

**EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO HIDRÁULICO,
OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE POTABILIZACION
DEL ACUEDUCTO DE PAMPLONA Y COMPARACIÓN CON EL RAS-2000.**



**Ing. ALEXY GRANADOS BECERRA
Ing. CARLOS MIGUEL HERNANDEZ CARREÑO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE QUIMICA
PROGRAMA ESPECIALIZACION EN QUIMICA AMBIENTAL
BUCARAMANGA
2008**

Ing. ALEXI GRANADOS BECERRA
Ing. CARLOS MIGUEL HERNANDEZ CARREÑO



**ESPECIALIZACION EN QUIMICA AMBIENTAL
TRABAJO DE MONOGRAFIA**

**EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO HIDRÁULICO,
OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE POTABILIZACION
DEL ACUEDUCTO DE PAMPLONA Y COMPARACIÓN CON EL RAS-2000.**

**Ing. ALEXY GRANADOS BECERRA
Ing. CARLOS MIGUEL HERNANDEZ CARREÑO**

Trabajo para optar por el titulo de Especialista en Química Ambiental

**DIRECTOR:
GONZALO PEÑA ORTIZ
INGENIERO CIVIL**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE QUIMICA
PROGRAMA ESPECIALIZACION EN QUIMICA AMBIENTAL
BUCARAMANGA
2008**

**Ing. ALEXI GRANADOS BECERRA
Ing. CARLOS MIGUEL HERNANDEZ CARREÑO**

CONTENIDO

	Pag.
1. MARCO REFERENCIAL	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 MARCO HISTORICO	1
1.3 MARCO COMCEPTUAL	2
1.4 BASES TEORICAS	4
1.4.1 Coagulación - mezcla rápida	4
1.4.1.1 Alcance	4
1.4.1.2 Clasificación de los Procesos	4
1.4.1.3 Descripción de los Procesos	5
1.4.1.3.1 Dosificación	5
1.4.1.3.2 Mezcla Rápida	8
1.4.1.4 Parámetros de diseño	10
1.4.1.5 Control de procesos y operación	14
1.4.2 Floculación	17
1.4.2.1 Alcance	17
1.4.2.2 Clasificación de los procesos	17
1.4.2.3 Descripción de los procesos	17
1.4.2.3.1 Floculadores Hidráulicos	17
1.4.2.3.2 Floculadores Mecánicos	18
1.4.2.4 Parámetros de diseño – floculación convencional	19
1.4.2.5 Control de procesos de operación	21
1.4.3 Sedimentación	22
1.4.3.1 Alcance	22
1.4.3.2 Clasificación de los procesos	23
1.4.3.3 Descripción de los procesos	23
1.4.3.3.1 Sedimentadores de flujo vertical y flujo horizontal	24
1.4.3.3.2 Sedimentadores de alta tasa	24
1.4.3.3.3 Sedimentadores con manto de lodos	24
1.4.3.4 Parámetros de diseño	25
1.4.3.5 Control de procesos de operación	31
1.4.4 Filtración	38
1.4.4.1 Alcance	38
1.4.4.2 Clasificación de los procesos	38
1.4.4.3 Descripción de los procesos	38
1.4.4.3.1 Filtración de tasa constante	38

	Pag.	
1.4.4.3.2	Filtración con afluente igualmente distribuido y nivel variable	39
1.4.4.4	Parámetros de diseño	40
1.4.4.5	Control de los procesos y operación	49
1.4.5	Desinfección	54
1.4.5.1	Alcance	54
1.4.5.2	Clasificación de los procesos	54
1.4.5.3	Descripción de los procesos	55
1.4.5.3.1	Cloro gaseoso (Cl ₂)	55
1.4.5.3.2	Hipoclorito	56
1.4.5.3.3	Cal clorada	56
1.4.5.3.4	Dióxido de Cloro	58
1.4.5.3.5	Ozonización	58
1.4.5.3.6	Rayos ultravioleta	59
1.4.5.4	Parámetros de diseño	59
1.4.5.4.1	Curva de demande de cloro	62
1.4.5.5	Control de procesos y operación	65
1.5	Marco legal	68
2.	DISEÑO METODOLOGICO	70
2.1	METODOLOGIA	70
2.2	RECOLECCION DE LA INFORMACION	70
2.3	ESTADO ACTUAL	70
3.	EVALUACION HIDRAULICA DE LA PLOANTA DE TRATAMIENTO EL CARIONGO	72
3.1	CARACTERISTICAS DE LA PLANTA	72
3.2	PARAMETROS DE DISEÑO DE LA PLANTA DE POTABILIZACION DE PAMPLONA	73
3.2.1	Nivel de complejidad, dotación y demanda	73
3.2.2	Dosificación	76
3.2.3	Mezcla rápida	77
3.2.3.1	Calculo de diseño de la canaleta Parshall	77
3.2.3.2	Floculación	82
3.2.3.3	Sedimentación	86
3.2.3.4	Filtración	88
4.	COMPARACION DE LOS PARAMETROS DE DISEÑO DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO DE PAMPLONA CON EL RAS-2000	95

5.	CONCLUSIONES	Pag. 99
6.	RECOMENDACIONES	106
7.	BIBLIOGRAFIA	109
	ANEXOS	111



LISTADO DE FIGURAS

FIGURA 1	Curva de demanda del cloro	Pag. 62
----------	----------------------------	------------

LISTADO DE TABLAS

		Pag.
TABLA 1	Tipo de dosificador y material a emplear con los coagulantes	11
TABLA 2	Tipo de dosificador y material a emplear con los auxiliares de coagulación	16
TABLA 3	Características de la arena, para filtros rápidos	40
TABLA 4	Modalidades de lavado de filtro	45
TABLA 5	Sistemas de drenajes	47
TABLA 6	Especificaciones de la grava de soporte	48
TABLA 7	Valores de $Ct = K$ en mg-min/l para inactivación de quiste Giardia por Cloro libre para log 2	60
TABLA 8	Valores de $Ct = K$ en mg-min/l para inactivación de quiste Giardia por Cloro libre para log 3	61
TABLA 9	Valores de $Ct = K$ en mg-min/l para inactivación de quiste Giardia por Cloro libre para log 4	61
TABLA 10	Nivel de complejidad del sistema	73
TABLA 11	Dotación Neta	73
TABLA 12	Perdidas Técnicas	74
TABLA 13	Valores de K_1	74
TABLA 14	Valores de K_2	74
TABLA 15	Tipos de dosificador que se emplea con los coagulantes	76
TABLA 16	Estado actual de los floculadores	83
TABLA 17	Calculo de las perdidas en los floculadores	85
TABLA 18	Gradiente de velocidad de los floculadores	86
TABLA 19	Análisis de los sedimentadores	86
TABLA 20	Análisis de los filtros	88

LISTADO DE ANEXOS

		Pag.
A	Planta de tratamiento	113
B	Dosificadores	114
C	Canaleta Parshall	115
D	Floculadores	116
E	Sedimentadotes	117
F	Filtros	118
G	Sistema de Cloración	119

TITULO

EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO HIDRÁULICO, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE POTABILIZACIÓN DEL ACUEDUCTO DE PAMPLONA Y COMPARACIÓN CON EL RAS-2000.*

AUTORES

Ing. GRANADOS BECERRA, ALEXI**

Ing. HERNÁNDEZ CARREÑO, CARLOS MIGUEL**

PALABRAS CLAVES

- ❖ **Agua cruda.** Agua superficial o subterránea en estado natural; es decir, que no ha sido sometida a ningún proceso de tratamiento.
- ❖ **Caudal de Diseño.** Caudal estimado con el cual se diseñan los equipos, dispositivos y estructuras de un sistema determinado.
- ❖ **Fuente de Abastecimiento de Agua.** Depósito o curso de agua superficial o subterráneo, natural o artificial, utilizado en un sistema de suministro de agua.
- ❖ **RAS-2000.** Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico, reglamentada mediante la Resolución 1096 del 2000.

DESCRIPCIÓN

El objetivo del trabajo es evaluar las condiciones de diseño hidráulico de la planta de potabilización El Cariongo de la Empresa de servicios públicos EMPOPAMPLONA S.A. E.S.P. del municipio de Pamplona, para cumplir con dicho objetivo se dio inicio con identificar el nivel de complejidad del municipio con respecto a la población reportada para la cabecera municipal según el censo realizado por el DANE en el 2005 que fue de 48575 habitantes, ubicando el sistema en un nivel de complejidad Medio Alto (Según Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS-2000, en su título A), partiendo de este nivel de complejidad se calcularon las pérdidas, dotaciones per capita. Posterior a esto se inicia con la evaluación del dimensionamiento hidráulico de los sistemas de aforo, dosificación de floculantes y niveladores de pH, floculación, sedimentación, filtración y dosificador de desinfectante que forman parte de una planta de tipo convencional. Para este fin se toma como base los métodos y parámetros consignados en el RAS-2000. De esta forma se obtienen una serie de datos que al ser comparados con los parámetros estipulados por el RAS-2000, nos dan una certeza de en que se está cumpliendo y en que se está fallando, para así poder tomar las acciones necesarias para dar cumplimiento a estas.

De este proceso se identificó el principal problema que se encuentra en el aforo del caudal, pues se utiliza la canaleta Parshall para tal fin, encontrándose una falla grave en el ancho de la garganta, pues en planos aparece consignado como de 9" de ancho y en campo solo es de 8,5", esto causa un erróneo aforo del caudal, conllevando a una mala dosificación de los coagulantes y niveladores de pH y generando sobre costos para la empresa.

* Trabajo de Grado

**Escuela de Química, Programa de Especialización en Química Ambiental, Ing. Gonzalo Peña

Ing. ALEXI GRANADOS BECERRA

Ing. CARLOS MIGUEL HERNANDEZ CARREÑO

TITLE

EVALUATION OF THE PARAMETERS OF HYDRAULIC DESIGN, OPERATION AND MAINTENANCE SYSTEM OF PAMPLONA DRINKING ACUEDUCTO AND COMPARISON WITH THE RAS-2000.*

AUTHORS

Ing. GRANADOS BECERRA, ALEXI**

Ing. HERNÁNDEZ CARREÑO, CARLOS MIGUEL**

KEY WORDS

- Raw water. Surface water or groundwater in a natural state, ie, that has not undergone any treatment process.
- Design flow. Estimated flow rate which are designed equipment and structures of a given system.
- Source of Water Supply. Deposit or course of surface water or underground, natural or artificial, used in a water supply system.
- RAS-2000. Technical regulation of the sector of drinking water and basic sanitation, regulated by Resolution 1096 of 2000.

DESCRIPTION

The objective of this study is to assess the conditions of hydraulic design of water treatment plant on Enterprise Cariongo The utility EMPOPAMPLONA SA E.S.P. the municipality of Pamplona, to meet that goal began with identifying the level of complexity of the municipality with regard to the population reported to the municipal census conducted by DANE in 2005 which was 48,575 inhabitants, placing the system at a level of complexity Middle High (As Sectors Technical Regulations drinking water and basic sanitation RAS-2000, as kenny A), starting from this level of complexity the losses were calculated, endowments per capita. Post-it begins with assessing the sizing of hydraulic systems for gauging dosage of flocculants and pH levels, flocculation, sedimentation, filtration and dispenser of disinfectant that are part of a conventional plant. To this end, takes as its basis the methods and parameters set forth in RAS-2000. This will get a set of data to be compared with the parameters set by the RAS-2000, give us an assurance that this honor and that this was wrong, so they can take the actions necessary to comply these.

This process identified the main problem lies in gauging the flow, since the tray is used for this purpose Parshall, found a serious flaw in the width of the throat, as shown in planes recorded as of 9 "wide and Field is only 8.5 ", this causes a wrong gauging the flow, leading to a bad dose of coagulants and pH levels and on generating costs for the company.

* Working Grade

** School of Chemistry, Specialization Program in Environmental Chemistry, Ing. Gonzalo Pena

Ing. ALEXI GRANADOS BECERRA

Ing. CARLOS MIGUEL HERNANDEZ CARREÑO

DEDICATORIA

A Dios con imperiosa devoción, por habernos permitido entendimiento, intelecto y conocimiento en el desarrollo del planteamiento propuesto como aporte valioso a la sociedad.

A nuestros padres por habernos legado la seguridad, la responsabilidad y el decoro frente al ejercicio de nuestras obligaciones



ESPECIALIZACION EN QUIMICA AMBIENTAL TRABAJO DE MONOGRAFIA

AGRADECIMIENTOS

Especialmente al Ingeniero Gonzalo Peña, pues gracias a su paciencia, indicaciones y guías contribuyeron para que pudiéramos obtener este tan anhelado título.

A la Doctora Marianny Y. Combarías y al Ingeniero Jairo Puente por motivarnos cada día tomar mas conciencia de la importancia de mantener un ambiente sano y desarrollar nuestras actividades de una forma más amigable con el medio ambiente.

Ing. ALEXI GRANADOS BECERRA
Ing. CARLOS MIGUEL HERNANDEZ CARREÑO

1. MARCO REFERENCIAL

1.1 ANTECEDENTES

No existen trabajos anteriores relacionados con el tema que se desarrolló.

1.2 MARCO HISTORICO

Geográficamente, la ciudad de Pamplona esta localizada a 72° 23' Latitud Norte, en la zona centro-oriente del Departamento Norte Santander. Se encuentra situada a 2.287 metros sobre el nivel del mar.

La empresa EMPOPAMPLONA S.A E.S.P., fue creada mediante Escritura Pública N° 434 del 20 de Diciembre de 1963. Como Acueducto y Alcantarillados de Pamplona, siendo la respuesta a una necesidad de la ciudad de tener un buen servicio de acueducto, manifestada en le Paro Cívico del año 1962, donde la comunidad exigió la desmembración de éste servicio de ACUANORTE S.A.

El objeto de la sociedad es: *“El estudio, proyecto, construcción y explotación del Acueducto y Alcantarillado de la Ciudad de Pamplona”*. En desarrollo de éste objeto social, la entidad contó con el concurso técnico y administrativo del Instituto Nacional de Fomento Municipal (INSFOPAL), por lo cual las decisiones que se tomaran en esta materia para su validez deberían contar con la aprobación de éste Instituto.

En el año de 1977 y debido a las normas establecidas en el Decreto 2804 de 1975 que reglamentaba el INSFOPAL, por medio de la Escritura Pública N° 387 del mismo año, se transformó la sociedad de Empresas Industriales y Comercio del Estado del ámbito Municipal y cambia su razón social por la Empresa de Obras Sanitarias de Pamplona S.A.

El 11 de Julio de 1994, se expidió la Ley 142 referente a los Servicios Públicos Domiciliarios y en ella se consagró darles a las Empresas organización de compañías privadas. Así mismo, se estableció la elección de la Junta Directiva por parte de la Asamblea General de la Accionista y el nombramiento del Gerente por parte de la Junta Directiva. A través de la Escritura Pública N° 565 del 25 de Agosto de 1995, se hizo el ajuste organizacional de la Empresa a las normas de la ley precitada.

EMPOPAMPLONA S.A E.S.P., tiene como objeto *“La prestación de los Servicios Públicos Domiciliarios de Acueducto, Alcantarillado y Aseo en la Ciudad”* . En la vida institucional de casi 40 años de servicio a los

pamploneses, la empresa trabaja día a día para elevar el nivel de vida de los habitantes de la ciudad, garantizándoles la prestación de los servicios públicos básicos con los más altos niveles que los medios les prevén para dar en sus servicios Calidad, Eficiencia y Eficacia.

La planta de tratamiento de agua potable está ubicada en el barrio Cariongo, al sur de la ciudad. Fue puesta en marcha en el año 1945, lleva un periodo de funcionamiento de 57 años y diseñada en un principio para un caudal de 70 l/s, en donde solo se le realizaba un tratamiento de sedimentación y luego el agua cruda era distribuida a los usuarios de las partes bajas de la ciudad por gravedad. La planta se abastecía de la quebrada Cariongo.

Fue completada a lo largo de todos los años hasta tener una planta con todos los procesos unitarios convencionales, se implementaron nuevas cámaras de floculación y se amplió su capacidad de tratamiento a 200 l/s, además se incluyeron como fuentes de abastecimiento las quebradas del Rosal, El Mono y Potreritos.

En 1998 la empresa con colaboración de la alcaldía municipal en cabeza del alcalde Jorge Andrés Rojas Pacheco, encamino esfuerzos al mejoramiento de la infraestructura de la planta de tratamiento y redes de distribución.

En el laboratorio además de los elementos tradicionales, se cuenta con un espectrofotómetro Nova y de un micro molinete portátil para realizar aforos en las diferentes fuentes de abastecimiento.

El acueducto tiene una cobertura doméstica del 94.62%, una cobertura poblacional del 90.76%. La longitud actual de la red es de 84.81% Km, cuenta con 14 tanques de almacenamiento con una capacidad total de 3532 metros cúbicos, cuenta con 7 estaciones de bombeo para distribuir el agua en las partes altas de la ciudad. Existen 11 acueductos comunales que prestan el servicio a 167 viviendas que por diversas razones no se han conectado a las redes de distribución principal. El tipo de tuberías presentes son de PVC en un 54.98%, tubería de hierro fundido 26.17% y tubería de asbesto-cemento en un 18.85%.

1.3 MARCO CONCEPTUAL

Para interpretar y aplicar el presente trabajo debe tenerse en cuenta las siguientes definiciones:

- ❖ **Acueducto.** Conjunto de obras, equipos y materiales utilizados para la captación, aducción, conducción, tratamiento y distribución del agua potable para consumo humano.
- ❖ **Agua cruda.** Agua superficial o subterránea en estado natural; es decir, que no ha sido sometida a ningún proceso de tratamiento.
- ❖ **Agua Potable.** Agua que por reunir los requisitos organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos es apta y aceptable para el consumo humano y cumple con las normas de calidad de agua.
- ❖ **Caudal de Diseño.** Caudal estimado con el cual se diseñan los equipos, dispositivos y estructuras de un sistema determinado.
- ❖ **Caudal Máximo Diario.** Consumo máximo durante 24 horas, observado en un periodo de un año sin tener en cuenta las demandas contra incendio que se hayan presentado.
- ❖ **Caudal Máximo Horario.** Consumo máximo durante una hora, observado en un periodo de un año sin tener en cuenta las demandas contra incendio que se hayan presentado.
- ❖ **Coefficiente de Rugosidad.** Medida de la rugosidad de una superficie, que depende de el material y del estado de la superficie interna de la tubería.
- ❖ **Conducción.** Componente a través del cual se transporta agua potable, ya sea a flujo libre o presión.
- ❖ **Desinfección.** Proceso físico o químico que permite la eliminación o destrucción de los organismos patógenos presentes en el agua.
- ❖ **Evaluación de Impacto Ambiental (EIA).** Estudio al que deben estar sujetos todos los proyectos durante las etapas de diseño, construcción, operación y mantenimiento con respecto a su impacto en el ambiente.
- ❖ **Flujo a Presión.** Aquel transporte en el cual el agua presenta una superficie libre donde la presión es igual a la presión atmosférica.

- ❖ **Fuente de Abastecimiento de Agua.** Depósito o curso de agua superficial o subterráneo, natural o artificial, utilizado en un sistema de suministro de agua.
- ❖ **Macromedición.** Sistema de medición de grandes caudales, destinados a totalizar la cantidad de agua que ha sido tratada en una planta de tratamiento y la que esta siendo transportada por la red de distribución en diferentes sectores.
- ❖ **Medio Ambiente.** Sistema global constituido por elementos naturales y artificiales de naturaleza física, química, biológica y socio-culturales, en permanente modificación por la acción humana y natural que rige y condiciona la existencia y desarrollo de la vida en todas las manifestaciones.
- ❖ **Micromedición.** Sistema de medición del volumen de agua consumida en un determinado periodo de tiempo por cada suscriptor , de un sistema de acueducto.
- ❖ **Pérdidas Menores.** Pérdida de energía causada por accesorios o válvulas en una conducción de agua.
- ❖ **Pérdidas por Fricción.** Pérdida de energía causada por los esfuerzos cortantes del flujo en las paredes de un conducto.
- ❖ **Planta de Potabilización.** Instalaciones necesarias de tratamientos unitarios para purificar el agua de abastecimiento para una población.
- ❖ **RAS-2000.** Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico, reglamentada mediante la Resolución 1096 del 2000.
- ❖ **Sedimentación.** Proceso en el cual los sólidos suspendidos en el agua se decantan por gravedad.
- ❖ **Tubería.** Ducto de sección circular para el transporte del agua.

1.4 BASES TEÓRICAS

1.4.1 coagulación - mezcla rápida

1.4.1.1 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.

1.4.1.2 clasificaciones 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.

1.4.1.3 Descripción de los procesos.

1.4.1.3.1 dosificación

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 estequiometría 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.

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. RAS-2000.

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 flóculo 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.

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. RAS-2000. Sistemas de Potabilización Página C.38

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, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, 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.

1.4.1.3.2 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.

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. RAS-2000. Sistemas de Potabilización. Página C.39. 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.

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.

1.4.1.4 parámetros de diseño

A. Dosificación

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. RAS-2000. Sistemas de Potabilización Página C.40. 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 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.

Productos auxiliares

1. Concentración y dosificación

La concentración y la dosificación de los productos auxiliares deben 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 Ca(OH)_2
- ❖ Cal-lechada suspensión Ca(OH)_2
- ❖ Carbonato de sodio
- ❖ Silicato de sodio
- ❖ Sílica activada

TABLA 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. RAS-2000. Sistemas de Potabilización Página C.41

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 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 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		
Carbonato de sodio	Dosificador en seco o en solución	Acero galvanizado, plásticos	Concreto revestido, Acero, caucho, madera
Silicato de sodio	Dosificador de solución	Caucho, acero	
Silica activada		Plástico	

B. Mezcla rápida

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

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 aprox. 0.75 l/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. RAS-2000. Sistemas de Potabilización Página C.42

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.

4. Mezcladores estáticos de inserción

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

5. 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 (G) entre 500 s^{-1} y 2000 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

1.4.1.5 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. RAS-2000. Sistemas de Potabilización Página C.43

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.

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 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.

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. RAS-2000. Sistemas de Potabilización Página C.44

5. Debe ajustarse el gradiente medio de velocidad (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.

1.4.2. Floculación

1.4.2.1 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.

1.4.2.2 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.

1.4.2.3 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 G en el mismo sitio. RAS-2000.

1.4.2.3.1 Floculadores hidráulicos.

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.

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.

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.

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.

1.4.2.3.2 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.

1.4.2.4. 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.

Floculadores hidráulicos

Deben diseñarse teniendo en cuenta los siguientes criterios:

A. 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 (G) debe estar entre 20 s^{-1} y 70 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 m/s a 0.6 m/s .

B. 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 m/s y 0.2 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 flóc en los cambios de dirección

3. Gradiente de velocidad y tiempo de detención

El gradiente de velocidad debe estar entre 20 s⁻¹ y 70 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. Floculador flujo helicoidal

1. Dimensionamiento

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

Floculadores mecánicos

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 s⁻¹ a 75 s⁻¹.

2. Velocidad periférica

La velocidad periférica máxima en la punta de la paleta para los floculadores de alta energía debe ser 3 m/s y para los floculadores de baja energía de 0.3 m/s a 0.75 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.

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.

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.

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.

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 deben 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 s⁻¹. Por lo tanto debe calcularse el gradiente en cada caso.

1.4.2.5 Control de los procesos y operación

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.

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.

1.4.3. Sedimentación

1.4.3.1 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.

1.4.3.2 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.

1.4.3.3. 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.

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 m³/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.

Acceso a la unidad

Todos los sistemas de sedimentación deben 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.

1.4.3.3.1 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.

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.

1.4.3.3.2 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.

1.4.3.3.3 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 efectúen 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.

1.4.3.4 Parámetros de diseño

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:

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

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.

A. 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 m³/(m².día) y 30 m³/(m².día), máximo 60 m³/(m².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 40m.

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.

B. 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 m³/(m².día) para placas angostas y de 200 a 300 m³/(m².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.

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 4.0m y 7.0m.
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.

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.

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.

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.

1.4.3.5 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.

Operación de las unidades de sedimentación

A. 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.
 - B. 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 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. 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.

Control del proceso

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

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.

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 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.
- d) Determinación del peso específico de los lodos.

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 suspendida, lo ideal es conseguir una concentración uniforme en todo el manto.

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.

4. 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 barrelados, 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.

1.4.4 Filtración

1.4.4.1 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.

1.4.4.2 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.

1.4.4.3 Descripción de los procesos

Sistemas de control del flujo

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

1.4.4.3.1 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.

1.4.4.3.2 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.

Pérdida de carga variable, nivel variable, tasa declinante con vertedero de control El afluyente 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.

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.

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.

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.

3. Filtros lentos

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.

4. 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.

1.4.4.4. Parámetros de diseño

Filtros rápidos

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 3.

TABLA 3. 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.
- Cuando se pueda operar con periodos cortos de filtración y no sea importante el ahorro de agua de lavado.
- 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:

- Cuando el pretratamiento sea satisfactorio.
- Cuando no se requiera un alto grado de remoción.
- Cuando se requieran periodos largos en los filtros y ahorro de agua de lavado.
- 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 un densidad no inferior a 1450 kg/m³ 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: d₁) sea como máximo cuatro a seis veces mayor que el diámetro del medio menor de arena (d₂) que va debajo. ($d_1 = 4 \text{ a } 6 d_2$).

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.

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 Te de 0.45 mm a 0.55 mm y una profundidad máxima de 0.75 m, la tasa debe ser inferior a 120 m³/(m².día).

2. Para lechos de antracita sobre arena y profundidad estándar, la tasa máxima es de 300 m³/(m².día), siempre y cuando la calidad del flóc 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 m³/(m².día).

Tasas de filtración mayores a 360 m³/(m².día) deben determinarse en filtros pilotos, siempre que la calidad del flóc lo permita.

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.

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.

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.

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.m²) 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 m³/(m².min). El agua debe aplicarse a una velocidad de máximo 0.3 m³/(m².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 4.

TABLA 4. 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.				

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. RAS-2000. Sistemas de Potabilización.

- 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.

En la tabla 5. Se especifican los tipos de drenajes aceptados.

TABLA 5. 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

Filtros lentos

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 (CO₂) 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.

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 6. Se establecen especificaciones para este medio de soporte.

TABLA 6. Especificaciones de la grava de 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

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.

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 lo canales deben ir suspendidos dejando ranuras de 20 mm para el paso del agua filtrada.

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.

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.

1.4.4.5 Control de los procesos y operación

Filtro rápido

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.

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.

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 4.

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 le 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.

Control de la calidad del proceso

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.

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

$$(\%)Eficiencia = \frac{Turbiedad(afluente)}{Turbiedad(afluente) - Turbiedad(efluente)} * 100$$

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.

1.4.5 DESINFECCIÓN

1.4.5.1 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.

1.4.5.2 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.

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.

1.4.5.3 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:

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:

1.4.5.3.1 Cloro gaseoso (Cl_2) 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 otro 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.

1.4.5.3.2 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 (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.

1.4.5.3.3 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.

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:

Las de hidrólisis.

Al agregar cloro al agua, lo primero que ocurre es que este se hidroliza para producir ácido hipocloroso HOCl e ion hipoclorito OCl^- . A estos compuestos se les llama cloro libre el cual es un desinfectante muy activo.

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 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 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 (CHCl_3), dibromoclorometano (CHClBr_2), diclorobromometano (CHCl_2Br), bromoformo (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.

1.4.5.3.4 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 ClO_2 al final de la red, por lo que algunas veces se requiere altas dosis del desinfectante, debido a la reducción del ClO_2 por la materia orgánica del agua (COD). Debe tenerse en cuenta que su empleo puede producir el ión 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 ClO_3^-

- (clorato). Se recomienda una concentración total en ClO_2 , ClO_2^- y ClO_3^- menor a 1 mg/L.

1.4.5.3.5 Ozonación. Puede esterilizarse el agua por medio de ozono (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 O_3 . Se recomienda mantener una concentración residual de 0.2 a 0.4 mg/L durante 4 minutos.

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.

1.4.5.3.6 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.

1.4.5.4 Parámetros de diseño

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

Ing. ALEXI GRANADOS BECERRA
Ing. CARLOS MIGUEL HERNANDEZ CARREÑO

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 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 da 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 7.

TABLA 7. 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

RAS-2000. Sistemas de Potabilización. Página C.80

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 8.

TABLA 8. 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	29	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 9.

TABLA 9. 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

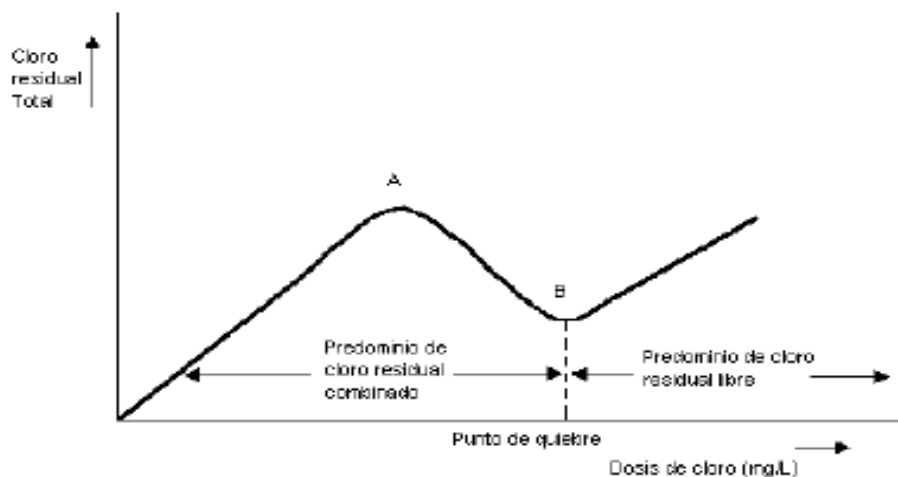
RAS-2000. Sistemas de Potabilización. Página C.81

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.

1.4.5.4.1 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 1. Debe determinarse la relación de $Cl_2:N$ 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 1. Curva de demanda de cloro



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.

Punto de aplicación

El cloro debe aplicarse en un punto donde provea una mezcla óptima y asegure un máximo tiempo de contacto.

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. RAS-2000. Sistemas de Potabilización.

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

Cloradores

Para la aplicación del cloro gaseoso, pueden usarse los cloradores tipo directo y cloradores del tipo de solución al vacío.

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 kg/cm².

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).

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.

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.

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.

1.4.5.5 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 las 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.

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.

Dosificación

Debe estudiarse si el agua requiere precloración y postcloración o solo postcloración, éste 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 rechloraciones 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 toda el agua a tratar.

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.

1.5 MARCO LEGAL

- ❖ **Ley 09 de 1979**, por el cual se expide el Código Sanitario Nacional
- ❖ **Ley 373 de 1997**, por el cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua.
- ❖ **Ley 388 de 1997**, nueva reforma urbana – P.O.T.
- ❖ **Ley 99 de 1993**, por el cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente
- ❖ **Decreto 475 de 1998**, del Ministerio de Salud Pública y de Desarrollo Económico, por el cual se expide normas sobre calidad de agua potable.

- ❖ **Decreto 1594 de 1984**, por el cual reglamenta parcialmente la Ley 9 de 1979 y el decreto 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos.
- ❖ **Decreto 118 de 2003, que deroga al decreto 1728 de 2002**, del Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, por el cual reglamenta sobre licencias ambientales.
- ❖ **Resolución 1096 de 2000**, del Ministerio de Desarrollo Económico, por el cual se expide el Reglamento Técnico del sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS-2000).
- ❖ **Decreto 1575 de 2007 y resolución 2115 de 2007**

2. DISEÑO METODOLOGICO

2.1 METODOLOGIA

El tipo de estudio a realizar es evaluativo, ya que es el más empleado para este tipo de trabajo donde se especifican los diferentes parámetros de diseño o estructuras que no se encuentran dentro de los parámetros establecidos por el RAS-2000. Además se realizará un análisis de las operaciones y mantenimientos desarrollados para identificar los posibles impactos que estén causando y poder recomendar una serie de actividades para corregir, evitar o mitigar tales impactos.

Para obtener los diferentes parámetros de diseño de las unidades de potabilización se confirmara la información consignada en los planos con los que cuenta la empresa y además se adelantaran levantamientos en la planta para confirmar la veracidad de los mismos.

2.2 RECOLECCION DE LA INFORMACION

Se dará inicio con la revisión bibliográfica de la empresa, y el estudio de los planos de la planta. Posteriormente se realizará y una visita a la planta para verificar la información recolectada y constatar personalmente la ejecución de los programas de mantenimiento y operación.

2.3 ESTADO ACTUAL.

El sistema de producción de agua potable para el municipio de Pamplona, consta de:

Planta de Tratamiento. Tiene una capacidad instalada de 200 l/s, para todo el sistema de tratamiento. Cuenta con mezcla rápida, utilizando el resalto hidráulico de la canaleta PARSHALL, que sirve también como medidor del canal de entrada. El sistema ha sido dividido en dos (2) líneas de flujo a partir de la floculación; la primera con seis (6) cámaras y la segunda con diez (10) cámaras. La filtración se lleva a cabo mediante dos filtros rápidos, de arena antracita y gravas de soporte cuyo lavado se hace por el sistema de retrolavado, de flujo ascendente mediante un tanque de carga. La desinfección se realiza mediante la aplicación de sustancias químicas como el cloro gaseoso para eliminar a agentes patógenos, capaces de producir infecciones o enfermedades en el ser humano.

3. EVALUACION HIDRAULICA DE LA PLANTA DE TRATRAMIENTO EL CARIONGO

3.1 CARACTERISTICAS DE LA PLANTA.

Ing. ALEXI GRANADOS BECERRA
Ing. CARLOS MIGUEL HERNANDEZ CARREÑO

Tipo de planta: Convencional (Ver Anexo A)

Capacidad instalada: 200 l/s,

Ubicación: Barrio el Cariongo al sur de la ciudad

Altura: 2313,78 metros sobre el nivel del mar.

Temperatura media: 8°C

Tiempo de operación: 56 años.

Medición de caudal: Con canaleta Parshall de 8,5" de garganta.

Mezcla rápida: se aprovecha el resalto hidráulico producido por la canaleta Parshall.

Dosificación de químicos: se utiliza; Sulfato de Aluminio tipo B y Cal,

Floculación: Dos módulos hidráulicos tipo Alabama de flujo Helicoidal, el primero con 5 y 10 cámaras respectivamente. El segundo tren cuenta con floculadores combinados de tipo Alabama y de flujo Helicoidal con 2 y 8 cámaras.

Sedimentación: Dos unidades de alta tasa con pantallas de asbesto cemento a 60° con 1 cm de espesor y 7cm de separación, los dos sedimentadores reciben el agua mediante canales abiertos.

Filtración: Dos unidades de filtración rápida con lecho mixto de arena antracita.

Desinfección: Se utiliza cloro gaseoso. (Ver Anexo G)

La planta fue evaluada bajo los principales parámetros de diseño contemplados en el RAS-2000 en su título C, capítulos 4 al 8, 14 y 17.

3.2 PARAMETROS DE DISEÑO PARA PLANTA DE POTABILIZACION DE PAMPLONA

Adoptado del título C, Sistemas de Potabilización, Reglamento técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS-2000, del Ministerio de Desarrollo Económico de Colombia.

La información utilizada para realizar la comparación con el RAS-2000 se obtuvo por distintas fuentes entre las cuales están principalmente los planos de la planta, levantamientos realizados en las estructuras, el PMA de la empresa e información suministrada por ingenieros y operarios de la planta. Del censo realizado en el 2005 por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) arrojó que la población del municipio de Pamplona es de 48575 habitantes en la cabecera municipal, por lo tanto de la tabla 10 se lee que el nivel de complejidad es medio alto.

3.2.1 Nivel de complejidad, dotación y demanda

Tabla 10. Nivel de complejidad del sistema

Nivel de complejidad	Población en la zona Urbana (habitantes)	Capacidad Económica del los usuarios
Bajo	< 2500	Baja
Medio	2501 a 12500	Baja
Medio Alto	12501 a 60000	Media
Alto	> 60000	Alta

Fuente RAS-2000, Título A

Tabla 11. Dotación Neta

Nivel de complejidad	Dotación Neta mínima, L/hab*día	Dotación Neta máxima, L/hab*día
Bajo	100	150
Medio	120	170
Medio Alto	130	-
Alto	150	-

Fuente RAS-2000, Título B

Tabla 12. Perdidas Técnicas

Nivel de complejidad	% máximo admisible de perdidas técnicas
Bajo	40
Medio	30
Medio Alto	25
Alto	20

Fuente RAS-2000, Título B

Dotación Bruta

La dotación bruta se calcula con la siguiente ecuación:

Ing. ALEXI GRANADOS BECERRA

Ing. CARLOS MIGUEL HERNANDEZ CARREÑO

$$\text{Dotación bruta} = \frac{\text{Dotación neta}}{1 - \text{pérdidas técnicas}}$$

Dotación Neta 200 L/s
Perdidas Técnicas 25%

$$\text{Dotación bruta} = 233 \frac{\text{L}}{\text{hab}\cdot\text{día}}$$

Caudal medio diario

El caudal medio diario se calcula con la siguiente ecuación:

$$\text{Caudal medio diario} = \text{Población de diseño} * \text{Dotación bruta} / 86400$$

Población de diseño: Según el último censo del DANE el municipio de Pamplona presenta en su casco urbano 48575 habitantes (censo del 2005), con una tasa de crecimiento del 0,84% y horizonte de 23 años será de 58880 habitantes a 2028.

Calculo de la dotación básica

$$\text{Caudal medio diario} = 159 \frac{\text{L}}{\text{seg}}$$

Tamaño de la planta

$$Q_{\text{medio}} = 159 \frac{\text{L}}{\text{seg}}$$

$$5\% \text{ Perdidas planta} = 7,95 \frac{\text{L}}{\text{seg}}$$

$$5\% \text{ Perdidas conducción} = 7,95 \frac{\text{L}}{\text{seg}}$$

$$Q_{\text{medio diario}} = 175 \frac{\text{L}}{\text{seg}}$$

$$\text{Tamaño de la planta} = Q_{\text{md}} \times k_1 \times 1,2$$

$$= 210 \frac{\text{L}}{\text{seg}}$$

Tabla 13. Valores de K_1

Nivel de complejidad	K_1
Bajo	1,3
Medio	1,3
Medio Alto	1,2
Alto	1,2

Fuente RAS-2000, Título B

Caudal máximo horario

El caudal máximo horario se calcula con la siguiente ecuación:

$$\text{Caudal máximo horario} = K_2 * \text{Caudal medio diario}$$

Tabla 14. Valores de K_2

Nivel de complejidad	K_1
Bajo	1,6
Medio	1,6
Medio Alto	1,5
Alto	1,5

Fuente RAS-2000, Titulo B

$$\text{Caudal máximo horario} = 262,5 \frac{\text{L}}{\text{seg}}$$

Necesidades Actuales

$$P_{2008} = P_{2005}(1+r)^n$$

$$P_{2008} = 48575 (1+0.0084)^3$$

$$P_{2008} = 49809 \text{ hab}$$

Tamaño de la planta a este año

$$\begin{aligned} \text{Caudal medio actual} &= 49809 \times 233 / 86400 \\ &= 134 \frac{\text{L}}{\text{seg}} \\ &= 134 + 13 \text{ de perdidas} \end{aligned}$$

$$\text{Caudal Actual} = 147 \times 1,2 = 177 \frac{\text{L}}{\text{seg}}$$

Planta nueva

$$Q = 80 \frac{\text{L}}{\text{seg}}$$

Planta Cariongo

$$Q = 177 - 80 = 97 \frac{\text{L}}{\text{seg}}$$

La planta Cariongo debe tratar actualmente 97 l/s para suplir las necesidades actuales.

3.2.2 Dosificación

Tabla 15. Tipos de dosificador y material que se va a emplear con los coagulantes

Coagulante	Tipo de dosificador	Material	
		Tuberías	Tanques y dosificadores
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 anhidro	Dosificador en solución con tanque.	Plástico, PVC.	
Sulfato férrico	Dosificadores en seco o en solución con tanque y agitador.	Caucho, Plástico, PVC.	Concreto revestido, acero inoxidable.
Sulfato ferroso	Dosificadores en seco o en solución con tanque y agitador.	Caucho, Plástico, PVC.	Concreto revestido, acero inoxidable.
Aluminato de aluminio	Dosificadores en seco o en solución con tanque y agitador.	Caucho, Hierro Fundido, Plástico	Hierro, Concreto, acero inoxidable.

Fuente Purificación del agua, Jairo Alberto Romero Rojas, 2ª Edición, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. 2006.

Los dosificadores son en seco de bandeja oscilante y método vibratorio con un tiempo de reacción óptimo de 5 segundos aproximadamente, mezclando el sulfato de aluminio con agua en un tanque de disolución metálico cubierto con pintura bituminosa y la cal en tanque de mezcla igual a la del sulfato de aluminio.

El dosificador del sulfato de aluminio es de marca Carper, trabaja con mecanismo de balanceo, el dosificador de la cal viva es de la misma marca, pero con mecanismo de vibración. (Ver Anexo B)

3.2.3 Mezcla Rápida. Para el mezclado de coagulante y auxiliares de la coagulación se emplea la canaleta Parshall como mezclador hidráulico.

3.2.3.1 Calculo de diseño de la Canaleta Parshall. (Ver anexo C)

La canaleta afora aproximadamente un caudal medio de 180 l/s, a una temperatura mínima de 8 grados Celsius.

Dimensionamiento de la canaleta Parshall que sirve como aforador y realiza la mezcla rápida:

Aplicando Bernoulli

Se calcula W_a :

Ancho de garganta $W = 0,2159$

$$W_a = \frac{2 * (D - W)}{3} + W$$

$$W_a = 0,451 \text{ m}$$

$$W = 0,2159 \text{ m (planos)}$$

$$D = 0,575 \text{ m (planos)}$$

Calculo de h_a :

$$Q = 4W * h_a^{1.522 * W^{0.026}}$$

$$Q = 2,84 * h_a^{1.508}$$

$$h_a = 1,829 \text{ pie} \approx 0,557 \text{ m}$$

$$W = 0,71 \text{ pie}$$

Cálculo de V_a :

$$V_a = \frac{Q}{W a} * h_a$$

$$V_a = 0,79 \text{ m/s}$$

Cálculo de energía mediante Bernoulli:

$$E_1 = \frac{V_a^2}{2g} + h_a + N$$

$$E_1 = 0,702$$

V_a = Velocidad a la entrada de la canaleta 0,79 m/s

h_a = Lamina de agua a la entrada de la canaleta 0,557 m

$N = 0,114$ (planos)

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$

Inmediatamente antes del resalto se aplica Bernoulli:

$$E_2 = \frac{V_2^2}{2g} + h_2$$

$$V_2 = \frac{Q}{W} * h_2$$

$$V_2 = \frac{0,20 \text{ m}^3/\text{s}}{0,2189 \text{ m}} * h_2$$

$E_2 = E_1$ (despreciando perdidas por fricción entre 1 y 2)

Reemplazando

$$0,702 = \left[\frac{0,20^2}{0,2189^2} * h_2^2 * 2 * 9,8 \right] + h_2$$

$$0 = h_2^3 - 0,702 h_2^2 + 0,04373$$

$$h_2 = 0,354 \text{ m}$$

Cálculo de h_b :

$$h_b = h_2 - N$$

$$h_b = 0,24 \text{ m}$$

$$h_2 = 0,354 \text{ m}$$

$$N = 0,114 \text{ m}$$

Chequeo del grado de sumergencia:

$$S = \frac{h_b}{h_a}$$

$$S = 0,43 < 0,60$$

La canaleta Parshall trabaja a flujo libre, por lo que sirve como aforador.

Aplicando la formula de resalto hidráulico:

$$\frac{h_3}{h_2} = \frac{1}{2} * (\sqrt{1 + 8F_2^2} - 1)$$

Reemplazando tenemos que

$$V_2 = 2,61 \text{ m/s}$$

$$F_2^2 = \frac{V_2^2}{(h_2 * g)}$$

$$F_2^2 = 1,96 \text{ de donde,}$$

$$F = 1,40 \text{ (resalto inestable)}$$

Reemplazando en la ecuación de resalto hidráulico, despejando h_3 :

$$h_3 = 0,54 \text{ m}$$

$$h_4 = h_3 - (N-K)$$

$$h_4 = 0,47 \text{ m}$$

$K = 0,038$ m (planos)

$N = 0,114$ m (planos)

Por formarse el resalto muy cerca de la salida de la garganta, se puede considerar que la cabeza de posición es cero.

Cálculo del gradiente de velocidad, G:

$$V_3 = \frac{Q}{W} * h_3$$

$V_3 = 1,69$ m/s

$$V_4 = \frac{Q}{C} * h_4$$

$V_4 = 1,12$ m/s

$C = 0,38$ cm (planos)

$$V_m = \frac{(V_3 + V_4)}{2}$$

$V_m = 1,40$ m/s

$$t_d = \frac{G'}{V_m}$$

$t_d = 0,33$ s

$G' = 0,457$ (planos)

$$E_1 = E_4 + \Delta h$$

$$\frac{V_a^2}{2g} + h_a + N = \frac{V_4^2}{2g} + h_4 + (N - K) + \Delta h$$

$V_a = 0,79$ m/s

$h_a = 0,557$ m

$N = 0,114$ m

$$V_4 = 1,12 \text{ m/s}$$

$$h_4 = 0,47 \text{ m}$$

$$K = 0,038 \text{ m}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

Despejo Δh :

$$\Delta h = 0,093 \text{ m}$$

Se halla el gradiente:

$$G = \sqrt{\frac{\gamma * \Delta h}{\mu * t_d}}$$

$$G = 1534,04 \text{ s}^{-1}$$

$$\gamma = 999,13 \text{ kg*f/m}^3$$

$$\Delta h = 0,093 \text{ m}$$

$$\mu = 0,0001168 \text{ kg*f*s/m}^2$$

$$t_d = 0,33 \text{ s}$$

Según la recomendación del rango de gradiente de CEPIS, $1000 < G < 2000 \text{ s}^{-1}$, por lo tanto $G = 1564$, cumple.

Calculo de X:

$$h_5 = 0,67 \text{ m (se fija con la estructura aguas a bajo)}$$

$$X = h_5 - h_4$$

$$X = 0,20 \text{ m}$$

Se recomienda para X un factor de seguridad del 10%, por lo tanto:

$$X = 0,22 \text{ m}$$

3.2.3.2 Calculo de los Floculadores. (Ver anexo D)

Cada unidad de floculación trabaja con el 50 % (dato suministrado por operarios en la planta), del caudal tratado que en este caso son 160 l/s, luego cada unidad de floculación trabaja con 80 l/s, esto para efecto de los cálculos que a continuación se presentan.

En la tabla 16 se presenta un análisis de las condiciones actuales de dimensionamiento, volúmenes y tiempo de retención para un caudal de 80 l/s de los floculadores.

Tabla 16. Estado actual de los floculadores

Unidad	Cámara	Tipo	Sección	Dimensiones			Volumen m ³	Tiempo de Retención (min)
				Largo	Ancho	Prof.		
1	1	Alabama		1,76	2,72	3,3	15,79	3,28
	2	Alabama		2,15	2,72	3,3	19,29	4,02
	3	Helicoidal	1	0,86	2,72	3,3	7,72	1,6
			2	0,86	2,72	3,3	7,72	1,6
	4	Alabama		2,21	2,72	3,3	19,83	4,13
	5	Alabama		1,31	2,06	3,3	8,9	1,85
	8	Alabama		1,31	2,55	3,3	11,02	2,29
Total							18,78	
2	6	Helicoidal	1	1,31	0,98	3,3	4,23	0,88
			2	1,31	0,98	3,3	4,23	0,88
	7	Alabama		1,31	2,06	3,3	8,9	1,85
	9	Helicoidal	1	1,31	1,225	3,3	5,29	1,1
			2	1,31	1,225	3,3	5,29	1,1
	10	Helicoidal	1	1,31	1,225	3,3	5,29	1,1
			2	1,31	1,225	3,3	5,29	1,1
	11	Helicoidal	1	1,31	1,225	3,3	5,29	1,1
			2	1,31	1,225	3,3	5,29	1,1
	12	Alabama		1	1,8	3,3	5,94	1,23
	13	Helicoidal	1	1,31	0,85	3,3	3,67	0,76
			2	1,31	0,85	3,3	3,67	0,76
	14	Helicoidal	1	1,31	0,85	3,3	3,67	0,76
			2	1,31	0,85	3,3	3,67	0,76
	15	Helicoidal	1	1,31	0,85	3,3	3,67	0,76
			2	1,31	0,85	3,3	3,67	0,76
16	Helicoidal	1	0,6	1,8	3,3	3,56	0,74	
		2	0,6	1,8	3,3	3,56	0,74	
Tota							17,48	

Calculo de las perdidas.

La unidad uno y dos se fraccionan en tres divisiones para el cálculo de las perdidas así:

Unidad 1

División A: Comprendidas por las cámaras 8, 5, 1 y 2

División B: Comprendida por la cámara 3

División C: Comprendida por la cámara 4

Unidad 2

División A: Comprendida por la cámara 12

División B: Comprendida por las cámaras 13, 14, 15, 16, 11, 10, 9 y 6

División C: Comprendida por la cámara 7

La ecuación utilizada para el cálculo de las perdidas es:

$$\Delta h = (V^n / R_h^{0,67})^2 * L + K_1 * V_{ori}^2 / 2g + K_2 * V_{ver}^2 / 2g$$

V = Velocidad

n = Coeficiente de Manning (concreto 0,013)

R_h = Radio hidráulico

L = longitud

K₁ = Constante Empírica igual a 2,0

K₂ = Constante Empírica igual a 1,0

V_{ori} = Velocidad en el orificio

V_{ver} = velocidad en el vertedero

g = Aceleración de la gravedad 9,81 m/s²

Tabla 17. Calculo de perdidas en los floculadores.

Unidad	Tipo	División	Cámara	Σ Perdidas por paso de vertedero y fricción	Perdidas por paso de orificio	Pérdidas Totales
1	Alabama	A	8	0,001	0,004	0,005
	Alabama		5	0,001	0,004	0,005
	Alabama		1	0,001	0,004	0,005
	Alabama		2	0,001	0,004	0,005
	Helicoidal	B	3	0,001	0,004	0,005
	Alabama	C	4	0,001		0,001
Total						0,026
2	Alabama	A	12	0,001	0,004	0,005
	Helicoidal	B	13	0,001	0,004	0,005
	Helicoidal		14	0,001	0,004	0,005
	Helicoidal		15	0,001	0,004	0,005
	Helicoidal		16	0,001	0,004	0,005
	Helicoidal		11	0,001	0,004	0,005
	Helicoidal		10	0,001	0,004	0,005
	Helicoidal		9	0,001	0,004	0,005
	Helicoidal		6	0,001	0,004	0,005
	Alabama	C	7	0,001		0,001
Total						0,046

Las perdidas por paso de vertederos y por fricción son muy pequeñas y por ello se asume una sumatoria de 0,001 m para estas pérdidas.

Calculo del Gradiente de velocidad

El gradiente de velocidad se calcula con la pérdida total, mediante la siguiente Ecuación:

$$\sqrt{\gamma \cdot \frac{\Delta h}{\mu} \cdot T}$$

γ = Peso específico del agua a la temperatura de 15°C

Δh = Perdidas

μ = Viscosidad cinemática del agua a la temperatura de 15°C

T = Tiempo de retención

Tabla 18. Gradientes de velocidad de los floculadores

UNIDAD	DIVISION	GRADIENTE
1	A	15,90 s ⁻¹
	B	15,30 s ⁻¹
	C	12,57 s ⁻¹
2	A	24,20 s ⁻¹
	B	20,01 s ⁻¹
	C	18,77 s ⁻¹

Calculo del número de Camp

Rango 10.000 – 50.000

$$15.90 \times 11.44 = 181.9$$

$$15.30 \times 1,60 = 24,58$$

$$12.57 \times 4,13 = 51,90$$

$$= 258,29$$

$$258,29 \times 60 = 15.497 \text{ (cumple)}$$

3.2.3.3 Calculo de los Sedimentadores. (Ver Anexo E)

Tabla 19. Análisis de los sedimentadores

Un i.	Tip o	Separaci ón placas cm	θ	A _{plac} as m ²	Caud al $\frac{m^3}{d}$	Dimensiones			Volum en m ³
						Larg o	Anch o	Profun do	

1	De altasa	7 cm	60°	58,95	6912	7,80	7,06	3,60	198,24
2	De altasa	7cm	60°	94,60	6912	14	7,06	3,60	355,82

Calculo de la carga superficial (Cs)

$$Carga\ superficial = \frac{Q}{A_{placas}}$$

$$Q = 80 \frac{L}{seg} \approx 6912 \frac{m^3}{d}$$

$$Carga\ superficial\ unidad\ 1: 117,25 \frac{m}{d}$$

$$Carga\ superficial\ unidad\ 2: 73,06 \frac{m}{d}$$

Velocidad promedio en el sedimentador (V_o)

$$V_o = \frac{Q}{A_{placas} \cdot \text{sen } \theta}$$

$$V_o\ unidad\ 1: 135,39 \frac{m}{d} \approx 0,094 \frac{m}{min}$$

$$V_o\ unidad\ 2: 84,36 \frac{m}{d} \approx 0,058 \frac{m}{min}$$

Longitud relativa de sedimentación (L)

$$L = \frac{\text{longitud placa sentido flujo}}{\text{separacion placas}(d)}$$

Longitud placa sentido del flujo 1,20m, para las dos unidades

L unidad 1: 17,14

L unidad 2: 17,14

$$L' = \frac{0,013V_o d}{v}$$

Viscosidad cinemática del fluido (v) $0,01387 \frac{cm^2}{seg} \div 0,8322 \frac{cm^2}{min}$

L' unidad 1: 0,000083105

L' unidad 2: 0,000051393

$$L' \ll L \div L_c = L - L'$$

L_c unidad 1: 17,14

L_c unidad 2: 17,14

Velocidad crítica de asentamiento

$$V_{cs} = \frac{S_c V_o}{\text{sen } \theta + L_c \text{cos} \theta}$$

$S_c = 1,0$ para sedimentadores de placas paralelas

V_{cs} para la unidad 1: $11,66 \frac{m}{d}$

V_{cs} para la unidad 2: $5,83 \frac{m}{d}$

Número de Reynolds

$$N_{RE} = \frac{V_o d}{v}$$

N_{RE} unidad 1: 0,006425

N_{RE} unidad 2: 0,004004

Tiempo de retención en las celdas

$$t = \frac{\text{longitud placa sentido flujo}}{V_o}$$

t unidad 1: 15,78 min

t unidad 2: 25,53 min

3.2.3.4 Calculo de los Filtros. (Ver Anexo F)

Tabla 20. Análisis de los filtros

Unidad	Tipo de filtro	Caudal $\frac{m^3}{d}$	Dimensiones			Capas de lecho filtrante			
			Largo (m)	Ancho (m)	Profundo (m)	Antracita (m)	Arena (m)	Grava (m)	Falso fondo (m)
1	Rápido	5616	6,7	3,9	3,2	0,45	0,31	0,47	0,15
2	Rápido	5616	6,7	3,9	3,2	0,45	0,31	0,47	0,15

Perdidas de carga a la entrada en la válvula de compuerta abierta de 12"

$$h_{VA} = K_m \frac{V^2}{2g}$$

$$h_{VA} = 0,00345 \text{ m}$$

K_m = Coeficiente de pérdida igual a 0,1

V = Velocidad $1,11 \frac{m}{s}$

g = Aceleración de la gravedad $9,81 \frac{m}{s^2}$

Perdidas de carga por filtración

Cálculo de pérdidas de carga para la arena, antracita, grava y falso fondo mediante el cálculo de pérdida de carga formulado por Richter:

Pérdida de carga para la arena:

$$h_{ar} = 5 \times 10^{-3} \cdot q \cdot L_0$$

$$h_{ar} = 1,55 \times 10^{-3} \cdot q$$

h_{ar} = Pérdida de carga

q = Tasa de filtración en $\frac{m^3}{m^2 \cdot día}$

L_0 = Espesor del lecho 0,31 m

Pérdida de carga para la antracita:

$$h_{an} = 0,9 \times 10^{-3} \cdot q \cdot L_0$$

$$h_{an} = 4,05 \times 10^{-4} \cdot q$$

$$L_0 = 0,45 \text{ m}$$

q = Tasa de filtración en $\frac{m^3}{m^2 \cdot día}$

Pérdida de carga para la grava:

$$h_G = q \cdot \frac{L_0}{3}$$

$$h_G = 0,156 \cdot q$$

$$L_0 = 0,47 \text{ m}$$

q = Velocidad de la filtración $\frac{m}{min}$

Pérdida de carga del falso fondo:

Para el falso fondo se utilizaron ladrillos perforados

$$h_D = \frac{K_1}{2g} \cdot 86400^2 \cdot \frac{A^2}{a^2} \cdot q^2$$

$$h_D = 1,9456 \times 10^{-13} \cdot q^2$$

K_1 = Constante igual a 1,56

A = Area del filtrado igual a 26,13 m²

a = Area total hueca igual a 0,1933 m²

g = Aceleración de la gravedad $9,81 \frac{m}{s^2}$

q = Tasa de filtración en $\frac{m^3}{m^2 \cdot día}$

Pérdidas por accesorios:

Coefficiente de pérdida para los diferentes accesorios (Km):

Accesorios	Km
Tee en sentido recto	0,3
Válvula de compuerta abierta 12"	0,1
Coda de 90° de 12"	0,39
Salida	1,00
Total	1,79

Se calculan las pérdidas por accesorios

$$h_{acces} = K_m \cdot \frac{V^2}{2g}$$

$$h_{acces} = 0,06 \text{ m}$$

K_m = Sumatoria de coeficientes de pérdidas 1,79

V = Velocidad del flujo en la tubería $1,11 \frac{m}{s}$

\varnothing = 12" $\approx 0,3048 \text{ m}^2$

Q = $0,080 \frac{m^3}{s}$

Cálculo de q

$$q = \frac{Q}{A}$$

$$q = 264,52 \frac{m^3}{m^2 \cdot día}$$

Q = Caudal tratado $6912 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$

A = Área total de filtración $26,13 \text{ m}^2$

Criterios de lavado del filtro

10 l/seg son necesario para lavar 1 m^2 de área de filtro

Perdidas en el lavado del filtro

- Perdida por antracita

$L_o = 45 \text{ cm}$

$S_s = 1,5$

$P_o = 0,45$

$\Delta H = (S_s - 1) (1 - P_o) L_o$

$\Delta H = 0,1224 \text{ m}$

- Perdidas po Arena

$S_s = 2,65$

$P_o = 0,42$

$\Delta H = (S_s - 1) (1 - P_o) L_o$

$\Delta H = 0,29 \text{ m}$

- Perdida por Grava de Soporte

$\Delta H = V \cdot L / 3$

$\Delta H = 0,094 \text{ m}$

V = Velocidad del lavado (0,6 m/seg)

L = Espesor (0,47m)

- Perdidas por falso fondo

Según Leopold las perdidas para falsos fondos son de 0,145 m

- Perdidas Válvula de Compuerta abierta

$$\Delta H = KV^2/2g$$

$$Q_{min} = 261,3 \text{ l/seg}$$

$$V = Q/A$$

$$V = 3,57 \text{ m/seg}$$

$$\Delta H = 0,97 \text{ m}$$

$$K = 1,5$$

Perdida total durante el lavado

Antracita 0,124 m

Arena 0,29 m

Grava 0,094 m

Falso fondo 0,145 m

Válvula de admisión 0,97 m

Total 1,623 m

- Perdidas conducción del tanque al filtro

$$L = 200 \text{ m}$$

$$\varnothing = 12''$$

$$\Delta H = 11,34 \text{ m}$$

- Perdidas por accesorios

(Al no contar con planos de la conducción y sumados a la falta de información se asumen perdidas equivalentes al 10% de las perdidas de la conducción)

$$\Delta H = 1,623 \text{ m}$$

Total de pérdidas del sistema de lavado 14,09 m

Cabeza disponible para el lavado = 15 m

Agua utilizada en el lavado

$$\text{Producción mensual diurna de agua tratada} = 160 \frac{\text{l}}{\text{s}} \approx 13824 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \approx 414720 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}}$$

$$\text{Producción mensual nocturna de agua tratada} = 60 \frac{\text{l}}{\text{s}} \approx 5184 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \approx 155520 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}}$$

$$\text{Total tratado} = 570140 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}}$$

Capacidad del tanque = 96 m³

Carrera del filtro = 48h

$$\text{Caudal utilizado en el lavado} = 192 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \approx 2880 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}}$$

% de agua utilizada en el lavado con respecto al total tratado = 0,5%

**4. COMPARACION DE LOS PARAMETROS DE DISEÑO DEL
SISTEMA DE ACUEDUCTO DE PAMPLONA CON EL RAS-2000**

PARAMETRO	S.ACUEDUCTO	RAS-2000	OBSERVACIONES
COAGULACION Y MEZCLA RAPIDA			
Coagulantes			
1. Concentración y Dosificación	Mediante prueba de jarras	Mediante prueba de jarras	Cumple
2. Coagulante	Sulfato de aluminio	Sulfato de aluminio	Cumple
2.1 Tipo de dosificador	Dosificador en seco	Dosificador en seco	Cumple
2.2 Tipo de tubería	PVC	PVC	Cumple
2.3 Tanque de disolución (protegido contra la corrosión)	Concreto revestido con pintura bituminosa	Concreto revestido con pintura bituminosa	Cumple
3. Productos auxiliares	Cal viva	Cal viva	Cumple
3.1 Tipo de dosificador	Dosificador en seco	Dosificador en seco	Cumple
3.2 Tipo de tubería	Hierro fundido	Hierro fundido	Cumple
3.3 Tanque	Acero	Acero	Cumple
Mezcla Rápida			
1. Mezclador hidráulico	Canaleta Parshall	Canaleta Parshall	Cumple
2. Aforo de caudales	$S = 0,477$	$S < 0,60$; trabaja con descarga libre	No Cumple
3. Gradiente de velocidad	$G = 1534,04 \text{ s}^{-1}$	$1000 < G < 2000 \text{ s}^{-1}$	Cumple
FLOCULACION			
1. Floculación hidráulica	Floculadores alabama y helicoidal	Floculadores alabama y helicoidal	No Cumple
2. Número de cámaras	Unidad 1,6 cámaras 5Alab y	8 cámaras	Cumple

	1 helic		
	Unidad 2, 10 cámaras 2 Alab y 8 Helicoidal	8 cámaras	Cumple
3. Gradiente de velocidad	Unidad 1, 25,025 s ⁻¹	Entre 20 s ⁻¹ y 70 s ⁻¹	No Cumple
	Unidad 2, 36.6 s ⁻¹	Entre 20 s ⁻¹ y 70 s ⁻¹	No Cumple
4. Tiempo de detención	Unidad 1, 19 minutos	Entre 20 y 40 minutos	No Cumple
	Unidad 2, 18 minutos	Entre 20 y 40 minutos	No Cumple
SEDIMENTACION			
1. Sedimentadores de flujo ascendente o vertical	Sedimentador de alta tasa	Sedimentador de alta tasa	Cumple
2. Tiempo de detención	Unidad 4, 13 min	Entre 10 y 15 minutos	Sobredimensionado
	Unidad 7, 13 min	Entre 10 y 15 minutos	Sobredimensionado
3. Profundidad	Unidad 1, 3.60 m	Entre 4 y 5.5	No Cumple
	Unidad 2, 3.60 m	Entre 4 y 5.5	No Cumple
4. Carga superficial	Unidad 1, 117,25 m ³ /(m ² día)	Entre 120 y 185 m ³ /(m ² día)	No Cumple
	Unidad 2, 73.06 m ³ /(m ² día)	Entre 120 y 185 m ³ /(m ² día)	No Cumple
5. Número de Reynolds	Unidad 1, 226,003	Menor a 500, recomienda menor a 250	Cumple
	Unidad 2, 194,598	Menor a 500, recomienda menor a 250	Cumple
Sedimentador con placas			
1 Inclínación de las placas	60°	60°	Cumple
2 Espacian entra las placas	7 cm	5 cm	No Cumple
3 Espesor para placas de asbesto cemento	10 mm	entre 8 y 10 mm	Cumple

4. Numero de unidades	2 Unidades	2 Unidades	Cumple
5. Acceso a la unidad	Escaleras dentro de las unidades	Escaleras permanentes en las paredes interiores	Cumple
6. Flóculos en la salida del sedimentador	No hay presencia	Nose permite la presencia	Cumple
7. Fermentación de lodos	No se presenta	No se permite	Cumple
8. Extracción de lodos	pendiente encontrada de 6.9%	Mayor a 5%	Cumple
FILTRACION			
1. Tipo de filtros	Filtro de lecho mixto	Filtro de lecho mixto	Cumple
2. Numero de unidades	2	3	No Cumple
3. Perdida de carga filtración	60cm	Máximo 200 cm	Cumple
4. Velocidad real de filtración	264,52 m ³ /m ² .día	300m ³ /m ² .día	Cumple
5. Sistema de lavado	Retrolavado por tanquáô□□reo (flujo ascendente)	Retrolavado por tanque aéreo	Cumple
6. tiempo de lavado	10 min	10 min	Cumple
7. Agua utilizada para el lavado	1% de la tratada mensualmente	3% máximo de la tratada mensualmente	Cumple
8. Velocidad ascensional de lavado	0,6 m/min, de baja velocidad	Entre 0,4 a 0,6 m/min, para baja velocidad	Cumple
9. Longitud de la capa profunda	1,23 m	Mínimo 0,9 m	Cumple
10. Sistema de drenaje	Falso fondo, tipo leopold	Falso fondo, tipo leopold	Cumple

DESINFECCION			
1.Desinfectante	Cloro gaseoso	Cloro gaseoso	Cumple
2. Concentración de cloro residual	Entre 0,8 y 1,5 mg/l	Entre 0,3 y 2,0 mg/l decreto 1575	Cumple
3. Clorador para cloro gaseoso	Solución al vacío	Solución al vacío	Cumple
4. Tanque de contacto	Cuadrado, con pantallas	Cuadrado, con pantallas	Cumple
5. Operación del clorador	Con presión del tanque de lavado	Bomba reforzadora	Cumple
6. Unidad de desinfección	1	2	No Cumple
EDIFICIO DE OPERACIÓN			
1. Bodega de almacenamiento			
1.1 Abasto de productos	Para 30 días	Mínimo 30 días	Cumple
1.2 Area de almacenaje	64 m ²	Mínimo 50 M ²	Cumple
1.3 Almacenamiento de los cilindros de cloro	En posición horizontal, aislados y no reciben rayos directos del sol	Deben estar en posición horizontal, aislados y que no reciban los rayos directos del sol	Cumple
1.4 Temperatura de almacenamiento del cloro	De 8 a 10 grados Celsius	Temperatura ambiente	Cumple
2. Sistema de Dosificación			
2.1 Escala de dosificación a aplicar	Existe	Exigida	Cumple
2.2 Ubicación de los dosificadores	Lugar accesible para su mantenimiento y observación	Ubicados en sitios de fácil acceso para el mantenimiento y observación	Cumple
2.3 unidad de dosificadores de reserva	No existe	Exigidos	No cumple
3. Sala de laboratorios			

3.1 Equipos	De sencilla operación	De fácil manejo	Cumple
3.2 Lab. Fisicoquímico	Existe	Exigido	Cumple
3.3 Lab. Microbiológico	Existe	Exigido	Cumple
3.4 Area del laboratorio	28 m ²	Mínimo 18 m ²	Cumple

5. CONCLUSIONES

La canaleta Parshall no está en condiciones de aforar, pues el ancho de garganta es de 8,5" y no 9" como lo indican los operarios. Aun así puede servir como mezclador rápido. El tipo de coagulante utilizado es el Sulfato de Aluminio, tipo B, que a su vez es permitido por el RAS-2000. El punto de aplicación del Sulfato de Aluminio se encuentra ubicado en el resalto hidráulico, esto indicaría que se está realizando una adecuada mezcla.

El dosificador del sulfato de aluminio cumple con los parámetros del RAS-2000 en lo referente al tipo de tubería empleada para la dosificación, la clase de dosificador y el tanque de disolución que se encuentra revestido con pintura bituminosa.

En los floculadores, la unidad 1 no cuenta con el número de cámaras exigida por el RAS-2000, que es de 8 cámaras, ya que solo cuenta con 6 cámaras, 5 Alabama y 1 de flujo Helicoidal. Pero la segunda unidad si cumple con este parámetro, puesto que cuenta con 10 cámaras, 2 Alabama y 8 de flujo Helicoidal.

El tiempo de detención de los floculadores no cumple con los rangos de tiempo del RAS-2000; la unidad 1 tiene un tiempo de detención de 19 minutos y en la unidad 2 es de 18 minutos, el cual es inferior al parámetro establecido por el RAS-2000 que es de 20 minutos.

Se evidenció la falta de mantenimiento a la infraestructura de los floculadores al encontrarse que el recubrimiento de los muros de estos se encuentran averiados, desgastados y algunas unidades de floculación presentan filtraciones.

Las dos unidades de sedimentación con las que cuenta la planta de tratamiento se encuentran ajustadas con los parámetros establecidos por el Ras-2000, en cuanto al número de unidades, tipo de sedimentador, número de Reynolds, inclinación de las placas, el espesor de las placas y la pendiente para el sistema de extracción de lodos.

Los parámetros del sedimentador que no cumplen con el RAS-2000 son la separación de las placas que deben ser de 5 cm y en la planta es de 7 cm, se constató que el tiempo de detención es de 41,3 min para la unidad 1 y de 74,13 min para la unidad dos, estos tiempos son muy superiores a los establecidos por el RAS-2000, que son de 10 min a 15 min, lo cual indica que

el sedimentador está sobredimensionado; además, la carga superficial es de $117,25 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-d}$ para la unidad 1 y de $73,06 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-d}$ para la unidad 2, estas son inferiores a los rangos establecidos por RAS-2000 que estipulan que deben estar entre $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-d}$ y $185 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-d}$, lo cual indica que su capacidad de tratamiento es mayor a la que actualmente está sometido.

Los sedimentadores no presentan fermentación de lodos, al no observarse una cantidad importante de burbujas que se desprendieran del fondo del sedimentador, tampoco se presentan flóculos a la salida del sedimentador, por lo cual se concluye que trabaja adecuadamente.

El lavado de estas estructuras se realiza eficientemente con la excepción en el momento de lavar las placas puesto que los operarios se ven en la necesidad de pararse sobre ellas, conllevando a que estas se partan y se corran de su posición.

El tipo de filtro que presenta la planta es de medio dual; por consiguiente, su mantenimiento requiere de un especial cuidado, puesto que si su lavado se realiza de forma inadecuada se pueden llegar a formar bolsas de barro, desplazamiento de la arena, antracita y grava de soporte, entrapamiento de aire ó pérdidas de medio filtrante ocasionando así el daño del filtro y un trabajo ineficiente.

De acuerdo con el RAS-2000, el sistema de lavado de este tipo de filtro es por retrolavado y con una velocidad ascensional de lavado de entre 0,3 a 0,45 m/min; por consiguiente, el retrolavado realizado en la planta es el adecuado debido a que la velocidad ascensional presente en este proceso es de 0,36 m/seg.

El agua que se utiliza en el lavado de los filtros mensualmente es del 1% del total tratado para este mismo lapso de tiempo, por lo cual se concluye que esta actividad se está realizando eficientemente; ya que el máximo permitido es del 3% del total tratado mensualmente según el RAS-2000.

La hidráulica de los filtros en la planta presentan una pérdida de carga de 60 cm durante la carrera de filtración, y de acuerdo con el RAS-2000, dichas pérdidas deben ser máximo 200 cm.

No se está realizando un tratamiento adecuado de los lodos provenientes de los sedimentadores, floculadores y de los filtros principalmente antes de ser descargados a la quebrada Cariongo, de esta forma se está incumpliendo con lo establecido por el RAS-2000 que pide que se les realice un tratamiento antes de ser dispuestos y aun más importante se está contribuyendo con el deterioro hídrico y del Río Pamplonita.

El sistema de dosificación del cloro funciona correctamente, pudiéndose comprobar esto con los registros de los análisis de cloro residual, con los cuales cuenta la planta, estos oscilan entre 0,8 mg/l para los sectores más alejados y 1,5 en la salida de la planta, cumpliendo el parámetro del RAS-2000 que pide que el cloro residual se encuentre entre 0,2 y 1, mg/l en los sitios alejados de la red.

El pozo de contacto del agua filtrada con la solución de cloro no presenta pantallas como lo exige el RAS-2000, pudiendo llevar esto a que se presenten zonas de corto circuito hidráulico.

En la planta de tratamiento Cariongo, los equipos presentes en la sala de laboratorios fisicoquímicos y microbiológicos están acordes parcialmente con

los mínimos exigidos por el RAS-2000, con excepción de microscopio, extractor de vapores y medidores de oxígeno para su funcionamiento. Este laboratorio cuenta con paredes internas protegidas contra la humedad.

El Stock de productos químicos para el normal funcionamiento de la planta es de 30 días, cumpliendo así con lo exigido por el RAS-2000.

El almacenaje de los productos químicos utilizados para la potabilización del agua, que son el Sulfato de Aluminio y la cal se está realizando en una misma bodega, incumpliendo con lo estipulado por el RAS-2000, que indica que estos productos deben almacenarse por separado por razones de seguridad.

La planta no presenta una adecuada señalización de los lugares donde almacenan los productos químicos y de las demás dependencias de la planta, presentando problemas de vulnerabilidad para el personal ajeno y operarios de la planta.

Con la dotación mínima recomendada por el RAS-2000, que es de 187,5 l/hab-d para el medio Alto de complejidad y utilizando la capacidad máxima de la planta de 200 l/s, el horizonte de vida útil de la planta en las condiciones actuales de dimensionamiento y con un adecuado mantenimiento es de 28 años.

Con el caudal máximo de 160 l/s que actualmente trata la planta y con la dotación mínima recomendada por el RAS-2000 para el nivel medio alto de complejidad, el horizonte de vida útil de la planta en las condiciones adecuadas de mantenimiento es de 21 años.

En las condiciones de dimensionamiento actuales de las estructuras de la planta de tratamiento, están en capacidad de tratar el caudal máximo de 200 l/s cada una, con la excepción de los floculadores que solo están en capacidad de tratar 100 l/s cada tren.

La planta se encuentra en capacidad de tratar los 200 l/s necesarios para abastecer la demanda futura.

El principal limitante que presenta el sistema de acueducto para que su vida útil sea más prolongada, es la falta de agua. De allí, que se hace indispensable el cuidado de las nacientes y el futuro ingreso de nuevas fuentes de abastecimiento.

No se está realizando un mantenimiento preventivo de las estructuras como lo recomienda el RAS-2000, en cambio se está realizando un mantenimiento correctivo.

El no tratamiento adecuado de los lodos provenientes de la planta, está causando un impacto importante sobre las aguas de la quebrada Cariongo, que es la fuente receptora de estas descargas y a su vez, está deteriorando la calidad de las aguas del Río Pamplonita.

La ubicación de la planta de asfalto al lado de la planta de tratamiento, representa un grave peligro potencial para los usuarios y para los operarios de la planta, debido a que la quema de este material desprende grandes cantidades de gases tóxicos y de material particulado que está cayendo en el agua que se está tratando.

La no dotación de los implementos de seguridad necesarios como guantes, tapabocas, máscaras de gases y lentes de protección a los operarios, quienes están encargados del lavado de la planta, pueden llevar a que se presenten accidentes al manipular el Hipoclorito de Sodio, representando gastos hospitalarios para la Empresa.

6. RECOMENDACIONES

- ❖ Se recomienda verificar el sistema de aforo de las aguas que ingresan a la planta, pues se están calculando mal los caudales debido a la falla en el ancho de la garganta.
- ❖ Se recomienda la compra de una unidad de dosificación, para casos en que se presenten averías y puedan ser remplazados, rápidamente evitando la suspensión del servicio.
- ❖ Se recomienda empañetar los muros de los floculadores, sedimentadores y canales de conducción e impermeabilizarlos para evitar filtraciones en la planta de tratamiento.
- ❖ Se recomienda la utilización de los canales de recolección de agua que se encuentran en el sedimentador, para que se desplacen los operarios en las actividades del lavado de las placas del sedimentador, evitando así que se partan o se corran.
- ❖ Se recomienda el retiro de los lodos de los sedimentadores en un gran porcentaje, por medio de equipos de bombeo y trasladarlos a lechos de secado, de ésta forma se minimiza la descarga de lodos a la quebrada Cariongo.
- ❖ Los lodos provenientes del tratamiento por lechos de secado se pueden evacuar a disposición final en el relleno sanitario de Pamplona.

- ❖ Se recomienda la ubicación de un medidor de caudal en la tubería de lavado del filtro, para evitar que el acceso de caudal fluidice el lecho filtrante.
- ❖ Se recomienda el almacenaje de los productos químicos (Sulfato de Aluminio y Cal) en diferentes cuartos.
- ❖ Se hace necesaria la señalización de las instalaciones de la planta de tratamiento, tanto de las diferentes dependencias como de las estructuras del sistema de tratamiento; además, de la señalización de las áreas de protección de las nacientes.
- ❖ Iniciar los estudios necesarios para la inclusión de una o varias nuevas fuentes de abastecimiento para resolver el problema de la falta de agua en el futuro.
- ❖ Implementar y ejecutar un programa de mantenimiento preventivo de todas las estructuras del sistema, que se reflejará en la disminución de los costos de mantenimiento.
- ❖ Se hace urgente el retiro de la planta de asfalto de los predios de la planta de tratamiento, ya que representa un peligro potencial para la salud de los habitantes del sector, usuarios y operarios de la planta por el cual, se recomienda iniciar el estudio para su reubicación.
- ❖ Equipar con los implementos de seguridad necesarios a los operarios de la planta y al personal que se contrata para realizar el mantenimiento a la planta; reduciendo así, la vulnerabilidad y el riesgo

que se presenten accidentes, lesiones y evitando el pago por parte de la empresa de indemnizaciones y gastos hospitalarios.

- ❖ Se recomienda dar cumplimiento a las guías elaboradas para que se minimicen los impactos generados en la operación y mantenimiento del acueducto.

7. BIBLIOGRAFIA

CORCHO ROMERO, Freddy Hernán. Acueductos Teoría y Diseño. 1 ed. Medellín., Universidad de Medellín. 1991. p. 138, 149.

EMPOPAMPLONA S.A. E.S.P., Plan de Manejo Ambiental del Acueducto de Pamplona, Pamplona., 2001. p. 1-6,74.

MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO, Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS-2000. Santa Fé de Bogotá., 2000. Título B, B 2 –B 6 y Título C, C 4,C 8,C 14, C 17.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, Guía Ambiental para Sistemas de Acueducto. Decreto 1180/2003. Santa Fé de Bogotá., 2003. p. 128-218.

MUNICIPIO DE PAMPLONA, Plan básico de ordenamiento Territorial del municipio de Pamplona. Pamplona., 2001.

PEREZ PARRA, Jorge Arturo. Manual de Potabilización del Agua. 3 ed. Medellín., Universidad de Medellín. 1991. p. 169-172, 81-88, 116-330.

SALDARRIAGA V., Juan G. Hidráulica de tuberías. ed. Especial. Santa Fé de Bogotá., Mc. Graw Hill. 1998. p. 113-115, 75.

SALDARRIAGA V., Juan G. Sistema de Distribución de Agua Potable. Memoria. Santa Fé de Bogotá., Mc Graw Hill. 1998. p. 85-86.



**ESPECIALIZACION EN QUIMICA AMBIENTAL
TRABAJO DE MONOGRAFIA**

ANEXOS

ANEXO A

PLANTA DE TRATAMIENTO

Ing. ALEXI GRANADOS BECERRA
Ing. CARLOS MIGUEL HERNANDEZ CARREÑO



ANEXO B

DOSIFICADORES

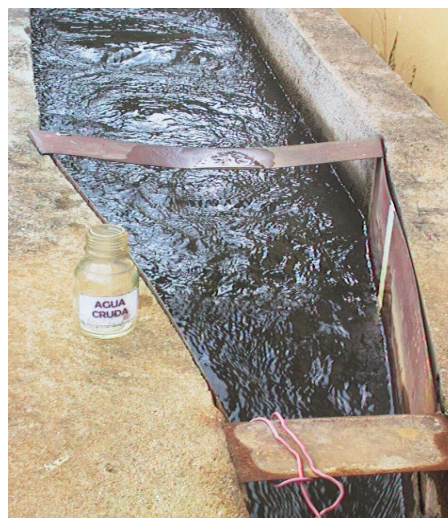
Ing. ALEXI GRANADOS BECERRA
Ing. CARLOS MIGUEL HERNANDEZ CARREÑO





ANEXO C

CANALETA PARSHALL



ANEXO D

FLOCULADORES

Ing. ALEXI GRANADOS BECERRA
Ing. CARLOS MIGUEL HERNANDEZ CARREÑO



ANEXO E

SEDIMENTADORES

Ing. ALEXI GRANADOS BECERRA
Ing. CARLOS MIGUEL HERNANDEZ CARREÑO



ANEXO F

FILTROS

Ing. ALEXI GRANADOS BECERRA
Ing. CARLOS MIGUEL HERNANDEZ CARREÑO



ANEXO G

SISTEMA DE CLORACIÓN

Ing. ALEXI GRANADOS BECERRA
Ing. CARLOS MIGUEL HERNANDEZ CARREÑO

