/L de dióxido de carbono, expresado como dióxido de carbono.
- 0.74 mg/L de hidróxido de calcio son necesarios para reaccionar con 1 mg/L del ión magnesio, expresado como carbonato de calcio.
- 0.74 mg/L de hidróxido de calcio son necesarios para reaccionar con 1 mg/L de dureza no carbonácea.
- Debe agregarse un exceso de hidróxido de calcio para obtener un pH mayor de 10.8 y asegurar una precipitación efectiva del hidróxido de magnesio, este exceso debe ser aproximadamente de 50 mg/L de hidróxido de calcio.

En los **niveles de complejidad alto y superior** deben colocarse limpiadores superficiales para asistir el retrolavado del filtro. Las líneas de alimentación de cal y carbonato de sodio deben construirse de tal forma que permitan un fácil acceso para ser limpiadas.

Pueden construirse lagunas de almacenamiento para el secado y manejo del gran volumen de lodos producidos por el ablandamiento del agua. El carbonato de calcio según la forma y brillo puede comercializarse, para lo cual el afluente debe tener baja turbiedad.

#### C.9.6.3 Proceso con resinas de intercambio iónico

El diseño de una planta convencional de ablandamiento por intercambio iónico debe determinarse por la cantidad de agua a ser ablandada, las características fisicoquímicas del agua cruda y los requerimientos de calidad del agua tratada.

Las características generales que debe tener un intercambiador para este tipo de proceso son las siguientes:

- El producto intercambiador debe ser insoluble en las condiciones normales de empleo.
- Debe constituirse por granos de gran homogeneidad y de tales dimensiones que su pérdida de carga en el lecho sea aceptable.
- La variación de los iones retenidos por el intercambiador no debe producir la degradación de su estructura física. Se hace referencia a las zeolitas del tipo de poliestirenos sulfonados.

Las características de operación de una resina de intercambio iónico de poliestireno deben cumplir las siguientes especificaciones:

- Capacidad operativa de intercambio entre 45 g/L y 80 g/L.
- Tasa de flujo debe estar entre  $120 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{día})$  y  $350 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{día})$ .
- Tasa de regeneración entre  $300 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{día})$  y  $350 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{día})$ .
- Dosis de sal regenerante entre  $80 \text{ kg/m}^3$  y  $320 \text{ kg/m}^3$ .
- Tiempo de contacto con la salmuera debe ser de 25 min a 45 min.

Las resinas de ciclo de sodio sintéticas pueden tener una capacidad de intercambio dos veces mayor con la mitad del requerimiento de material regenerante, pero tiene un costo más alto, la regeneración es por tratamiento ácido.

## C.9.7 OPERACIÓN Y CONTROL DE LOS PROCESOS

### C.9.7.1 Estabilización con reactivos alcalinos

El pH, la alcalinidad, la dureza y la temperatura deben medirse para llevar un control adecuado en el proceso de estabilización. El equilibrio calcocarbónico consiste en la reacción entre el bicarbonato de calcio por una parte y el carbonato de calcio y el dióxido de carbono disuelto por otra. Para llevar un control sobre el equilibrio calcocarbónico deben estudiarse las siguientes reglas:

1. Si el pH del agua es inferior al pH de saturación ( $\text{pH}_s$ ), se presenta la disolución del carbonato de calcio, con lo cual se está en presencia de un agua agresiva.
2. Si el pH del agua es superior al pH de saturación ( $\text{pH}_s$ ), se presenta la precipitación del carbonato de calcio, con lo cual se está en presencia de un agua incrustante.
3. Si el agua es agresiva, la formación de la capa protectora no será favorecida, además una capa ya formada podría disolverse.
4. Si el agua contiene una cantidad en exceso de dióxido de carbono (agua agresiva), debe hacerse un tratamiento para eliminarlo o transformarlo, es la neutralización.
5. Si el agua es incrustante y la mineralización de ésta es alta, se puede depositar gran cantidad de carbonato de calcio sólido, lo cual trae como consecuencias el taponamiento u obstrucción de las canalizaciones; en este caso se debe reducir el valor de la alcalinidad total y de la dureza, para lo cual es necesario aplicar un tratamiento de ablandamiento.
6. A lo precedido, se añade un agua que se encuentre en el pH de equilibrio con una alcalinidad y dureza demasiado bajas, para permitir la formación de la capa de Tillmans y entonces es necesario aumentar estos parámetros: recarbonatación.

No debe dejarse la capa protectora de carbonato de calcio y óxido de hierro por más de 1 año y debe trabajarse con el índice Langelier establecido. Cuando sea necesario debe hacerse uso de un ácido adecuado para retirar suficientes carbonatos depositados en la superficie de las tuberías.

La operación de estabilización con reactivos alcalinos debe disminuir la agresividad carbónica del agua con el fin de que las tuberías metálicas con las cuales entra en contacto no sufran electroquímicamente el problema de la corrosión.

### C.9.7.2 Precipitación química

El pH óptimo para producir el mínimo de calcio soluble debe encontrarse cerca de 10.3, dependiendo de la temperatura del agua, el total de sólidos disueltos y otros factores que afectan la solubilidad de compuestos inorgánicos. El hidróxido de magnesio no precipita cuantitativamente, debido a que la solubilidad del hidróxido de magnesio depende del pH, por lo cual debe mantenerse un pH de 11 a 11.3 para reducir la concentración del ión magnesio.

Durante la primera recarbonatación debe controlarse el pH con el fin de no bajarlo de 9.5 e impedir que el carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) sea convertido en bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ), con lo cual el exceso de calcio no se precipitaría como carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ).

Para la segunda recarbonatación debe adicionarse dióxido de carbono con el fin de convertir el carbonato de calcio en bicarbonato de calcio haciéndolo así soluble y evitando su precipitación ulterior en el filtro. El efecto se logra añadiendo dióxido de carbono hasta obtener un pH cercano a 8.6.

Pueden recircularse los cristales de carbonato de calcio para acelerar la tasa de precipitación y así disminuir el consumo de productos químicos. Para mejorar la aglomeración de partículas de  $\text{CaCO}_3$  pueden adicionarse polímeros orgánicos sintéticos, los cuales también contribuyen a la remoción de turbiedad.

Debe asegurarse que el carbonato de calcio no se incruste en la arena del filtro, para lograr este efecto durante la operación se puede adicionar un polifosfato o neutralizar el carbonato de calcio mediante la

adición de dióxido de carbono previo a la filtración. Debe medirse cada 3 horas la alcalinidad del agua antes de entrar al filtro, haciendo el ajuste de estabilización de pH cuando sea necesario.

### **C.9.7.3 Proceso con resinas de intercambio iónico**

Cuando la capacidad de intercambio de iones de la resina se agota, debe bombearse una solución regenerante con alta concentración de los iones agotados a través del lecho y de esta manera se recupera la capacidad ablandadora del intercambiador, puede ponerse en contacto con salmuera (agua con alto contenido de cloruro de sodio), lo que permite que recupere el contenido de sodio.

Cuando se utilizan derivados sintéticos del amoníaco, sulfatos, cloro y silicatos (referirse a la Norma Técnica ANSI/AWWA B 512-91 y B 550-96) debe utilizarse una base fuerte para la regeneración.

Durante la operación en el momento que se han intercambiado todos los iones de sodio en la estructura, ya no hay remoción de dureza. La regeneración debe llevarse a cabo con el uso de una solución de sal que suministre una alta concentración de iones sodio para invertir la reacción de intercambio, con lo que se libera la dureza como una corriente concentrada de cloruro. Puede utilizarse cloruro de sodio, se requieren aproximadamente 3 mg de cloruro de sodio para desplazar cada mg de dureza removida. La operación de la regeneración debe mantenerse hasta que el efluente tenga una dureza del orden de 1.0 mg/L como carbonato de calcio.

Debe efectuarse un enjuague después del proceso de regeneración para eliminar el exceso de cloruro de sodio, inyectando agua hasta cuando el efluente indique un contenido de cloruros igual o ligeramente superior al del afluente del agua de lavado.

## CAPÍTULO C.10

### C.10. CONTROL DE SABOR Y OLOR

---

#### C.10.1 ALCANCE

En este literal se establecen los requisitos mínimos de diseño para llevar a cabo el proceso de control de las características organolépticas como sabor y olor. Se establecen los estudios previos, características mínimas de los procesos sugeridos, parámetros de diseño y el adecuado control de las operaciones complementarias para alcanzar la consistencia en la calidad del agua.

Todas las normas son aplicables a los cuatro **niveles de complejidad** del sistema, a no ser que se especifique lo contrario.

#### C.10.2 GENERALIDADES

Una combinación de control de la fuente, monitoreo y tratamiento debe realizarse para minimizar el contenido de trazas orgánicas y actividad biológica que ofrecen deficiencia en la calidad del agua del efluente de la planta.

Los compuestos químicos que contienen el elemento carbón o trazas orgánicas, a excepción de cianuros y carbonatos deben clasificarse en los siguientes grupos para poder tomar medidas correctivas:

1. Compuestos orgánicos que causan problemas de olor. Para la determinación remitirse a la Norma ASTM D 1292-86.
2. Compuestos químicos orgánicos sintéticos.
3. Precursores que reaccionan con desinfectantes para producir subproductos de desinfección, como acetona, resorcinol y ácidos húmicos y fúlvicos. Estos deben ser medidos indirectamente por medio de análisis de potencial de formación de trihalometanos.
4. Compuestos orgánicos naturales, a los cuales no se les da importancia de los problemas toxicológicos que puedan producir.

El total de compuestos orgánicos en el agua o más exactamente el contenido de carbón, puede ser medido con instrumentos de sensibilidad por determinación de la concentración en carbón orgánico total (COT) y/o después de una filtración sobre 0.45  $\mu\text{m}$ , concentración en carbón orgánico disuelto (COD) por determinación de absorbancia de luz ultravioleta a 254 nm. Para la mayoría de las aguas, las sales de hierro como sulfato férrico y cloruro férrico son más efectivas que el sulfato de aluminio para la remoción del carbón orgánico total o color.

Debe realizarse un control del material orgánico presente y constantes análisis en la fuente para poder determinar los compuestos que causan problemas de olor, sabor y color.

El crecimiento de algas es otro factor que debe analizarse para adquirir un control organoléptico más estricto ya que estos compuestos contribuyen con gran fuerza a los problemas de sabor y olor.

#### C.10.3 CLASIFICACIÓN DE LOS PROCESOS

El agua debe tratarse por medio del proceso más adecuado de acuerdo a las características del afluente, **el nivel de complejidad** del sistema y los costos que implica para alcanzar los niveles de calidad exigidos.

Los procesos que deben analizarse para el control organoléptico son la Aeración, adsorción sobre carbón activado granular, adsorción sobre carbón activado pulverizado y oxidación química. Los oxidantes que pueden utilizarse como medida de tratamiento del sabor y el olor pueden ser el cloro, el ozono, el permanganato de potasio (para el uso de este último producto químico referirse a la Norma Técnica Colombiana NTC 2753), el dióxido de cloro, el peróxido de hidrógeno, el sulfato de cobre (para el uso de este último producto químico referirse a la Norma Técnica Colombiana NTC 4168 o la AWWA B 602-91) y el carbón activado extrusado.

En caso de emplear algún proceso para el control organoléptico y estético distinto a los mencionados en este título, el diseñador debe pedir autorización a la Comisión Reguladora de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA) para su aplicación, para lo cual debe comprobar la eficiencia de dicho proceso, ya sea por resultados obtenidos a nivel internacional o nacional, por investigaciones, trabajos a nivel de laboratorio y/o planta piloto donde se demuestre su efectividad.

## **C.10.4 ESTUDIOS PREVIOS**

Los problemas estéticos de sabor, olor y color son efectos producidos a causa de compuestos orgánicos que se encuentran en pequeñas concentraciones en el agua, principalmente orgánicos en naturaleza, vegetación en descomposición, algas, compuestos químicos industriales presentes en desechos, sulfuros, metales y sales. Deben estudiarse las causas por las cuales se presentan estas trazas en el agua, tales como:

1. Descargas accidentales o intencionales de aguas residuales o industriales.
2. Contacto con atmósfera determinada.
3. Materiales usados para el tratamiento, almacenamiento y distribución o aducción del agua, como líneas de tuberías, líneas de reserva y solventes para uniones.
4. Ciertos compuestos orgánicos halogenados son creados o introducidos por los procesos de clorinación en tratamientos de aguas.

El uso de algunos ayudantes de tratamiento debe incluir estudios para la formación potencial de trihalometanos y la evaluación de la efectividad del ayudante para la remoción de sustancias indeseables.

### **C.10.4.1 Aeración**

La remoción de compuestos orgánicos, inorgánicos y compuestos biológicos por medio de la Aeración puede incrementar los costos de tratamiento y los requerimientos de energía notablemente, por lo cual debe realizarse un estudio de las condiciones más favorables que permitan alcanzar los niveles de calidad exigidos. Los estudios previos generales se encuentran expuestos en el literal C.3.3.1.3.

### **C.10.4.2 Adsorción sobre carbón activado**

Deben realizarse estudios por medio de la prueba de jarras para determinar el comportamiento y la operación del carbón activado con el afluente. Debe determinarse una isoterma de adsorción para cada tipo de carbón activado estudiado, a fin de determinar las capacidades de adsorción (cantidad de sustancia adsorbida por peso o superficie de carbón activado) del dicho material respecto a las sustancias que se desean remover.

#### **C.10.4.2.1 Carbón activado granular**

En los casos de reactivación del carbón debe realizarse un análisis económico que demuestre que la regeneración es menos costosa que el reemplazo del carbón activado granular cuando este se satura. El carbón activado deberá cumplir con la Norma Técnica Colombiana NTC 4273

#### C.10.4.2.2 Carbón activado pulverizado

Debe estudiarse la factibilidad de adicionar el carbón activado pulverizado a la entrada de la planta para tener un mayor tiempo de contacto para el control de olores y sabores, ya que ésto implica reducir la vida útil del equipo de filtración.

### C.10.5 DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS

#### C.10.5.1 Aeración

La ventaja de la Aeración como proceso de remoción orgánica es que los contaminantes son removidos del agua sin la formación de subproductos; pero tiene algunas desventajas ya que los contaminantes son transferidos a la fase del aire, posiblemente causando otro problema, y que a la vez sustancias orgánicas con ciertas características son removibles justo con cantidades excesivas de aire (Ver literal C.3.4.3).

#### C.10.5.2 Adsorción sobre carbón activado

##### C.10.5.2.1 Carbón activado granular

Un lecho de adsorción permanente debe proveerse para mantener un contacto íntimo entre el adsorbente y el adsorbido.

El tamaño efectivo ( $T_e$ ) y el coeficiente de uniformidad ( $C_u$ ) del carbón activado granular deben permitirle ser usado como medio de filtración ya que presenta excelentes propiedades de adsorción, cuyo modo de operación es conocido como sustitución de arena, el cual es aplicado para el control de sabor y olor, porque el carbón activado granular es tan efectivo como la arena como medio de filtración.

Una desventaja de utilizar el carbón activado granular para la sustitución de arena del medio filtrante es que existen plantas en las que la forma de la caja del filtro está fijada, entonces se limita la flexibilidad en tiempos de contacto y manipulación del carbón activado.

Debe controlarse la proliferación de microorganismos por emisión solar.

##### C.10.5.2.2 Carbón activado pulverizado

La prueba de jarras usada para determinar la dosis de coagulante (ver literal C.2.3), también puede contribuir en la estimación de la dosis óptima de carbón activado pulverizado. La idea de adicionar un adsorbente es tener un proceso más eficiente y principalmente la remoción de sólidos suspendidos volátiles.

### C.10.6 PARÁMETROS DE DISEÑO

Cuando se utilicen dosis de cloro, dióxido de cloro, ozono, permanganato de potasio y peróxido de hidrógeno, los cuales son elementos efectivos para llevar a cabo la oxidación, deben dosificarse a bajas dosis, las cuales deben aplicarse teniendo en cuenta que el permanganato de potasio no presente color y el peróxido no alcance el punto de desinfección antes de la prefiltración o posfiltración. El permanganato de potasio debe ser alimentado solo como químico de prefiltración por su inherente color púrpura. Algunos parámetros adicionales están expuestos en el literal C.3.5.3.2. El carbón activado granular se inhibe con la clorinación como se expone en el literal C.10.7.2.3.

El ozono como oxidante debe ser aplicado a través de un difusor poroso entre la base de un tanque de contacto que debe suministrar un tiempo de contacto de 5 a 10 min. Debe estudiarse la producción de excesos de ozono emanado del agua, si esto llega a ser factible debe recuperarse y reabsorberse o destruirse en lugar de ser descargado a la atmósfera.

El control del crecimiento de las algas sobre las paredes e instalaciones de los sistemas de proceso debe realizarse limitando las fuentes de nutrientes como nitrógeno, fósforo y carbón que proliferan el crecimiento de las algas.

#### **C.10.6.1 Aeración**

Los factores que influyen en la efectividad de la Aeración para quitar trazas orgánicas del agua deben determinarse para llevar un adecuado control, entre estos se encuentran los siguientes:

- El tiempo de contacto.
- La relación aire - agua.
- La temperatura del agua.
- La presión de vapor.
- La solubilidad de los contaminantes.

Para el diseño de un sistema de Aeración deben conocerse los siguientes parámetros, además de los que se encuentran expuestos en el literal C.3.5.3.1.

- Flujo total de agua.
- Temperatura del agua.
- Propiedades químicas del contaminante orgánico.
- Eficiencia requerida para la remoción del contaminante orgánico.

#### **C.10.6.2 Adsorción sobre carbón activado**

La efectividad de la adsorción dentro de una planta de tratamiento de aguas está influenciada principalmente por la temperatura y el pH del agua, pero también depende de:

- El tipo de carbón exacto necesario para el compuesto orgánico específico presente.
- Las características y concentraciones de los adsorbentes y los adsorbidos.
- El tiempo de contacto.
- Los sitios de adsorción disponibles.

Todas las tuberías y depósitos donde se encuentre el carbón activado granular en proceso o almacenamiento deben ser de fácil acceso y estar protegidas o hechas de los materiales adecuados para protegerlos de la abrasión, y deben tener los dispositivos de drenaje necesarios para hacer la limpieza.

##### **C.10.6.2.1 Carbón activado granular**

El carbón activado cuando está mojado puede llegar a ser muy corrosivo; los materiales expuestos al contacto con éste, como el filtro, deben construirse en concreto, acero inoxidable 316 o materiales cubiertos con pinturas o revestimientos apropiados para el suministro de agua. También deben protegerse las válvulas, tuberías, bombas y todo lo que este en contacto con el carbón granular mojado.

Debe usarse únicamente como adsorbedor después de la filtración o como filtro adsorbedor combinado. Cuando se presenta una alta precipitación de manganeso y carbonato de calcio, el carbón activado granular no debe usarse porque esos depósitos taponan los sitios de adsorción y vuelven el carbón inservible en pocos meses.

Cuando se utilice como filtro adsorbedor combinado con la arena del filtro, debe tenerse un tamaño de ésta última que puede ser aproximado a la mitad del tamaño del carbón activado granular.

Para facilitar la remoción del carbón desgastado, el tanque de contacto debe estar equipado con una base de drenaje conectada a un eyector de agua o con una cubeta, la cual puede drenar por gravedad a una vasija de almacenamiento.

El carbón activado debe cumplir con los exigido por la Norma Técnica AWWA B 604-96.

#### C.10.6.2.2 Carbón activado pulverizado

El tamaño de las partículas del carbón activado pulverizado están entre el rango de 5  $\mu\text{m}$  a 100  $\mu\text{m}$  y su densidad aproximadamente entre el rango de 400  $\text{kg}/\text{m}^3$  a 480  $\text{kg}/\text{m}^3$ .

La dosificación del carbón puede llegar a 50  $\text{mg}/\text{L}$  si se aplica antes de la clarificación.

El carbón activado pulverizado debe cumplir con los exigido por la Norma Técnica AWWA B 600.

### C.10.7 CONTROL Y OPERACIÓN DEL PROCESO

En lugares donde existe ataque de crecimiento de las algas pueden adicionarse pequeños cristales de sulfato de cobre que tienden a disolver las algas antes de que precipiten.

#### C.10.7.1 Aeración

Debe realizarse un riguroso control sobre los contaminantes transferidos a la fase del aire, el cual debe consistir en recolectarlos y someterlos a un tratamiento para alcanzar los niveles exigidos con el fin de evitar afectar las condiciones atmosféricas y sobre las cantidades de aire a usar para que no excedan los valores establecidos por cada tipo de planta de acuerdo al proceso que se lleve a cabo.

La operación del proceso de Aeración debe llevarse a cabo de acuerdo a las dosis predeterminadas para la calidad del agua afluente y con tiempos de contacto que permitan la remoción de los compuestos orgánicos que afectan el sabor y el olor. En el literal C.3.6.1.3 se exponen algunas características generales para la operación del proceso de Aeración.

#### C.10.7.2 Adsorción sobre carbón activado

Debe prepararse una suspensión dando un tiempo de humectación suficiente para que el aire del carbón salga y el carbón tenga buenas propiedades, utilizando esos poros para el transporte de partículas indeseables.

##### C.10.7.2.1 Velocidad de mezcla en tuberías que transportan suspensiones

La velocidad de mezcla del carbón y el agua debe encontrarse entre 1.5  $\text{m}/\text{s}$  y 3  $\text{m}/\text{s}$  para minimizar la deposición, abrasión y desgaste.

##### C.10.7.2.2 Carbón activado granular

Una base gradual de grava uniformemente distribuida con una superficie limpiadora o aire limpiador deben implantarse para propiciar el limpiado del filtro.

Durante el uso, el área superficial de la estructura porosa interna del carbón activado granular llega a estar saturada con el adsorbido. El adsorbente empieza a desgastarse y debe ser reemplazado, si el carbón activado virgen está disponible para la sustitución; o reactivado, ya que el carbón extraído puede tener alguna parte para reutilizar ya sea para suministrarlo al carbón activado virgen o para la reactivación y reutilización en plantas de tratamiento de aguas residuales. Otra alternativa es la disposición del material en rellenos sanitarios.

En el proceso de regeneración, el carbón activado granular no debe intermezclarse con la arena del filtro y cuando es regenerado varias veces debe completarse con carbón activado granular nuevo, evaluando la capacidad de adsorción.

El agua de retrolavado debe aplicarse lentamente debido a que el carbón activado granular es de menor densidad que la arena, por lo cual el operador debe ser muy cuidadoso al aplicarla hasta que la cama del lecho de filtración se expanda correctamente.

##### C.10.7.2.3 Carbón activado pulverizado

El carbón activado pulverizado puede aplicarse en diferentes puntos entre la entrada de la planta y los filtros para alcanzar una mayor efectividad, el punto ideal es la entrada de la planta, otros puntos

convenientes son la entrada al tanque de mezcla, la entrada al floculador, la entrada al tanque de sedimentación y salida del tanque de sedimentación.

Si la clorinación también se está llevando a cabo, no es conveniente adicionar el cloro y el adsorbente al mismo tiempo, ya que el poder desinfectante del cloro es reducido por el carbón activado pulverizado y además algo de adsorbente puede ser oxidado, implicando así una disminución de la eficiencia del proceso.

Debe tenerse especial cuidado para la selección del mejor punto para la aplicación del carbón activado pulverizado, es recomendable en el tanque de coagulación o inmediatamente antes de los filtros, dejando si es posible, 30 minutos para que la adsorción se efectúe. Si se aplica antes de los filtros, debe verificarse que éstos se encuentren en buen estado, de manera que el carbón dividido muy finamente no pueda pasar al efluente, esta aplicación final del carbón antes de los filtros puede remover el cloro residual, de manera que puede requerirse una cloración final, o adicional, después de los filtros.

## CAPÍTULO C.11

### C.11. DESFERRIZACIÓN Y DESMANGANETIZACIÓN

---

#### C.11.1 ALCANCE

En este literal se establecen los requisitos mínimos de diseño para llevar a cabo el proceso de desferrización y desmanganetización que son elementos que no contribuyen en la estética y apariencia de un agua potable. Se discuten algunos aspectos junto con la clasificación de los procesos, los estudios previos, algunos parámetros de diseño y el control y operación de cada uno de los procesos.

Todas las normas son aplicables a los cuatro **niveles de complejidad** del sistema, a no ser que se especifique lo contrario.

#### C.11.2 GENERALIDADES

El agua que contiene hierro y manganeso (la determinación del hierro y manganeso debe realizarse de acuerdo con la ASTM D 858-95 y D 1068-90) causa problemas de color, favoreciendo el crecimiento de bacterias autotróficas en los sistemas de distribución por lo cual debe llevarse un control sobre estos elementos, ya que pueden presentar pérdidas por fricción, producir malos olores y obstruir boquillas, líneas y válvulas. Los valores admisibles de hierro total presente en el agua es 0.3 mg/L y para el manganeso es 0.1 mg/L, respectivamente se recomiendan valores inferiores a 0.2 mg/L y preferiblemente 0.05 mg/L.

Con ayuda del contenido de dióxido de carbono en el agua debe producirse dióxido de manganeso adicional para favorecer la absorción del manganeso que pueda estar en ésta. El manganeso también es absorbido en hidróxido férrico o los hidróxidos hidratados, en los cuales es expresada como hidróxido férrico y es dependiente del pH, aumentando con el incremento de éste y marcadamente luego de que se alcanza un valor de 8.2.

El rango de pH más apropiado para la precipitación de hidróxido férrico u óxidos férricos por oxigenación debe encontrarse en el rango más favorable de pH para la absorción de manganeso o a la vez hidróxidos férricos u óxidos férricos y dióxido de manganeso.

Los procesos para la remoción de hierro y manganeso se aplican principalmente en la zona de pretratamiento cuyo título está expuesto en el Título C.3 para completar alguna información necesaria.

#### C.11.3 CLASIFICACION DE LOS PROCESOS

El consumo humano de aguas ricas en hierro y manganeso no tienen efectos nocivos para la salud; sin embargo, estas aguas, al ser expuestas al oxígeno del aire, se hacen turbias y coloreadas por la presencia de los óxidos de hierro y manganeso, formándose precipitados coloidales los cuales son indeseables desde el punto de vista estético.

Los procesos de coagulación-floculación y filtración (Ver los Títulos C.4, C.5 y C.7) no pueden responsabilizarse de la remoción total de hierro y manganeso, por lo cual deben aplicarse procesos adicionales para poder lograr este objetivo. La presencia de sulfato de aluminio como formador del flóculo en el proceso de coagulación debe permitir oxidar el hierro y manganeso que pueda estar en solución.

Los procesos de pretratamiento que deben analizarse para la remoción del hierro y manganeso presentes en el agua son los siguientes:

- Oxidación química.
- Aeración a presión seguida de filtración.

- Aeración a presión con tanque de contacto y filtración
- Aeración en torres de múltiples bandejas con tanque de contacto y filtración.
- Filtración sobre zeolita mangánica.
- Aeración, sedimentación y filtración.

En caso de emplear algún proceso para la desferrización y desmanganetización distinto a los mencionados en este título, el diseñador debe pedir autorización a la Comisión Reguladora de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA) para su aplicación, para lo cual debe comprobar la eficiencia de dicho proceso, ya sea por resultados obtenidos a nivel internacional o nacional, por investigaciones, trabajos a nivel de laboratorio y/o planta piloto donde se demuestre su efectividad.

#### **C.11.4 ESTUDIOS PREVIOS**

En el estudio de costo mínimo que debe realizarse, según lo establecido en el Título A, debe incluirse el costo de construcción, operación y mantenimiento de cada una de los posibles sistemas proyectados para la realización de la desferrización y desmanganetización.

Para determinar el tratamiento más adecuado es conveniente realizar estudios experimentales a nivel de planta piloto o laboratorio ya que no existe un proceso o una combinación de procesos que puedan recomendarse para todos los casos.

##### **C.11.4.1 Oxidación química**

Los oxidantes que deben utilizarse para la remoción deben escogerse de acuerdo al tipo de proceso, la calidad del afluente y los costos que implica su utilización. En el literal C.3.3.1.3 se exponen algunos estudios para la oxidación química.

##### **C.11.4.2 Aeración**

###### **C.11.4.2.1 Aeración a presión seguida de filtración**

Debe evaluarse el porcentaje de remoción logrado por medio de este sistema y su influencia en los costos que acarrea llevar a cabo el proceso.

###### **C.11.4.2.2 Aeración a presión con tanque de contacto y filtración**

Debe estudiarse la factibilidad de adicionar cal para ajuste de pH y la cantidad de sulfato de aluminio para la formación del flóculo, la dosificación de este puede estar entre 15 mg/L y 50 mg/L.

###### **C.11.4.2.3 Aeración en torres de múltiples bandejas con tanque de contacto y filtración**

Debe realizarse un estudio para encontrar el número de bandejas que ofrezcan un mayor grado de remoción del hierro y manganeso presentes, evaluando los costos de la bandeja y el carbón coque a ser utilizado.

###### **C.11.4.2.4 Aeración, sedimentación y filtración**

Deben estudiarse el tipo de oxidante a utilizar y el ambiente químico en el que se involucran las reacciones para favorecer el tiempo requerido de aglomeración, precipitación y filtración.

##### **C.11.4.3 Filtración sobre zeolita mangánica**

Debe justificarse el uso de la zeolita mangánica con los porcentajes de remoción logrados y los costos que implica poner en funcionamiento este sistema.

## C.11.5 DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS

### C.11.5.1 Oxidación química

Para la oxidación química pueden utilizarse los siguientes productos químicos: cloro, dióxido de cloro, ozono, peróxido de hidrógeno y permanganato de potasio.

En caso de emplear permanganato de potasio, éste debe cumplir con lo exigido por la Norma Técnica Colombiana NTC 2753. Si se emplea cloro líquido o hipocloritos como oxidantes, éstos deben cumplir con las Normas Técnicas ANSI/AWWA B301-92 y ANSI/AWWA B300-92 respectivamente

### C.11.5.2 Aeración

#### C.11.5.2.1 Aeración a presión seguida de filtración

Debe llevarse a cabo el proceso de Aeración para la remoción de hierro y manganeso presente en el agua. El desprendimiento de dióxido de carbono aumenta el pH del agua y promueve la precipitación del hierro ferroso como un hidróxido férrico, carbonato u óxido.

El hierro y manganeso oxidados y precipitados deben removerse por medio del filtro el cual no debe alcanzar un grado de presurización alto para que pueda operar correctamente.

#### C.11.5.2.2 Aeración a presión con tanque de contacto y filtración

El sistema debe activarse de acuerdo a la demanda o de un tanque de retención.

El tanque de retención debe proveer el tiempo necesario para que se lleven a cabo las reacciones, ya que éstas no son instantáneas. Debe recordarse que el pH influye en el tiempo de reacción.

El flujo de aire puede ser introducido por la parte de encima a través de un sistema de distribución deflectado que permite la descarga del aire mientras se mantiene la presión estática del sistema.

#### C.11.5.2.3 Aeración en torres de múltiples bandejas con tanque de contacto y filtración

El agua del afluente debe entrar a través de un sistema de distribución de bandejas que contienen carbón coque. Cada bandeja debe tener unas perforaciones en su base que permitan que el agua fluya a través del panel produciéndose así el contacto entre el agua y el coque.

#### C.11.5.2.4 Aeración, sedimentación y filtración

Sin la coagulación y floculación, la oxidación del hierro debe tomar 12 a 24 horas o más para que se realice efectivamente la sedimentación, mientras que con una apropiada agua coagulada, la sedimentación debe llevarse a cabo en 2 horas aproximadamente. La solubilidad mínima de hidróxido férrico ocurre en un rango de pH de 7 a 10, mientras que la solubilidad mínima de hidróxidos ferrosos ocurre a pH cerca de 12.

El afluente debe pasarse a través de un aireador y luego conducirse al tanque de coagulación-floculación donde el tiempo de retención no debe ser menor a 20 minutos.

### C.11.5.3 Filtración sobre zeolita mangánica

El permanganato de potasio debe utilizarse como oxidante para remover hierro y manganeso, particularmente este último, y como un oxidante con filtros de zeolita mangánica, con este último se puede regular el pH de las aguas subterráneas con un álcali entre 7.5 y 8.0, en este rango de pH, no solo el hierro Fe (II) sino que también el manganeso Mn (II) es oxidado por el permanganato de potasio casi instantáneamente.

Los precipitados productos de oxidación deben ser removidos por el sistema de filtración, donde el permanganato es adsorbido sobre la zeolita mangánica.

Puede suministrarse ablandador de zeolita para suministrar al agua el nivel de dureza deseado.

## C.11.6 PARÁMETROS DE DISEÑO

La tasa de oxidación depende del pH, la alcalinidad, el contenido orgánico y la presencia de agentes oxidantes, por tal motivo debe realizarse un análisis de estos parámetros.

### C.11.6.1 Oxidación química

Este sistema debe utilizarse con aguas que tengan un contenido de hierro y manganeso bajos, principalmente para concentraciones de hierro inferiores a 2 mg/L. Las indicaciones específicas se encuentran expuestas en el literal C.3.5.3.2.

#### C.11.6.1.1 Precloración

Debe mantenerse cloro residual libre en todo el área de tratamiento para lograr una mayor remoción de hierro y manganeso.

Se recomienda usar después de la cloración tiempos de detención que oscilen entre 10 y 30 minutos.

Se recomienda que el cloro sea utilizado como un proceso complementario de remoción, para acabar de oxidar los compuestos ferrosos aún no oxidados por otros procesos tales como la Aeración.

#### C.11.6.1.2 Oxidación con dióxido de cloro

El dióxido de cloro debe aplicarse a pH mayores de 7.0 para favorecer la oxidación del hierro y manganeso.

Cuando el dióxido de cloro es aplicado al agua debe contribuir a oxidar el hierro ferroso al menos tan rápido como el cloro libre aprovechable. La eficiencia y rapidez del dióxido de cloro para oxidar el manganeso depende en gran parte del pH del agua como el caso de la cloración. Se obtienen buenos resultados cuando el pH es mayor de 7.0.

En aguas superficiales con alto contenido de manganeso debe adicionarse dióxido de cloro en puntos estratégicos para mayor efectividad.

#### C.11.6.1.3 Preozonización

La factibilidad de usar ozono como oxidante debe examinarse cuidadosamente debido a que el ozono presenta algunas desventajas entre las cuales tenemos: el alto costo en relación con el cloro, su baja capacidad de mantener un residual de cloro debido a que su descomposición es catalizada por metales y el bajo nivel de efectividad cuando ácidos húmicos y fúlvicos están presentes.

Una dosis excesiva de ozono puede causar un ligero color rosado en el agua, ya que el permanganato puede ser un producto de la reacción.

#### C.11.6.1.4 Oxidación con permanganato de potasio

Para mejorar la rapidez de reacción de la oxidación del hierro y el manganeso debe utilizarse permanganato de potasio, la cual depende del pH. A un pH de 4.0, 5.0, 6.0 y 7.0, toma cerca de 30 min, 10 min, 4 min, y 1.5 min respectivamente, para completar las reacciones. A un pH de 7.5 o más, la oxidación es completada inmediatamente después de la adición de permanganato de potasio.

Para procesos convencionales se recomienda aplicar el permanganato de potasio en el agua de afluente con el objetivo de permitir un mayor tiempo de contacto y se logre así mayor efectividad en la remoción de hierro y manganeso. Se recomienda la adición simultánea del permanganato y el coagulante en el tanque de mezcla rápida, lo cual permite buenos resultados a un pH estable.

Se recomienda el uso de catalizadores efectivos en la oxidación de las formas ferrosas y manganosas, entre los más importantes se pueden utilizar el cobre como ión cúprico y la sílica.

En caso de emplear permanganato de potasio, éste debe cumplir con lo exigido por la Norma Técnica Colombiana NTC 2753.

### **C.11.6.2 Aeración**

#### **C.11.6.2.1 Aeración a presión seguida de filtración**

Este sistema debe utilizarse con aguas que tengan un contenido de hierro y manganeso alto, principalmente con concentraciones de hierro entre 5 mg/L y 10 mg/L.

Cuando se utiliza el ión de cobre cúprico como catalizador, aplicado como sulfato de cobre pentahidratado  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  debe aplicarse antes del sistema del proceso de Aeración, para mejorar principalmente la remoción de manganeso, puede aplicarse una dosis de 0.2 mg/L que remueve completamente el manganeso en menos de 30 minutos.

El tanque aireador debe montarse de tal forma que el flujo lo atraviese y que una cantidad controlada de aire pueda ser introducida a través de un difusor.

Debe adecuarse un área superficial grande para la oxigenación en el proceso de Aeración y un espacio suficiente para acumular el hierro y manganeso precipitados. En agua bicarbonatada con una temperatura de  $-10\text{ }^\circ\text{C}$ , las reacciones de oxigenación deben realizarse entre un pH de 6.9 a 7.2, ya que entre estos valores los tiempos requeridos para completar un 90% de la reacción son aproximadamente 43 y 8 minutos respectivamente. A la misma temperatura y un pH de 7.9 la oxigenación es completada en un 90% en menos de 1 minuto.

#### **C.11.6.2.2 Aeración a presión con tanque de contacto y filtración**

Este sistema debe utilizarse con aguas que tengan un contenido de hierro y manganeso alto, principalmente con concentraciones de hierro entre 5 mg/L y 10 mg/L.

Deben realizarse pruebas de planta piloto para encontrar las mejores condiciones del proceso. Si se utiliza dióxido de cloro como oxidante debe adaptarse un sistema que lo dosifique en el tanque de retención, con lo cual se adquiere un notable progreso en la formación del flóculo y mejores características de sedimentación. Además es aconsejable el dióxido de cloro porque tiene la ventaja sobre el cloro de no formar trihalometanos.

El tiempo de detención debe variar entre 15 y 60 minutos.

#### **C.11.6.2.3 Aeración en torres de múltiples bandejas con tanque de contacto y filtración**

Debe usarse este sistema cuando los niveles de concentración de hierro y manganeso combinado se encuentren entre 5 mg/L y 10 mg/L.

Debe mantenerse un contacto íntimo entre una capa muy fina de agua y el carbón coque.

#### **C.11.6.2.4 Aeración, sedimentación y filtración**

Este proceso debe emplearse cuando las concentraciones de hierro y/o manganeso son bastante altas, aproximadamente 10 mg/L o valores mayores.

### **C.11.6.3 Filtración sobre zeolita mangánica**

La mejor aplicación del proceso de zeolita mangánica es cuando está en el rango de concentraciones de hierro y manganeso entre 0.5 mg/L y 5.0 mg/L de hierro y manganeso.

Si es necesario debe dosificarse álcali para el control del pH y el punto de aplicación química debe estar lo más cerca que sea posible del afluente, al igual que el punto de aplicación del permanganato de potasio.

La zeolita mangánica debe ser granular, negra, con un tamaño que oscila entre la malla 16 y la malla 50 y cuyo peso es  $1570\text{ kg/m}^3$ . Cada metro cúbico tiene una capacidad de adsorción de 1.5 kg de hierro y manganeso.

Debe implantarse un sistema de lavado con aire al principio cuando el hierro de entrada tiene una concentración de 3 mg/L a 5 mg/L. Además dependiendo de la concentración de hierro presente, las unidades deben operar a tasas por encima de 3.5 L/(m<sup>2</sup>.s).

Las zeolitas comunes usadas en el ablandamiento pueden utilizarse siempre y cuando el contenido de hierro y manganeso no pase de 1.5 mg/L y los compuestos se encuentren en estado ferroso o manganeso. Por lo tanto, no debe utilizarse Aeración en combinación con zeolitas comunes ya que la oxidación del hierro y el manganeso produce depósitos de compuestos férricos dentro de los granos del lecho que interfieren con el proceso de ablandamiento.

## **C.11.7 CONTROL DE LOS PROCESOS Y OPERACIÓN**

Para todos los procesos, la filtración debe caracterizarse por ofrecer las condiciones más efectivas para lograr un mayor grado de remoción de hierro y manganeso.

### **C.11.7.1 Oxidación química**

Cuando la precloración por aplicación de cloro o dióxido de cloro en el afluente se lleva a cabo para remover hierro y manganeso en aguas superficiales en una planta de tratamiento de aguas convencional se hace necesario un control estricto, un mínimo de 0.5 mg/L de cloro libre aprovechable debe mantenerse en todo el área de tratamiento.

Debe investigarse y verificarse que el cloro residual libre que se encuentra en el sistema de tratamiento no cause formación de trihalometanos.

Durante la operación debe medirse continuamente el pH y la cantidad de oxidante consumido para corroborar datos de acuerdo al grado de remoción que se está logrando.

Debe medirse el cloro libre aprovechable si se está utilizando éste como oxidante para lograr la remoción óptima.

### **C.11.7.2 Aeración**

En todos los procesos de Aeración deben controlarse los siguientes factores que afectan el sistema de tratamiento:

- Temperatura del agua: a mayor temperatura, menor capacidad de absorción de gases.
- Presión atmosférica: a mayor presión, mayor absorción de gases.
- Magnitud de la superficie del agua en contacto con el aire: entre más pequeñas las gotas o más delgadas las capas en que se subdivide el agua para airearla, mayor eficiencia.
- Tiempo de contacto: entre mayor tiempo permanezca el agua en contacto con el aire, mayor absorción.
- Grado de agitación del agua: a mayor agitación, mayor eficiencia.

#### **C.11.7.2.1 Aeración a presión seguida de filtración**

La oxidación del hierro y el manganeso ferroso depende fuertemente del pH de acuerdo al incremento de éste a una temperatura dada en la presencia de oxígeno disuelto en el agua. El pH del agua debe encontrarse entre 6.5 y 9.5 para que el carbonato controle la solubilidad del hierro y manganeso.

Si la rapidez de oxigenación es relativamente lenta a un pH menor a 9.5, el efecto de la presencia de dióxido de manganeso en la remoción de Mn (II) es de extrema importancia.

Debe saturarse solo una porción del flujo con oxígeno o aire para prevenir la supersaturación del flujo en el filtro.

Durante la operación debe controlarse el nivel en el tanque de Aeración con el fin de activar el flujo de aire del compresor para que éste sea inyectado al tanque y se logre la mezcla aguas abajo.

C.11.7.2.2 Aeración a presión con tanque de contacto y filtración

Debe controlarse y evitarse la formación de complejos orgánicos debido a la reacción de las formas ferrosas y manganosas con ácidos húmicos, tánicos y otros productos de destrucción vegetativa que puedan retardar la oxidación de los compuestos por diferentes días, aún en la presencia de oxígeno disuelto, entonces la Aeración sería inefectiva en aguas con complejos orgánicos.

El hierro y manganeso insolubles oxidados deben removerse en el filtro por lo cual debe existir un límite en la cantidad de hierro a ser removido en este sistema. Los pantallas o deflectores pueden ser usados para asegurar el tiempo de retención requerido.

C.11.7.2.3 Aeración en torres de múltiples bandejas con tanque de contacto y filtración

Cuando se instale o cambie el carbón coque debe verificarse que después de un período de operación el carbón desarrolle un recubrimiento que permita el proceso de oxidación.

La alta tasa de oxidación de productos en el recubrimiento del coque impiden que el sistema de distribución opere eficientemente por lo cual el coque debe ser limpiado o reemplazado frecuentemente.

C.11.7.2.4 Aeración, sedimentación y filtración

Debe llevarse un control periódico sobre el manto de lodos que se va formando realizando continuamente la recolección y disposición adecuada de estos.

En el proceso convencional de tratamiento de aguas se recomienda que los dosificantes sean adicionados a la entrada de agua cruda o lentamente en la estación de bombeo para permitir bastante tiempo de contacto y se cumpla con el trabajo requerido.

Debe adicionarse simultáneamente el permanganato de potasio y el coagulante al tanque de mezcla rápida, ya que esta condición ofrece buenos resultados a un pH normal. El cloro debe adicionarse primero para oxidar el hierro y para satisfacer al menos una porción de la demanda de cloro, la oxidación puede ser completada por el permanganato.

**C.11.7.3 Filtración sobre zeolita mangánica**

La entrada de aire al medio de filtración debe impedirse para evitar la formación de precipitados de hierro y manganeso los cuales no permiten que se lleve a cabo el intercambio iónico entre la zeolita y los iones de los elementos a controlar.

Cuando se utilice ablandador de zeolita no deben aplicarse oxidantes o químicos de tratamiento al agua antes de éste porque de lo contrario la unidad pronto se taponará con los productos de oxidación.

La operación con ablandador de zeolita debe llevarse a cabo antes de la adición del permanganato de potasio y el álcali. Deben medirse continuamente las condiciones del agua junto con el grado de remoción que se logre a la salida del proceso de filtración.

## CAPÍTULO C.12

### C.12. TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS

---

#### C.12.1 ALCANCE

En este literal se establecen algunos requisitos mínimos de diseño de tres tecnologías alternativas en el tratamiento de agua potable, estas son la flotación, la floculación lastrada y la separación por membranas. Se establecen las condiciones mínimas de operación, los dispositivos necesarios para la operación, las pruebas previas que deben realizarse, los parámetros y características mínimas con las que deben diseñarse las unidades.

Todas las normas son aplicables a los cuatro **niveles de complejidad** del sistema, a no ser que se especifique lo contrario.

#### C.12.2 GENERALIDADES

La flotación DAF y la floculación lastrada solo podrán ser empleados por los **niveles medio alto y alto de complejidad** del sistema.

Para la implementación de cualquier otra tecnología distinta de las aquí mencionadas, debe pedirse permiso a la Comisión Reguladora de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA).

#### C.12.3 ESTUDIOS PREVIOS

##### C.12.3.1 Flotación DAF

Debe realizarse ensayos a nivel de laboratorio y planta piloto, ya que ésta depende del tipo de partículas. Los factores que deben ser considerados en el diseño incluye la concentración de sólidos, cantidad de aire usado, velocidad de ascenso de las partículas y la carga de sólidos. Para los ensayos de laboratorio se recomienda el uso de la celda de flotación. Para optimizar el proceso de flotación debe determinarse el pH, la dosis de coagulante óptima y el porcentaje de recirculación de agua presurizada. Debe emplearse la prueba de jarras con vasos adaptados para realizar ensayos de flotación (inyección de agua presurizada por el fondo) o un piloto de flotación.

##### C.12.3.2 Floculación lastrada

Para la determinación de los parámetros de diseño y las condiciones de operación, deben realizarse ensayos a nivel de laboratorio y planta piloto para la aplicación de esta tecnología; de estos ensayos se determinaran los parámetros de diseño y operación.

##### C.12.3.3 Separación por membranas

El tipo de membrana debe seleccionarse de acuerdo a la meta de tratamiento que se tiene; desalinización, remoción de compuestos de alto peso molecular, orgánicos o microorganismos. Las membranas disponibles son de tipo homogénea, asimétrica o compuesta, su composición química es variada: acetato, diacetato o tri acetato de celulosa, poliamidas aromáticas, polietilenimina o de naturaleza mineral (alumina  $Al_2O_3$ , carburo de silicio, carbón, etc.).

Dentro de los procesos de separación por membranas se encuentra: la ósmosis inversa, la electrodiálisis, nanofiltración y ultrafiltración.

Existen diferentes tipos de módulos de membranas usadas en la ósmosis inversa (OI), según el tipo de empaque, en forma espiral, fibra vacía, tubular o platos consecutivos. Por razones de costo, los más usados son los módulos espiral y fibra vacía.

Debe usarse la ósmosis inversa, la electrodiálisis (inversa) o la nanofiltración en desalinización del agua de mar o agua salobre, cuando previamente se haya demostrado que es el proceso que presenta un menor costo de producción del agua potable respecto a otros sistemas (como evaporadores). Si un proceso de separación por membranas es seleccionado para efectuar la desalinización el estudio previo debe presentar por lo menos dos configuraciones alternativas de las membranas (paso sencillo o doble o sistema por etapas).

El éxito del proceso y su sostenibilidad a largo plazo depende de la calidad de los pretratamientos aplicados al agua antes de pasarla sobre las membranas.

A continuación se muestra en la tabla C.12.1 los métodos de pretratamiento usados en desalinización del agua de mar y de agua salobre.

TABLA C.12.1

**Métodos de pretratamiento para la desalinización del agua de mar**

<b>Especies</b>	<b>Problema</b>	<b>Método de pretratamiento</b>
Sólidos suspendidos	Taponamiento de la membrana por partículas. Reduce el flujo.	Filtración sobre arena, filtración sobre medio mixto, coagulación-filtración, cartucho de filtración o ultrafiltración.
Precipitación de CaCO <sub>3</sub> , MgCO <sub>3</sub> , CaSO <sub>4</sub> , SiO <sub>2</sub> , BaSO <sub>4</sub> , SiSO <sub>4</sub> , CaF <sub>2</sub> , hidróxido u óxido metálico	Taponamiento de la membrana	Operación a bajo caudal, adición de ácido o agente quelatante, precipitación química (adición Ca(OH) <sub>2</sub> ), filtración sobre arena para remover SiO <sub>2</sub> , coagulación-filtración o ultrafiltración.
Coloides (arcillas, coloides de hierro, Al(OH) <sub>3</sub> )	Taponamiento de la membrana	Coagulación-filtración o ultrafiltración.
Microorganismos	Formación biopelícula. Reduce el flujo.	Cloración, adición de biosulfito de sodio, tratamiento UV, ozonación, adición sulfato de cobre o adición cloramina
Cloro	El cloro añadido para la desinfección puede degradar las membranas.	Adición biosulfito de sodio o filtros de carbón activado.
Sulfuro de hidrógeno	No es removido por las membranas.	Oxidación o Aeración.
Compuestos orgánicos	Adsorción sobre la membrana puede causar pérdida del flujo de agua. Algunos de alto peso molecular pueden coagular para formar coloides.	Carbón activado.

Uno de los parámetros importantes para seleccionar el tipo de membrana que debe usarse es el paso global de sal expresado en porcentaje (razón entre la concentración de sal en el residuo y la concentración de sal a la entrada) y la presión de operación necesaria, referirse a la tabla C.12.2.

La electrodiálisis (ED) o electrodiálisis inversa (EDI) representa el proceso de desalinización menos costoso para una agua salobre, de baja concentración en sal (< 5000 ppm).

Los requerimientos de energía eléctrica necesaria para un sistema de ED o EDI es aproximadamente 2.64 kW/h por 4 m<sup>3</sup> para el bombeo con presiones típicas de operación de 500 a 600 kPa. En desalinización el consumo de energía es cerca de 2.11 kW/h por 4m<sup>3</sup>, por 1000 mg/L de sales removidas.

Puede estudiarse también la posibilidad de combinar diferentes procesos de separación por membranas. Por ejemplo la asociación ultrafiltración-EDI, constituye un excelente pretratamiento para el proceso de ósmosis inversa (OI).

La ED o EDI puede también servir para la reducción de los volúmenes (concentración) de residuos de un proceso de OI.

Las membranas de microfiltración y de ultrafiltración son caracterizadas por un peso molecular de corte y por el tamaño de la molécula más pequeña que es retenida en un 90%.

La microfiltración opera en un rango de tamaño de poro de  $5 \times 10^{-2}$  a  $10 \mu\text{m}$  retiene las macromoléculas (peso molecular de aproximadamente  $10^6$ ), arcillas, bacterias, virus, pigmentos, etc. La filtración ocurre por superficie o en profundidad. Muchas veces se prefiere una filtración tangencial, flujo de agua tratada tangencial al flujo del agua afluente, por razones de autolimpieza de la superficie de la membrana. En este caso los módulos son de tipo tubular o fibra vacía.

La ultrafiltración opera en un rango de tamaño de poro de 10 a  $1000 \text{ \AA}$ , retiene moléculas de peso molecular entre 300 y 500.000 (azúcares, biomoléculas, polímeros y partículas coloidales). En este caso los módulos usados son de tipo espiral y tubular. Este proceso se usa solamente en aplicación muy específica. No se recomienda su uso como único proceso de potabilización del agua para consumo humano.

TABLA C.12.2  
Valores de paso global de sal

	Membrana alta presión (agua de mar)	Membrana presión media (agua salobre)	Membrana baja presión	Nanofiltración
Presión de operación (kPa)	5500 - 10000	2000 - 4000	700 - 2000	300 - 1000
<b>Peso global</b>				
Na <sup>+</sup> , Cl <sup>-</sup> , K <sup>+</sup> (monovalentes)	0.5 - 1.5	3 - 8	5 - 15	30 - 60
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> (bivalentes)	0.1 - 0.5	1 - 3	2 - 5	5 - 20
M.O: P.M > 300 g (pesticidas)	< 2	< 5	< 5	< 5
M.O: P.M = 80-300 g	< 10	< 10	< 15	< 15

M.O = Materia orgánica

P.M = Peso molecular

(\*) = depende frecuentemente de la naturaleza química del compuesto (polaridad, etc.)

## C.12.4 DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS

### C.12.4.1 Flotación DAF

#### C.12.4.1.1 Descripción del proceso

Se fundamenta en el arrastre hasta la superficie del material en suspensión, ya sean sólidos, algas o gotas de aceites dispersas por finas burbujas de gas, usualmente aire, de un diámetro aproximado entre 10 y  $150 \mu\text{m}$ . Las burbujas de aire se distribuyen a través del agua a tratar, adheriéndose al material suspendido, reduciendo su densidad efectiva de modo que sean rápidas y fácilmente separables. El tanque puede ser circular o rectangular; en este último deben colocarse pantallas, inclinadas aproximadamente  $60^\circ$  de la horizontal. En la determinación del tamaño del tanque debe considerarse las condiciones hidráulicas y el diseño del sistema de remoción de lodos. Debe tenerse cuidado en el diseño del sistema de saturación ya que éste incrementa notablemente los costos del proceso de flotación.

#### C.12.4.1.2 Descripción del equipo

##### 1. Sistema de saturación de aire

Para la saturación de aire pueden emplearse los siguientes sistemas: Inyección de aire dentro del agua en un tanque a presión o saturador, percolado del agua sobre un lecho empacado, rociado del agua dentro de un saturador sin empacar, inyectoras e inyección de aire dentro de la tubería de succión en la bomba de recirculación.

## 2. Sistema de producción de burbujas

En la selección del tipo de método ha emplear en la generación de burbujas debe considerarse lo siguiente:

- a) Flotación por aire disperso: En caso de emplear turbinas debe cuidarse que la turbulencia generada para producir las burbujas no rompa los flóculos formados. En caso de emplear un dispersor debe adicionarse un surfactante para lograr un tamaño de burbujas adecuado.
- b) Flotación electrolítica: Debe considerarse el alto costo del cambio frecuente de los electrodos y la posible contaminación del agua con metales pesados por la disolución del material del electrodo.
- c) Flotación por aire disuelto: La descarga de agua debe ser presurizada de 50 a 70 psi en presencia de suficiente aire

## 3. Sistema de recolección de lodos

La remoción del lodo acumulado en la superficie, pueden ser removido continuamente o intermitentemente por inundación o raspado mecánico.

- a) La inundación del tanque para la remoción del lodo puede lograrse por un aumento en el nivel del agua o bajando el vertedero de salida para facilitar la remoción del sobrenadante a través del colector de lodos. Este sistema no requiere de equipo costoso, genera un impacto mínimo en el proceso pero tiene la desventaja de generar una apreciable cantidad de agua residual con una baja concentración de lodos.
- b) Para la remoción mecánica pueden emplearse los dos siguientes equipos: Raspador largo, usualmente de paletas de caucho que viajan sobre la superficie del tanque y empuja el sobrenadante hacia el canal colector o el raspador de playa, el cual consta de un número de paletas rotando sobre la playa.

Para aguas con baja alcalinidad y alto contenido de color, se recomienda retirar el sobrenadante a los 35 minutos de acumulación debido a que transcurrido este tiempo el sobrenadante empieza a romperse. Para este caso se recomienda emplear raspadores mecánicos con una velocidad aproximada de 30 m/h.

Debe tenerse cuidado en la selección del sistema más apropiado, ya que éste es aproximadamente el 10 al 20% del costo total de la planta.

### C.12.4.1.3 Utilización

Se recomienda para la remoción de sólidos suspendidos, aceites y grasas., también se recomienda su empleo para aguas con altos niveles de partículas de baja densidad como algas o cuando los flóculos producidos en la coagulación son livianos y sedimentan lentamente.

### C.12.4.1.4 Acondicionamiento previo del agua

Se podrá emplear un pretratamiento si la calidad del agua cruda lo indica y con respecto a los procesos de floculación y coagulación se recomienda operar en las siguientes condiciones:

1. Tiempo de detención ( $t_d$ ) entre 15 min a 20 min.
2. El gradiente óptimo medio de velocidad para las unidades mecánicas debe ser aproximadamente  $70 \text{ s}^{-1}$  y para unidades hidráulicas de  $150 \text{ s}^{-1}$ .

La adición y mezcla del coagulante debe ser rápida y completa.

### C.12.4.1.5 Parámetros de diseño

Para la implementación de la flotación se deben realizar ensayos a nivel de laboratorio y planta piloto, para determinar los parámetros de diseño.

Se recomiendan los siguientes criterios:

1. Sistema de saturación de aire
  - a) La presión debe estar entre 350 kPa a 420 kPa.
  - b) La razón de recirculación de agua presurizada debe ser de 8 a 10 g de aire/m<sup>3</sup> de agua tratada.
2. La carga superficial debe ser de 200 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>.día) a 300 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>.día).
3. Tiempo de contacto mínimo de 5 min a 15 min.

#### C.12.4.1.6 Parámetros de control del proceso

Los factores que deben ser controlados en la operación de esta tecnología son:

- Saturación del agua a dispersar
- Adhesión de flóculo y burbujas de aire
- Tamaño de las burbujas producidas
- Naturaleza y tamaño de las partículas
- Tipos de químicos adicionados

#### C.12.4.2 Floculación lastrada

##### C.12.4.2.1 Descripción del proceso

Se basa en el incremento de la densidad del flóculo, con lo cual se obtienen mayores velocidades de sedimentación por influencia de las fuerzas gravitacionales. El aumento en peso y la densidad del flóculo se obtiene con la agregación de un agente lastrante que por lo general es la arena, la cual sirve como elemento generador de flóculo durante el proceso de floculación, adicionalmente se dosifica un polímero orgánico (polielectrolito), con el fin de que mediante la acción de puenteo sobre el flóculo éste adquiera mayor consistencia y se disminuya la constante de rompimiento del flóculo.

Los factores que deben ser tenidos en cuenta en la formación del flóculo son:

- Tamaño y forma de los tanques
- Gradiente de velocidad en cada uno de los tanques
- Dosificación del coagulante
- Tamaño y dosis de la arena
- Tiempo de floculación
- Calidad del agua cruda

El proceso puede efectuarse en un solo tanque tipo sedimentador circular de flujo vertical donde se inyecta la arena y el polielectrolito en la parte central o puede emplearse un tanque adicional donde la agitación sea mayor que en el tanque de coagulación, adicionando en éste el polielectrolito y la dosis de arena, posteriormente se pasa al tanque de floculación, allí al de sedimentación y a la filtración.

##### C.12.4.2.2 Parámetros de diseño

Para la implementación de la floculación lastrada como proceso de tratamiento, deben tenerse en cuenta los siguientes criterios.

- El tamaño de la arena a emplear tendrá un tamaño de partícula de aproximadamente 100 µm a 150 µm.
- Tiempo de contacto mínimo de 6 min a 10 min.

La máxima potencia disipada necesaria para la agitación debe ser de aproximadamente 80 W/m<sup>3</sup>.

##### C.12.4.2.3 Sistema de recolección de los lodos

Para la remoción del lodos y la arena del tanque de sedimentación debe contarse con electroválvulas y además el tanque debe tener una pendiente aproximada de 55°, con el fin de facilitar la remoción del lodo.

## C.12.4.2.4 Sistema de regeneración de la arena

Se recomienda recuperar la arena del lodo obtenido en el sedimentador, para lo cual puede emplearse un hidrociclón, la arena obtenida aquí debe ser lavada y nuevamente puede ser empleada como agente lastrante.

## C.12.4.3 Separación por membranas

## C.12.4.3.1 Descripción del proceso

La ósmosis inversa (OI) es un proceso de separación por membrana semipermeable en lo cual la fuerza directriz es la presión, se retiene los iones y se deja pasar el agua. La presión aplicada a la membrana en la práctica, es superior a dos veces la presión osmótica (II) de la solución que quiere tratarse.

En la electrodiálisis (ED) la fuerza directriz es un gradiente de concentración, los iones son transferidos a través de la membrana, de la solución menos concentrada a la solución más concentrada, como resultado de la aplicación de una corriente eléctrica. El flujo de agua es tangencial a la membrana cuando el flujo de iones es perpendicular a la membrana.

La electrodiálisis inversa (EDI) es un proceso en el cual periódicamente se invierte la polaridad de los electrodos (ánodo y cátodo).

En la nanofiltración (NF) se utiliza una membrana de baja presión, pasan solamente partículas menores a 1 nm. Las membranas de NF operan en un rango de PMC mayor al de las membranas de OI y presentan un alto rechazo de los iones divalentes como  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ , son usadas como membranas de ablandamiento y pueden también servir de barrera para las bacterias y virus.

## C.12.4.3.2 Parámetros de diseño

En el diseño de un proceso de separación por membranas, deben considerarse los siguientes parámetros:

1. Tipo de módulo de membrana, referirse a la tabla C.12.3.

TABLA C.12.3

**Características generales de los diferentes tipos de módulos de membrana de OI**

Característica	Tipo de módulo			
	Espiral	Fibra vacía	Tubular	Platos consecutivos
Densidad de empaque típico ( $\text{m}^2/\text{m}^3$ )	800	6000	70	500
Caudal de agua requerido ( $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ )	0.25 - 0.5	aprox. 0.005	1 - 5	0.25 - 0.5
Pérdida de presión (kPa)	300 - 600	10 - 30	200 - 300	300 - 600
Tendencia al taponamiento	alta	alta	baja	moderada
Facilidad de limpieza	pobre hasta buena	pobre	excelente	buena
Requisitos de prefiltración típicos	10 - 25 $\mu\text{m}$	5 - 10 $\mu\text{m}$	no es necesario	10 - 25 $\mu\text{m}$
Costo relativo	bajo	bajo	alto	alto

2. Configuración del sistema de membranas.
3. Calidad de agua a la entrada del sistema.
4. Presión osmótica ( $\bar{\Delta}$ ) de la solución, para el agua de mar puede ser aproximadamente a 69 kPa por 1000 mg/L de SDT.
5. Método de pretratamiento (referirse a la tabla C.12.1).
6. Calidad y cantidad deseadas del agua producida (tratada).
7. Presión de operación.

8. Porcentaje de conversión (razón de caudal del agua producida y de agua a la entrada) deseado.
9. Uso de materiales resistentes a la corrosión y/o altas presiones.
10. El tipo de elemento que quiere removerse (sales o SDT,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , compuestos orgánicos, microorganismos), referirse a la tabla C.12.2.
11. Requerimientos de energía, referirse a la tabla C.12.2.

Para el proceso de OI que funciona con altas presiones una alternativa para ahorrar energía o potencia consumida es prever en el sistema un dispositivo de recuperación de la potencia. Este último debe permitir recuperar el trabajo de flujo concentrado (residuo) que es altamente presurizado. De esta manera puede reducirse el consumo de energía en un 25 a 40%.

Este dispositivo puede ser una rueda de Pelton o una bomba de recorrido inverso. La potencia así recuperada puede servir para el bombeo del agua a la entrada de las membranas.

#### C.12.4.3.3 Control de los procesos

Los parámetros que deben controlarse en un proceso de separación por membrana son los siguientes :

1. pH del agua a la entrada: compararlo con el pHs para prevenir precipitación  $\text{CaCO}_{3(s)}$ .
2. Temperatura.
3. Presión aplicada a la membrana.
4. Caudal de alimentación de la membrana regulado para evitar el fenómeno de polarización de la membrana y así disminuir el costo de energía y los riesgos de precipitación sobre la membrana.
5. Conductividad del agua tratada.
6. Análisis químico específico de otros compuestos de interés.

## CAPÍTULO C.13

### C.13. MANEJO DE LODOS

---

#### C.13.1 ALCANCE

En este literal se establecen los requisitos mínimos para uno de los aspectos más críticos en la operación de plantas de tratamiento como es el manejo de los lodos producidos en los procesos de sedimentación y filtración. Se establecen los estudios previos, características requeridas en cada proceso junto con sus parámetros de diseño y el control que se debe realizar.

Todas las normas son aplicables a los cuatro **niveles de complejidad** del sistema, a no ser que se especifique lo contrario.

#### C.13.2 CLASIFICACION DE LOS PROCESOS

Los lodos que se producen en los sedimentadores constituyen entre el 60 y el 70% de los sólidos totales y en los filtros entre el 30 y el 40%. Sin embargo en las plantas que remueven hierro y manganeso los filtros retienen la mayoría de los lodos: 50% a 90%. Los polielectrolitos tienden a reducir el volumen de esos lodos. En el literal C.6.6.2.3 se exponen algunas observaciones acerca del comportamiento de los lodos en los sedimentadores.

Los procesos que deben seguirse para un adecuado manejo de estos residuos se dividen en la evacuación de los lodos, ya sea en forma periódica o continua, y la disposición final de los lodos.

En caso de emplear algún sistema para el manejo y disposición final de los lodos distintos a los mencionados en este título, el diseñador debe pedir autorización a la Comisión Reguladora de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA) para su aplicación, para lo cual debe comprobar la eficiencia de dicho proceso, ya sea por resultados obtenidos a nivel internacional o nacional, por investigaciones, trabajos a nivel de laboratorio y/o planta piloto donde se demuestre su efectividad.

#### C.13.3 ESTUDIOS PREVIOS

##### C.13.3.1 Caracterización de los lodos

###### C.13.3.1.1 Determinación de la concentración al peso de los lodos

La concentración al peso debe determinarse obteniendo el residuo total de la porción de lodos decantados. Un procedimiento conveniente a seguir puede ser el siguiente :

1. Dejar decantar de 4 a 6 horas la muestra de lodos.
2. Extraer el sobrenadante sin disturbar los lodos sedimentados.
3. Desecar una cápsula durante media hora a 105°C, enfriarla y pesarla en la balanza analítica.
4. Colocar dicha cápsula en un baño de María hirviendo, e ir vertiendo en ella la muestra de lodos hasta evaporar el agua que contenga.
5. Desecar la cápsula durante 2 horas a 105°C en una estufa apropiada.
6. Sacar la cápsula, enfriarla en el desecador y pesarla.

La concentración es igual a:

$$\text{concentraci3n} = \frac{\text{Diferencia de peso de la capsula en gr}}{\text{Volumen de muestra original en litros}} \quad (\text{C.13.1})$$

Esta operaci3n debe repetirse varias veces hasta obtener un peso constante.

#### C.13.3.1.2 Peso espec3fico de los lodos

Este ensayo debe realizarse cuidadosamente. Es conveniente realizarlo en la siguiente forma:

- Colocar en un matraz, una muestra de agua destilada de 250 ml y pesarla cuidadosamente. La temperatura del agua debe medirse.
- En el mismo matraz, previamente secado a 105°C y enfriado, poner una muestra de 250 ml de los lodos a analizar, conservando la temperatura de 3stos igual a la del agua destilada. Pesarla cuidadosamente.
- Determinar luego el peso de los residuos totales en la forma explicada en el ensayo anterior.

Partiendo de la diferencia de peso entre el matraz con agua destilada y el matraz con agua y lodos y cuando la temperatura del agua destilada es igual a la de los lodos, el peso espec3fico puede calcularse de la forma siguiente :

$$P_s^a = \frac{P_s}{V_s} = \frac{P_s}{P_s - (P_L - P_W)} \quad (\text{C.13.2})$$

#### C.13.3.2 Evacuaci3n de los lodos

Debe estudiarse la necesidad de los m3todos mec3nicos o sifones de flujo intermitente, ya que no se justifican cuando la turbiedad es baja la mayor3a del tiempo.

El consumo de agua de un sistema de sifones se debe tanto al flujo de lodos que tiene que extraer como al consumo propio. Esto puede considerarse como el costo de operaci3n que reemplaza el de la energ3a el3ctrica y el del desgaste mec3nico que existe en el drenaje convencional autom3tico de sedimentadores.

Sin embargo, si este costo del agua se considera muy grande y se quiere evitar perder dicho volumen de l3quido, puede colocarse una v3lvula de flotador en el eyector, que solo permite que 3ste trabaje durante los 60 s que necesita para cebar el sif3n o podr3a conectarse los eyectores a un tanque de alimentaci3n que por medio de v3lvulas solenoides programables permitiese el paso del agua a cada uno de los eyectores en el momento que se requiera y por el tiempo necesario para imprimirlos. Esto induce una cierta sofisticaci3n mec3nica en el sistema, que podr3a hacer m3s recomendables las v3lvulas de diafragma.

##### C.13.3.2.1 Evacuaci3n peri3dica

Debe estudiarse la necesidad de adquirir este sistema para eliminar los s3lidos provenientes de la decantaci3n de part3culas discretas (presedimentadores o desarenadores), por ser estas part3culas demasiado pesadas para ser arrastradas f3cilmente por el flujo en m3ltiples perforados, en la cual la velocidad no se puede mantener alta en todo el trayecto.

##### C.13.3.2.2 Evacuaci3n continua

Este sistema debe ser evaluado y utilizado, teniendo en cuenta los equipos requeridos para su mejor funcionamiento.

### C.13.3.3 Disposición final de lodos

El tipo de tratamiento que se va a utilizar para tratar el lodo debe encontrarse acorde al volumen y calidad de éste para lo cual debe realizarse un estudio detallado de los costos que conlleva el proceso de tratamiento seleccionado, según lo establecido en el capítulo A.7.

La tabla C.13.1 es una guía para la selección del tratamiento de los lodos de acuerdo a los datos promedio del porcentaje de concentración de sólidos en diferentes tipos de lodos.

TABLA C.13.1  
Concentración de lodos en el tratamiento de aguas

Tipo de lodo	Concentración de sólidos (%)
Proceso de sedimentación	0.5 - 2
Agua de lavado de filtros	50 - 1000 <sup>a</sup>
Proceso de ablandamiento con soda y cal	2 - 15
<b>Espesado gravitacional</b>	
Sedimentos de coagulación y lavado	2 - 20 (típico : 2 - 4)
Agua de lavado de filtros	Mayor a 4
Lodos de cal	15 - 30
<b>Filtración al vacío</b>	
Lodos de coagulación	10 - 20
Ablandamiento con cal (>85% de contenido de CaCO <sub>3</sub> )	50 - 70
Ablandamiento con cal (alto contenido de Mg(OH) <sub>2</sub> )	20 - 25
<b>Filtración a presión</b>	
Lodos de coagulación	30 - 45
Lodos de cal	55 - 70
<b>Centrífugas</b>	
Lodos de coagulación	10 - 20
Lodos de cal y aluminio	15 - 40
Lodos de cal	30 - 70
<b>Camas de secado</b>	
Lodos de coagulación	15 - 30
Lodos de cal	50 - 70
<b>Lagunas</b>	
Lodos de coagulación	7 - 15
Lodos de cal	50 - 60

<sup>a</sup> Concentración dada en mg/L

### C.13.3.4 Minimización de la producción de lodos

Para reducir los costos de inversión inicial, operación y mantenimiento en los sistemas de tratamiento de lodos deben tomarse en cuenta los siguientes criterios para realizar es estudio:

- Cambiar el tratamiento convencional por una filtración directa, si las condiciones fisicoquímicas del afluente lo permiten.
- Sustituir coagulantes por uso de polímeros, los cuales son más eficientes a bajas dosis.
- Ahorrar el consumo de productos químicos por determinación de la dosificación óptima sobre intervalos frecuentes cuando cambian las características del agua cruda.

## C.13.4 DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS

Para una correcta operación en el manejo de lodos debe distinguirse entre:

1. Los lodos líquidos que involucran el agua de arrastre.

2. Los lodos concentrados a los que se les ha sacado, por sedimentación u otro método similar buena parte del agua de arrastre.
3. Los lodos semisolidificados que son los mismos concentrados pero a los que se les ha extraído aún más la humedad, al punto de dejarlos manejables y transportables en estado semisólido en filtros prensa.

En total el flujo de lodos de una planta no debe ser mayor, en promedio del 5% del caudal total tratado, teniendo en cuenta la siguiente estimación: los sedimentadores producen entre el 2 y el 4% del caudal que se procesa y los filtros entre el 1 y el 2% del mismo. La concentración del lodo líquido debe permitir reducir su volumen del 3 al 25%, como se observa en la tabla C.13.2.

TABLA C.13.2  
**Concentración de lodos sedimentados**

Tipo	% Volumen a reducir
Lodos de sedimentación con coagulación de sulfato de aluminio	3.0 – 8.0
Lodos de sedimentación con coagulación por hierro	12 – 21
Lavado con coagulación por aluminio y cal	4.0 – 10
Lavado con coagulación por hierro y cal	5
Lavado con coagulación por hierro solo	5.0 – 9.0
Lodos de ablandamiento	15 – 25

#### **C.13.4.1 Evacuación de los lodos**

##### C.13.4.1.1 Sistema de evacuación

El tratamiento de los lodos puede realizarse por medio de dos métodos de descarga intermitente:

1. El mecánico por medio de válvulas automáticas, que deben ser accionadas por aire comprimido o por agua mediante un programador electrónico o electroválvula que abre o cierra los circuitos para comandar las aperturas según sea la periodicidad que se requiera.
2. El hidráulico por medio de sifones de flujo intermitente, en los cuales se hace uso de las características del sifón hidráulico para cebarlo y pararlo sin necesidad de recurrir a ningún elemento mecánico.

##### C.13.4.1.2 Tipo de evacuación

###### 1. Evacuación periódica

Deben dejarse trabajar los sedimentadores durante un período de tiempo que puede variar entre 15 días o uno o varios meses, según sea la turbiedad del agua cruda durante ese período, la dosis y tipo de coagulantes y el volumen muerto (Ver literal C.13.5.1) dejado en el tanque para almacenamiento de fangos.

###### 2. Evacuación continua

La evacuación continua puede hacerse en dos formas distintas, por métodos mecánicos o sifones de flujo intermitente y por métodos hidráulicos.

###### a) Remoción mecánica

Este método puede llevarse a cabo de dos formas:

- Con equipos que empujan por el fondo, lentamente, el lodo hacia la boca de salida, desde donde es extraído; en este caso el lodo es arrastrado por el equipo y la boca está quieta.
- Con equipos que transportan por el fondo las bocas de salida para ir succionando el lodo en su sitio a medida que cae; en este caso el lodo está quieto y son las bocas de salida las que se mueven.

El uso de métodos mecánicos se recomienda en los decantadores de flujo horizontal tradicionales debido a la extensa área que éstos tanques ocupan. Pueden utilizarse los sifones aspiradores flotantes.

b) Remoción hidráulica

Los métodos hidráulicos deben dejar escurrir gravitacionalmente el lodo hasta las bocas de salida y de ahí extraerlo, en este caso el lodo se mueve por su propio peso y las bocas de salida están quietas. Es especialmente apropiada para decantadores de alta tasa debido a su menor área construida que permite atolvar los fondos sin que el costo sea excesivo y para algunos decantadores de manto de lodos por su configuración especial.

#### **C.13.4.2 Manejo y transporte**

Los lodos líquidos puede ser bombeados a través de tubería o transportados en camión. Los lodos en forma de torta pueden ser transportados en camión o barco.

Los lodos de concentración diluidas de coagulantes pueden ser transportados por gravedad o por bombeo empleando bombas centrífugas. Los lodos de cal o lodos espesos de aluminio (8 a 15%) pueden ser transportados por bombas de desplazamiento positivo.

Los lodos de cal espesos con porcentajes iguales o mayores a 30% o lodos de coagulación mayores al 15% pueden ser transportados por bandas o tornillos transportadores.

Los alcantarillados por gravedad deben ser diseñados para mantener una velocidad de flujo mínima sin sedimentación.

Deben tomarse todas las precauciones necesarias para proteger la tubería y las bombas de la corrosión y la abrasión.

#### **C.13.4.3 Acondicionamiento de lodos**

Se recomienda acondicionar los lodos mediante operaciones físicas o químicas para mejorar el proceso de deshidratación.

Para el acondicionamiento con químicos inorgánicos puede utilizarse cal, cloruro férrico o sulfato ferroso, con el fin de promover la floculación. La cal debe emplearse para controlar el pH, el olor y para desinfectar.

El acondicionamiento de lodos con compuestos inorgánicos debe incrementar la masa de sólidos secos de 15 a 35%.

También pueden acondicionarse los lodos con compuestos orgánicos como los polímeros, los cuales mejorarán la floculación.

#### **C.13.4.4 Disposición final de los lodos**

##### **C.13.4.4.1 Almacenamiento**

Los lodos generados por los procesos de tratamiento del agua deben clasificarse principalmente en los siguientes grupos:

- Residuos por el retrolavado de los filtros.
- Lodos del proceso de coagulación con aluminio o hierro.
- Precipitados de hierro y manganeso.
- Lodos del proceso de ablandamiento.

El almacenamiento depende de la cantidad de lodos producidos por la planta de tratamiento.

#### C.13.4.4.2 Tratamiento

El objetivo general de las técnicas de secado de lodos es reducir el tamaño del lodo y producir un material que debe ser satisfactorio para los procesos de recuperación o disposición convenientes. Se dan a continuación las diferentes alternativas para el secado de los lodos:

##### 1. Espesado gravitacional

Debe practicarse para reducir el tamaño de material a ser dispuesto con el objetivo de suministrarle mayor consistencia y reducir la forma de las unidades de secado subsecuentes.

El espesamiento de los lodos de cal debe realizarse con el fin de aumentar el grado de sólidos concentrados y dar una mayor consistencia al material alimentado a las unidades de secado.

##### 2. Filtración al vacío

Después de la adición de polímeros y cuando se presenta una gran concentración de sólidos inertes debe implementarse la filtración al vacío que puede secar los lodos del coagulante hasta el 20 % de sólidos.

La filtración al vacío es efectiva para el secado de lodos provenientes del ablandamiento del agua.

##### 3. Filtración a presión

Debe aplicarse para secar lodos provenientes de los procesos de coagulación-floculación y del ablandamiento del agua.

Debe usarse cuando las características del lodo son difíciles de manejar ya que puede mantener los sólidos bajo presión por extensos períodos de tiempo hasta que la consistencia deseada sea alcanzada.

##### 4. Centrífugas

La canasta centrífuga opera semicontinualmente. Los grupos de lodos deben ser alimentados a la unidad para concentración de sólidos. Las centrífugas tienen las siguientes características:

- Las recuperaciones alcanzadas deben acercarse al 90 % sin polímeros y al 99 % con 0.5 a 1.0 kg de polímeros por tonelada de residuos sólidos.
- Las mezclas de lodos de cal y aluminio pueden llegar a una concentración de sólidos del 15 a 40%.
- El espesamiento de lodos de aluminio produce una concentración de sólidos del 11 % después de un ciclo de 40 minutos.
- Pueden concentrarse los residuos del retrolavado del filtro produciendo un 6 % de sólidos en 20 min sin polímero y un 10 % de sólidos en 80 min con polímero.

La centrifugación es un proceso continuo en el cual el lodo debe alimentarse al recipiente y el pastel de lodo es exprimido y descargado mientras el flujo concentrado es retenido.

##### 5. Camas de secado

El uso de las camas de secado esta limitada por el clima pero los rangos pueden variar de 1 a 20 por año, ésta tasa de utilización puede incrementarse con el uso de polímeros.

#### C.13.4.4.3 Descarga

|| La descarga de los lodos debe sujetarse a las siguientes especificaciones:

1. Para devolverlos directamente a la corriente de agua debe adquirirse un permiso de las autoridades competentes y deben realizarse estudios de impacto ambiental en el que se demuestre que no presentan indicios de perjuicios al ecosistema circundante.
2. Para descargarlos en alcantarillados (con o sin tratamiento) debe verificarse que los posibles daños a éste no resultan significativos.

3. Llevarlos a lagunas de almacenamiento en donde se decantan y por extrafiltración y evaporación se elimina el agua de arrastre hasta dejar el lodo semisolidificado. De allí debe extraerse por sistema mecánico y transportarlo al punto de disposición final.
4. Concentrar el lodo en concentradores, extraer dicho lodo y llevarlo a lagunas de secado en donde debe ser solidificado para luego transportarlo y depositarlo en el sitio que se acuerde.
5. Secar el lodo por sistemas mecánicos: filtros prensa, centrifugado, filtros al vacío, o camas de secado extraer la pasta desecada que se produce en ellos y transportarla hasta el lugar de almacenamiento.
6. La descarga final del agua lixiviada, si se hace a un cuerpo de agua, debe cumplir con las normas de vertimiento que trata el artículo 72 del Decreto 1594 del 26 de junio de 1984 del Ministerio de Salud.

### C.13.5 PARÁMETROS DE DISEÑO

Los parámetros que influyen en la calidad de los lodos deben analizarse para garantizar un buen diseño, entre éstos encontramos los siguientes:

- El coagulante empleado.
- El tipo de sólidos presentes en el agua.
- El proceso (decantación o lavado de filtro) que se realiza.

#### C.13.5.1 Evacuación de los lodos

##### C.13.5.1.1 Evacuación periódica

En todos los casos, el fondo debe tener una pendiente mínima del 5% hacia las bocas de desagüe colocadas en el piso y éstas no deben quedar a más de 10 m del punto más alejado de recolección.

En tanques grandes deben proveerse varias salidas para los lodos a fin de facilitar su arrastre por medio de mangueras de alta presión, debe incluirse en el diseño del tanque un sistema de tubos donde conectar estas mangueras, la presión disponible en el pitón de ellas debe estar entre 20 y 80 m.

Este volumen muerto debe ser del 10 al 20% del volumen total del tanque para decantadores de flujo horizontal, en decantadores de placas no debe ser inferior al 50% del volumen total del tanque para que los procesos de llenado y vaciado no sean demasiado frecuentes.

##### C.13.5.1.2 Evacuación continua

###### 1. Remoción mecánica

En el diseño de los sifones aspiradores flotantes se requiere el uso de cables movidos por un motor eléctrico, que arrastren todo el aparato de un extremo al otro del sedimentador, aspirando los lodos del fondo, los cuales deben ser descargados por sifonamiento en el canal.

###### 2. Remoción hidráulica

Para poder remover lodos hidráulicamente debe proyectarse un gran número de bocas de desagüe.

Para disminuir el número de puntos de salida, la única solución es construir tolvas con una pendiente suficiente como para que las partículas de lodo rueden hacia las bocas de drenaje, ya sea durante la apertura del desagüe o antes por concentración del material de ellas.

Puede proyectarse el uso de tolvas para la remoción hidráulica de los lodos, entre las cuales tenemos, las tolvas continuas y tolvas separadas para cada orificio de drenaje. Como no se puede colocar una válvula en cada orificio deben unirse por medio de un múltiple aspirador.

En el diseño de las tolvas deben considerarse tres aspectos:

- a) La pendiente de las paredes, la cual depende del ángulo de reposo del material que se piense remover. Para que el lodo no se pegue a ellas es necesario que la inclinación de las tolvas sea mayor que dicho ángulo de reposo. Este varía entre 30° y 60° para material floculado y entre 15° y

45° para material no floculado. Es recomendable darle a las tolvas una inclinación de 50° a 60° para material floculado y de 40° a 50° para material no floculado, ya que se ha demostrado que en estos rangos rara vez se permite adhesión de fangos a las paredes.

- b) El número, diámetro y espaciamiento de los orificios de drenaje. Estos deben calcularse de tal manera que cumplan con los siguientes objetivos:
- Debe recoger la gran mayoría del lodo asentado no solo junto al orificio sino entre orificios.
  - Todos los orificios deben trabajar prácticamente con el mismo flujo, no más de un 10% de diferencia entre el primero y el último para lo cual la sección transversal del tubo aspirador debe ser como máximo el 45% de la suma de las áreas de los orificios perforados sobre el mismo.
  - Con respecto a la primera característica debe distinguirse entre tanques con tolvas separadoras, en los cuales la separación entre orificios está dada por la configuración de las tolvas y su número, el cual se escoge de acuerdo con los determinantes del proyecto, y tanques con tolvas continuas, en los cuales el espaciamiento es un poco más sofisticado pues hay que tener en cuenta la esfera de influencia alrededor del orificio, dentro del cual la velocidad del flujo que confluye hasta el punto de salida es capaz de producir arrastre de las partículas sedimentadas o que están sedimentando.
- c) El volumen de lodos recolectados en relación al tamaño de la tolva. Para el correcto funcionamiento de las tolvas deben conocerse el volumen de lodos que deben depositarse en ellas a fin de poder dimensionar tanto su forma y capacidad como el número de descargas por día que deben programarse, para mantener el nivel de fangos dentro de los límites que no estimulen el arrastre de partículas que en consecuencia tienden a desmejorar la calidad del efluente.
- d) En los sedimentadores de placas la tolva debe acomodarse de tal manera que exista una fácil circulación peatonal entre el tope de dichas tolvas y la parte inferior de las placas (mínimo 2 m).

### C.13.5.2 Disposición final de los lodos

#### C.13.5.2.1 Almacenamiento

El almacenamiento de los lodos debe realizarse de acuerdo a las siguientes características:

- Volumen de lodos producidos.
- Tipo de sólidos.
- Características del lodo, lo cual puede influenciar en el secado de los mismos.

Los **niveles medio alto y alto de complejidad** deben tener un sistema de almacenamiento debido al volumen de producción de éstas plantas.

#### C.13.5.2.2 Tratamiento

##### 1. Espesado gravitacional

Deben adicionarse polímeros para incrementar el tamaño de partícula, reducir los sólidos en el agua de lavado retenida y condicionar los hidróxidos de aluminio y hierro de tal forma que se aumente la velocidad de sedimentación.

##### 2. Filtración al vacío

Pueden utilizarse recubrimientos de tierras diatomáceas para lograr el espesamiento de un 20% de sólidos.

##### 3. Filtración a presión

Debe implantarse este sistema cuando se presentan lodos de sales de aluminio o hierro, se ha condicionado el proceso con polímeros, cal, recubrimiento con tierras diatomáceas. Pueden adicionarse cenizas volátiles para mejorar el proceso.

#### 4. Centrifugas

Pueden usarse cuando se requiere separar selectivamente hidróxido de magnesio de carbonato de calcio, en especial cuando el lodo de residuos de cal debe ser recalcinado.

#### 5. Camas de secado

Deben adaptarse con arena de bajo drenado, grava y tuberías perforadas. Pueden trabajar por gravedad o al vacío.

El almacenamiento de los lodos debe programarse para períodos en los cuales se faciliten las condiciones climáticas para el secado, dado que si éstas no son favorables pueden afectar una efectiva operación de secado.

La forma de las camas de secado debe basarse en el número efectivo de usos que puede ser hecha por cada cama y la profundidad del lodo que puede ser aplicado a cada una.

El número de veces que las camas pueden ser usadas depende del tiempo de secado y el tiempo requerido para remover los sólidos y preparar las camas para su siguiente aplicación.

Los lodos de aluminio deben alcanzar concentraciones de sólidos de 15 % al 30 % y los lodos de cal deben alcanzar concentraciones de sólidos del 50 % a 70 %.

#### C.13.5.2.3 Descarga

##### 1. Lagunas

La operación de las lagunas de desecado es deficiente, en lo posible hay que evitarlas. Sin embargo, si se utilizan, deben tomarse en cuenta las siguientes especificaciones para el diseño :

- Deben hacerse por lo menos 4 unidades en paralelo.
- El tamaño de la laguna debe determinarse de acuerdo con la cantidad de lodos producidos.
- El uso de lagunas no es recomendable para los **niveles bajo y medio de complejidad**.
- Los coagulantes sólidos pueden concentrar los lodos de un 6% a un 10% en unos meses.

##### 2. Rellenos sanitarios

Deben concentrarse los sólidos a estado semisólido o forma pastelosa para poder disponerlos en rellenos sanitarios, seguido de un tratamiento de secado.

##### 3. Alcantarillados sanitarios

Debe coordinarse con las autoridades locales, considerando el impacto en el medio ambiente y el volumen de lodos existente en las aguas de descarga.

Si el volumen de los lodos es normalmente grande no deben descargarse en alcantarillados sanitarios.

## C.13.6 CONTROL DE LOS PROCESOS Y OPERACIÓN

### C.13.6.1 Evacuación de los lodos

#### C.13.6.1.1 Evacuación periódica

Para llevar el correcto control sobre los lodos que no se depositan uniformemente en toda el área del tanque, especialmente en los de flujo horizontal, se recomienda colocar las bocas de desagüe en la mitad del primer tercio y adicionar una o dos series de tolvas con pendientes de 60° en esa parte, para poder facilitar la limpieza y espaciar el vaciado, abriendo periódicamente la válvula de drenaje, a fin de disminuir la altura de los fangos acumulados en ese sitio.

C.13.6.1.2 Evacuación continua

1. Remoción mecánica

Para que funcionen los sifones aspiradores flotantes es esencial que el sifón no pierda el vacío.

2. Remoción hidráulica

Para efectuar la remoción hidráulica deben acercarse los fangos tanto como se pueda a las bocas de drenaje, ya que dichos fangos no son arrastrados por el flujo sino hasta muy corta distancia alrededor de ellas.

**C.13.6.2 Disposición final de los lodos**

C.13.6.2.1 Almacenamiento

Debe realizarse una revisión continua de la profundidad del manto de lodos en la zona de almacenamiento y de acuerdo a esa profundidad debe extraerse el lodo para someterlo al tratamiento que sea necesario, controlando la calidad del lodo producido.

C.13.6.2.2 Tratamiento

1. Espesado gravitacional

Debe controlarse el tiempo requerido para un grado determinado de espesamiento debido a que el uso de polímeros tiene un efecto mínimo sobre el grado de compresión de los lodos.

Deben controlarse las altas concentraciones de hidróxido de magnesio debido a que éste reduce el secado de los lodos, disminuyendo la densidad del lodo de secado.

2. Filtración al vacío

Debe controlarse la concentración del hidróxido de magnesio proveniente de los lodos de ablandamiento.

3. Filtración a presión

Debe llevarse un control sobre el lienzo del filtro que está sometido a presión, el tiempo de vida de este se encuentra entre 12 y 18 meses.

4. Centrífugas

Debe realizarse un control sobre los porcentajes de remoción de magnesio y calcio y los tiempos requeridos para que éste se lleve a cabo.

5. Camas de secado

El secado de la cama debe establecerse cuando el lodo pueda ser removido con equipos de remoción y no se retengan grandes cantidades de arena.

Debe controlarse el tiempo requerido para el drenaje de los lodos de aluminio, el cual debe encontrarse entre 3 y 4 días cuando no se utiliza polímero y entre 1.5 y 3 días cuando se utilicen polímeros. Los lodos secados al vacío en las camas reduce estos tiempos según el diseño.

La profundidad del lodo no debe ser mayor a 0.30 m en los lodos de coagulación y en lodos de cal no debe ser superior a 0.50 m. En caso de que las profundidades superen estos valores deben aumentarse los tiempos de secado.

C.13.6.2.3 Descarga

En la tabla C.13.3 se observan las velocidades mínimas de sólidos en tuberías. Estas velocidades son menores para partículas floculentas sin compactar o que han sido resuspendidas por turbulencia hidráulica o mecánica durante la succión.

1. Lagunas

Debe efectuarse una limpieza periódica de la batería de lagunas, llevando un control sobre los olores y el impacto ambiental que puedan presentar.

## 2. Rellenos sanitarios

Debe controlarse el área de disposición en el relleno sanitario, cuidando los problemas de olores y las posibles fallas que se puedan presentar.

## 3. Alcantarillados sanitarios

La calidad del lodo debe mantenerse en las condiciones establecidas por las autoridades realizando un control riguroso continuamente y los efectos producidos en el alcantarillado.

Debe cuidarse que no se produzcan incrustaciones o taponamientos en los canales o tuberías, principalmente por la presencia de lodos provenientes del proceso de ablandamiento debido a la presencia de  $\text{CaCO}_3$ .

TABLA C.13.3

### Velocidades de arrastre

Tipo de sedimento	Coagulante usado	Tiempo de sedimentación	Rango de velocidades (m/s)
Arcilloso	Sulfato de aluminio	6 horas o menos	0.25 – 0.35
		24 horas	0.50 – 0.65
		48 horas o más	0.60 – 0.65
Arcilloso	Sulfato y polielectrolitos	12 horas o menos	0.45 – 0.55
		24 horas	0.55 – 0.66
		48 horas o más	0.60 – 0.65
Arcillo-arenoso (20% arena, 80% arcilla)	Sulfato de aluminio	24 horas	0.85 – 0.95
		48 horas o más	0.85 – 0.95
Arcillo-arenoso (20% arena, 80% arcilla)	Alumbre y polielectrolitos	24 horas	0.85 – 0.95
		48 horas o más	0.90 – 1.00

Nota: El sedimento arcillo - arenoso esta constituido por 80% de arcilla y 20% de arena fina para Tamiz No. 40.

## CAPÍTULO C.14

### C.14. EDIFICIO DE OPERACIÓN

---

#### C.14.1 ALCANCE

En este literal se establecen los requisitos mínimos y las condiciones con las que se debe diseñar cada una de las áreas que conforman el edificio de operación. Se establecen los requisitos de espacio mínimo para cada área, los criterios que deben tenerse en cuenta en la selección de los dosificadores, aspectos generales sobre la dosificación de productos químicos, manejo, transporte y almacenamiento de los mismos, condiciones de seguridad de cada una de las áreas.

Se establecen las condiciones para los cuatro **niveles de complejidad** del sistema. Todas las normas son aplicables a los cuatro niveles del sistema, a no ser que se especifique lo contrario

#### C.14.2 GENERALIDADES

##### C.14.2.1 Nivel bajo de complejidad

Dentro del diseño del edificio de operación deben contemplarse los siguientes ambientes:

- Sala de dosificación y cloración.
- Oficina del administrador.
- Laboratorio de servicio
- Bodega general para productos químicos y repuestos.
- Baño.

##### C.14.2.2 Nivel medio de complejidad

Dentro del diseño del edificio de operación deben contemplarse los siguientes ambientes:

- Sala de dosificación y almacenamiento de productos químicos.
- Sala de cloración y de cilindros de cloro.
- Oficina del administrador.
- Laboratorio de servicio y análisis básicos.
- Baño.

##### C.14.2.3 Nivel medio - alto de complejidad

Dentro del diseño del edificio de operación deben contemplarse los siguientes ambientes:

- Sala de dosificación.
- Bodega de almacenamiento.
- Sala de cloración.
- Bodega de almacenamiento de cilindros de cloro.
- Laboratorio de servicios.
- Sala de operadores.
- Oficina del laboratorista y depósitos de reactivos.
- Laboratorio fisicoquímico y microbiológico.
- Oficina del administrador de la planta con su baño.
- Oficina del jefe de mantenimiento y auxiliares.
- Batería de baños.
- Cocineta.
- Cuarto de aseo.
- Zonas de esparcimiento.

- Parqueaderos.

#### **C.14.2.4 Nivel alto de complejidad**

Dentro del diseño del edificio de operación deben contemplarse los siguientes ambientes:

- Sala de dosificación.
- Bodega de almacenamiento junto con su baño.
- Sala de cloración.
- Cuarto de depósito para la cloración (incluye equipos de seguridad).
- Bodega de almacenamiento de cilindros de cloro.
- Sala de control.
- Sala de operadores con laboratorio de servicios.
- Depósito de reactivos y material de laboratorio.
- Oficina del laboratorista con su baño.
- Laboratorio fisicoquímico y microbiológico.
- Oficina del administrador de la planta con su baño.
- Sala de planoteca y reuniones.
- Oficina del jefe de mantenimiento.
- Oficina del ingeniero electrónico o similar.
- Batería de baños.
- Facilidades de cocina y cafetería según las necesidades.
- Cuarto de aseo.
- Zonas de esparcimiento.
- Parqueaderos.

Estas dependencias deben reunir condiciones sanitarias, hidráulicas, de seguridad, de facilidad de operación y arquitectónicas. La disposición y tamaño de cada uno de los ambientes debe estar acorde con los requerimientos técnicos del proceso de tratamiento y con la capacidad de la planta de tratamiento.

Las partes constituyentes del edificio de operación pueden estar agrupadas o no en la misma edificación y deben tener acceso restringido para personas ajenas a cada sección de trabajo.

La dosificación de los productos químicos puede ser de dos tipos de acuerdo con las características del material a dosificar, si el material está en polvo deben emplearse dosificadores en seco, los cuales pueden ser volumétricos o gravimétricos. Si la sustancia está en solución deben emplearse los dosificadores en solución, los cuales pueden ser rotatorios, por bombeo o por gravedad u otro de tecnología conocida y aceptación extendida.

### **C.14.3 ESTUDIO DE COSTOS**

Debe realizarse un estudio financiero que involucre cada uno de los ambientes, justificando áreas adicionales a las que se determinaron en cada uno de los niveles de complejidad del sistema.

Debe realizarse un estudio de costos para la selección de los dosificadores, el cual debe tener en cuenta los aspectos técnicos (operación, mantenimiento y reparación, ver literal A.7) con los que se cuenta.

### **C.14.4 ASPECTOS DE DISEÑO**

#### **C.14.4.1 Salas de dosificación y cloración**

La sala de dosificación debe someterse a riguroso análisis, debido a que errores en su diseño pueden traducirse en interrupciones frecuentes en el proceso de tratamiento o en fallas en su eficiencia.

#### C.14.4.1.1 Área mínima

Las principales características que deben analizarse al realizar este estudio se encuentran a continuación:

1. La dosis óptima en relación con la demanda y la relación concentración-tiempo.
2. El consumo diario, así como el método de dosificación más conveniente y el equipo necesario.
3. El almacenamiento de productos de acuerdo con la cantidad necesaria y su tonelaje.
4. Los espacios o áreas que debe tener la sala de dosificación.
5. Los métodos para sortear las emergencias y los equipos usados en ellas.
6. Puntos de inyección del producto y su forma.
7. Métodos de operación de los equipos (manual, automático, semiautomático).
8. Plomería para el transporte del producto químico.

En general, los productos químicos deben almacenarse hasta un altura máxima de 2.10 m. En estas condiciones se pueden acomodar alrededor de 25 bultos por  $m^2$  de área de almacenamiento en diez filas superpuestas, incluidas las estibas que deben ponerse cada 5 bultos. El peso del sulfato granular es de unos  $1000 \text{ kg/m}^3$  y el de la cal de  $700 \text{ kg/m}^3$ . Deben dejarse además corredores de circulación amplios para acomodar los bultos, por conjuntos de fácil manejo.

#### C.14.4.1.2 Sistema de dosificación

En función de los requerimientos y capacidad de la planta debe determinarse el tipo de dosificación, por vía húmeda o por vía seca, teniendo en cuenta los factores técnicos y económicos. Es recomendable utilizar dosificadores por vía húmeda debido a la mayor exactitud en la dosificación y por la sencillez de su operación y mantenimiento.

Para la dosificación de productos químicos debe tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. Estos equipos deben disponer de controles que permitan el ajuste de la cantidad liberada dentro de los límites que caracterizan su capacidad .
2. Debe existir una escala que permita determinar la dosis que está siendo aplicada.
3. En caso de requerirse más de un coagulante, deben preverse diferentes puntos de adición de estos productos, cada uno con su dispositivo de mezcla, en el orden que se considere conveniente.
4. Debe contarse con alimentadores separados para cada uno de los productos químicos que se empleen en la planta.
5. Los equipos alimentadores de productos químicos deben estar localizados en lugares accesibles para facilitar el mantenimiento y observación de los mismos por parte del operador.
6. Ubicar las respectivas básculas para el pesaje de las sustancias químicas a dosificar cuando hacen falta.
7. Se recomienda tener una unidad dosificadora de reserva para cada uno de los productos químicos que se empleen, para utilizarla en caso de daño o paro de la unidad principal.
8. Los dosificadores deben ubicarse teniendo en cuenta su cercanía al punto de aplicación de los productos químicos y la facilidad de acceso para su operación y alimentación.
9. Deben proveerse los medios para medir el flujo del agua, de manera que puedan determinarse las tasas de alimentación de los productos químicos.
10. Puede emplearse cal viva ( $\text{CaO}$ ), o cal apagada ( $\text{Ca(OH)}_2$ ), en caso de usar esta última es necesario implementar algunos sistemas para la remoción de impurezas que traiga este compuesto.

### C.14.4.2 Bodegas de almacenamiento

#### C.14.4.2.1 Localización y estructura

Esta zona debe reunir características especiales en cuanto a su ubicación y distribución, dependiendo de la naturaleza de los productos y debe estar localizada en una parte estratégica para la operación de la planta de tratamiento.

La localización de esta área debe permitir el fácil acceso de los camiones y carrotaques que suministran los productos químicos y los carros que transportan éstos internamente.

#### C.14.4.2.2 Área mínima

Debe proveerse espacio para:

1. Mínimo 30 días de abasto de los productos.
2. Manejo adecuado y eficiente de los productos.
3. Condiciones a prueba de humedad en el almacén.
4. Almacenaje de productos químicos con un área mínima de 50 m<sup>2</sup>.

#### C.14.4.2.3 Manejo y almacenamiento de los productos

Los productos químicos son muy delicados, por lo cual se debe tener especial cuidado en su manejo y almacenamiento, de acuerdo a las siguientes condiciones:

1. Cada bodega debe estar separada en diferentes secciones para los distintos productos químicos y depósito de empaques.
2. Productos químicos incompatibles no deben ser almacenados, manipulados, ni alimentados conjuntamente. La cal viva y el sulfato no deben almacenarse en la misma bodega por razones de seguridad.
3. Los compuestos deben ser almacenados en sus envases originales, tapados o sin abrir, a menos los productos sean transferidos a unidades aprobadas de almacenaje tapadas.
4. Los tanques de almacenaje y las tuberías para productos químicos líquidos deben usarse únicamente para dichos productos y no para cualquier otro producto.
5. Los tanques de almacenaje de productos químicos líquidos deben tener un indicador del nivel del líquido, a la vez que un aliviadero y una piletta o drenaje para recibir cualquier desborde o derramamiento accidental.
6. Los tanques deben estar debidamente rotulados de acuerdo al producto químico que contengan.
7. Los ventiladores de los alimentadores y escapes de los equipos deben descargar al exterior sobre el nivel del terreno y alejados de cualquier entrada de aire.
8. Los cilindros llenos y vacíos de gas cloro deben estar:
  - a) Aislados de las áreas de operación de la planta.
  - b) Asegurados en su posición para evitar movimientos bruscos.
  - c) Almacenados en áreas separadas del almacenaje de amoniaco.
  - d) Almacenados en áreas que no estén bajo los rayos directos del sol o expuestos a temperaturas excesivas de calor.
9. Los cilindros de cloro pequeños deben siempre almacenarse y utilizarse en posición vertical, en cambio los cilindros de tonelada deben siempre usarse en posición horizontal y tener las válvulas alineadas verticalmente, es conveniente colocarlos sobre soportes de rodachines para que se puedan girar con facilidad.

10. Los ácidos deben mantenerse en su envase original y tapado o en unidades para almacenaje, a prueba de ácidos.
11. El almacenamiento de los productos empacados en sacos debe ser máximo de 2.1m de altura cuando se utilicen métodos mecánicos para su transporte o más cuando se utilicen métodos apropiados que permitan tomarlos a mayor altura.
12. La distancia entre las pilas de almacenamiento debe ser suficiente para el tránsito de los vehículos de transporte y la movilización de personal.
13. Los sacos de productos químicos sólidos deben ser colocados sobre estribos de madera, en caso de empaque a granel los productos químicos deben ser almacenado en depósitos de materiales resistentes a la corrosión y los productos químicos en solución deben ser almacenados en tanques localizados interna o externamente a casa de química.
14. La temperatura mínima recomendable para el área de almacenamiento de cloro, es de aproximadamente 10°C.
15. Cuando se requieren diariamente más de dos cilindros de cloro de 68 kg (150 lb), debe considerarse el uso de cilindros de una tonelada.
16. Para el almacenamiento de los compuestos de cloro debe seleccionarse un lugar fresco, seco y oscuro, en un recipiente adecuadamente cerrado; por ser corrosivos deben manejarse en recipientes resistentes a la corrosión, hechos de madera, cerámica o plástico. Es esencial la buena ventilación de la bodega así como disponer de los medios adecuados para su manejo.

#### C.14.4.2.4 Transporte interno del material

El transporte local de productos químicos debe realizarse tomando las mayores medidas de precaución para evitar accidentes tanto de personal como de los sistemas de la planta de tratamiento. Para el transporte de recipientes de productos químicos se debe:

1. Proveer carretones, elevadores o cualquier otro sistema de cargar para reducir al mínimo el trabajo de los operadores y agilizar los procesos de tratamiento.
2. Disponer de sacos, cilindros o barriles vacíos para reducir al mínimo la exposición al polvo.
3. Emplear poleas montadas sobre rieles y ganchos especiales para productos pesados.
4. Proveer medios de transferencia adecuada de los productos químicos secos desde los embalajes de manera que se reduzca al mínimo la cantidad de polvo. Para fines de control debe usarse:
  - a) Equipo neumático o sistema de transportar cerrado.
  - b) Facilidades para descargar los envases originales de productos químicos en áreas cerradas.
  - c) Extractores de aire y filtros de polvo que produzcan una presión negativa en depósitos o cajones de almacenamiento.
  - d) Formas de medir las cantidades de productos químicos usados en la preparación de las soluciones a aplicarse.
5. Utilizar básculas para pesar los cilindros de cloro o (switch-over) un intercambiador automático, o en su defecto llevar un registro del consumo de cloro de tal manera que se garantice un oportuno cambio de cilindros de cloro y el agua siempre reciba la dosificación apropiada.
6. No mover los cilindros de cloro de 68 kg sin la caperuza protectora colocada debidamente atornillada en su sitio.
7. Encadenar o amarrar los cilindros de 68 kg mientras están en servicio para evitar que puedan caerse y golpearse.

#### C.14.4.2.5 Transporte externo de los productos químicos

Los productos químicos sólidos empacados en sacos deben ser transportados en camiones cubiertos para evitar que se humedezcan los desinfectantes, en especial el cloro.

El cloro se expende en cilindros metálicos resistentes de 68 kg (150 lb) y 1000 kg (2200 lb), o en carrotanques especiales de 10, 15, 20 o más toneladas.

De los cilindros y carrotanques se puede extraer indistintamente líquido de la parte inferior y gas de la parte superior, según sea la salida que se escoja, debe tenerse especial cuidado cuando se extrae gas, ya que disminuye la temperatura del recipiente y a veces aparece escarcha por condensación de la humedad en la superficie, lo que obliga a limitar el volumen de gas que se obtiene, es decir, a menor temperatura, menor volumen de gas se puede sacar.

Los carrotanques se usan por lo general cuando el consumo de cloro es más de 2.0 t/día y su utilización es apropiada para los **niveles medio alto y alto de complejidad** del sistema por las siguientes razones:

1. Evitan el manejo de cilindros de tonelada con el consiguiente empleo de poleas y grúas.
2. No es necesario usar matrices para interconectar varios cilindros al tiempo como ocurre cuando se requieren grandes flujos.
3. Simplifican la operación, pues se conectan directamente al equipo de proceso, y según su tamaño pueden durar 8 o más días sin tener que reemplazarlos.
4. Se pueden colocar separados de la zona de los cloradores en un patio de maniobras al aire libre.

#### C.14.4.3 Sala de control

Una de las más importantes secciones de la planta de tratamiento es la sala de control, ya que desde allí se lleva el dominio, manejo y control de las operaciones en la planta y permite tener un acceso directo a alguna parte del proceso en especial, principalmente deben diseñarse en los **niveles medio alto y alto de complejidad**.

##### C.14.4.3.1 Área mínima

El área de la sala de control depende del tipo de planta, del grado de automatización y el **nivel de complejidad** del sistema.

##### C.14.4.3.2 Organización

La sala de control debe:

1. Suministrar toda la información actualizada que se requiere para desarrollar el proceso, debido a que hay tres usuarios principales de esta clase de información, los operadores, el departamento administrativo y el equipo automático.
2. Suministrar los medios para controlar el proceso de tratamiento, por lo común en plantas con **niveles medio alto y alto de complejidad** el control ejercido durante la operación normal es del tipo automático.
3. Ofrecer una conexión entre el operador y el proceso, ya que el operador es responsable por el buen desempeño del proceso de tratamiento.
4. Contar con cinco partes esenciales:
  - a) Un indicador de variables del proceso.
  - b) Un mecanismo de ajuste del punto de referencia.
  - c) Un dispositivo de ajuste (denominado, casi siempre, manual), que maneja directamente la señal a la válvula de control.
  - d) Un indicador de señal de salida.

e) Un dispositivo para efectuar la conmutación entre la modalidad automática y la manual.

#### **C.14.4.4 Sala de operadores con laboratorio de servicios**

Esta dependencia debe proyectarse para permitir la realización rápida de algunos análisis por parte del personal de operación.

##### **C.14.4.4.1 Área mínima**

El área mínima debe determinarse de acuerdo a las pruebas y equipos que los operadores estén capacitados para realizar.

##### **C.14.4.4.2 Organización**

Esta dependencia debe :

1. Estar adaptada para realizar reuniones del personal.
2. El laboratorio debe tener equipos de fácil manejo.
3. Las pruebas a realizar deben ser simples.
4. Estar dotado con la información necesaria para realizar los análisis.

#### **C.14.4.5 Depósito de reactivos y material de laboratorio**

##### **C.14.4.5.1 Área mínima**

El área mínima debe sujetarse al nivel de complejidad del sistema, la capacidad y factibilidad de mantener reactivos químicos en existencia y la tecnología que implemente para la purificación del agua.

##### **C.14.4.5.2 Organización**

Este ambiente debe tener:

1. Las paredes internas con revestimientos a prueba de humedad y piso impermeable, que no presente problemas de deslizamientos.
2. Equipos de seguridad en lugares estratégicos.
3. Un lavadero para situaciones de emergencia.
4. Una organización selectiva de cada uno de los reactivos con el correspondiente nombre en el frente para su fácil ubicación.
5. Extractor de olores en perfecto funcionamiento.

#### **C.14.4.6 Oficina del laboratorista con su baño**

##### **C.14.4.6.1 Área mínima**

El área mínima debe ser 8 m<sup>2</sup> y está influenciada por los equipos y elementos que el laboratorista disponga tener en este ambiente.

##### **C.14.4.6.2 Organización**

La oficina del laboratorista debe :

1. Tener la información necesaria para realizar estudios de análisis.
2. Mantener comunicación con todas las dependencias de la planta.
3. Estar ubicada cerca a los laboratorios.

**C.14.4.7 Laboratorio fisicoquímico y microbiológico**

En todas las plantas de tratamiento deben proyectarse laboratorios de control operacional, para permitir la realización de los análisis y ensayos físicos, químicos y microbiológicos.

**C.14.4.7.1 Área mínima**

El área mínima de laboratorio debe ser:

1. 10 m<sup>2</sup> para plantas de tratamiento con niveles bajo y medio de complejidad del sistema.
2. 18 m<sup>2</sup> para plantas de tratamiento con niveles medio alto y alto de complejidad del sistema.

**C.14.4.7.2 Características de las instalaciones**

Deben estar sujetos a las siguientes características:

1. Debe contarse con los equipos y aparatos mínimos exigidos, además deben constar en los proyectos y su adquisición será obligatoria.
2. Las paredes internas deben tener revestimientos a prueba de humedad y piso impermeable, que no presente problemas de deslizamientos.
3. En plantas de tratamiento con **niveles medio alto y alto de complejidad**, debe proyectarse un área para el laboratorio de bacteriología, independiente del laboratorio químico cuando la planta no tiene un laboratorio central.
4. En las plantas de tratamiento con **niveles bajo y medio de complejidad**, pueden realizarse los análisis microbiológicos junto con los análisis físicos y químicos.
5. Los ensayos físicos y químicos que se deben realizar mínimo en el laboratorio comprenden la determinación de pH, alcalinidad, turbiedad, color, cloro y aluminio residual.
6. Los mesones deben tener mínimo 0.90 m de altura y 0.60 m de profundidad. La longitud mínima de los mesones en plantas con **niveles medio alto y alto de complejidad** debe ser de 10 m y en plantas con **niveles bajo y medio de complejidad** del sistema debe ser de 5m.
7. El espacio libre entre mesones debe ser superior a 1.40 m.
8. Deben proveerse armarios modulados bajo los mesones.
9. Los lavaderos para implementos de laboratorio deben ser de acero inoxidable y sus medidas mínimas serán 0.50 m \* 0.40 m \* 0.40 m. El número de éstos será determinado de acuerdo a las necesidades de cada planta.

**C.14.4.7.3 Equipo mínimo de laboratorio**

El control de la calidad del agua producida en la planta debe ser efectuado por el laboratorio, deben realizarse análisis fisicoquímicos y microbiológicos detallados y completos.

El laboratorio debe informar inmediatamente al supervisor o encargado de la planta, en caso de encontrar parámetros que no cumplan con las normas de calidad vigentes. La frecuencia y el número de muestras debe ser establecido por el laboratorio de control de calidad. En caso necesario, el supervisor o encargado debe solicitar muestreos adicionales. Se debe contar con el siguiente equipo de laboratorio en todos los **niveles de complejidad** del sistema:

Balanza analítica	Bomba de vacío
Agitadores	Nevera
Analizador y registrador de cloro residual	Ducha de seguridad
Lavamanos	Gabinetes
Termómetros	Reactivos químicos
Mesón de trabajo	Mecheros

Garrafas de 1 Galón	Envases para muestreo
Materiales de vidrio (sistema de titulación)	Equipo de prueba de jarras
Medidor de pH - Conductividad	Turbidímetro
Espectrocolorímetro más cubas	Biblioteca
Los niveles medio alto y alto de complejidad del sistema deben contar además con los siguientes equipos:	
Incubador microbiológico	Microscopio
Esterilizador o Autoclave	Medidor de oxígeno disuelto
Extractor de vapores	Destilador
Horno de mufla	Espectrofotómetro (para nivel alto)

*Cuando en una ciudad se tiene en operación varias plantas de tratamiento, o en el caso de acueductos regionales, es posible centralizar algunas actividades, como por ejemplo la preparación y la estandarización de los reactivos de laboratorio y procesos de control de calidad.*

#### **C.14.4.8 Oficina del administrador de la planta**

El trabajo de la planeación y control de la producción en la planta de tratamiento debe estar a cargo del área de servicios administrativos, la cual encuentra limitaciones en sus obligaciones de acuerdo al nivel de confiabilidad de servicio de la planta de tratamiento, como consecuencia del tipo de tecnología implementada, el consumo de la población y las características de operación y mantenimiento.

##### **C.14.4.8.1 Área mínima y organización**

El área mínima para la oficina del administrador debe ser 18 m<sup>2</sup> y se puede determinar con base en el tipo de planta de tratamiento y las dependencias en las cuales esté dividida. Puede estar localizada en un lugar apartado de las demás instalaciones cuando el tamaño de ésta así lo exija.

La administración requiere información concerniente a resultados como índices de alimentación, índices y calidad de productos, rendimientos y costos de operación para fines de contabilidad.

##### **C.14.4.8.2 Características de la instalación**

En el diseño de esta área debe tenerse en cuenta lo siguiente:

1. El área debe contar con buena iluminación y ventilación.
2. Debe un baño independiente.
3. Suficiente espacio para escritorios, armarios, sillas, entre otros muebles, además de contar con espacio suficiente para el desplazamiento del personal.
4. Si es posible, puede tener una sala auxiliar para reuniones.
5. Las instalaciones deben ser eficientes y agradables estéticamente.

#### **C.14.4.9 Sala de planoteca y reuniones**

##### **C.14.4.9.1 Área mínima**

El área mínima debe ser 25 m<sup>2</sup> con suficiente capacidad para atender visitas de diferentes centros de estudio e investigaciones, con capacidad mínima de 12 personas.

##### **C.14.4.9.2 Organización**

Esta dependencia debe constar de :

1. Mesa amplia con sus correspondientes sillas.
2. Tablero para exponer los temas a analizar.
3. Suficiente iluminación.

4. Comunicación con todas las dependencias.
5. Información necesaria para los diferentes tipos de reunión.
6. Equipos auxiliares para el desarrollo de las reuniones.

#### **C.14.4.10 Oficinas del jefe de mantenimiento e ingeniero electrónico o similar**

##### C.14.4.10.1 Área mínima

El área mínima debe ser 8 m<sup>2</sup> y está influenciada por los equipos y elementos que el jefe de mantenimiento disponga tener en este ambiente.

##### C.14.4.10.2 Organización

Las oficinas deben tener como mínimo:

1. La información necesaria para realizar estudios de problemas que se puedan presentar en la planta.
2. Comunicación con todas las dependencias.
3. Acceso inmediato al libro de control de calidad y los manuales de mantenimiento de cada uno de los equipos de la planta.
4. Estar cercanas para posibles consultas.

#### **C.14.4.11 Batería de baños**

##### C.14.4.11.1 Área mínima

El área está limitada de acuerdo a la cantidad de personal que exista en la planta y los turnos que se presten.

##### C.14.4.11.2 Organización

La batería de baños debe tener:

1. Un ambiente estético agradable.
2. La dotación necesaria para su correcto funcionamiento.
3. Suficiente iluminación.

#### **C.14.4.12 Cocina y cafetería**

##### C.14.4.12.1 Área mínima

El área mínima está limitada al nivel de complejidad del sistema y las actividades a las cuales se ha destinado esta dependencia, ya sea como restaurante u otra función.

##### C.14.4.12.2 Organización

La cocina y cafetería debe contener :

1. Un ambiente estético agradable.
2. Mesas y sillas suficientes para el personal de la planta.
3. La dotación necesaria para su correcto funcionamiento.
4. Suficiente iluminación.
5. Elementos de seguridad para situaciones de emergencia.
6. En caso de utilizar el sitio como restaurante, se debe tener una entrada en la parte de atrás de la edificación para el transporte de los productos alimenticios.

#### **C.14.4.13 Cuarto de aseo**

##### C.14.4.13.1 Área mínima

El área mínima del cuarto de aseo debe ser 6 m<sup>2</sup>, de acuerdo al nivel de complejidad del sistema y la capacidad de almacenamiento que la planta disponga.

##### C.14.4.13.2 Organización

El cuarto de aseo debe tener :

1. Ordenados todos los elementos de aseo para su fácil adquisición.
2. Un ambiente estético agradable.
3. Suficiente iluminación.

#### **C.14.4.14 Zonas de esparcimiento**

##### C.14.4.14.1 Área mínima y organización

Estas zonas se determinan de acuerdo a la ubicación de la planta y la disponibilidad de terreno con que se cuente.

##### C.14.4.14.2 Organización

Las zonas de esparcimiento deben tener:

1. Un ambiente estético agradable.
2. Posibilidades para futuras ampliaciones.
3. Si es posible, vegetación y arborización.
4. Accesos amplios a las diferentes dependencias.

#### **C.14.4.15 Parqueadero**

##### C.14.4.15.1 Área mínima y organización

El área del parque automotor se encuentra limitada de acuerdo al número de vehículos que disponga la planta y los posibles visitantes a la planta.

##### C.14.4.15.2 Organización

El parqueadero debe permitir:

1. Tener un acceso fácil para los vehículos.
2. Tener zonas demarcadas para los diferentes tipos de vehículos.
3. Mantener equipos de seguridad en lugares estratégicos.
4. Área de circulación para peatones.

#### **C.14.4.16 Servicios auxiliares**

Existen diferentes dependencias que permiten realizar una operación eficiente en la planta de tratamiento, las cuales ofrecen los servicios complementarios que favorecen el correcto funcionamiento de todos los sistemas de tratamiento. Los servicios auxiliares comprenden las siguientes secciones:

- Galerías de maniobras y tableros de maniobra
- Salas de bombeo

- Vestuarios
- Ambientes sanitarios
- Áreas de circulación y acceso
- Talleres de reparación y mantenimiento
- Depósitos para herramientas y útiles de limpieza
- Área para transformadores y/o tableros eléctricos y las necesarias para el buen funcionamiento de la planta.

#### C.14.4.16.1 Área mínima

Cada una de estas secciones tiene un área que debe variar de acuerdo al tipo de planta de tratamiento, el nivel de confiabilidad de servicio y el grado de automatización que se le asigne.

#### C.14.4.16.2 Organización

Debe estar organizada de manera estratégica para evitar pérdidas, accidentes y retardos en el funcionamiento de la planta, de tal forma que se observen las siguientes características:

1. El mayor aprovechamiento del espacio disponible
2. Rapidez en el momento de exigir los servicios correspondientes.
3. Facilidad para la operación y el mantenimiento.
4. Las correspondientes condiciones hidráulicas, sanitarias y de seguridad.
5. Cercanía a los puntos donde presentan sus mayores exigencias de servicio.
6. Los equipos eléctricos, mecánicos y electromecánicos deben estar adaptados para sacarlos de operación en el momento de realizar las actividades de mantenimiento o en situaciones de emergencia sin alterar las operaciones de la planta.
7. Las zonas de circulación y acceso deben estar perfectamente delimitadas y con las correspondientes medidas de seguridad en lugares peligrosos.
8. El taller de mantenimiento debe llevar un estricto control de las entradas y salidas de almacén.
9. Avisos en zonas peligrosas de alta tensión y cuidados que se deben tener en estas zonas.
10. Equipos de seguridad industrial situados en partes estratégicas de fácil acceso.

### **C.14.5 CONDICIONES DE SEGURIDAD**

#### **C.14.5.1 Salas de dosificación, cloración y bodegas de almacenamiento**

El equipo de protección mínimo para los operarios que tienen contacto directo con los productos químicos debe ser: un par de guantes de goma, un respirador apto para polvos tóxicos o gases ácidos, un delantal u otra ropa protectora adecuada, incluyendo gafas o caretas.

Debe tenerse en cuenta las siguientes medidas de seguridad para prevenir accidentes en planta:

1. El punto de aplicación de los productos químicos debe garantizar la máxima seguridad a los operadores.
2. Ofrecer la máxima flexibilidad de operación especificando distintos puntos de aplicación, cuando sea apropiado.
3. Evitar el contraflujo o contra sifonaje entre los puntos múltiples de alimentación a través de distribuidores comunes.

4. Productos químicos incompatibles no deben ser almacenados, manipulados, ni alimentados conjuntamente.
5. Deben desecharse productos fácilmente deteriorables o aquellos que requieran condiciones muy específicas para su manejo y conservación.
6. Se recomienda la implementación de equipos automáticos de alarma que registren el escape del desinfectante.
7. Implementar un plan de emergencia que en caso de accidentes permita darles una solución rápida.
8. Las canalizaciones, ductos, conexiones, válvulas y accesorios complementarios que tengan contacto con los productos químicos, deben ser de material resistente a estos productos y no deben transmitir toxicidad al agua.
9. Los pisos deben ser lisos, impermeables, antideslizantes y con un desagüe con pendiente mínimo de 2.5%.
10. Debe proveerse almacenamiento adecuado para el equipo de desinfección y para el desinfectante en un área independiente o aislada del edificio, para reducir los peligros. El cuarto debe estar:
  - Provisto de una ventana de inspección con el panel acrílico y colocada en la pared interior.
  - Construido de tal forma que todas las aberturas o huecos entre el cuarto de desinfección y el resto de la planta estén sellados.
  - Provistos con puertas equipadas con herraje de emergencia que abran solamente hacia el exterior del edificio.
  - Ocupado por equipos y productos químicos relacionados solamente con el desinfectante.
11. El ozono que escapa de la cámara de contacto debe disponerse de manera segura.
12. En caso de emplear luz ultravioleta, el operador debe usar anteojos y ropa protectora para evitar la exposición a la radiación de alta energía.

#### **C.14.5.2 Zonas de laboratorios y depósito de reactivos**

Los aspectos de seguridad que deben seguirse en estas zonas son los siguientes:

1. Es necesario que el laboratorio esté debidamente iluminado y ventilado, para evitar accidentes a causa de los peligros que ofrecen los reactivos tóxicos. Debe proveerse de extractores que brinden seguridad en momentos críticos como fugas de reactivos químicos.
2. Los puntos de servicio de energía eléctrica, gas, agua deben estar definidos y situados en función de los equipos previstos, a la vez que las líneas de alimentación deben estar incrustadas en las paredes y pisos.
3. El laboratorio debe contar con los equipos de primeros auxilios para casos de emergencia.
4. Realizar un manejo adecuado de los equipos en laboratorio, ya que estos son muy sensibles y pueden dañarse fácilmente.
5. Debe contar con ducha de emergencia y lava ojos en caso de accidente.
6. Debe tenerse la ficha técnica de los productos químicos y reactivos empleados en el laboratorio.

#### **C.14.5.3 Sala de control**

Los requisitos de seguridad que se deben tener en cuenta en la sala de control son:

1. Prever daños en las conexiones eléctricas de los equipos que operan automáticamente en esta sección.
2. Solucionar rápidamente cualquier daño o avería que se presente en el panel de control o en los equipos computadores para la automatización.

3. Corregir los problemas que se observen en el proceso de tratamiento del agua.
4. Si es posible, adaptar una planta eléctrica para situaciones de emergencia en momentos que falte la energía eléctrica.

#### **C.14.5.4 Oficinas de administración**

Las oficinas de administración deben tener condiciones de seguridad extremas que permitan realizar en forma correcta las funciones de los diferentes departamentos o secciones que lo componen, las precauciones contra situaciones peligrosas que se puedan presentar son las siguientes:

1. Alarmas para situaciones de emergencia en todos los corredores y salas de conferencias.
2. Pisos que no ofrezcan situaciones peligrosas de deslizamiento.
3. Barandas en los corredores, pasillos y escaleras como medios de apoyo.
4. Espacios lo suficientemente amplios en lugares de bastante movilización de personal.
5. Condiciones higiénicas con alto grado de exigencia en todas las secciones.

#### **C.14.5.5 Servicios auxiliares**

Los aspectos de seguridad en estas zonas deben cumplir con determinados requisitos de acuerdo al servicio que prestan:

1. Espacio suficiente para el transporte en situaciones de emergencia.
2. Prever daños en conexiones de equipos eléctricos.
3. Corregir averías en uniones de tuberías y equipos mecánicos e hidráulicos.
4. Suplir rápidamente las necesidades en situaciones de emergencia.
5. Las zonas de equipos electromecánicos deben ser protegidas contra las inundaciones y la humedad, es necesario mantenerlas secas y bien ventiladas de tal forma que faciliten los trabajos de operación y mantenimiento.
6. Atender rápidamente las fallas que se presenten en estas secciones.

## CAPÍTULO C.15

### C.15. SISTEMAS DE INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL

---

#### C.15.1 ALCANCE

En este literal se establecen los requisitos mínimos que deben presentar las plantas de tratamiento para tener un sistema de instrumentación y control, que permita un adecuado y permanente control de la calidad del agua tratada y operación de la planta. Se establece la clasificación y descripción de los sistemas, estudios previos, junto con los parámetros y controles operacionales de los mismos.

Todas las normas son aplicables a los cuatro **niveles de complejidad** del sistema, a no ser que se especifique lo contrario.

Se realiza un análisis detallado de los equipos utilizados en la planta de tratamiento, lo cual no significa que todos estos equipos sean utilizados en la totalidad de la misma, sino que se registrará de acuerdo a las tablas C.15.3 a C.15.6 para cada **nivel de complejidad** del sistema.

#### C.15.2 GENERALIDADES

La planta de tratamiento debe ser analizada como un proceso total para el diseño del Sistema de Instrumentación y Control, el cual debe aplicar instrumentos para visualización, registro y control, que deben permitir lograr los siguientes objetivos:

1. Operación segura de la planta
  - Mantener las variables de proceso dentro de los límites seguros de operación.
  - Detección de situaciones peligrosas.
  - Prevención de procedimientos peligrosos de operación.
  - Anticiparse a condiciones particulares de operación por medio del conocimiento oportuno de parámetros que incidirán en la operación de la planta.
  - Producción de archivos históricos de datos de operación de la planta que permitan análisis o estudios posteriores tendientes a optimizar el proceso.
2. Tasa de producción

Mantener la disponibilidad y confiabilidad del servicio.
3. Calidad del producto

Mantener la composición del efluente de la planta dentro de los estándares de calidad especificados
4. Costos

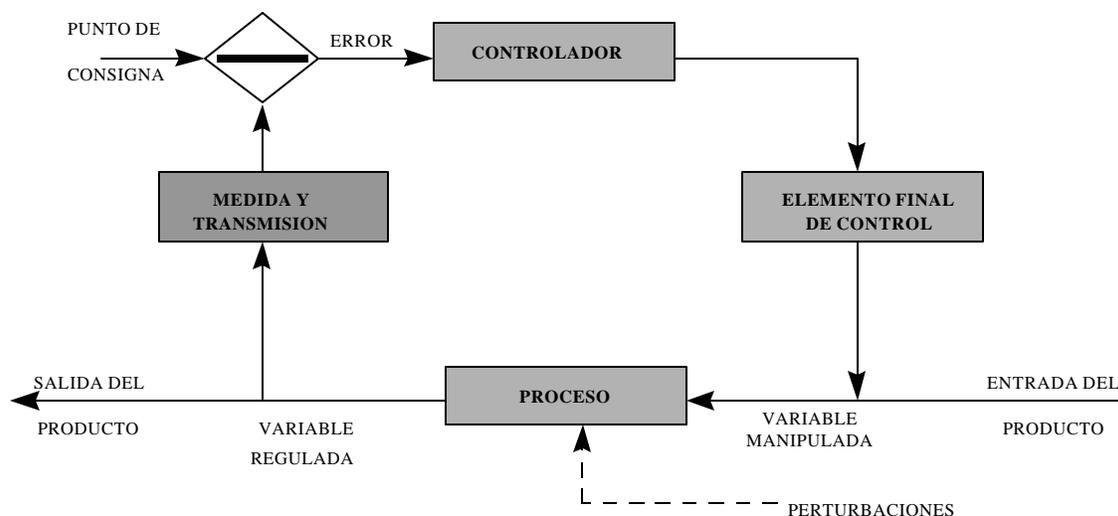
Operación de la planta al menor costo posible, respetando las normas de calidad.

##### C.15.2.1 Características generales

1. El sistema de supervisión y control típico de una variable está compuesto de un sensor o transductor (elemento primario), un transmisor de señal, un controlador, un sistema de visualización y/o registro y un actuador.

En la figura C.15.1 se presenta el esquema de un sistema de control típico.

FIGURA C.15.1  
Esquema de un sistema de control típico



Debe considerarse la distancia física entre el sensor primario, el transmisor y el elemento controlador, ya que a mayor distancia se crean problemas en la transmisión de señales entre los elementos del sistema.

En plantas con **niveles medio alto y alto de complejidad** debe hacerse uso de Sistemas de Control Supervisorio y Adquisición de Datos (SCADA) combinados con un sistema de control distribuido para monitorear y controlar los procesos (remitirse a las Normas Técnicas ASTM D 3864-79 y D 5851-95), el cual ofrece excelentes resultados, reduciendo de manera apreciable los costos.

### C.15.3 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS

Los **niveles bajo y medio de complejidad** deben tener un grado de instrumentación manual suficientemente adecuado para controlar los procesos. Las plantas de tratamiento que se encuentren dentro de estos niveles y que tengan la suficiente capacidad económica pueden implementar sistemas automáticos de instrumentación y control.

Los **niveles medio alto y alto de complejidad** deben tener un nivel de automatización tal que de soluciones rápidas a problemas y permita los ajustes requeridos a variables del proceso que se necesiten modificar.

Deben desarrollarse estrategias de control preparadas especialmente para controlar varias fases del proceso de la planta, tal como mantener flujos y niveles, operación de filtración y retrolavado, dosificación química, floculación, y disposición de lodos.

El sistema de automatización debe controlar acciones o eventos como arranque, parada, ajustes rápidos y secuenciales de bombas, sistemas transportadores y mezcladores y demás equipos determinantes en el funcionamiento del sistema, además de la operación de procesos continuos, tales como dosificación de sustancias químicas, filtración, sedimentación, desinfección y otros que existan en la planta de tratamiento.

Debe desarrollarse un programa que permita optimizar el balance energético de la planta de tratamiento.

En caso de emplear algún sistema distinto a los mencionados en este título, que sea susceptible a riesgo de la operación del sistema, el diseñador debe justificar a la Comisión Reguladora de Agua

Potable y Saneamiento Básico para su implementación, para lo cual debe comprobar la eficiencia de dicho sistema, ya sea por resultados obtenidos a nivel internacional o nacional, por investigaciones, trabajos a nivel de laboratorio y/o planta piloto donde se demuestre su efectividad.

### C.15.4 ESTUDIOS PREVIOS

Deben realizarse estudios de factibilidad para implantar los sistemas de instrumentación y control que deben llevarse a cabo en los diferentes **niveles de complejidad** del sistema, estos estudios deben basarse en los siguientes criterios:

- Tipos de procesos implementados.
- La calidad del agua.
- Los caudales a tratar.
- La disponibilidad económica de la entidad prestadora del servicio. Debe tenerse en cuenta que la inversión inicial en la instrumentación y control debe ser máximo del 10%.
- Capacidad operacional (personal disponible).

Debe tenerse en cuenta la disponibilidad de energía eléctrica, las facilidades de operación y mantenimiento y todos los demás factores que puedan influir directa o indirectamente en el diseño, construcción y operación de la planta.

La finalidad del sistema de instrumentación y control debe ser el de optimizar la operación de la planta.

Debe realizarse un estudio que justifique todos los sistemas de instrumentación y control que sean necesarios para el buen funcionamiento de la planta de tratamiento.

### C.15.5 DESCRIPCION DE LOS SISTEMAS Y EQUIPOS

#### C.15.5.1 Instrumentación primaria

##### C.15.5.1.1 Analizadores

###### 1. Cloro residual

Existen diferentes tipos de analizadores: el amperimétrico, el voltamétrico, el polarográfico, el potenciométrico y el colorimétrico, unos miden solo cloro total, otros cloro libre y/o combinado como el amperimétrico.

*El uso de los analizadores automáticos tiene dos ventajas principales:*

- *Permite mantener un registro permanente de la concentración de cloro residual del agua, lo que facilita la supervisión y control del proceso de desinfección.*
- *Hace posible la operación automática de los cloradores como se expuso anteriormente.*
- *Permite mantener un registro permanente de la concentración de cloro residual del agua*

###### 2. pH

El medidor de pH incluye un electrodo de proceso y un electrodo combinado para referencia.

Debe considerarse como el parámetro más importante para caracterizar y controlar los procesos de tratamiento, por lo cual debe disponerse de un sistema de medida del pH eficiente y que sea capaz de detectar pequeñas variaciones.

###### 3. Turbiedad

La medición continua de la turbiedad por la falta de transparencia del agua debido a la presencia de partículas extrañas debe realizarse por medio de analizadores de turbiedad como el equipo o Unidad Nefelométrica de Turbiedad (UNT); otros son los analizadores ópticos que deben usarse cuando se tienen concentraciones medias de sólidos. Debe tenerse en cuenta que la unidad de medición actual es el UNT. Cuando se trata de evaluar pequeños valores de turbiedad es preferible el uso de turbidímetros de diseminación.

#### 4. Aluminio residual

El aluminio residual es una variable importante que debe determinarse en las plantas de tratamiento por los presuntos efectos sobre la salud humana que produce el mantener altos contenidos de aluminio en la red sobre la salud pública y los problemas de corrosión de las tuberías.

#### 5. Monitor de corriente de reestabilización Streaming Current Monitors (SCM)

*Pueden utilizarse Streaming Current Monitors (SCM) los cuales son monitores de corriente de reestabilización de los coloides presentes en el agua para evaluar en continuo el resultado de la adición de un coagulante sobre partículas coloidales durante el proceso de coagulación. Este resultado se caracteriza por la medición de una corriente electrocinética generada entre dos electrodos en una muestra de agua cruda a la cual se le añadió un coagulante. Esta corriente es generada por el reacomodamiento de los iones que se han extraído de las partículas adsorbidas sobre las paredes de una celda de medición.*

##### C.15.5.1.2 Medidores de flujo

Para la medición del caudal debe hacerse uso de medidores según sea el tipo de caudal volumétrico o másico deseado.

Debe adquirirse el conocimiento básico de los tipos de fluxómetros volumétricos disponibles para realizar la mejor elección, entre los cuales se encuentran fluxómetros magnéticos, ultrasónicos, de turbina, medidores venturi y de flujo de tubo, canaleta Parshall y vertederos (ver literal C.16.5.3), los cuales determinan el caudal directamente (desplazamiento) o indirectamente por deducción (presión diferencial, área variable, velocidad, fuerza, tensión inducida, torbellino).

Las mediciones de caudal másico deben efectuarse a partir de una medida volumétrica compensándola para las variaciones de densidad del fluido o determinando directamente el caudal masa aprovechando características medibles de la masa del fluido.

##### C.15.5.1.3 Medidores de nivel

La medición del nivel debe ser muy cuidadosa para asegurar el funcionamiento correcto de cada proceso y obtener el balance adecuado de materias primas o del efluente de la planta.

Debe diferenciarse entre los medidores de nivel de líquidos y de sólidos de acuerdo al tipo de proceso, éstos últimos se utilizan principalmente en el manejo de lodos.

Debe tenerse el respectivo conocimiento de los tipos de medidores de nivel, entre los cuales deben encontrarse los que miden directamente la altura del líquido sobre una línea de referencia, medidores de presión hidrostática, dispositivos que miden el desplazamiento producido en un flotador por el propio líquido contenido en el tanque del proceso y los medidores que aprovechan las características eléctricas del líquido.

En los **niveles bajo y medio de complejidad** del sistema es conveniente utilizar medidores como la sonda, cinta y plomada, nivel de cristal e instrumentos de flotador.

En los **niveles medio alto y alto de complejidad** del sistema es conveniente utilizar medidores manométricos, de membrana, de presión diferencial de diafragma, de desplazamiento a barra de torsión, conductivos, capacitivos, ultrasónicos y de radiación.

#### C.15.5.1.4 Medidores de presión

Los instrumentos de presión deben estar sujetos a los siguientes grupos: mecánicos, neumáticos, electromecánicos y electrónicos. Es conveniente utilizar medidores manométricos, de presión diferencial de diafragma, capacitivos y ultrasónicos.

Deben aplicarse medidores de presión a líneas o procesos que se encuentren encerrados tales como sistemas de distribución de aire comprimido, líneas de descarga de bombas y tanques, para esta finalidad se encuentran los manómetros, tubos manométricos Bourdon, el elemento en espiral, el helicoidal, fuelles, medidores de presión diferencial de diafragma, medidores capacitivos y ultrasónicos.

#### C.15.5.2 Transmisores

El sistema de transmisión de señales debe sujetarse a las características propias de la planta, el nivel de complejidad del sistema y el tipo de señal a transmitir.

#### C.15.5.3 Controladores

Estos dispositivos deben comparar la variable controlada con el valor deseado y ejercer una acción correctiva de acuerdo con la desviación. La variable controlada la pueden recibir directamente, como controladores locales o bien indirectamente en forma de señal neumática o electrónica procedente de un transmisor.

#### C.15.5.4 Elementos de control final

Después de los instrumentos de sensibilidad son necesarios los sistemas de control final, los cuales deben permitir manipular y cambiar las condiciones del proceso para mantenerlas dentro del campo de medida deseado, estos elementos reciben la señal del controlador y modifica el caudal del fluido o agente de control.

##### C.15.5.4.1 Actuadores eléctricos

Deben usarse estos dispositivos para controlar la posición de válvulas y compuertas que ajusten el caudal dentro de un proceso de control continuo o discreto.

##### C.15.5.4.2 Actuadores hidráulicos y neumáticos

Los usos que deben darse a estos actuadores son similares a los actuadores eléctricos con la diferencia de que estos operan en una forma diferente, lo cual se ve reflejado en los costos de operación.

##### C.15.5.4.3 Motores de velocidad variable

El tipo de motor debe escogerse de acuerdo a las condiciones de trabajo a las cuales se va a someter, la disponibilidad de espacio y la disponibilidad económica de la planta. La velocidad debe adecuarse para las condiciones del proceso particular.

##### C.15.5.4.4 Válvulas de control

Deben tenerse válvulas como elementos de control final para regular o limitar la variable controlable.

Para la selección de la válvula deben analizarse las siguientes condiciones:

- El tipo de válvula debe ser compatible con el medio en el cual se va a utilizar.
- Debe acoplarse a las caídas de presión que se presentan en el sistema.
- La rapidez y facilidad para ser operada en momentos críticos.
- Los requerimientos de presión y temperatura en la válvula.
- Compatibilidad del cuerpo y material de la válvula con el fluido del proceso.
- Tipo de conexión realizada entre la válvula y la tubería del proceso.

Entre los diferentes tipos de válvulas deben acondicionarse principalmente las siguientes:

- Válvulas de globo.
- Válvulas de mariposa
- Válvulas de bola
- Válvulas de diafragma
- Válvulas tapón

#### **C.15.5.5 Sistemas de registro**

La información recogida por los instrumentos debe clasificarse dentro de una de las siguientes categorías:

1. Datos de proceso: Debe mantenerse la operación de la planta dentro de los límites aceptables y alertar al personal de la planta cuando estos parámetros se encuentran fuera de las condiciones límite.
2. Información técnica: Debe utilizarse para proveer mejoras, tratando de optimizar cada sistema de tratamiento para aumentar el nivel de eficiencia y disminuir costos.
3. Datos históricos: Deben determinar inclinaciones de términos a largo plazo con énfasis en la calidad tanto de la planta como del efluente y optimización de la planta, lo cual incide en planeaciones futuras.

### **C.15.6 PARÁMETROS Y CONTROLES OPERACIONALES DE LOS SISTEMAS**

El buen funcionamiento de todos los sistemas de instrumentación y control obedecen a una adecuada instalación de los mismos. La operación y el control que debe llevarse a cabo sobre cada uno de los sistemas deben ser muy cuidadosos debido a que estos elementos son muy sensibles a cambios bruscos que se puedan presentar.

Deben observarse los siguientes parámetros para lograr este objetivo:

1. Debe garantizarse que no se afecte la operación durante el mantenimiento de los equipos.
2. Deben localizarse medidores de flujo, nivel, presión y temperatura en puntos estratégicos para el control de los procesos.
3. Deben implantarse sistemas de drenaje para la limpieza de los equipos con sus correspondientes válvulas.

#### **C.15.6.1 Instrumentación primaria**

Debe verificarse el correcto funcionamiento del sensor primario conectado en línea, tal como detectar cambios mecánicos, químicos o eléctricos, el cual es ayudado por sensores que están fuera de línea, instalados en el laboratorio, que ofrecen una señal cuando están en contacto con la muestra determinada y permiten calibrar los sensores en línea.

##### **C.15.6.1.1 Analizadores en continuo**

Debe prestarse gran atención a este tipo de instrumentos, debido a que requieren mayores cuidados de mantenimiento y a la vez son más difíciles de calibrar que otros tipos de instrumentos, por lo cual su uso es limitado a medición de procesos críticos. Debe suministrarse la protección necesaria a estos equipos con respecto a sobretensiones eléctricas.

##### **1. Cloro residual**

Este tipo de equipos debe calibrarse y someterse a un mantenimiento riguroso continuamente, solo deben instalarse donde puedan realizarse estas labores fácilmente. Para el **nivel alto de complejidad** se recomienda doblar este tipo de analizador si es utilizado en sistema de control en lazo cerrado.

En la tabla C.15.1 se observan los sistemas de control de cloradores.

TABLA C.15.1.  
**Sistema de control de los cloradores**

Método	Sistemas de control
Manual	I. Operación simple con determinación ocasional de cloro residual. II. Operación con analizador permanente y alarmas.
Automático	III. Ajuste de dosis proporcional a la medición de flujo tratado (lazo abierto). IV. Ajuste de dosis proporcional a la demanda como flujo tratado (lazo cerrado).

La operación con ajuste automático proporcional tanto al caudal tratado como a la determinación de cloro residual es un sistema compuesto de control que combina los tipos III y IV (anticipación - realimentación). El orificio de regulación del clorador es operado tanto por los diferenciales de presión del sistema de aforo, como por el analizador de cloro de acuerdo con la demanda. Su uso se recomienda en plantas de tratamiento con **niveles de medio alto y alto de complejidad** en donde existen frecuentes fluctuaciones tanto en el caudal tratado como en el contenido de amoníaco y materia orgánica del agua. El funcionamiento del equipo es totalmente automático y la intervención del operador se limita a la vigilancia general del sistema.

Estos métodos de operación tienen diferentes grados de mecanización. Para decidir cuál alternativa conviene más debe hacerse un análisis detallado de:

- Las condiciones en que van a quedar instalados los cloradores.
- El personal que los va a manejar.
- La calidad del agua por tratar.

Dada la importancia de mantener un adecuado residual de cloro en el agua, puede ser conveniente el uso de analizadores neumáticos de cloro residual en los siguientes casos:

- Cuando el agua tratada es variable de hora en hora.
- Cuando la demanda de cloro cambia frecuentemente durante el día.
- Cuando la contaminación microbiológica de la fuente de agua es muy alta.
- Cuando se quiere mantener registros permanentes del cloro residual del agua.
- Cuando se desea obtener residuales de cloro libre (cloración al punto de quiebre).
- Cuando existe una combinación de los factores anteriores.

Estos analizadores automáticos deben tener un campo de medida (rango) que varíe de 0 a 5 mg/L con una precisión que fluctúe entre 0.02 y 0.4 mg/L dependiendo del rango de operación seleccionado.

## 2. pH

El medidor de pH es uno de los elementos más sensibles, por tal motivo debe someterse a una revisión continua para que ofrezca los datos precisos.

Debe realizarse un mantenimiento semanal a estos dispositivos para que logren su efectividad.

Es conveniente realizar la medición de pH tanto en los afluentes como en los efluentes de los procesos de coagulación, desinfección y estabilización-ablandamiento del agua.

Para obtener una eficiente aplicación en este sistema debe hacerse uso de equipos especialmente diseñados para trabajar en línea y adecuados a la calidad del agua (remitirse a la Norma Técnica ASTM D 5128-90).

La variación en la exactitud de estos aparatos es aceptable desde 0.02 a 0.04 unidades de pH, son muy sensibles y necesitan cuidados continuos.

## 3. Turbiedad

Se permite que las mediciones realizadas con estos dispositivos tengan un margen de error de 2% máximo. Dentro de las consideraciones generales para la instalación de los analizadores de turbiedad deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- Los analizadores de turbiedad requieren atención frecuente y una calibración precisa.
- Es conveniente pasar agua limpia por el instrumento.

Es aconsejable la toma de muestras cerca al sensor para llevarlas a ser evaluadas y así poder calibrar los analizadores.

#### 4. Aluminio residual

Los perjuicios que deben controlarse son dos: postprecipitación de partículas en el sistema de distribución con el consiguiente mal aspecto del agua en los recipientes en donde ha estado depositada por algún tiempo e intoxicación de los pacientes de diálisis que no pueden utilizar agua con alto contenido de aluminio. El aluminio en altas concentraciones trae como consecuencia la enfermedad de Alzheimer.

Con este equipo debe monitorearse el efluente de la planta con el fin de lograr mediciones objetivas que permitan un control adecuado del proceso de coagulación y filtración. Se permite que las mediciones realizadas con estos dispositivos tengan un margen de error 0.5% a 1%.

#### 5. Monitor de corriente de reestabilización (SCM)

La utilización de un monitor de corriente de reestabilización o Streaming Current Monitor (SCM) necesita la realización de una evaluación previa de su comportamiento con las aguas estudiadas.

El SCM debe permitir evaluar qué tan lejos está el estado de carga del óptimo que se ha establecido para esa agua y el cual ajuste automáticamente la dosis de coagulante en la planta.

Los límites de su utilización o precauciones que deben tomarse son:

- Las aguas poco mineralizadas y cuya calidad puede variar de manera brusca en el tiempo, no son muy apropiadas para este tipo de regulación.
- Si se utiliza un polímero orgánico como ayudante de floculación, el punto de muestreo del SCM debe situarse antes de la inyección de este polímero.
- Si el pH de coagulación es controlado, es preferible hacer el muestreo para el SCM después de esta modificación.

El SCM debe suministrar una señal proporcional al estado de carga, lo cual debe permitir controlar la dosis en coagulante necesaria. Este control puede realizarse manteniendo constante la señal de salida del SCM.

En la tabla C.15.2 se observan los sistemas de control de dosificadores de coagulación.

TABLA C.15.2.  
**Sistema de control de dosificadores de coagulación**

Método	Sistemas de control
Manual	I. Operación simple con determinación ocasional de aluminio residual. II. Operación con analizador permanente y alarmas.
Automático	III. Ajuste de dosis proporcional a la medición de flujo tratado (lazo abierto). IV. Ajuste de dosis proporcional a la demanda como flujo tratado (lazo cerrado).

La operación con ajuste automático proporcional tanto al caudal tratado como a la determinación de aluminio residual es un sistema compuesto de control que combina los tipos III y IV (anticipación - realimentación). Su uso se recomienda en plantas de tratamiento con **niveles de medio alto y alto de complejidad** en donde existen frecuentes fluctuaciones tanto en el caudal tratado como en el pH

del agua. El funcionamiento del equipo es totalmente automático y la intervención del operador se limita a la vigilancia general del sistema.

Estos métodos de operación tienen diferentes grados de mecanización. Para decidir cuál alternativa conviene más debe hacerse un análisis detallado de:

- Las condiciones en que van a quedar instalados los dosificadores.
- El personal que los va a manejar.
- La calidad del agua por tratar.

Debido a la importancia de mantener un adecuado residual de aluminio en el agua, puede ser conveniente el uso de analizadores neumáticos de aluminio residual en los siguientes casos:

- Cuando el agua tratada es variable de hora en hora.
- Cuando se quiere mantener registros permanentes del aluminio residual del agua.
- Cuando existe una combinación de los factores anteriores.

#### C.15.6.1.2 Medidores de flujo

Debe suministrarse suficiente espacio para facilitar una salida de servicio del medidor y poder ser llevado a calibración o mantenimiento.

Los medidores deben estar localizados en medio de un juego de válvulas con una distancia mínima establecida en el manual del fabricante, a la vez que debe usar un sistema de conexión de by-pass para sacarlo de servicio sin afectar la continuidad del proceso.

Se permite que las mediciones realizadas con estos dispositivos tengan un margen de error de 2% máximo.

El control del flujo debe realizarse continuamente tanto en el afluente como en el efluente, lo cual puede variar de acuerdo a la demanda (referirse a la Norma Técnica ASTM D 5540-94a). Deben someterse mínimo a una calibración mensual para que los datos sean confiables.

#### C.15.6.1.3 Medidores de nivel

Deben ubicarse en todos los tanques que se encuentren en la planta de tratamiento (referirse a la Norma Técnica ASTM D 5413-93). Se aceptan mediciones realizadas con estos aparatos que tengan porcentajes de error de  $\pm 0.5\%$  a 1%.

Deben someterse a un control riguroso de operación y mantenimiento diario, ya que su información es indispensable para el correcto funcionamiento de la planta de tratamiento. Sus escalas deben limpiarse continuamente.

#### C.15.6.1.4 Medidores de presión

Deben drenarse continuamente para que los datos sean reales y no se altere en el momento de una sobrepresión, lo cual puede afectar la vida útil de estos dispositivos.

Se aceptan errores máximos en la medición de  $\pm 1\%$ .

Se deben localizar donde las condiciones de temperatura y humedad relativa sean las más convenientes, los rangos típicos son  $-20$  a  $65^{\circ}\text{C}$  y 0 a 95% de humedad relativa.

### C.15.6.2 Transmisores

Estos dispositivos deben captar la variable de proceso a través del elemento primario y transmitirla a distancia a un instrumento receptor indicador, registrador, controlador o una combinación de estos, en forma de señal neumática de margen de 0.21 a  $1.053 \text{ kg/cm}^2$  (3 a 15 psi) o electrónica de 4 a 20 mA de corriente continua. El elemento primario puede formar o no parte integral del transmisor.

### **C.15.6.3 Controladores**

La calibración del controlador al valor deseado debe verificarse continuamente para que se efectúe la acción correctiva precisa y se optimice el proceso de tratamiento.

### **C.15.6.4 Elementos de control final**

#### **C.15.6.4.1 Actuadores eléctricos**

Debe tenerse continuamente disponibilidad de energía para que estos dispositivos funcionen. En caso de cortos energéticos debe disponerse de una planta eléctrica que tenga la capacidad suficiente para suplir el problema.

Deben controlarse los problemas de sobrecalentamiento y las posibles salidas de servicio en el momento que falte energía eléctrica.

#### **C.15.6.4.2 Actuadores hidráulicos y neumáticos**

Deben utilizarse donde ofrezcan mayores beneficios que los actuadores eléctricos, como en sitios donde se necesite mayor resistencia por parte de los elementos de control final y donde el mantenimiento no se pueda hacer continuamente.

Debe verificarse continuamente sus condiciones de trabajo, en especial las fuentes como el aire para los actuadores neumáticos o algún líquido especial para los actuadores hidráulicos.

Debe llevarse un control sobre los equipos auxiliares como compresores de aire, secadores de aire y reguladores de presión.

#### **C.15.6.4.3 Motores de velocidad variable**

Debe verificarse que la velocidad del motor se encuentre bien acondicionada a las características del fluido para evitar posibles averías en los mismos y fallas en las condiciones de operación.

La temperatura del motor es un parámetro importante que debe ser tenido en cuenta para establecer el buen funcionamiento del equipo.

#### **C.15.6.4.4 Válvulas de control**

Las válvulas de globo deben acondicionarse en sistemas de control automático que es donde ofrecen mayores ventajas como sellos herméticos. Una ventaja de estas válvulas es su fácil manejo para sacarlas de operación cuando se presenten necesidades de mantenimiento. Deben emplearse cuando la presión del fluido es baja y se precisa que las fugas en posición de cierre sean mínimas.

Las válvulas de mariposa deben colocarse en lugares donde no se disponga con el espacio suficiente para otros tipos de válvulas, a la vez que se emplean para el control de grandes caudales de fluidos a baja presión. En la selección de la válvula deben considerarse las presiones diferenciales correspondientes a las posiciones de completa apertura y de cierre, ya que se necesita una fuerza grande del actuador para accionar la válvula en caso de una caída de presión elevada.

Se recomienda usar las válvulas de bola para controlar el flujo de lodos y fluidos con gran porcentaje de sólidos en suspensión ya que en posición de apertura total, la válvula equivale aproximadamente en tamaño al 75% del tamaño de la tubería no, de manera que no permite que se obstruya el flujo transversal.

Es favorable utilizar válvulas de diafragma en la dosificación del coagulante, desinfectante y adición de cal para corrección de pH ya que presentan una alta resistencia a la acción de soluciones químicas y a los sólidos suspendidos, a la vez que se pueden colocar en cualquier posición y en lugares donde se presenten altas vibraciones.

Las válvulas tapón deben colocarse para manipular lechadas espesas y lodos, ya que se caracterizan por no taponarse fácilmente, ofrecen buenas características de fluidez y excelentes cierres, además que son de bajo costo.

Los siguientes aspectos deben controlarse para favorecer las condiciones de trabajo de las válvulas y aumentar la vida útil de las mismas:

- Las válvulas de globo pueden resistir altas presiones diferenciales aunque estas presiones deben ser moderadas y con fluctuaciones muy bajas.
- Debe llevarse un control sobre el contenido de sólidos suspendidos o lodos que puedan haber en los lugares donde sean instaladas las válvulas de mariposa debido a que un alto contenido de éstos puede depositarse en el cuerpo de la válvula limitando así su función.
- Debe llevarse un control de la presión y la temperatura de los sitios donde se instalen válvulas de diafragma, ya que estas válvulas no ofrecen las mejores condiciones donde estos parámetros son elevados.
- El paso de los lodos por las válvulas de bola y/o tapón debe ser moderado para evitar que queden atrapados en el cuerpo de la válvula.

### **C.15.7 APLICACIÓN EN LOS NIVELES DE COMPLEJIDAD DEL SISTEMA**

En la tabla C.15.3, C.15.4, C.15.5, C.15.6 se observan las especificaciones de aplicación de la instrumentación para regulación y automatización en los niveles de complejidad del sistema.

En la columna de medición, la palabra manual significa que la medición se hace en laboratorio a no ser que se especifique lo contrario; en la columna de control, la palabra manual significa que el control se hace en línea. La palabra automático significa que la medición y/o control se hace en línea.

### **C.15.8 DIAGRAMA DE PROCESO E INSTRUMENTACIÓN (P & ID)**

Debe diseñarse el diagrama detallado de proceso e instrumentación (P & ID), el cual sirve como punto de arranque para el sistema de instrumentación y control. Se deben indicar en éste, funciones de proceso, monitoreo, control, registradores y cambios externos con computadoras, es necesario explicar el significado de cada uno de los símbolos utilizados para el diseño de éste. En la figura C.15.2 se encuentra un esquema general de un P&ID para una planta de tratamiento convencional.

El ingeniero de proceso debe conocer suficientemente bien el diagrama y así comprender de una manera más eficiente cada proceso de la planta de tratamiento.

DIAGRAMA C.15.2

Ejemplo de diagrama de proceso e instrumentación para el tratamiento convencional

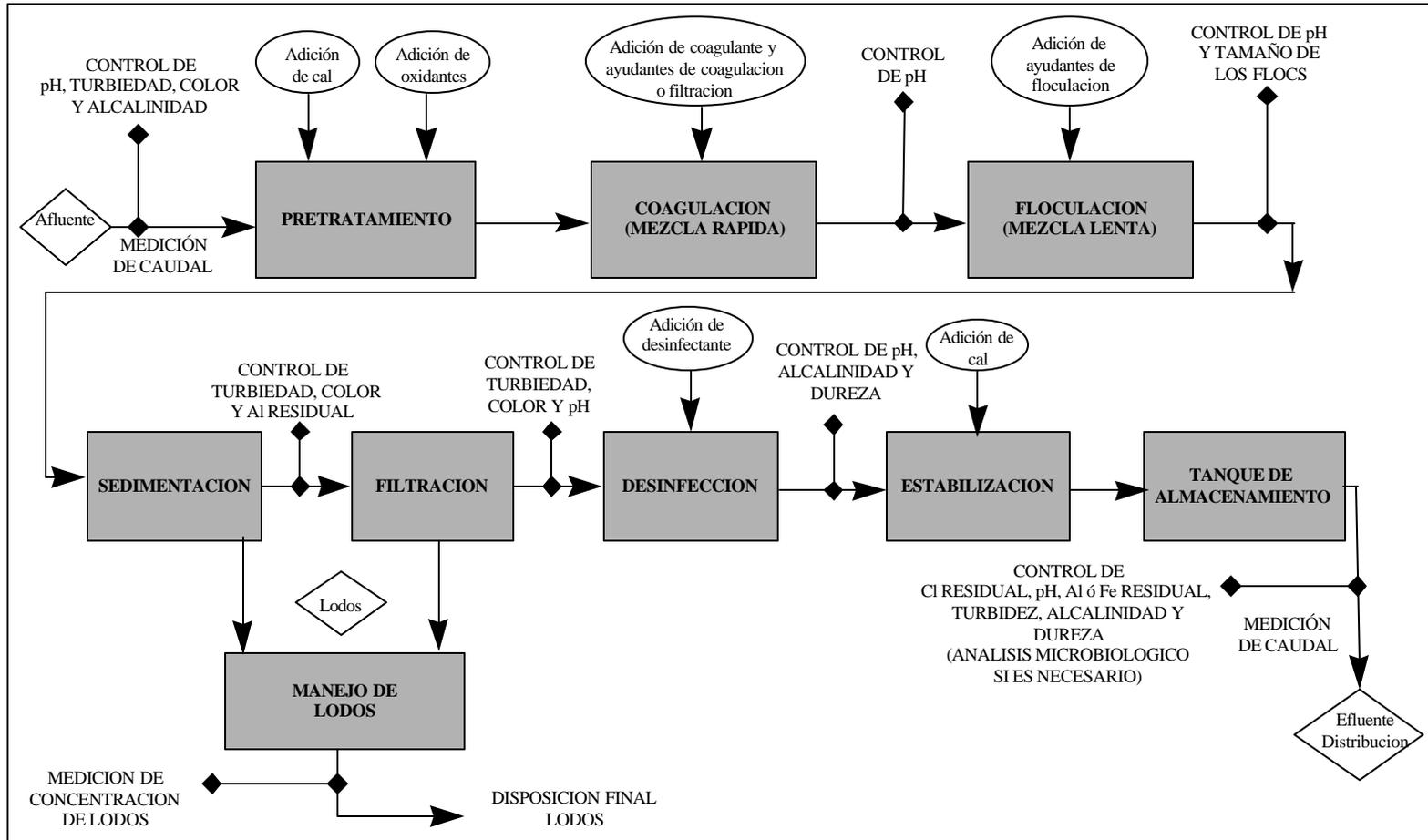


TABLA C.15.3

## Aplicación de la instrumentación para regulación y automatización en el nivel bajo de complejidad del sistema

NORMA PROCESO	OBLIGATORIO				OPCIONAL			
	INSTRUMENTACIÓN	MEDICIÓN	CONTROL	REGISTRO	INSTRUMENTACIÓN	MEDICIÓN	CONTROL	REGISTRO
<b>PRETRATAMIENTO</b>								
General	Caudal afluente	Manual en línea		Planilla de datos				
	pH agua cruda	Manual		Planilla de datos				
	Turbiedad agua cruda	Manual		Planilla de datos				
<b>COAGULACIÓN</b>								
General	pH agua coagulada	Manual		Planilla de datos				
	Aluminio residual (en efluente de la planta)	Manual		Planilla de datos				
Dosificación de coagulantes					Según estrategia de control (Control de caudal o control de pH de coagulación. Ver tabla C.15.2)		Manual	Planilla de datos
<b>FLOCULACIÓN</b>								
General	Nivel del agua	Manual	Manual	Planilla de datos				
<b>SEDIMENTACIÓN</b>								
General	Turbiedad del efluente	Manual		Planilla de datos				
	Color verdadero	Manual		Planilla de datos				
Sistema de extracción de lodos	Nivel de los lodos		Manual	Planilla de datos				
<b>FILTRACIÓN</b>								
General	Turbiedad del efluente por filtro	Manual		Planilla de datos				
	Color verdadero	Manual		Planilla de datos				
Sistema de lavado	Según diseño		Manual	Planilla de datos				
<b>DESINFECCIÓN</b>								
General	pH	Manual		Planilla de datos				
	Desinfectante residual en efluente	Manual		Planilla de datos				
Dosificación del desinfectante	Según estrategia de control (Control de caudal o control del desinfectante residual. Ver tabla C.15.1)		Manual	Planilla de datos				
<b>OTROS PROCESO</b>								
Tanques	Caudal efluente (tanque de almacenamiento)	Manual en línea		Planilla de datos				
	Nivel del agua	Manual	Manual	Planilla de datos				
Bombeos	Velocidad del motor	Manual	Manual	Planilla de datos				
	Temperatura del motor	Manual	Manual	Planilla de datos				
Manejo de lodos	Nivel de los lodos	Manual	Manual	Planilla de datos				

TABLA C.15.4

Aplicación de la instrumentación para regulación y automatización en el nivel medio de complejidad del sistema

NORMA PROCESO	OBLIGATORIO				OPCIONAL			
	INSTRUMENTACIÓN	MEDICIÓN	CONTROL	REGISTRO	INSTRUMENTACIÓN	MEDICIÓN	CONTROL	REGISTRO
<b>PRETRATAMIENTO</b>								
<b>General</b>	Caudal afluente	Manual en línea		Planilla de datos				
	pH agua cruda	Manual		Planilla de datos				
	Turbiedad	Manual		Planilla de datos				
Dosificación de alcalinizante					pH ajustado (después de la alcalinización)	Manual	Manual	Planilla de datos
<b>COAGULACIÓN</b>								
<b>General</b>	pH agua coagulada	Manual		Planilla de datos				
	Temperatura	Manual		Planilla de datos				
	Aluminio residual (en efluente de la planta)	Manual		Planilla de datos				
<b>Control del nivel del agua</b>	Nivel del agua	Manual	Manual	Planilla de datos				
<b>Dosificación de coagulantes</b>	Según estrategia de control (Control de caudal o control de pH de coagulación. Ver tabla C.15.2)		Manual	Planilla de datos	Según estrategia de control (Control de caudal o control de pH de coagulación. Ver tabla C.15.2)		Automático	Continuo
<b>Control de Mezcladores Mecánicos</b>					Según diseño		Automático	Continuo
<b>FLOCULACIÓN</b>								
<b>General</b>	Nivel del agua	Manual	Manual	Planilla de datos				
<b>SEDIMENTACION</b>								
<b>General</b>	Turbiedad del efluente	Manual		Planilla de datos				
	Color verdadero	Manual		Planilla de datos				
	Nivel del agua	Manual	Manual	Planilla de datos				
<b>Sistema de extracción de lodos</b>	Nivel de los lodos		Manual	Planilla de datos				
<b>FILTRACIÓN</b>								
<b>General</b>	Caudal por filtro	Manual en línea		Planilla de datos				
	Presión (Pérdida de carga)	Manual		Planilla de datos				
	Turbiedad del efluente por filtro	Manual		Planilla de datos				
	Color verdadero	Manual		Planilla de datos				
	Nivel del agua	Manual	Manual	Planilla de datos				
Sistema de lavado	Según diseño		Manual	Planilla de datos	Según diseño		Automático	Continuo
<b>DESINFECCIÓN</b>								
<b>General</b>	pH	Manual		Planilla de datos				
	Residual del desinfectante	Manual		Planilla de datos				
Dosificación del desinfectante	Según estrategia de control (Control de caudal o control del residual del desinfectante. Ver tabla C.15.1)		Manual	Planilla de datos	Según estrategia de control (Control de caudal o control del residual del desinfectante. Ver tabla C.15.1)		Automático	Continuo
<b>OTROS</b>								
<b>Tanques</b>	Caudal efluente (tanque de almacenamiento)	Manual en línea		Planilla de datos				
	Nivel del agua	Manual	Manual	Planilla de datos				
<b>Bombeos de agua</b>	Velocidad del motor	Manual	Manual	Planilla de datos				
	Temperatura del motor	Manual	Manual	Planilla de datos				
<b>Manejo de lodos</b>	Nivel de los lodos	Manual	Manual	Planilla de datos				
	Concentración de lodos	Manual	Manual	Planilla de datos				

TABLA C.15.5  
**Aplicación de la instrumentación para regulación y automatización en el nivel medio alto de complejidad del sistema**

NORMAS	OBLIGATORIO				OPCIONAL			
	INSTRUMENTACIÓN	MEDICIÓN	CONTROL	REGISTRO	INSTRUMENTACIÓN	MEDICIÓN	CONTROL	REGISTRO
PROCESO								
PRETRATAMIENTO								
<b>General</b>	Caudal afluente	Automático		Continuo				
					pH agua cruda	Automático		Continuo
					Turbiedad	Automático		Continuo
Dosificación de alcalinizante					pH ajustado (después de alcalinización)	Automático	Automático	Continuo
<b>Aeración</b>	Oxígeno disuelto agua cruda	Manual	Manual	Planilla de datos	Oxígeno disuelto agua cruda	Automático	Automático	Continuo
	Oxígeno disuelto agua aireada	Manual	Manual	Planilla de datos	Oxígeno disuelto agua aireada	Automático	Automático	Continuo
COAGULACIÓN								
<b>General</b>	pH agua coagulada	Manual		Planilla de datos	pH agua coagulada	Automático		Continuo
					Monitor de SCM	Automático		Continuo
	Temperatura	Manual		Planilla de datos	Contador de partículas	Automático	Automático	Continuo
	Aluminio residual (en efluente de la planta)	Manual		Planilla de datos	Aluminio residual (en efluente de la planta)	Automático		Continuo
<b>Control del nivel del agua</b>	Nivel del agua	Manual	Manual	Planilla de datos	Nivel del agua	Automático	Automático	Continuo
					Control de dosificación por regulación del SCM u otro desarrollo tecnológico.		Automático	Continuo
<b>Dosificación de coagulantes</b>	Según estrategia de control (Control de caudal o control de pH de coagulación. Ver tabla C.15.2)		Automático	Continuo				
FLOCULACIÓN								
<b>General</b>	Nivel del agua	Manual	Manual	Planilla de datos	Nivel del agua	Automático	Automático	Continuo
					Contador de partículas	Automático	Automático	Continuo
Control de dosificación de otros productos (si los hay)	Según diseño	Manual	Manual	Planilla de datos	Según diseño		Automático	Continuo
Control de Floculadores Mecánicos					Según diseño		Automático	Continuo
SEDIMENTACIÓN								
<b>General</b>	Turbiedad del efluente	Manual	Manual	Planilla de datos	Turbiedad del efluente	Automático	Automático	Continuo
	Color verdadero	Manual						
	Nivel del agua	Manual	Manual	Planilla de datos	Nivel del agua	Automático	Automático	Continuo
<b>Sistema de extracción de lodos</b>	Nivel de los lodos	Manual	Manual	Planilla de datos	Nivel de los lodos	Automático	Automático	Continuo
FILTRACIÓN								
<b>General</b>	Caudal por filtro	Automático		Continuo				
	Presión (Pérdida de carga)	Automático		Continuo				
	Turbiedad del efluente por filtro	Manual		Planilla de datos	Turbiedad del efluente por filtro	Automático		Continuo
	Color	Manual		Planilla de datos				
	Nivel del agua	Manual	Manual	Planilla de datos	Nivel del agua	Automático	Automático	Continuo
Sistema de lavado	Según diseño		Automático	Continuo				
DESINFECCIÓN								
<b>General</b>	pH	Manual		Planilla de datos	pH	Automático		Continuo
	Residual del desinfectante	Automático		Continuo				
<b>Dosificación del desinfectante</b>	Según estrategia de control (Control de dosis constante o control del residual del desinfectante. Ver tabla C.15.1)		Automático	Continuo				
ESTABILIZACIÓN								
<b>General</b>	pH	Manual		Manual	pH	Automático		Continuo
<b>Dosificación</b>	Según estrategia de control (Control de dosis constante o control de pH para estabilización)		Manual	Planilla de datos	Según estrategia de control (Control de dosis constante o control de pH para estabilización)		Automático	Continuo
OTROS								
<b>Tanques</b>	Caudal efluente (tanque de almacenamiento)	Automático		Continuo				
	Nivel del agua	Manual	Manual	Planilla de datos	Nivel del agua	Automático	Automático	Continuo
<b>Bombos</b>	Velocidad del motor	Automático	Automático	Continuo				
	Temperatura del motor	Manual	Manual	Planilla de datos				
<b>Manejo de lodos</b>	Nivel de los lodos	Manual	Manual	Planilla de datos	Nivel de los lodos	Automático	Automático	Continuo
	Concentración de lodos	Manual	Manual	Planilla de datos				

TABLA C.15.6

## Aplicación de la instrumentación para regulación y automatización en el nivel alto de complejidad del sistema

NORMA PROCESO	OBLIGATORIO				OPCIONAL			
	INSTRUMENTACION	MEDICION	CONTROL	REGISTRO	INSTRUMENTACION	MEDICION	CONTROL	REGISTRO
<b>PRETRATAMIENTO</b>								
General	Caudal afluente	Automático		Continuo				
	pH agua cruda	Automático		Continuo				
	Turbiedad	Automático		Continuo				
Dosificación de alcalinizante					pH ajustado (después de la alcalinización)	Automático	Automático	Continuo
Preoxidación química	Oxígeno disuelto agua cruda	Automático	Automático	Continuo				
C.15.9	Oxígeno disuelto agua aireada	Automático	Automático	Continuo				
<b>COAGULACION</b>								
General	pH agua coagulada	Automático		Continuo	Monitor de SCM	Automático		Continuo
	Temperatura	Manual		Planilla de datos	Contador de partículas	Automático	Automático	Continuo
	Aluminio residual (en efluente de planta)	Automático		Continuo				
Control del nivel del agua	Nivel del agua	Automático	Automático	Continuo				
Dosificación de coagulantes	Según estrategia de control (Control de caudal o del pH de coagulación constante. Ver tabla C.15.2)		Automático	Continuo	Control de dosificación por regulación del SCM u otro desarrollo tecnológico.		Automático	Continuo
Control de Mezcladores Mecánicos					Según diseño		Automático	Continuo
<b>FLOCULACION</b>								
General	Nivel del agua	Automático	Automático	Continuo	Contador de partículas	Automático	Automático	Continuo
	Tamaño de flocs	Manual		Planilla de datos				
Control de dosificación de otros productos (si los hay)	Según diseño		Automático	Continuo				
Control de Floculadores Mecánicos					Según diseño		Automático	Continuo
<b>SEDIMENTACION</b>								
General	Turbiedad del efluente	Automático	Automático	Continuo				
	Color verdadero	Manual		Planilla de datos				
	Nivel del agua	Automático	Automático	Continuo				
Sistema de extracción de lodos	Nivel de los lodos	Automático	Automático	Continuo				
<b>FILTRACION</b>								
General	Caudal por filtro	Automático		Continuo				
	Presión (Pérdida de carga)	Automático		Continuo				
	Turbiedad del efluente por filtro	Automático		Continuo				
	Color verdadero	Manual		Planilla de datos				
	Al residual	Manual		Planilla de datos				
	Nivel del agua	Automático	Automático	Continuo				
Sistema de lavado	Según diseño		Automático	Continuo				
<b>DESINFECCION</b>								
General	pH	Automático		Continuo				
	Residual del desinfectante	Automático		Continuo				
	Control microbiológico (efluente de planta)	Manual		Planilla de datos				
Dosificación del desinfectante	Según estrategia de control (Control de caudal o el residual del desinfectante. Ver tabla C.15.1)		Automático	Continuo				
<b>ESTABILIZACION</b>								
General	pH	Automático		Continuo				
	Turbiedad (en efluente de planta)	Automático		Continuo				
	Alcalinidad y dureza	Manual		Planilla de datos	Alcalinidad y dureza	Automático		Continuo
Dosificación	Según estrategia de control (Control de caudal o control de pH para estabilización)		Automático	Continuo				
<b>OTROS</b>								
Tanques	Caudal efluente (tanque de almacenamiento)	Automático		Continuo				
	Nivel del agua	Automático	Automático	Continuo				
Bombes	Velocidad del motor	Automático	Automático	Continuo				
	Temperatura del motor	Manual	Manual	Continuo				
Manejo de lodos	Nivel de los lodos	Automático	Automático	Continuo				
	Concentración de lodos	Manual	Manual	Planilla de datos				

## CAPÍTULO C.16

### C.16. ACTIVIDADES DE PUESTA EN MARCHA Y OPERACIÓN

---

#### C.16.1 ALCANCE

En este literal se establecen las actividades y procedimientos mínimos que deben llevarse a cabo durante la puesta en marcha y la operación. Se establecen los requisitos mínimos que debe cumplir la planta de potabilización total, o parcialmente si se trata de uno de sus componentes, una ampliación paralela u obras de optimización para iniciar actividades como son: recepción, instalación de equipos, inspección preliminar, personal requerido y actividades de puesta en marcha; además se establecen las responsabilidades que tiene el diseñador. Con respecto a la operación se establecen los ensayos mínimos que deben realizarse durante la operación, los registros que deben llevarse y las funciones que tiene a su cargo el área de administración.

Todas las normas son aplicables a los cuatro **niveles de complejidad** del sistema, a no ser que se especifique lo contrario.

#### C.16.2 GENERALIDADES

Durante las actividades de la puesta en marcha, el diseñador está en la obligación de reparar cada una de las fallas que se detecten durante toda la inspección y desarrollo del proceso, antes de entregarla formalmente.

En la operación, el personal de planta debe vigilar por el correcto funcionamiento de todas las unidades de tratamiento y controlar la calidad de agua que está suministrando a la comunidad. En caso de cualquier alteración en la calidad de agua debe tomar todas las medidas correctivas y emergencia para velar por el bienestar de los usuarios y reportar dicha anomalía a la entidad competente.

#### C.16.3 PERSONAL REQUERIDO

El Ministerio de Desarrollo Económico adelanta a la fecha (mayo/98), con el Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, un estudio basado en competencias laborales con el fin de iniciar en 1999, un proceso permanente de capacitación, actualización y certificación de las personas que se desempeñan en los diferentes oficios de Agua Potable y Saneamiento Básico.

Mientras se expide la reglamentación para definir el personal certificado que como mínimo debe desempeñarse en los sistemas de potabilización según su tamaño y el nivel de complejidad, los requisitos mínimos para el personal calificado serán los que se establecen a continuación en este reglamento y las funciones serán las que se describen para cada oficio en la Clasificación Nacional de Ocupaciones, CNO, cuyo código numérico particular o el de los relacionados se anotan debajo.

El equipo humano encargado de la operación de la planta debe estar conformado por personas responsables, que hayan realizado cursos para desempeñar su función o acrediten amplia experiencia en su oficio, certificados por el Ministerio de Desarrollo Económico, el Servicio Nacional de Aprendizaje, SENA, o una institución capacitadora acreditada por esta última.

Deben estar entrenados para atender situaciones de emergencia y deben asistir a cursos de capacitación actualización de adelantos tecnológicos con respecto a plantas de tratamiento.

Solo debe emplearse personal cuyo estado de salud previo al establecimiento de la relación laboral haya sido dictaminado por un médico debidamente autorizado. En caso necesario, deben prescribísele exámenes preventivos periódicos.

El operador responsable de la planta de tratamiento debe ejecutar sus tareas según las instrucciones de una jefatura de mayor jerarquía en la planta y debe tener a su cargo la distribución de labores en la planta. En la tabla C.16.1 se especifica la capacidad mínima que debe tener el empleado operativo responsable directo de la planta en cada turno de trabajo.

TABLA C.16.1

**Capacitación mínima del empleado responsable según el nivel de complejidad del sistema**

Nivel de complejidad del sistema	Denominación oficina / OCN			
	Ingeniero o químico 21311, 2112, 2134	Tecnólogo en química o Laboratorista 2211	Técnico profesional en tratamiento 9234	Fontanero municipal 9212, 8482
Bajo			Opcional	Obligatorio
Medio		Opcional	Obligatorio	
Medio alto	Opcional	Obligatorio		
Alto	Obligatorio			

Además del empleado responsable, se debe incluir dentro de la planta de tratamiento el personal especificado en la tabla C.16.2 de acuerdo al **nivel de complejidad** del sistema.

El técnico profesional mecánico y el eléctrico-electrónico deben tener preparación certificada en mantenimiento de plantas de tratamiento, o en su defecto experiencia comprobada de acuerdo con las necesidades de la planta.

TABLA C.16.2.

**Personal conveniente según el nivel de complejidad del sistema**

Nivel de complejidad	Denominación del oficina / CNO					
	Gerente administrativo 9012	Técnico mecánico 2232	Técnico eléctrico y electrónico 2241	Laboratorista químico de aguas 2.11	Obrero Tratamiento 8621	Celador 6631
Bajo					Opcional	Obligatorio
Medio					Obligatorio	Obligatorio
Medio alto	Opcional	Opcional	Opcional	Obligatorio	Obligatorio	Obligatorio
Alto	Obligatorio	Obligatorio	Obligatorio	Obligatorio	Obligatorio	Obligatorio

El profesional de laboratorio debe tener preparación certificada en análisis fisicoquímicos y microbiológicos del agua.

El personal de operación y limpieza (operario de tratamiento), así como los vigilantes deben ser personas debidamente capacitadas para las labores que se les asigne.

Para el **nivel bajo de complejidad** el vigilante y el operario de tratamiento puede ser la misma persona, debidamente capacitada.

**C.16.4 ASPECTOS DE PUESTA EN MARCHA**

La puesta en marcha de una planta de tratamiento debe estar sometida a un control estricto, para resolver cualquier situación de emergencia que se pueda presentar.

**C.16.4.1 Recepción de equipos**

Todos los equipos deben ser revisados minuciosamente para evitar problemas tanto en el proceso de tratamiento como con los fabricantes. Es importante observar todas las partes que los componen y verificar si se encuentran dentro de las normas establecidas y requeridas por la planta.

#### **C.16.4.2 Instalación de equipos**

La instalación de los equipos debe llevar una secuencia lógica para facilitar la operación de la planta de tratamiento, debe hacerse con base en el diagrama de flujo y el tamaño de los equipos.

#### **C.16.4.3 Responsabilidades del diseñador**

##### **C.16.4.3.1 Capacitación del personal de planta**

Los operadores de la planta deben estar en capacidad de efectuar en forma rutinaria las actividades de puesta en marcha y operación. Para cumplir con este objetivo se deben desarrollar programas prácticos de información con respecto a plantas de tratamiento convencionales y plantas de tratamiento con tecnología de punta. Si es necesario debe realizarse la contratación de terceros, mediante la colaboración de los mismos fabricantes de los equipos o estructuras empleadas.

##### **C.16.4.3.2 Manuales de operación y mantenimiento**

Debe exigirse a los diseñadores y fabricantes de los equipos del sistema de tratamiento los manuales de operación y mantenimiento, junto con todos los esquemas de diseño, construcción, tamaño, capacidad y conexiones, los cuales facilitarán las labores a realizar en la planta.

##### **C.16.4.3.3 Garantía de operación**

El diseñador debe garantizar que la planta esté en capacidad de operar de acuerdo con lo especificado en los diseños y manuales, respondiendo así por cualquier avería o daño que se presente en los mismos, salvo en ocasiones que se demuestre que el error fue cometido por los operarios de la planta.

#### **C.16.4.4 Inspección preliminar de la planta**

Es indispensable examinar el estado de todos los sistemas, equipos, tuberías, accesorios, instrumentos y controladores de la planta de tratamiento, evaluando principalmente los siguientes aspectos:

- Control visual de daños generales.
- Presencia de vibraciones y ruidos.
- Funcionamiento de válvulas, instrumentos, controladores y equipos.
- Control de fugas.
- Conexiones de equipos eléctricos.
- Existencia de reactivos, materiales y personal disponible para la operación del sistema.

#### **C.16.4.5 Actividades en la puesta en marcha**

Previamente al funcionamiento general de la planta deben efectuarse las siguientes labores:

1. Limpieza general de las estructuras, la planta debe quedar libre de polvo, residuos de la construcción y cualquier otra impureza que signifique peligro de contaminación. Las superficies interiores que van a quedar en contacto con el agua, deben ser desinfectadas siguiendo el procedimiento indicado por la Norma Técnica Colombiana NTC 4117.
2. Verificar las condiciones de seguridad y el correcto funcionamiento de los equipos en la sala de dosificación.
3. Calibración de todos los equipos dosificadores y revisión detallada de los mismos.
4. Preparación de las soluciones de coagulante, desinfectante y otros reactivos necesarios de acuerdo con la secuencia del proceso.
5. Medición de parámetros básicos para el control de procesos, tales como pH, turbiedad, color, aluminio o hierro residual, alcalinidad y caudal de operación.
6. Medición de parámetros básicos de dosificación, por medio de la prueba de jarras determinar la dosis y pH óptimos de coagulación.

7. Revisión de válvulas.

NOTA: Lo anterior puede variar con el tipo de planta.

## **C.16.5 ASPECTOS DE OPERACIÓN**

Toda operación realizada en la planta debe hacerse con el máximo cuidado posible, ya que cualquier error que se cometa en uno de los procesos, afectará tanto la calidad del agua como los sistemas de tratamiento.

### **C.16.5.1 Toma de muestras de agua**

En la planta de tratamiento deben realizarse un número de análisis físicos, químicos y microbiológicos de rutina. Para la realización del muestreo referirse a las Normas Técnicas Colombianas NTC-ISO 5667-2, NTC-ISO 5667-3 y NTC-ISO 5667-5.

### **C.16.5.2 Análisis y ensayos de agua para controlar la calidad de los procesos**

Durante la operación de la planta mínimo deben efectuarse los siguientes análisis:

- Turbiedad
- Color
- pH
- Alcalinidad
- Concentración en aluminio o hierro residual
- Cloro residual
- Otros parámetros de interés para la operación de los tratamientos según el caso.

Estos parámetros básicos deben medirse con la frecuencia que en la tabla C.16.3 se indica. En ella se encuentran especificados los análisis que deben realizarse en los diferentes procesos de la planta de tratamiento.

Además, el operador responsable directo debe efectuar los correspondientes ensayos de pruebas de jarras especificados en la Norma Técnica Colombiana NTC 3903.

### **C.16.5.3 Actividades en la operación normal**

La operación normal debe incluir cualquier tipo de actividad que no provoque la suspensión parcial o temporal de la planta y que asegure que está produciendo el caudal para el cual fue diseñada la planta, junto con la calidad requerida y que se encuentra especificada en el Decreto 475 de 1998 del Ministerio de Salud o en su defecto, el que lo reemplace. Las actividades en la operación normal son:

1. Medición de caudal (referirse a las Normas Técnicas Colombianas NTC 3705, NTC 3933, NTC 3945 y Título C.15).
2. Medición de parámetros de calidad de agua, tales como turbiedad, color, pH, aluminio o hierro residual, alcalinidad. Es conveniente, cuando se registra manualmente la turbiedad, redondear las cifras como se indica en la tabla C.16.4.
3. Preparación de soluciones de productos químicos si procede.
4. Ajuste de dosificadores.
5. Lavado de filtros.
6. Medición de cloro residual en el agua tratada.
7. Limpieza de obras y mantenimiento de zonas verdes.
8. Control de calidad de los procesos.

TABLA C.16.3

**Análisis mínimo del agua para controlar los procesos en la planta**

Muestra	Mediciones	Frecuencia en el nivel			
		Bajo	Medio	Medio alto	Alto
Lugar de análisis	Parámetros a medir				
	Agua del afluente				
	Turbiedad y pH.	3/día	6/día	8/día	Continuo
	Color		1/día	1/día	6/día
Salida de mezcladores	pH óptimo	3/día	6/día	8/día	Continuo
Salida de floculadores	Observación del tamaño de los flocs (por ejemplo en una probeta) y turbiedad.	3/día	6/día	8/día	8/día
Salida de sedimentadores	Turbiedad	3/día	6/día	8/día	Continuo
	Color		1/día	1/día	6/día
Salida de filtros	Turbiedad y pH.	3/día	6/día	8/día	Continuo
	Al residual y color		6/día	8/día	8/día
Salida de tanque de desinfección	pH, alcalinidad y dureza		6/día	8/día	8/día
Salida del tanque de almacenamiento y/o de la planta de tratamiento	pH, turbiedad, cloro residual	3/día	6/día	8/día	Continuo
	Color		1/día	1/día	1/día
	Análisis microbiológico si es necesario.		1/día	2/día	2/día
	Fe residual, alcalinidad y dureza.			1/día	1/día

TABLA C.16.4.

**Medición de turbiedad mediante aproximación de cifras**

Turbiedad (UNT)	Utilizar intervalos de:
0 - 1	0.05
1 - 10	0.1
10 - 40	1.0
40 - 100	5
100 - 400	10
400 - 1000	50

**C.16.5.4 Manual de operación**

Toda planta de tratamiento tiene la obligación de elaborar un manual de operación que sea práctico y de fácil funcionamiento para las personas que tienen acceso a este.

Todo el personal que opere en la planta debe tener acceso a este manual para que conozca el correcto funcionamiento de la planta de tratamiento.

**C.16.5.4.1 Contenido**

Este manual debe contener como mínimo lo siguiente:

- Introducción y datos de la institución.
- Descripción operativa de la planta de tratamiento para cada uno de sus componentes.
- Entrada del agua.
- Medición de caudal afluente.
- Dosificación de productos químicos (coagulantes, alcalinizantes y desinfectantes).
- Mezcla rápida.
- Floculación.
- Sedimentación.
- Filtración.

- Tanque de contacto con cloro.
- Tanque de almacenamiento.
- Medición de caudal efluente.
- Instrumentación.
- Procesos alternativos de acuerdo al tipo de planta.

Adicionalmente debe presentarse un diagrama de flujo de la planta completa, con todas sus válvulas, equipos y las instrucciones de como operar el sistema en condiciones normales y en condiciones de emergencia.

Es indispensable anexar debidamente clasificados todos los catálogos de los fabricantes.

#### C.16.5.4.2 Características del manual

En la elaboración del manual de operación de la planta de tratamiento deben tomarse en cuenta los siguientes aspectos:

##### 1. Calibración de equipos

El manual debe incluir datos reales del funcionamiento de la planta y de sus equipos como:

- a) Curva de descarga real de bombas dosificadoras y de equipos dosificadores en general.
- b) Calibración de las unidades de medición de caudales.
- c) Revisión y calibración de equipos de laboratorio.

##### 2. Redacción del manual

Debe tenerse en cuenta que el manual de operación es un documento dirigido fundamentalmente a los operadores de la planta. Por lo tanto, debe encontrarse redactado tomando en cuenta los siguientes criterios:

- a) Emplear instrucciones directas y simples, evitando descripciones teóricas complejas. Debe incluir la descripción detallada de la teoría de cada proceso.
- b) Hacer uso de un lenguaje claro y conceptos puntuales.
- c) Emplear diagramas, esquemas y tablas para facilitar la comprensión de los procedimientos de operación.
- d) Incluir formularios modelo para que el operador registre los datos que recopile durante la operación de la planta, si esta no está instrumentada.

#### C.16.5.5 Plan operacional de emergencia

Toda planta debe contar con un plan operacional de emergencia basado en los análisis de vulnerabilidad que se hayan realizado en la zona donde se encuentre ubicada la misma.

Los análisis de vulnerabilidad deben incluirse en los estudios de diseño de las plantas de tratamiento.

En el plan operacional de emergencia deben incluirse los siguientes criterios:

1. Los riesgos de mayor probabilidad.
2. Capacitación y entrenamiento del personal que labora en la planta para actuar en situaciones de emergencia.
3. Puntos críticos en la planta donde se presenten los mayores problemas de peligro.
4. Puntos de encuentro estratégicos para situaciones de emergencia.
5. Declaratoria de estado de emergencia procedente de conformidad con las disposiciones del Decreto No. 3489 de 1982 o en su defecto, el que lo reemplaza.

Para la declaratoria de vuelta a la normalidad, la organización de vigilancia debe tener en cuenta las normas sobre calidad del agua y el abastecimiento de por lo menos un cincuenta por ciento (50%) del caudal suministrado normalmente.

### **C.16.6 REGISTROS**

Todos los aspectos observados y realizados durante la puesta en marcha, operación y mantenimiento de la planta de tratamiento deben ser evaluados y anotados, esto permite llevar un registro histórico del funcionamiento de cada sistema o equipo de la planta de tratamiento. Estos registros permiten tomar medidas correctivas.

Estos registros pueden llevarse de manera informática, captando los datos en forma continua en un centro de control o en forma manual por medio de la planilla de datos para **niveles bajo y medio de complejidad**. En este último caso deben elaborarse hojas de control de los procesos a los que se les deben sacar resúmenes mensuales y anuales y un libro de bitácora en el que se registren todos los hechos importantes que ocurran día a día en la operación de la planta.

Estos archivos deben contribuir a:

1. Ayudar al operador a resolver problemas de mantenimiento.
2. Permitir evaluar cambios en la calidad del agua cruda.
3. Permitir demostrar la calidad del agua tratada.
4. Ayudar a establecer los programas de mantenimiento preventivo.
5. Evaluar el consumo de reactivos para determinar los costos de tratamiento.
6. Proveer parámetros de diseño para futuras plantas de purificación.
7. Determinar la eficiencia de las operaciones y procesos de tratamiento.
8. Formular y establecer programas y requerimientos de optimización de la operación.
9. El libro de bitácora que permite al operador conocer los hechos relevantes ocurridos en los turnos anteriores.

## CAPÍTULO C.17

### C.17. ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO

---

#### C.17.1 ALCANCE

En este literal se establecen las condiciones mínimas que deben cumplirse para el mantenimiento de la planta de tratamiento de agua potable. Se establecen los requisitos y la capacitación técnica que debe tener el personal encargado de esta actividad, los recursos financieros con los que debe contar esta área para el mantenimiento de las instalaciones, la información necesaria para la realización del mantenimiento y finalmente se establecen las actividades básicas que deben desarrollarse en planta.

Se establecen las condiciones para los cuatro **niveles de complejidad** del sistema. Todas las normas son aplicables a los cuatro niveles del sistema, a no ser que se especifique lo contrario.

#### C.17.2 GENERALIDADES

De acuerdo con el tipo de planta, grado de automatización y nivel de confiabilidad de servicio, las actividades de mantenimiento y periodicidad varían.

Se recomienda que en todos los niveles de confiabilidad de servicio se realice un mantenimiento preventivo con el fin de prevenir cortes en el servicio de agua potable. Además debe contarse con los repuestos básicos y de mayor uso en bodega para corregir rápidamente cualquier daño.

Es necesario contar con el manual de mantenimiento y el catálogo de cada una de las unidades, lo cual agilizará las actividades de mantenimiento.

#### C.17.3 RECURSOS HUMANOS

El equipo humano encargado de realizar las actividades de mantenimiento deben ser personas responsables, con probada capacidad técnica, vale decir experiencia, conocimientos e idoneidad para cumplir con los objetivos de planificación, ejecución, funcionamiento y conservación de la planta de tratamiento, lo cual permite obtener una mayor productividad disminuyendo costos de producción.

Debe enfatizarse al personal de la planta su responsabilidad por la salud de la población y por lo tanto en la necesidad de un comportamiento ético, así como la observación de las normas de seguridad y las medidas de tipo ecológico.

##### C.17.3.1 Salud ocupacional

Toda planta de tratamiento tiene la obligación ética y legal de salvaguardar la salud de sus trabajadores y del público, así como de preservar el medio ambiente. Todo el personal de la planta, sin excepción, debe someterse a exámenes periódicos de control con el propósito de evitar enfermedades infectocontagiosas o transmisibles.

Deben establecerse todos los mecanismos de seguridad y de prevención, los cuales tienen que considerar:

1. Identificación y control de los riesgos relacionados con agentes físicos, químicos, biológicos, orgánicos, mecánicos y eléctricos.
2. Programas destinadas a proteger, conservar y mejorar la salud de los trabajadores.
3. Prevención de desviaciones peligrosas en las variables del proceso de tratamiento de aguas potables, tales como, presión, temperatura, flujo, niveles, dosificación de sustancias químicas,

tiempos de detención, mediante sistemas adecuados de instrumentación y control, además de buenas prácticas de operación y manejo.

4. Limitación de riesgos y pérdidas para preservar la salud de los operadores, llevando un control sobre elementos tóxicos, materiales inflamables, materiales corrosivos, ruido excesivo y agentes externos.
5. Instalación de sistemas y equipos de control necesarios para prevenir enfermedades y accidentes en la planta de tratamiento, además de materiales de trabajo y equipos de protección personal.

### **C.17.3.2 Capacitación técnica**

Deben desarrollarse programas de asistencia técnica por medio del personal de la planta o a través de terceros, estos programas deben comprender la asesoría, capacitación, supervisión, evaluación y monitoreo al personal encargado de la operación en la planta.

Para la capacitación se debe utilizar métodos de enseñanza modernos, con diseños ajustados a las necesidades detectadas en el personal que realiza las labores, para lo cual es necesario preparar adecuados manuales de capacitación y trabajos orientados hacia el rendimiento tanto de la enseñanza como de las labores a ejecutar.

### **C.17.3.3 Capacitación para situaciones de emergencia**

Debe instruirse al personal acerca de los planes operacionales de emergencia contra riesgos y peligros potenciales de los diseños, equipos, procesos y sistemas de tratamiento de aguas potables.

Cuando se presenten estados de emergencia, las autoridades competentes podrán solicitar la suspensión del servicio público, con el fin de tomar las medidas correctivas necesarias, evitando así riesgos en la salud de la población.

Los planes operacionales de emergencia deben contener como mínimo:

1. Medidas inmediatas mediante un análisis de vulnerabilidad, evitando así riesgos para la salud.
2. Los riesgos de mayor probabilidad indicados en los análisis de vulnerabilidad.
3. Prestación del servicio mediante alternativas que cumplan con las normas de calidad del agua potable.
4. Las plantas de tratamiento con **niveles medio alto y alto de complejidad** deben adoptar medidas para situaciones de emergencia relacionadas con incendios, debido a su alto nivel de mecanización.

## **C.17.4 RECURSOS FINANCIEROS**

Los recursos financieros deben estar claramente definidos, asegurando su disponibilidad oportuna para realizar el mantenimiento necesario en los equipos.

Los costos de los servicios y elementos necesarios para llevar a cabo la corrección de las posibles fallas varían considerablemente, lo que depende del tipo de planta, el nivel de confiabilidad del servicio y el tipo de mantenimiento a realizar.

## **C.17.5 ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO**

### **C.17.5.1 Información necesaria**

Es necesario que en el momento de realizar las actividades de conservación y seguridad en la planta de tratamiento se tengan las instrucciones de mantenimiento de la unidad en la cual se está trabajando.

#### C.17.5.1.1 Libro de control de calidad

Todas las personas relacionadas con el control de la calidad del agua potable deben tener acceso a este libro, del cual debe existir una copia en el laboratorio y en el departamento de control de calidad.

El libro o registro de control de calidad debe contener como mínimo la siguiente información:

1. Cantidad de agua captada.
2. Cantidad de agua suministrada.
3. Resultados de los análisis organolépticos, microbiológicos, físicos y químicos del agua, de acuerdo con los valores máximos exigidos.
4. Frecuencia de la realización de los análisis organolépticos, microbiológicos, físicos y químicos del agua.
5. Cantidad de productos químicos utilizados, tales como coagulantes, desinfectantes, alcalinizantes y otros.

#### C.17.5.1.2 Manual de mantenimiento

Toda planta debe tener un manual de mantenimiento que debe ser usado por todas las personas relacionadas con este departamento. Este manual debe contener como mínimo los siguientes aspectos:

- Introducción del tipo de planta de tratamiento.
- Mantenimiento de todos los sistemas y equipos de la planta de tratamiento.
- Mantenimiento de obras civiles.
- Mantenimiento de válvulas, medidores, instrumentos y controladores.
- Mantenimiento de dosificadores.
- Mantenimiento de medios filtrantes.
- Mantenimiento de equipos de bombeo y de sistemas eléctricos.
- Mantenimiento de todos los equipos de instrumentación y control.
- Aspectos de mantenimiento preventivo, correctivo y situaciones de emergencia.

En los anexos se debe incluir los siguientes documentos:

- Catálogos originales de los equipos, que deben ser proporcionados por el fabricante.
- Planos constructivos de los equipos y componentes de instrumentación y control.
- Planos y esquemas de todos los sistemas eléctricos.
- Esquemas de las redes de agua, aire y alcantarillado de la planta de tratamiento.
- Fichas técnicas e inventario de todo equipo ya sea hidráulico, mecánico, eléctrico, electromecánico y electrónico.

### **C.17.5.2 Actividades de mantenimiento**

#### C.17.5.2.1 Control de vibraciones y ruidos

Debe controlarse toda presencia de vibraciones y ruidos, lo cual determina las condiciones de la maquinaria, estos problemas se presentan debido a:

- Rotores sueltos o cuerpos extraños en motores.
- Ejes desviados en motores y mezcladores.
- Defectos en lubricación de equipos mecánicos.

- Pérdidas de corriente, cortos circuitos o fases invertidas en las conexiones de los equipos.
- Fallas en los anclajes y acoples de los equipos de proceso.

#### C.17.5.2.2 Conexiones entre equipos

Deben corregirse las fallas presentes en conectores, accesorios, válvulas y todo el sistema de tuberías, relacionadas con fisuras, roturas, fugas y deterioros de los mismos; dependiendo de la magnitud de los daños se debe evaluar si es más conveniente cambiar totalmente el sistema en estudio.

#### C.17.5.2.3 Lubricación y limpieza

Dentro de la lubricación y limpieza deberán realizarse los siguientes controles:

1. Revisar, corregir y/o cambiar el nivel de aceite de motores.
2. Limpieza y lubricación de mecanismos de dosificación.
3. Cambio de grasa de rodamiento de motores y mezcladores.
4. Aplicación de grasa en todos los puntos de engrase necesarios.
5. Lavado y limpieza de bocatomas, aireadores, desarenadores, mezcladores, floculadores hidráulicos y/o mecánicos, sedimentadores, filtros, medios de filtración y tanques de almacenamiento como mínimo 2 veces al año o las veces que sea necesario con agua potable.

#### C.17.5.2.4 Control y sobrecalentamiento de partes eléctricas

El sistema eléctrico y el tablero de controles deben estar bien protegidos, limpios y secos. Es indispensable medir y controlar fallas por altas temperaturas de los sistemas eléctricos, lo cual induce a trabajar forzosamente los equipos. El control se debe hacer sobre:

- Voltajes requeridos para la operación.
- Amperajes normales de funcionamiento.
- Desajustes por alineamientos defectuosos.
- Corto circuitos.
- Lubricación y funcionamiento de rodamientos.

Es necesario tener en cuenta que la temperatura es la que determina la seguridad en el aislamiento.

#### C.17.5.2.5 Revisión de motores

Debe verificarse el correcto estado y funcionamiento de cada una de las partes de los motores, tales como:

1. Carcaza que permite proteger al extractor y demás partes internas del motor.
2. Estator que cumple las funciones de imán fijo para la inducción de la corriente.
3. Rotor que es el cuerpo móvil acoplado al eje y cumple las funciones de imán móvil en la inducción de la corriente.
4. Eje que es la parte móvil que transmite la energía a la bomba y soporta el peso del rotor y demás partes que apoyan en él.
5. Rodamientos que sirven para mantener el eje y el rotor en el perfecto alineamiento con las partes fijas durante la operación.
6. Ventilador que impulsa el aire para refrigerar el motor.
7. Soportes donde se fija el motor a la estructura de la base.
8. Niveles de aceite y combustible que favorecen el correcto funcionamiento del motor.

9. Conexiones eléctricas que permiten la adecuación del voltaje y amperaje correcto para la operación.

#### C.17.5.2.6 Control de fugas

Debe realizarse continuamente una inspección visual y/o por medio de equipos técnicos de todo el sistema de operación, tanto en tuberías, accesorios, válvulas y conexiones, como en los equipos de proceso, motores, bombas y compresores.

Es necesario hacer un control detallado de los equipos de dosificación de sustancias químicas, junto con sus adecuadas concentraciones, para evitar escapes que puedan afectar la salud de los operarios y el buen funcionamiento de los procesos, lo cual influirá en los costos de producción de la planta de tratamiento. Al momento de detectar un escape de cloro el operador debe utilizar la máscara protectora.

#### C.17.5.2.7 Aplicación de pintura en estructuras

Todo sistema, estructura, equipo y complementos debe llevar un recubrimiento de pintura anticorrosiva o impermeabilizante según el tipo de estructura, equipo o complemento, para protección del deterioro que producen los efectos del medio ambiente y a la vez preservar su vida útil, se exige:

1. Escoger el tipo de pintura apropiada para la estructura: muros, piedras, maderas, metales, asbesto-cemento, pisos, plásticos, pavimentos y maquinaria.
2. Considerar el uso de la estructura pintada y el ambiente al que esta expuesto: interiores, exteriores, exposición al aire, agua o bajo tierra, sometimiento al frío, calor, abrasión, golpes, dilataciones y al ataque de productos químicos diversos.
3. Evitar que pinturas o disolventes caigan a drenajes, tuberías o sistemas de la planta, con el fin de no afectar el proceso de tratamiento de aguas, las estructuras de trabajo y la calidad del agua tratada..

#### C.17.5.2.8 Revisión de instrumentos y controladores

Debe prestarse especial atención a los medidores y/o controladores de dosificación, nivel, flujo, presión, temperatura, analizadores y elementos de control final, ya que son aparatos muy sensibles y tienden a descalibrarse fácilmente.

Se exige realizar una calibración semanal con respecto a un elemento patrón por medio del cual se puedan hacer medidas para conocer la exactitud de la calibración; dado el caso que los datos obtenidos no logren ser veraces, debe realizarse una evaluación para examinar la falla, si es necesario, se reemplazará el aparato.

#### C.17.5.2.9 Pruebas de aislamiento

Debe realizarse un control sobre las conexiones de equipos eléctricos, tales como motores, compresores y medidores, revisando que se encuentren en perfecto estado para evitar corto circuitos.

Debe revisarse que todos los equipos, elementos y aparatos metálicos y eléctricos se encuentren conectados al polo a tierra para protección y descargas eléctricas de los mismos.

### **C.17.6 DISPONIBILIDAD DE ELEMENTOS**

En la bodega de almacenamiento debe tenerse suficiente cantidad de insumos para atender situaciones de emergencia, se exige:

1. Tener un inventario detallado de la existencia de equipos, dispositivos de control y medición, herramientas y todos los elementos que se encuentren en la bodega.
2. Una adecuada señalización para la ubicación de cualquier elemento requerido, agilizando así las actividades a realizar.
3. La responsabilidad del personal que se encuentre a cargo.
4. Llevar una ficha de control de entradas y salidas de elementos utilizados en las actividades diarias.

5. Hacer la solicitud a tiempo de los elementos que se requieran con frecuencia.

Se recomienda tener disponibilidad de elementos en bodega de acuerdo a la siguiente clasificación en los diferentes niveles de confiabilidad de servicio:

1. Disponibilidad de elementos en bodega para 5 días de suspensión en el **nivel bajo de complejidad** del sistema.
2. Disponibilidad de elementos en bodega para 3 días de suspensión en el **nivel de medio de complejidad** del sistema.
3. Disponibilidad de elementos en bodega para 1 día de suspensión en el **nivel medio alto de complejidad** del sistema.
4. Disponibilidad de elementos en bodega continuamente en el **nivel alto de complejidad** del sistema.

### **C.17.7 EVALUACIÓN DE LOS EQUIPOS EN PLANTA**

Para llevar un control detallado de la operación y mantenimiento de todos los sistemas y equipos que se encuentran en la planta de tratamiento es indispensable hacer énfasis en algunos aspectos importantes, tales como:

1. Los problemas por más mínimos que sean deben solucionarse inmediatamente, puesto que ellos pueden ocasionar en última instancia daños mayores y por consiguiente altos costos de reparación.
2. Las acciones ejecutadas para detectar y corregir anomalías deben registrarse en la ficha técnica del equipo o estructura existente y en el libro de control de calidad, con la finalidad de obtener datos básicos acerca del funcionamiento de los sistemas de proceso en la planta de tratamiento.
3. Informar a los superiores las posibles causas de las fallas encontradas y las consecuencias que esto pueda tener en el proceso de operación de la planta de tratamiento de aguas potables.
4. Desinfectar todo sistema y/o equipo de la planta de tratamiento que suministre agua, lo cual se debe hacer antes de ponerlo en funcionamiento, cuando se requiera desinfección o luego de una parada forzosa en la planta.

#### **C.17.7.1 Actividades en el mantenimiento preventivo**

Dentro de las actividades que se deben desarrollar en el mantenimiento preventivo se exige:

1. Elaboración del plan de mantenimiento preventivo de acuerdo con los manuales de mantenimiento.
2. Elaboración de inventario técnico.
3. Clasificación de las instalaciones y equipos.
4. Identificación individual de cada una de las instalaciones y equipos.
5. Conformación de archivos técnicos de mantenimiento.
6. Existencia de repuestos para reparaciones (bodega).

##### **C.17.7.1.1 Plan de mantenimiento preventivo**

En el proceso de desarrollar el plan de mantenimiento, se debe determinar el mejor procedimiento para cada parte, así los procedimientos de las partes se juntan para producir el plan de mantenimiento de la unidad y la unión de cada uno de éstos debe permitir el plan de mantenimiento para la planta en general.

Para llevar a cabo el plan de mantenimiento es recomendable realizar las siguientes actividades:

1. Determinación de las unidades críticas en el proceso, con base en el diagrama de flujo de la planta.
2. Determinación de disponibilidad de las unidades, realizando un análisis de confiabilidad de acuerdo a los historiales de mantenimiento que se disponga.

3. Determinación de las partes críticas y su modo de falla, haciendo uso del historial de mantenimiento y la base de datos disponible.
4. Selección del procedimiento a seguir de acuerdo con el modo de falla, mediante el uso de análisis de fallas y técnicas de monitoreo, tales como, los sentidos humanos, técnicas ópticas y técnicas térmicas de las condiciones de operación.
5. Ensamblar el plan para cada unidad, procurando que tienda al mantenimiento preventivo.
6. Ensamblar el plan de mantenimiento para toda la planta, haciendo uso de las fuentes y recursos de mantenimiento.

#### **C.17.7.2 Contratación externa de servicios**

Por la carencia de personal especializado o cuando la complejidad de trabajo lo requiera, el departamento de mantenimiento puede contratar servicios con entidades externas a él, lo cual contribuye a disminuir costos. Se recomienda efectuar por esta vía los siguientes trabajos:

- Rebobinado de motores eléctricos.
- Reparaciones complejas de motores a diesel o gasolina.
- Reparación y calibración de equipos de control.
- Reparación de cloradores.
- Reparación de tanques y otras estructuras de la planta.
- Algunos trabajos de mantenimiento preventivo que las políticas de la planta permitan.

Para la contratación exterior de servicios, deben estudiarse los siguientes aspectos:

- Certificar la capacidad del contratista.
- Especificar detalladamente el motivo del contrato.
- Acordar el tiempo de entrega.
- Fijar el costo y la forma de pago.
- Indicar el sitio de trabajo y de la entrega.
- Concertar pruebas de funcionamiento.
- Solicitar garantía de funcionamiento por un tiempo prudencial.

#### **C.17.7.3 Equipo de planta**

Toda operación de mantenimiento que se realice en los equipos debe estar archivada en la ficha técnica de la correspondiente estructura, para efectos del análisis de confianza de datos históricos.

### **C.17.8 MANTENIMIENTO DE LOS AIREADORES**

Para el mantenimiento de las unidades de Aeración, deben realizarse las siguientes actividades:

1. Revisión, reacondicionamiento y limpieza del aireador.
2. Revisión del funcionamiento de las válvulas o compuertas.
3. Verificar si existe en la estructura indicios de fisuras y detección de problemas para corregirlos.
4. Para los agitadores mecánicos debe realizarse frecuentemente el mantenimiento de los motores.
5. Para la Aeración por inyección de aire comprimido debe realizarse la limpieza de los inyectores.
6. Deben recolectarse los datos necesarios para llevar una hoja de vida del equipo.

## **C.17.9 MANTENIMIENTO DE LOS MEZCLADORES**

Para el mantenimiento de los mezcladores, deben realizarse las siguientes actividades:

### **C.17.9.1 Mezcladores hidráulicos**

1. Inspección, reacondicionamiento y limpieza del mezclador.
2. Revisión de válvulas o compuertas.
3. Deben recolectarse los datos necesarios para llevar una hoja de vida del equipo.

### **C.17.9.2 Mezcladores mecánicos**

1. Inspección, reacondicionamiento y limpieza del mezclador.
2. Verificación de las condiciones eléctricas del motor y temperatura de rodamientos y embobinados.
3. Revisión de los reductores y variadores de velocidad
4. Alineamiento del eje, hélice, disco o paleta y reajuste de pernos.
5. Pintura exterior para las partes metálicas.
6. Aplicación de grasa o aceite en los puntos requeridos.
7. Revisión de válvulas o compuertas.
8. Deben recolectarse los datos necesarios para llevar una hoja de vida del equipo.

## **C.17.10 MANTENIMIENTO DE LOS FLOCULADORES**

Para el mantenimiento de los floculadores, deben realizarse las siguientes actividades:

### **C.17.10.1 Floculadores hidráulicos**

1. Inspección, reacondicionamiento y limpieza del mezclador.
2. Revisión de válvulas o compuertas.
3. Deben recolectarse los datos necesarios para llevar una hoja de vida del equipo.

### **C.17.10.2 Floculadores mecánicos**

1. Revisión, reacondicionamiento y limpieza del floculador.
2. Registro de vibraciones y estabilidad en el funcionamiento.
3. Lubricación de cadenas, correas, ruedas y poleas.
4. Pintura exterior para las partes metálicas.
5. Verificación de las condiciones eléctricas y temperatura del motor.
6. Revisión de los reductores y variadores de velocidad
7. Chequeo de empaquetaduras en la prensa.
8. Revisión de válvulas o compuertas.
9. Deben recolectarse los datos necesarios para llevar una hoja de vida del equipo.

## **C.17.11 MANTENIMIENTO DE LOS SEDIMENTADORES**

Para el mantenimiento de los sedimentadores, deben realizarse las siguientes actividades:

1. Revisión, reacondicionamiento y limpieza del sedimentador.
2. Verificar si existe en la estructura indicios de fisuras y detección de problemas para corregirlos.
3. Pintura exterior para las partes metálicas.
4. Remoción de lodos y partículas sedimentadas.
5. Revisión de válvulas o compuertas.
6. Recolección de datos.

### **C.17.12 MANTENIMIENTO DE LOS FILTROS**

Para el mantenimiento de los filtros, deben realizarse las siguientes actividades:

1. Revisión, reacondicionamiento y limpieza del filtro.
2. Limpieza de hojas u otros materiales flotantes en el filtro.
3. Lavado del filtro.
4. Para los filtros lentos debe realizarse el raspado del filtro y lavado del material removido.
5. Reposición del material filtrante.
6. Verificar si existe en la estructura indicios de fisuras y detección de problemas para corregirlos.
7. Revisión del funcionamiento de las válvulas o compuertas.
8. Pintura externa para las partes metálicas.
9. Recolección de datos.

### **C.17.13 MANTENIMIENTO DEL TANQUE DE AGUA TRATADA**

Para el mantenimiento del tanque, deben realizarse las siguientes actividades:

1. Mantener las tapas de las cámaras de válvulas cerradas y aseguradas.
2. Limpieza de sedimentos, manipulando la válvula de limpieza sin ingreso al tanque.
3. Limpieza de sedimentos, ingresando al interior del tanque, requiere lavado y posterior desinfección.
4. Retoque y pintura general del tanque.
5. Observar si existen grietas, fugas y rajaduras para corregirlos.
6. Revisión y corrección de válvulas y cercas de protección
7. Recolección y procesamiento de datos.

### **C.17.14 MANTENIMIENTO DE LOS DOSIFICADORES**

Para el mantenimiento de los dosificadores, deben realizarse las siguientes actividades:

1. Revisión, reacondicionamiento y limpieza del dosificador.
2. Revisión de las válvulas o compuertas.
3. Verificación de las condiciones eléctricas del motor.
4. Registro de vibraciones y estabilidad en el funcionamiento.
5. Limpieza, calibración y lubricación de mecanismos de dosificación.

6. Pruebas de aislamiento

7. Recolección de datos.

## **C.17.15 MANTENIMIENTO DE ESTABILIZACIÓN Y ABLANDAMIENTO**

### **C.17.15.1 Estabilización con reactivos alcalinos**

Toda clase de tubería o equipo que tenga problemas de corrosión debe cambiarse inmediatamente para evitar fugas en el sistema además del mal olor y sabor en la calidad final del agua.

### **C.17.15.2 Precipitación química**

Debe realizarse el retrolavado de todos los sistemas en los cuales se han ido depositando los precipitados de calcio y magnesio, principalmente el sedimentador y el filtro.

### **C.17.15.3 Proceso con resinas de intercambio iónico**

En los sistemas de sedimentación y filtración debe realizarse un mantenimiento continuo para que no se presenten problemas en la operación de los mismos, ni taponamientos por exceso de precipitados.

Debe realizarse un mantenimiento preventivo al equipo de intercambio iónico, éste puede ser semestralmente, verificando que las condiciones del equipo para lograr un eficiente trabajo sean óptimas.

## **C.17.16 MANTENIMIENTO DE CONTROL DE OLOR Y SABOR**

### **C.17.16.1 Aeración**

Deben realizarse labores periódicas de limpieza con agua potable. Entre las labores a realizar expuestas en el literal C.4.7 deben recordarse las siguientes:

- Revisión, reacondicionamiento y limpieza del aireador.
- Revisión del funcionamiento de las válvulas o compuertas.
- Verificar si existe en la estructura indicios de fisuras y detección de problemas como corrosión para corregirlos.
- Deben recolectarse los datos necesarios para llevar una hoja de vida del equipo.

### **C.17.16.2 Adsorción sobre carbón activado**

#### **C.17.16.2.1 Carbón activado granular**

La reactivación del carbón activado granular puede realizarse químicamente con  $H_3PO_4$  y térmicamente. Si la reactivación es hecha en el mismo sitio, el siguiente procedimiento típico debe llevarse a cabo:

- El carbón granular extraído debe retrolavarse y limpiarse con aire.
- El carbón activado lavado debe llevarse a un horno y someterse a una atmósfera controlada de vapor y oxígeno a temperaturas cercanas a los  $1000^{\circ}C$ . La salida de gases debe ajustarse a la calidad de aire requerida.
- El carbón reactivado debe enfriarse con agua y transportarse hidráulicamente para volver a ponerlo en contacto o almacenarlo.
- El carbón activado virgen debe ser adicionado para reemplazar las posibles pérdidas por fricción.

C.17.16.2.2 Carbón activado pulverizado

El carbón activado pulverizado debe reemplazarse en un tiempo prudente que se determina cuando va perdiendo sus propiedades adsorbentes de acuerdo a la calidad del afluente y los puntos de aplicación.

### **C.17.17 MANTENIMIENTO DE DESFERRIZACIÓN Y DESMANGANETIZACIÓN**

Independientemente de cual sea el proceso debe realizarse un mantenimiento periódico al filtro, en el cual deben realizarse las siguientes actividades:

- Revisión, reacondicionamiento y limpieza del filtro trimestralmente.
- Limpieza diaria de materiales flotantes.
- Lavado del material removido continuamente y en casos extremos semanalmente.
- Reposición del material filtrante cuando sea necesario, puede ser semestralmente.
- Verificar diariamente si existe en la estructura indicios de fisuras y detección de problemas para corregirlos.
- Revisión mensual del funcionamiento de todas las válvulas y compuertas que conforman el sistema.
- Recoger los datos necesarios para llevar un control de la vida útil de los equipos.

Además deben revisarse continuamente todos los equipos que conforman los diferentes procesos para la remoción de hierro y manganeso, tomando las correspondientes medidas preventivas cuando sea necesario.

## BIBLIOGRAFÍA

Arboleda Valencia, Jorge. A New Approach to treatment Plant Design and Construction in Latin America. Journal AWWA.

Arboleda Valencia, Jorge. Teoría y práctica de la purificación del agua. Asociación Colombiano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Acodal. Colombia.

Associacao Brasileira de Normas Técnicas ABNT. Normas de Abastecimiento de Agua. Río de Janeiro, Brasil. 1990.

AWWA. Water Quality and Treatment. A Handbook of Community Water Supplies. 4ª edición. Mc Graw - Hill. USA. 1990.

AWWA. Water Treatment Plant Design. Secon edition. Mc Graw - Hill. USA. 1990.

Bermúdez Pérez, José. Planta Potabilizadora de la Universidad Central de las Villas Cuba. XXIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. La Habana, Cuba.

Cailleaux C. Pujole, De Dianous F. Druoton J.C. Study of weighted flocculation un view of a new type of clarifier. J. Water SRT. Agua. Volumen 41. No. 1. Pág. 18 - 27. 1992.

Centro Panamericano de Ing. Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Tecnología Cepis para Tratamiento de Agua: Estado actual. Adaptado del Informe Técnico de la Ing. Lidia Canépa de Vargas. Hoja de Divulgación Técnica No. 52. Diciembre 1992.

Centro Panamericano de Ing. Sanitaria y Ciencias del Ambiente. OPS. OMS. Plantas de tecnología apropiada países en desarrollo. Manual VI. Operación. Preparado por el Ing. Víctor Rodríguez. Marzo. 1993.

Centro Panamericano de Ing. Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Teoría, Diseño y Control de los procesos de Clarificación del Agua. CEPIS. Serie técnica 13. Lima, 1981.

Centro Panamericano de Ing. Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Programa de protección de la salud ambiental. Ing. José M. Pérez. Guía para el diseño de plantas de filtración lenta para el medio rural. Lima, Perú.

Cinara. Universidad del Valle. PNUD. Ministerio de Desarrollo Económico. Selección de tecnología y el tratamiento del agua por filtración en múltiples etapas. Santiago de Cali, Colombia. Diciembre, 1990.

Collins, Robin. T. Taylor Eighmy, James M. Fenstermacher Jr., and Stergios K. Spanos. Removing Natural Organic Matter by Conventional Slow Sand Filtration. Journal AWWA. Research and Technology.

Culp R.L. Breakpoint Chlorination for virus Inactivation. J. AWWA. Volumen 71. Pág. 441. 1979.

Degrémont. Memento Technique de l'eau. Tomo I y II. Tec. & Doc. Lavoisier. 1989.

Desmond F. Lawler and Philip C. Singer. Analizing Disinfection Kinetics and Reactor Design: A conceptual Approach Versus The SWTR. November 1993.

Departamento Nacional de Planeación. Curso Básico para Operación y Mantenimiento de Plantas Convencionales de Potabilización de Agua. República de Colombia.

Droste. Ronald L. Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment. John Wiley & Sons. Inc. 1997.

Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México. Manual de Normas de Proyecto para obras de aprovisionamiento de agua potable en localidades urbanas de la República de México. México D.F. Octubre 1979.

Findeter, Vicepresidencia de Proyectos. Guía para la elaboración y Presentación de Informes de Evaluación Técnica de Proyectos de Acueductos. Santa Fe de Bogotá, D.C. 1997

Galvis C, Gerardo. Filtración Lenta en arena, consideraciones sobre el uso en el tratamiento de aguas superficiales. Revista Acodal. Mayo-Junio, Julio-Agosto, 1985. Págs. 19-36

Instituto Nacional de Fomento Municipal. Ministerio de Salud. Especificaciones para el diseño de Plantas Potabilizadoras de Agua. Colombia. 1970.

Instrumentation in Wastewater Treatment Facilities. Manual of practice. WEF. USA. 1994.

López Chaparro, Hernando. Plantas de purificación de aguas para pequeñas comunidades. Revista Acodal, junio, 1979. Págs. 11-33.

Lyonnaise des Eaux. Memento du Gestionnaire de l'Alimentation en Eau et de l'Assainissement. Tec. & Doc. Lavoisier. 1994.

Metcalf & Eddy. Wastewater engineering. Third Edition. Mc Graw - Hill. USA. 1991.

Ministerio de Desarrollo Económico, Corpes de Occidente, OPS. La filtración en múltiples etapas, FIME una alternativa para el tratamiento del agua. Instituto de investigación y desarrollo en agua potable, Saneamiento básico y Conservación del Recurso hídrico, Cinara.

Ministerio de Desarrollo Humano. Secretaria Nacional de Participación Popular. Subsecretaría de desarrollo Urbano. Reglamento técnico de diseño para unidades de tratamiento no mecanizados para sistemas de agua potable y aguas residuales. República de Bolivia. Noviembre 1996.

Ministerio de Desarrollo Humano. Secretaria Nacional de Participación Popular. Subsecretaría de desarrollo Urbano. Modelo y reglamento de gestión en agua potable y saneamiento. República de Bolivia. Noviembre 1996.

Ministerio de Desarrollo Humano. Secretaria Nacional de Participación Popular. Subsecretaría de Desarrollo Urbano. Norma Técnica de Diseño para sistemas de agua Potable. República de Bolivia. Noviembre 1996.

Ministerio de Salud. Subdirección de Control de Factores de Riego del Ambiente. División de Agua, Aire y Suelo. Programa de Vigilancia de la Calidad del agua para consumo Humano y Uso Doméstico. Santa Fe de Bogotá, Marzo 1992.

Naciones Unidas. Estudios e Informes de la Cepal. Agua Potable y saneamiento Ambiental en América Latina 1981-1990. Santiago de Chile , 1983.

Normas sobre tratamiento del Agua de Puerto Rico.

Organización Panamericana de la Salud. Guías para la selección y aplicación de tecnologías de desinfección del agua para Consumo Humano en pueblos pequeños y comunidades rurales en América Latina y el Caribe. División de Salud y Ambiente. Serie Técnica No. 30.. Washington D.C. Septiembre 1995.

Rivas Mijares, G. Department of Sanitary Engineering, Universidad Central de Venezuela. Water and Wastewater Treatment in Latin America - Applied Technology. Venezuela, Caracas.

Romero Rojas, J. A. Acuquímica. Escuela Colombiana de Ingeniería. Colombia. Febrero. 1996.

Stumm, Werner. James Morgan. Aquatic chemistry. Second edition. Wiley. USA. 1981.

Valdez, Enrique César.. Lineamientos Técnicos en materia de Agua Potable y Alcantarillado. Gacetilla Ambiental.