



**ESPECIALIZACION EN QUIMICA AMBIENTAL
TRABAJO DE MONOGRAFIA**

**EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO HIDRÁULICO, DE LOS
SISTEMAS DE CAPTACION, ADUCCION, DESARENADOR Y CONDUCCION
EN COMPARACIÓN CON EL RAS-2000, DEL MUNICIPIO DE PAMPLONA.
NORTE DE SANTANDER**

YENNY CAROLINA GÉLVEZ HERNÁNDEZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE QUIMICA
PROGRAMA ESPECIALIZACION EN QUIMICA AMBIENTAL
BUCARAMANGA
2009**



**ESPECIALIZACION EN QUIMICA AMBIENTAL
TRABAJO DE MONOGRAFIA**

**EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO HIDRÁULICO, DE LOS
SISTEMAS DE CAPTACION, ADUCCION, DESARENADOR Y CONDUCCION
EN COMPARACIÓN CON EL RAS-2000, DEL MUNICIPIO DE PAMPLONA.
NORTE DE SANTANDER**

YENNY CAROLINA GÉLVEZ HERNÁNDEZ

Trabajo para optar por el título de Especialista en Química Ambiental

**DIRECTOR:
GONZALO PEÑA ORTIZ
INGENIERO CIVIL**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE QUIMICA
PROGRAMA ESPECIALIZACION EN QUIMICA AMBIENTAL
BUCARAMANGA
2009**



ESPECIALIZACION EN QUIMICA AMBIENTAL TRABAJO DE MONOGRAFIA

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos a:

Al profesor GONZALO PEÑA. Director del trabajo de grado por su valiosa orientación y colaboración en el desarrollo del presente trabajo.

A la Empresa EMPOPAMPLOMA S.A. E.S.P por su colaboración en suministro de información.

A la Universidad Industrial de Santander.



ESPECIALIZACION EN QUIMICA AMBIENTAL TRABAJO DE MONOGRAFIA

DEDICATORIA

A DIOS, por ser mi luz espiritual y mi guía.

A MIS PADRES Y HERMANOS porque gracias a su trabajo, apoyo y su gran amor he alcanzado uno de los propósitos de mi vida.

A mi novio Carlos Miguel Hernández por su apoyo incondicional y por ser la fuente de inspiración y empuje.

YENNY CAROLINA.

CONTENIDO

	Pag.
1. MARCO REFERENCIAL	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 MARCO HISTORICO	1
1.3 MARCO COMCEPTUAL	4
1.4 BASES TEORICAS	9
1.4.1 Captaciones	9
1.4.1.1 Toma Lateral	9
1.4.1.2 Toma sumergida	9
1.4.1.3 Captación flotante	9
1.4.1.4 Captación móvil	9
1.4.1.5 Captación Mixta	9
1.4.1.6 Toma de rejilla	10
1.4.1.7 Presa de derivación	10
1.4.1.8 Cámara de toma directa	10
1.4.1.9 Muelle de toma	10
1.4.1.10 Otras captaciones	11
1.4.1.11 Aspectos generales de las captaciones	11
1.4.1.12 Ubicación de la captación	21
1.4.1.13 Seguridad	22
1.4.1.14 Estabilidad	22
1.4.1.15 Facilidad de operación y mantenimiento	22
1.4.1.16 Lejanía de toda fuente de contaminación	23
1.4.1.17 Accesos	23
1.4.1.18 Cerramientos	23
1.4.1.19 Parámetros de diseño	23
1.4.2 Canales de aducción	24
1.4.2.1 Método de calculo	25
1.4.3 Rejillas	27
1.4.3.1 Elementos de diseño	27
1.4.4 Vertederos de exceso	29
1.4.5 Desarenadores	30
1.4.5.1 Parámetros de diseño	30
1.4.6 Válvulas de purga	34
1.4.6.1 Características de las Válvulas de purga	35
1.4.6.2 Ventosas	35
1.4.7 Cámaras de quiebre	38
1.4.8 Aducción y Conducción	38

	Pag.	
1.4.8.1	Análisis hidráulico	37
1.4.8.2	Canales a flujo libre	38
1.4.8.3	Conductos a presión	39
2.	USO ACTUAL DE LOS SUELOS POR MICROCUENCA EN EL MUNICIPIO DE PAMPLONA	42
2.1	USO ACTUAL	42
2.2	USO POTENCIAL	42
2.3	AREAS ESTRATEGICAS O AREAS DE PROTECCION	43
2.3.1	Áreas prioritarias por adquirir	43
2.4	DESCRIPCION DE LAS CAPTACIONES DEL ACUEDUCTO URBANO DE PAMPLONA	43
3.	PROYECCION DE CAUDALES	49
3.1	CALCULO DE POBLACION	49
3.2	NIVEL DE COMPLEJIDAD	49
4.	EVALUACION HIDRAULICA DE LOS SISTEMAS DE CAPTACION, ADUCCION, DESARENACION Y CONDUCCION	52
4.1	SUBSISTEMA QUEBRADA POTRERITOS	52
4.2	SUBSISTEMA QUEBRADA EL MONO	70
4.3	SUBSISTEMA QUEBRADA EL ROSAL	96
5.	COMPARACION DE LOS PARAMETROS DE DISEÑO DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO DE PAMPLONA CON EL RAS- 2000	105
6.	CONCLUSIONES	108
7.	RECOMENDACIONES	113
8.	BIBLIOGRAFIA	114

LISTADO DE FIGURAS

FIGURA 1	Diferentes formas de barrotes de rejillas	Pag. 29
----------	---	-------------------

LISTADO DE TABLAS

		Pag.
TABLA 1	Periodo de diseño según el nivel de complejidad del sistema	24
TABLA 2	Velocidades máximas	25
TABLA 3	Angulo de taludes según el terreno	26
TABLA 4	Coeficiente de pérdida para las rejillas	29
TABLA 5	Coeficiente de rugosidad de Manning	39
TABLA 6	Características de las tuberías para conductos a presión	40
TABLA 7	Nivel de complejidad del sistema	49
TABLA 8	Dotación neta	50
TABLA 9	Perdidas técnicas	50
TABLA 10	Valores K_1	51
TABLA 11	Valores K_2	51
TABLA 12	Laminas de agua para los caudales de la quebrada Potreritos	54
TABLA 13	Áreas de flujo para los caudales de la quebrada Potreritos	55
TABLA 14	Velocidades del agua sobre la rejilla para los caudales de la quebrada Potreritos	56
TABLA 15	Velocidades de paso a través de la rejilla para los caudales de la quebrada Potreritos	57
TABLA 16	Verificación de las condiciones de la canaleta de aducción para los caudales de la quebrada Potreritos	61
TABLA 17	Cálculos de la línea de conducción de la vereda García, sistema Potreritos.	69
TABLA 18	Laminas de agua para los caudales de la quebrada El Mono	72
TABLA 19	Áreas de flujo para los caudales de la quebrada El Mono	72
TABLA 20	Velocidades del agua sobre la rejilla para los caudales de la quebrada El Mono	74
TABLA 21	Velocidades de paso a través de la rejilla para los caudales de la quebrada El Mono	75
TABLA 22	Verificación de las condiciones de la canaleta de aducción para los caudales de la quebrada Potreritos	78
TABLA 23	Cálculos de la línea de conducción de la vereda García, sistema El Mono	86

	Pag.
TABLA 24	Laminas de agua para los caudales de la quebrada El Rosal 89
TABLA 25	Áreas de flujo para los caudales de la quebrada El Rosal 89
TABLA 26	Velocidades del agua sobre la rejilla para los caudales de la quebrada El Rosal 91
TABLA 27	Velocidades de paso a través de la rejilla para los caudales de la quebrada El Rosal 92
TABLA 28	Verificación de las condiciones de la canaleta de aducción para los caudales de la quebrada El Rosal 95
TABLA 29	Cálculos de la línea de conducción de la vereda Monteadentro, sistema El Rosal 103



ESPECIALIZACION EN QUIMICA AMBIENTAL TRABAJO DE MONOGRAFIA

LISTADO DE ANEXOS

		Pag.
ANEXO A	Captación Potreritos	116
ANEXO B	Captación El Mono	117
ANEXO C	Captación El Rosal	118
ANEXO D	Captación Cariongo	119
ANEXO E	Cámara de Quiebre	120



ESPECIALIZACION EN QUIMICA AMBIENTAL TRABAJO DE MONOGRAFIA

TITULO

EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO HIDRÁULICO, DE LOS SISTEMAS DE CAPTACION, ADUCCION, DESARENADOR Y CONDUCCION EN COMPARACIÓN CON EL RAS-2000, DEL MUNICIPIO DE PAMPLONA. NORTE DE SANTANDER.*

AUTORA

YENNY CAROLINA GELVEZ HERNANDEZ**

PALABRAS CLAVES

- ❖ **Canal.** Conducto descubierto que transporta agua a flujo libre.
- ❖ **Captación.** Conjunto de estructuras necesarias para obtener el agua de una fuente de abastecimiento.
- ❖ **Conducción.** Componente a través del cual se transporta agua potable, ya sea a flujo libre o presión.
- ❖ **Desarenador.** Componente destinado a la remoción de las arenas y sólidos que están en suspensión en el agua, mediante un proceso de sedimentación mecánica.

DESCRIPCION

Este estudio actual realizado a los sistemas de Captación, Aducción, Desarenadores y Conducción de las bocatomas ubicadas en las veredas García, Monte dentro y El Rosal será para la empresa de servicios públicos EMPOPAMPLONA S.A. E.S.P, una herramienta útil para verificar la capacidad y estado de la captación, aducción, desarenadores y conducción; además de verificar si su diseño se encuentra dentro de los parámetros establecidos en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS-2000).

Para este estudio se identificaron dos principales problemas que se vienen presentando en la conducción de la vereda García, que son el flujo inconstante de agua a la entrada de las plantas de tratamiento de agua potable Cariongo y Monte dentro; y las perdidas de agua captada por robo que son utilizadas para riego de los cultivos que se ubican a sus alrededores.

Debido a esta problemática se plantean dos alternativas de solución. Una es la instalación de válvulas de doble acción que controlan el flujo para que sea constante a la llegada de las plantas y evitan las perdidas por robo y la otra la construcción de un tanque de quiebre de presión al final de la línea. Con esto se busca establecer una serie de recomendaciones enmarcadas por los lineamientos establecidos en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS-2000) sobre las actividades de operación y mantenimiento de las infraestructuras anteriormente mencionadas, propendiendo un mínimo de impacto ambiental generado por dichas actividades a sus alrededores.

* Trabajo de Grado

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



ESPECIALIZACION EN QUIMICA AMBIENTAL TRABAJO DE MONOGRAFIA

TITLE

EVALUATION OF THE PARAMETERS OF HYDRAULIC DESIGN OF SYSTEMS CATCHMENT ADDUCTION, DESANDING CONDUCTION AND COMPARED WITH THE RAS-2000, THE MUNICIPALITY OF PAMPLONA. NORTE DE SANTANDER . *

AUTHOR

YENNY CAROLINA GELVEZ HERNANDEZ **

KEY WORDS

- Canal. Behaviors that transports water to flow freely.
- Collection. Set of structures needed to obtain a water supply source.
- Conduct. Component through which water is transported, either free flow or pressure.
- Desanding. Component for the removal of sand and solids that are suspended in water through a mechanical process of sedimentation.

DESCRIPTION

The current study performed a systems Collection, adduction, and Conduct of desanding intake located on the sidewalks García, El Rosal and Monteadentro and will be for the utility EMPOPAMPLONA SA ESP, a useful tool to verify the capacity and status of recruitment, adduction, and driving desanding well to check if your design is within the parameters set in the Sector of Technical Regulation for Drinking Water and Sanitation (RAS-2000). For this study, we identified two main problems that have been presented in the conduct of the village Garcia, which are inconsistent flow of water to the entry of water treatment plants Cariongo and drinking Monteadentro and losses due to theft of water collected that are used to irrigate crops that are located around. Due to this problem are two alternative solutions. One is the installation of double-acting valves that control the flow to be constant at the arrival of the plants and avoid losses due to theft and the other the construction of a break pressure tank at the end of the line. This seeks to establish a series of recommendations under the guidelines established by the Technical Regulations of the Water Sector and Sanitation (RAS-2000) on the activities of operation and maintenance of the infrastructure mentioned above, tended a minimum environmental impact generated by these activities to their surroundings.

* Graduate Labor

** School of Chemistry, Program Specialization Environmental Chemistry, Ing Gonzalo Peña

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 compañía privada. 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 diferente 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.
- ❖ **Aducción.** Componente a través del cual se transporta agua cruda, ya sea a flujo libre o a presión.
- ❖ **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.
- ❖ **Borde libre.** Espacio comprendido entre el nivel máximo esperado del agua fijado por el sistema de rebose y la altura total de la estructura de almacenamiento.
- ❖ **Canal.** Conducto descubierto que transporta agua a flujo libre.
- ❖ **Captación.** Conjunto de estructuras necesarias para obtener el agua de una fuente de abastecimiento.

- ❖ **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.
- ❖ **Desarenador.** Componente destinado a la remoción de las arenas y sólidos que están en suspensión en el agua, mediante un proceso de sedimentación mecánica.
- ❖ **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 no presenta una superficie libre y donde la presión no es igual a la presión atmosférica.
- ❖ **Flujo libre.** 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.
- ❖ **Fugas.** Cantidad de agua que se pierde en un sistema de acueducto por accidentes en la operación, tales como rotura o fisura de tubos, rebose de tanques, o fallas en las uniones entre las tuberías y los accesorios.
- ❖ **Golpe de ariete.** Fenómeno hidráulico de tipo dinámico oscilatorio, causado por la interrupción violenta del flujo en una tubería, bien por el cierre rápido de una válvula o apagado del sistema de bombeo, que da lugar a la transformación de la energía cinética en energía elástica, tanto en el flujo como en la tubería, produciendo sobreelevación de la presión, subpresiones y cambios en el sentido de la velocidad del flujo.
- ❖ **Línea piezométrica.** Línea o elevación obtenida de la suma de la cabeza de presión y la diferencia de altura topográfica respecto a un datum o nivel de referencia.
- ❖ **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.

- ❖ **Medición.** Sistema destinado a registrar o totalizar la cantidad de agua transportada por un conducto.
- ❖ **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.
- ❖ **RAS-2000.** Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico, reglamentado mediante la Resolución 1096 del 2000.
- ❖ **Rápida.** Caída inclinada de agua con una pendiente alta.
- ❖ **Rebosadero.** Estructura hidráulica destinada a evitar que el nivel del agua sobrepase una cota determinada; permite la evacuación del agua de exceso en un embalse, tanque o cualquier estructura que almacene agua hacia un lugar conveniente.

- ❖ **Rejilla.** Dispositivo instalado en una captación para impedir el paso de elementos flotantes o sólidos grandes.

- ❖ **Salidas para medición.** Salida practicada en una conducción, obturable con registro y válvula de incorporación, con el objeto de permitir la instalación de un aparato de medición o muestreo como pitómetro, medidores de la velocidad de flujo, etc.

- ❖ **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 Captaciones.

Los diferentes tipos de captaciones y las situaciones en que pueden ser utilizadas cada una de ellas son las siguientes:

1.4.1.1 Toma lateral. Aconsejable en el caso de ríos caudalosos de gran pendiente y con reducidas variaciones de nivel a lo largo del período hidrológico. En este tipo de captación la estructura se ubicará en la orilla y a una altura conveniente sobre el fondo.

1.4.1.2 Toma sumergida. Aconsejable en el caso de cursos de agua con márgenes muy extendidas, y navegables. La toma debe instalarse de modo que no se dificulte la navegación presente en el curso de agua.

1.4.1.3 Captación flotante. Si la fuente de agua superficial tiene variaciones considerables de nivel pero conserva en aguas mínimas un caudal o volumen importante, por economía debe proyectarse la captación sobre una estructura flotante anclada al fondo o a una de las orillas.

1.4.1.4 Captación móvil con elevación mecánica. En ríos de gran caudal, que tengan variaciones estacionales de nivel importantes durante el período hidrológico, por economía debe proyectarse la captación sobre una plataforma móvil que se apoye en rieles inclinados en la orilla del río y que sea accionada por poleas diferenciales fijas.

1.4.1.5 Captación mixta. Si la fuente tiene variaciones considerables de caudal y además el cauce presenta cambios frecuentes de curso o es inestable, debe

estudiarse y analizarse la conveniencia de una captación mixta que opere a la vez como captación sumergida y captación lateral.

1.4.1.6 Toma de rejilla. Este tipo de toma debe utilizarse en el caso de ríos de zonas montañosas, cuando se cuente con una buena cimentación o terreno rocosos y en el caso de variaciones sustanciales del caudal en pequeños cursos de agua. Este tipo de captación consiste en una estructura estable de variadas formas; la más común es la rectangular. La estructura, ya sea en canal o con tubos perforados localizados en el fondo del cauce, debe estar localizada perpendicularmente a la dirección de la corriente y debe estar provista con una rejilla metálica para retener materiales de acarreo de cierto tamaño.

1.4.1.7 Presa de derivación. Este tipo de captación es aconsejable, por razones económicas, en cursos de agua preferentemente angostos y cuando se presentan prolongadas épocas de niveles bajos; la presa tiene como objetivo elevar el nivel del agua de modo que éste garantice una altura adecuada y constante sobre la boca de captación. De acuerdo con las necesidades de abastecimiento y con el régimen de alimentación, se pueden proyectar torres de toma como sistemas de captación en lagos, lagunas y embalses, las cuales tendrán entradas situadas a diferentes niveles, con el fin de poder seleccionar la profundidad a la que se capte el agua.

1.4.1.8 Cámara de toma directa. Este tipo de captación se recomienda para el caso de pequeños ríos de llanura, cuando el nivel de aguas en éstos es estable durante todo el período hidrológico.

1.4.1.9 Muelle de toma. Esta captación se recomienda en el caso de ríos con variaciones sustanciales del nivel del agua y cuando se pueden aprovechar obras costaneras ya existentes, como muelles, puentes, etc.

1.4.1.10 Otras captaciones. En caso de que no existan fuentes superficiales o fuentes subterráneas en las cercanías de las zonas por abastecer, podrán utilizarse otro tipo de captaciones, las cuales incluyen:

1. Captación directa de aguas lluvias.
2. Captación por evaporación natural de agua de mar.
3. Captación por desalinización de agua de mar.

Sin embargo, estas captaciones deben asegurar las dotaciones mínimas correspondientes al **nivel de complejidad del sistema** para el sistema de acueducto objeto del diseño o la construcción.

1.4.1.11 Aspectos generales de las captaciones

❖ Captaciones laterales. En caso de que el proyecto de abastecimiento de agua potable de un municipio tenga una captación lateral, deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. Un muro normal o inclinado con respecto a la dirección de la corriente para asegurar un nivel mínimo de las aguas.
2. Un muro lateral para proteger y acondicionar la entrada de agua al conducto o canal que conforme la aducción y para colocar los dispositivos necesarios que controlen el flujo e impidan la entrada de materiales extraños.
3. La bocatoma debe estar ubicada por debajo del nivel de aguas mínimas y por encima del probable nivel de sedimentación del fondo. La obra debe tener un canal o conducto de entrada provisto de rejilla que impida el acceso de elementos flotantes y peces. En el caso de que aguas abajo

exista un canal o un conducto, se conducirán las aguas captadas a un pozo receptor ubicado más adelante.

4. El agua del río circulará por gravedad hacia el pozo, desde donde será conducida, ya sea por bombeo o por gravedad, al desarenador y posteriormente a la planta de tratamiento.
5. La bocatoma debe estar provista de dos rejillas. La primera de ellas tendrá una separación entre barros de 20 mm a 25 mm, cuya finalidad es impedir el acceso de los elementos más gruesos o flotantes. La segunda tendrá una malla de 3 mm aproximadamente, la cual tendrá como fin evitar el acceso de los elementos de arrastre y los peces.

Inmediatamente después de la zona de rejillas debe instalarse una compuerta que permita la realización de las operaciones de limpieza y mantenimiento, y que en lo posible permita el aforo de caudales como función de la apertura de la misma.

- ❖ Captaciones sumergidas. En caso de que la estructura de captación involucre una toma sumergida, deben considerarse los siguientes aspectos:
 1. La toma consiste fundamentalmente en uno o dos conductos cuando la importancia del municipio por abastecer lo justifique. El conducto o los conductos deben enterrarse en el lecho del río en el sentido transversal a la dirección de la corriente, terminando generalmente en un tubo de filtro o cámara sumergida.
 2. La finalidad de la colocación de dos tuberías de toma es una manera de evitar posibles interrupciones temporales del suministro ante la posibilidad

de obstrucciones, rotura o limpieza de una de las dos. En tal caso, cada uno de los conductos debe tener una capacidad hidráulica igual al caudal medio diario (Qmd) más las pérdidas que ocurran en el sistema de abastecimiento de agua y las necesidades de agua en la planta de tratamiento.

3. El agua captada a través de la tubería, filtro o cámara sumergida debe fluir hasta una cámara de bombas, pozo de succión o cámara de inicio del flujo por gravedad y de allí ser conducida hacia el desarenador y posteriormente hacia la aducción y la planta de tratamiento.
4. Los conductos de toma deben penetrar en el lecho del río de modo que queden localizados por debajo del nivel mínimo de socavación que adquiera el lecho durante el paso de una creciente cuyo período de retorno sea 20 años.
5. Con el objeto de evitar asentamientos, los conductos deben apoyarse sobre una base de concreto de 0.2 m de espesor como mínimo, en aquellos sitios donde pueda existir una socavación local en el lecho del río.
6. En la zona del río, los conductos de toma deben estar protegidos, en las partes superior y lateral mediante un pedraplén de aproximadamente 2 m de ancho en su parte superior. Las pendientes laterales de este pedraplén deben seguir el talud natural del material empleado. Debe verificarse la estabilidad del pedraplén en función de las velocidades de arrastre del río.
7. Con el objeto de evitar probables obstrucciones, las tuberías deben tener un diámetro mínimo de 200mm (8 pulgadas).

8. La tubería de captación debe ser preferiblemente metálica con el fin de que puedan absorber los asentamientos diferenciales que puedan producirse debido a la socavación local del lecho. El diseñador puede proponer otros materiales para fabricar la tubería, los cuales debe justificar técnica y económicamente.
- ❖ Captaciones flotantes y las captaciones móviles con elevación mecánica. En el caso de que el sistema de abastecimiento de agua de un municipio contemple captaciones flotantes, deben tenerse presente los siguientes aspectos:
1. La impulsión debe ser flexible con el fin de absorber todos los alargamientos debidos a las variaciones de nivel del agua en el río.
 2. En caso de que el equipo de bombeo y el filtro estén ubicados sobre una misma plataforma flotante, deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:
 - a) Estas estaciones consisten en una estructura flotante cuyas dimensiones serán adoptadas en función del tamaño y el peso del equipo de bombeo.
 - b) Normalmente es aconsejable el empleo de bombas centrífugas por su menor tamaño, peso y costo inicial.
 - c) Es recomendable emplear en el cálculo un amplio margen de seguridad de flotación, verificando el par estabilizante, con el fin de lograr una mayor estabilidad. La balsa o elemento flotante debe anclarse en tres puntos, dos de los cuales deben ir en tierra firme o en bloques de concreto instalados en forma permanente en el lecho del río.

3. En caso de que el equipo de bombeo se encuentre ubicado en una de las orillas y el filtro sobre la estructura flotante, deben observarse los siguientes aspectos:

a) Tanto la bomba como el motor deben ubicarse por encima del nivel de aguas máximas, de modo que la altura de succión no sobrepase los límites aconsejables al producirse el nivel de aguas mínimas. Esto evitará problemas de cavitación.

b) En la cámara de bombeo debe preverse un dispositivo de ventilación, para permitir una correcta aireación del recinto.

c) El planchón flotante debe anclarse de manera que se eviten los posibles desplazamientos laterales y a una distancia de la orilla compatible con la sumergencia del filtro de la tubería de succión.

4. En ambos casos el conducto de succión debe ser capaz de resistir sin deformaciones los esfuerzos de flexión a que pueda estar sometido.

5. La sumergencia del filtro debe adecuarse de modo que se evite la captación de desechos flotantes, algas u otros elementos que se encuentren en la superficie del agua, así como la posibilidad de aspirar agua turbia o con algún contenido de materia orgánica en descomposición desde el fondo del río en ciertas épocas del año.

❖ Captaciones de rejilla. En caso de que la obra de captación involucre una toma de rejilla deben cumplirse los siguientes requisitos:

1. La toma de rejilla debe ser un pequeño muro transversal a la corriente, con una rejilla superior de captación que permita el ingreso de aguas y limite la entrada de los materiales sólidos.

2. La bocatoma debe estar constituida por los siguientes elementos:
 - a) Una rejilla de captación dispuesta transversalmente a la dirección de corriente.

 - b) Un canal de captación.

 - c) Una tubería o canal de conducción.

 - d) Una compuerta que permita la regulación de caudales.

 - e) Una cámara desarenadora.

3. En los casos en que la conformación de la sección transversal del río así lo requiera, se proyectará un muro de encauzamiento transversal que oriente las líneas de corriente hacia la rejilla en épocas de estiaje.

4. El agua del río será captada a través de la rejilla y conducida por gravedad a lo largo del canal de captación, en cuyo tramo final debe colocarse una compuerta que permitirá la regulación de caudales hacia la tubería o el canal de conducción, y descargar luego las aguas en el desarenador. Desde allí continúa la aducción hasta la planta de tratamiento.

5. Las rejillas y el canal de recolección se calcularán para un caudal equivalente de dos a tres veces el caudal máximo diario.

6. La velocidad a través de la rejilla será inferior a 0.15 m/s, para reducir a un mínimo el arrastre de materiales flotantes.
7. La rejilla será de hierro fundido preferiblemente con perfiles o en su defecto con barras paralelas entre sí y colocadas en el sentido de la corriente.
8. La separación libre entre perfiles o barras será de 20 mm a 50 mm.
9. La rejilla estará formada por secciones removibles con el fin de facilitar su limpieza. No se aceptará la colocación de mallas por la dificultad para la limpieza.
10. El canal de captación debe tener una pendiente alta, capaz de impedir la sedimentación de las arenas y el material de arrastre que ingrese a través de la rejilla. El dimensionamiento de dicho canal permitirá conducir la totalidad del agua captada en toda la longitud de la rejilla.
11. El cálculo debe realizarse con base en los lineamientos clásicos para las conducciones a superficie libre.
12. El ancho de la base del fondo del canal debe permitir las operaciones de limpieza mediante elementos manuales.
13. Aguas arriba y aguas abajo del canal de captación debe construirse un enrocado en toda su longitud, con un ancho no menor de 3 metros y una profundidad media de 0.6 metros como protección contra la acción erosiva de la corriente.

14. La tubería o el canal de conducción tendrá por finalidad servir de enlace entre el canal de captación y el desarenador. Ésta tubería puede ser proyectada enterrada o a cielo abierto, dependiendo de la topografía de la zona de captación.

❖ Captaciones con presas derivadoras. En caso de que las obras de captación involucren el uso de una presa derivadora, deben cumplirse los siguientes requisitos:

1. La torre de toma debe ubicarse lo más alejada posible de la orilla y debe emplazarse lateralmente. El canal de limpieza debe ubicarse contiguo a ella.
2. Cada toma tendrá su correspondiente rejilla de hierro fundido. Otros materiales deben ser justificados.
3. La separación de las barras que conforman la rejilla debe ser de 20 mm a 50 mm.
4. Cada toma tendrá su correspondiente válvula de compuerta para operar la más adecuada.
5. La toma más baja debe instalarse por lo menos a 1.5 metros del fondo del embalse.
6. Siempre que sea posible, la toma más alta debe instalarse a una profundidad mínima de 3 metros con respecto a la superficie del agua del embalse.

7. Las compuertas y los mecanismos de maniobra deben calcularse teniendo en cuenta las cargas máximas a que se hallarán sometidos. Estos mecanismos de apertura y cierre deben ubicarse en una cota tal que no puedan ser afectados por el nivel de las máximas crecientes que ocurran en el embalse. Se recomienda que la creciente mínima para el cálculo de éste nivel corresponda a la creciente cuyo período de retorno sea 20 años.
 8. La captación de las aguas se hará a través de una bocatoma emplazada en la torre de toma. Desde dicha torre el agua debe ser conducida a través de la tubería de aducción hasta la planta de tratamiento.
- ❖ Captaciones en toma directa. En caso de que el sistema de captación requiera una toma directa deben considerarse los siguientes requisitos:
1. La toma directa debe tener una cámara de succión localizada en una de las orillas del río, y una abertura ubicada paralelamente al sentido de la corriente. Dicha abertura estará protegida mediante las rejillas adecuadas.
 2. La cámara de succión debe estar emplazada preferiblemente en tramos rectos y en la orilla que presente una mayor profundidad.
 3. La abertura de la toma directa debe localizarse por debajo del nivel mínimo de estiaje en el río y a una distancia superior a 0.3 metros por encima del nivel del lecho con el fin de evitar remociones del material del fondo.
 4. En caso de que los factores económicos aconsejen la instalación de bombas de pozo profundo, los motores de las mismas estarán localizados por encima del nivel de la creciente máxima del período de retorno

adoptado para el proyecto y las bombas deberán tener una sumergencia adecuada, a no ser que sean del tipo turbo bombas con motor sumergible.

5. En caso de que se adopten bombas exteriores debe ponerse especial atención a los límites de succión aconsejable en los periodos de estiaje, con el fin de minimizar los riesgos de cavitación en la tubería de succión.
 6. Las velocidades mínimas en la succión deben ser superiores a las velocidades de asentamiento.
 7. En caso de instalarse más de una bomba se tendrá en cuenta la distancia entre ellas, con el fin de evitar interferencias mutuas durante el funcionamiento.
- ❖ Captaciones con muelles de toma. En caso de que las obras de captación involucren un muelle de toma deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:
1. Un muelle de toma debe tener un elemento que sirve de soporte a la tubería de toma hasta el lugar apropiado para que cumpla su objetivo, generalmente alejado de la orilla.
 2. El muelle estará emplazado en una zona no afectada por erosiones o por depósitos de material aluvial.
 3. En general conviene disponer de bombas de eje vertical. En este caso debe tenerse en cuenta que el motor de la bomba quede por encima del nivel de la máxima creciente con período de retorno igual al período del proyecto y

que además la bomba logre una sumergencia adecuada para su correcto funcionamiento.

4. Si los factores de índice económico exigen la adopción de bombas no sumergibles, se tendrán en cuenta los límites aconsejables para la succión en los periodos de estiaje, con el fin de prevenir posibles problemas de cavitación en la tubería de succión.
5. La obra de toma debe estar protegida mediante rejas perimetrales. La velocidad de flujo a través de ellas debe oscilar alrededor de 50 mm/s con el fin de evitar que los elementos gruesos flotantes giren hacia ella.
6. En ciertos casos puede resultar aconsejable reemplazar el cerramiento perimetral citado en el literal anterior mediante la adopción de una tubería camisa provista de rejas gruesas y finas con mecanismos de elevación para limpieza.
7. En el caso de ríos navegables, el muelle debe estar convenientemente anclado.
8. Debe establecerse la estabilidad de la estructura en el caso de crecientes.

1.4.1.12 Ubicación de la captación. Las captaciones deben estar ubicadas preferiblemente en los tramos rectos de los ríos con el fin de evitar erosiones y sedimentaciones, embanques o azolves. En el caso de que sea imposible ubicar la captación en una zona recta, debe situarse en la orilla externa de una curva en una zona donde no haya evidencias de erosión por causa del curso de agua. En el caso de lagos y lagunas, al igual que en embalses, la captación debe localizarse de modo que pueda proporcionar agua de la mejor calidad posible. Una

toma ubicada muy cerca del fondo podría captar agua turbia o con cierto contenido de materia orgánica en descomposición; por el contrario, si la toma está ubicada muy próxima a la superficie el agua podría contener desechos flotantes, algas y plantas acuáticas, lo cual dificultaría la operación de la estructura de toma y haría más costoso el tratamiento del agua potable.

1.4.1.13 Seguridad. Las estructuras de captación deben garantizar la seguridad de la operación de la toma de agua. En particular deben garantizar la correcta operación de las estructuras para los caudales picos, ya sean de estiaje o especialmente de crecientes.

1.4.1.14 Estabilidad. Las estructuras de captación deben ser estables con respecto a la calidad del suelo de cimentación aún en el caso de las máximas crecientes. Además, la estructura también debe ser estable cuando se presenten fallas de origen geotécnico o geológico en las cercanías a la captación. Igualmente las estructuras deben ser estables para el sismo de diseño correspondiente a la zona de amenaza sísmica en que se encuentre ubicado el municipio objeto de la captación de agua para su sistema de acueducto, de acuerdo con la NSR-98.

1.4.1.15 Facilidad de operación y mantenimiento. El diseño de las obras de captación debe contemplar estructuras para el alivio o descarga de las mismas. Deben determinarse los medios para evitar la entrada de materiales o cuerpos extraños. Debe disponerse la instalación de un desarenador a continuación de la obra de captación cada vez que se considere necesario. Además deben disponerse los medios de limpieza y control de los caudales de toma del desarenador y la aducción. De todas maneras la estructura de captación debe proyectarse de modo que las instalaciones funcionen con el mínimo de mantenimiento.

1.4.1.16 Lejanía de toda fuente de contaminación. El lugar del emplazamiento de las obras de captación debe estar suficientemente alejado de toda fuente de contaminación. Siempre que sea posible las captaciones se emplazarán aguas arriba de las regiones habitadas, de las descargas de aguas residuales domésticas y/o las descargas de aguas residuales industriales.

1.4.1.17 Accesos. Las obras de captación deben localizarse en zonas con accesos fáciles que permitan las operaciones de reparación, limpieza y mantenimiento. En caso contrario deben construirse las vías que permitan el acceso adquiriendo servidumbres de paso.

1.4.1.18 Cerramientos. La zona de la bocatoma debe disponer de los medios de protección y cercado para evitar la entrada de personas y animales extraños a la zona de la bocatoma.

1.4.1.19 Parámetros de diseño

- ❖ **Período de diseño.** El período de diseño debe fijar tanto las condiciones básicas del proyecto, como la capacidad de la obra para atender la demanda futura. El período de diseño también depende de la curva de demanda y de la programación de las inversiones, así como de la factibilidad de ampliación, de la tasa de crecimiento de la población y de la tasa de crecimiento del comercio y la industria.

Para el caso de las obras de captación, los periodos de diseño se especifican en la tabla 1.

Tabla 1. Periodo de diseño según el nivel de complejidad del Sistema.

Nivel de Complejidad del Sistema	Período de diseño
Bajo	15 años
Medio	20 años
Medio alto	25 años
Alto	30 años

Para los niveles de complejidad medio alto y alto, las obras de captación de agua superficial deberán ser analizadas y evaluadas teniendo en cuenta el período de diseño máximo, llamado también horizonte de planeamiento de proyecto; y si técnicamente es posible, se deberán definir las etapas de construcción, según las necesidades del proyecto.

- ❖ Capacidad de diseño. Para los niveles **bajo y medio de complejidad**, la capacidad de las estructuras de toma debe ser igual al caudal máximo diario, más las pérdidas en la aducción y las necesidades en la planta de tratamiento, si existe almacenamiento, o igual al caudal máximo horario si no existe almacenamiento.

Para el **nivel medio alto de complejidad**, la capacidad de diseño de las estructuras de captación debe ser igual a 1.5 veces el caudal máximo diario.

Para el **nivel alto de complejidad**, la capacidad de diseño de las obras de captación debe ser igual a 2 veces el caudal máximo diario.

1.4.2 Canales de aducción. Desde la captación hasta la estación de bombeo o el desarenador, según sea el caso, deben determinarse las áreas mojadas de canales necesarias en cada condición, teniendo en cuenta los distintos parámetros hidráulicos que intervienen. La memoria de cálculo hidráulico debe incluir los

critérios utilizados, las fórmulas, las tablas, así como también el trazado de la línea piezométrica de todo el sistema hidráulico.

Debe tratar de evitarse todo flujo en canales cercano al estado de flujo crítico. Las velocidades del flujo deben ser tales que no se produzcan sedimentaciones ni erosiones en los canales que forman parte de la estructura de captación.

1.4.2.1 Método de cálculo. Para los cálculos hidráulicos y los diseños de canales pueden utilizarse la ecuación de Manning, la ecuación de Kutter modificada o la de Bazin. También puede utilizarse la ecuación de Chèzy.

- ❖ Velocidades máximas en los canales de aducción. En la tabla 2 se muestran las velocidades máximas correspondientes a los diferentes tipos de terreno, las cuales deben ser respetadas por los diseñadores.

Tabla 2. Velocidades máximas

Naturaleza de las paredes	Velocidad máxima (m/s)
Roca compacta (granito)	3.00
Roca estratificada (calcáreos)	2.00
Mampostería en mortero – Hormigón	2.50
Mampostería en seco – Concreto asfáltico	1.50
Tierra vegetal compacta	0.75
Terreno de naturaleza arenosa	0.50
Terreno de arena fina (médano)	0.40

- ❖ Velocidades mínimas en canales de aducción. Con respecto a las velocidades mínimas con las que pueden operar los canales de las captaciones, éstas deben estar dadas en función de la profundidad del flujo y del tipo de limo en suspensión para evitar sedimentación.

- ❖ Forma de la sección transversal. En los casos de canales para estructuras de captación, debe adoptarse una sección transversal rectangular o trapezoidal. Las proporciones definitivas de la sección transversal deben adoptarse teniendo en cuenta un criterio de costo mínimo para el canal. Para el **nivel bajo de complejidad** puede adoptarse una sección trapezoidal cuya base tome valores comprendidos entre 1.5 y 2.5 veces la profundidad del flujo, sin necesidad de hacer un análisis de costo mínimo para el canal.

- ❖ Pendientes laterales. En caso de que se adopte una sección transversal trapezoidal, los taludes laterales de ésta dependerán de la naturaleza del terreno. La tabla 3 indica los valores recomendados para distintos tipos de terreno. Sin embargo, para los niveles **medio alto y alto de complejidad** debe hacerse un estudio sobre la estabilidad de los taludes laterales del canal.

Tabla 3. Angulo de taludes según el terreno

Naturaleza del terreno	Pendiente del talud (horizontal : vertical)
Roca firme (pequeños canales)	talud vertical
Roca firme	1 : 4
Roca compacta - Revestimiento de hormigón	1 : 2
Rocas sedimentarias - Revestimiento en seco	3 : 4
Tierra vegetal consistente	1 : 1
Tierra vegetal y suelo arcillo - arenoso	3 : 2
Suelos arenosos	2 : 1
Arena fina suelta	3 : 1

- ❖ Filtros de toma. En algunas captaciones pueden tenerse filtros de toma. En el proyecto de este filtro debe definirse lo siguiente:

1. El caudal que debe ser captado, según las necesidades del municipio al que se va a suministrar agua.

2. La velocidad a través del filtro, la cual debe estar comprendida entre 0.10 m/s y 0.15 m/s, con el fin de evitar, hasta donde sea posible, el arrastre de materiales flotantes y una fuerte succión sobre los peces en las proximidades de la zona de la captación.

3. La apertura y el tipo de ranuras u orificios.

4. La superficie neta de captación.

1.4.3 Rejillas. La captación de aguas superficiales a través de rejillas se utiliza especialmente en los ríos de zonas montañosas, los cuales están sujetos a grandes variaciones de caudal entre los periodos de estiaje y los periodos de crecientes máximas. El elemento base del diseño es la rejilla de captación, la cual debe ser proyectada con barras transversales o paralelas a la dirección de la corriente. Los otros tipos de toma también deben tener rejillas, con el fin de limitar la entrada de material flotante hacia las estructuras de captación.

1.4.3.1 Elementos de diseño. En todo diseño de rejillas deben contemplarse los siguientes elementos: el caudal correspondiente al nivel de aguas mínimas en el río, el caudal requerido por la población que se va a abastecer y el nivel máximo alcanzado por las aguas durante las crecientes, con un período de retorno mínimo de 20 años.

- ❖ **Inclinación de las rejillas.** En el caso de rejillas utilizadas para la captación de aguas superficiales en cursos de agua de zonas montañosas, la rejilla debe estar inclinada entre 10% y 20% hacia la dirección aguas abajo. En el caso de otros tipos de estructuras de captación, las rejillas deben tener una inclinación de 70° a 80° con respecto a la horizontal.

- ❖ Separación entre barrotes. La separación entre barrotes, para el caso de estructuras de captación en ríos con gravas gruesas, debe ser entre 75 mm y 150 mm. Para ríos caracterizados por el transporte de gravas finas, la separación entre barrotes debe ser entre 20 mm y 40 mm.
- ❖ Ancho de la rejilla. El ancho de la rejilla debe depender del ancho total de la estructura de captación.
- ❖ Velocidad del flujo en la rejilla. La velocidad efectiva del flujo a través de la rejilla debe ser inferior a 0.15 m/s, con el fin de evitar el arrastre de materiales flotantes.
- ❖ Coeficiente de pérdidas menores de la rejilla. Deben conocerse las pérdidas menores que ocurren en la rejilla. Para calcularlas debe utilizarse la siguiente ecuación

$$H = K \frac{V^2}{2g}$$

donde :

K debe calcularse de la siguiente forma:

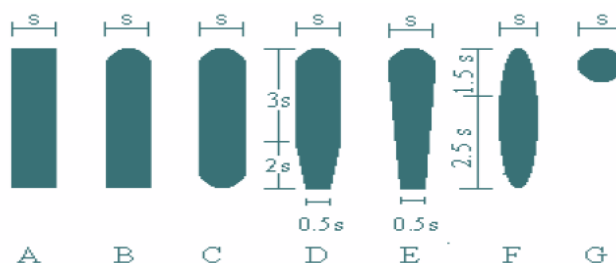
$$K = \beta \cdot \left(\frac{S}{b} \right)^{1.33} \cdot \text{Sen} \alpha$$

debe obtenerse de la tabla 4 en conjunto con la figura 1.

Tabla 4. Coeficiente de pérdida para las rejillas.

Sección transversal Forma	A	B	C	D	E	F	G
β	2.42	1.83	1.67	1.035	0.92	0.76	1.79

Figura 1. Diferentes formas de barrotes de rejillas



Sin embargo, para el caso de los niveles **bajo y medio de complejidad**, puede considerarse que el coeficiente de pérdidas menores varía entre 0.5 y 0.7.

1.4.4 Vertederos de excesos. En todo tipo de presas debe construirse al menos un vertedero de excesos para proteger las estructuras durante las crecientes. Para esto deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. La capacidad del vertedero debe justificarse en función de la máxima creciente registrada o estimada según las características hidrológicas de la zona.
2. La rápida, localizada aguas abajo de la cresta del vertedero, debe construirse revestida en concreto o en mampostería con el fin de proteger las estructuras contra la erosión producida por las altas velocidades del agua.
3. En caso de que se considere necesario la rápida debe ir acompañada de estructuras de aireación con el fin de prevenir posibles problemas causados por cavitación.

4. Al final de la rápida siempre debe existir una estructura disipadora de energía del agua del canal de excesos, para prevenir problemas de socavación en las estructuras ubicadas aguas abajo. En lo posible se tratará de entregar el flujo con la misma energía que lo caracterizaba antes de la construcción de la presa.

1.4.5 Desarenadores. Siempre que sea necesario debe instalarse un desarenador en el primer tramo de la aducción, lo más cerca posible a la captación del agua. Preferiblemente debe existir un desarenador con dos módulos que operen de forma independiente, cada uno de ellos dimensionado para el caudal medio diario (Qmd) ante la posibilidad de que uno de los dos quede fuera de servicio.

En el caso de los niveles **bajo y medio de complejidad**, puede prescindirse del desarenador cuando se compruebe que el transporte de sólidos sedimentables no es perjudicial para el sistema de abastecimiento de agua.

1.4.5.1 Parámetros de diseño

❖ Ubicación. Para la selección del sitio donde se ubicará el desarenador deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. El área de la localización debe ser suficientemente grande para permitir la ampliación de las unidades durante el período de diseño del sistema, siguiendo lo recomendado por el estudio de costo mínimo.

2. El sitio escogido debe proporcionar suficiente seguridad a la estructura y no debe presentar riesgo de inundaciones en los periodos de invierno.

3. La ubicación del desarenador debe garantizar que el sistema de limpieza pueda hacerse por gravedad y que la longitud de desagüe de la tubería no sea excesiva.
 4. Los desarenadores deben ubicarse lo más cerca posible del sitio de la captación.
 5. El fondo de la estructura debe estar preferiblemente por encima del nivel freático. En caso contrario deben tomarse las medidas estructurales correspondientes considerando flotación y subpresión.
- ❖ Capacidad hidráulica. Cada desarenador debe tener una capacidad hidráulica igual al caudal máximo diario (QMD) más las pérdidas que ocurran en el sistema y las necesidades de la planta de tratamiento.
 - ❖ Velocidad de sedimentación. La velocidad de asentamiento vertical debe calcularse en función de la temperatura del agua y el peso específico de la partícula. El peso específico de las partículas de arena que serán removidas por el desarenador se puede suponer igual a 2.65 gr /cm³.

La velocidad de asentamiento vertical puede ser estimada utilizando la siguiente ecuación

$$v = \frac{(\rho_s - \rho) \cdot d^2 \cdot g}{18 \cdot \mu}$$

De todas maneras la relación entre la velocidad horizontal y la velocidad de asentamiento vertical debe ser inferior a 20.

- ❖ Dimensionamiento. Se recomienda que la relación entre la longitud útil del desarenador y la profundidad efectiva para almacenamiento de arena sea 10 a 1.

La profundidad efectiva para el almacenamiento de arena en el desarenador debe estar comprendida entre 0.75 m y 1.50 m. La altura máxima, para efectos del almacenamiento de la arena, puede ser hasta el 100 % de la profundidad efectiva. El diseñador debe determinar y justificar la ubicación y las características de los desagües, teniendo en cuenta la profundidad efectiva del desarenador.

- ❖ Influencia de los procesos de tratamiento posterior al desarenador. Teniendo en cuenta la calidad del agua de la fuente y según se someta o no a los procesos de tratamiento de coagulación y filtración en la planta de tratamiento, el diseño de un desarenador debe cumplir los siguientes requisitos, según sea el caso:

1. Aguas sin tratamiento posterior

Para el caso de aguas sin tratamiento posterior, la velocidad máxima horizontal en el desarenador debe ser 0.17 m/s. Deben removerse las partículas con diámetros mayores que o iguales a 0.1 milímetros y la eficiencia del desarenador no puede ser menos del 75%.

2. Aguas sometidas a un tratamiento posterior

En el caso de aguas sometidas a tratamiento posterior al desarenador, la velocidad horizontal máxima en este será 0.25 m/s. Deben removerse las partículas con diámetros superiores o iguales a 0.2 milímetros y la eficiencia del desarenador no puede ser menos del 75%.

❖ Accesorios y dispositivos. Para el diseño de desarenadores deben tenerse en cuenta los siguientes requerimientos:

1. Deben proyectarse los dispositivos de entrada y salida de modo que aseguren una buena distribución del flujo y se reduzca a un mínimo la posibilidad de corto circuito dentro del desarenador.
2. La tubería o canal de llegada debe colocarse en el eje longitudinal del desarenador. Igual sucede en el caso de un canal situado aguas arriba del desarenador.
3. En la entrada debe instalarse un dispositivo para distribuir uniformemente el flujo a lo ancho de la sección transversal del desarenador.
4. El dispositivo de salida debe tener un canal recolector provisto de un vertedero que asegure una distribución uniforme del flujo en toda la sección transversal del desarenador.
5. La altura del canal recolector sobre la entrada de la tubería de conducción debe ser suficiente para garantizar la cabeza de velocidad necesaria para el caudal de diseño.
6. El dispositivo de rebose debe tener un vertedero lateral ubicado cerca de la entrada del desarenador.
7. El dispositivo de limpieza debe ubicarse en el área de almacenamiento y constará de una caja o canal de recolección de arenas con una pendiente mínima del 5 % y una válvula.

8. La pendiente de la placa de fondo estará comprendida entre el 5 y el 8% con el fin de obtener una limpieza eficiente y permitir que los obreros caminen sin resbalar.

9. Las tuberías o canales de rebose y/o limpieza se unirán a una tubería o canal de descarga, los cuales deben tener un diámetro o ancho no menor de 0.25 metros y/o una pendiente no menor del 2%.

10. Debe ubicarse una caja de inspección en la tubería de limpieza adyacente o lo más cerca posible de la descarga de arenas.

- ❖ Desarenadores con niveles variables. Si el proyecto incluye un desarenador con niveles variables, que dependen de los niveles de estiaje y de creciente en las fuentes, deben considerarse las condiciones de operación para los niveles máximo y mínimo.
- ❖ Desarenadores con remoción manual. En el caso de que se tengan desarenadores con procesos manuales para la remoción de arena, el depósito de arena debe ser capaz de acumular un mínimo equivalente al 10% del volumen total del desarenador. El desarenador debe tener un ancho mínimo que permita el acceso y el libre movimiento de los operadores y del equipo auxiliar de limpieza.

1.4.6 Válvulas de purga. Con el fin de mantener un control efectivo sobre los sedimentos atrapados en las tuberías de aducción, deben tenerse en cuenta los siguientes requisitos:

1. Para los niveles **medio alto y alto de complejidad**, la empresa prestadora de servicio encargada del abastecimiento del agua potable debe mantener un

conocimiento pleno del tipo de sedimentos que están siendo retenidos en la aducción. La apertura de las válvulas de purga debe hacerse en el momento en que la capacidad de conducción de la tubería de aducción se reduzca en un 10% para una cabeza dada en la entrada de la aducción especificada.

2. Para los niveles **bajo y medio de complejidad**, la apertura de las válvulas de purga debe hacerse en forma periódica, de acuerdo con lo establecido en el diseño. En caso de que se tenga instrumentación que permita detectar reducciones en los caudales, las válvulas de purga deben abrirse en el momento en que se detecte una reducción del caudal del 20% para una cabeza dada en la entrada de la tubería de aducción.

1.4.6.1 Características de las Válvulas de purga. En todos los puntos bajos deben colocarse válvulas de purga para el drenaje de la tubería. Cuando ésta se desocupe, el agua debe conducirse al sistema de alcantarillado pluvial, de existir éste, a canales recolectores de agua lluvia o a canales abiertos. Debe justificarse plenamente cuándo en un punto bajo no se requiere válvula de purga. Los valores del tiempo de descarga deben ser fijados por el diseñador, de acuerdo con la empresa prestadora del servicio, y su valor máximo para tuberías de 1.22 m (48 pulgadas) y mayores será de 10 horas.

1.4.6.2 Ventosas. Las ventosas deben ser instaladas en todos los puntos donde haya la posibilidad de acumulación de aire en la tubería, es decir, donde no sea posible su remoción hidráulica. Para que exista la remoción hidráulica del aire es necesario que la velocidad mínima operacional sea igual o superior a la velocidad crítica. En caso de no existir la remoción hidráulica será necesaria la instalación de ventosas para la remoción mecánica del aire. Las ventosas deben cumplir con las normas técnicas requeridas.

1.4.7 Cámaras de quiebre. Estas cámaras tienen por objeto reducir la presión aguas abajo de las mismas hasta el valor de la presión atmosférica, con el fin de limitar las presiones en las instalaciones localizadas aguas abajo. Deben instalarse este tipo de cámaras cuando se haya seleccionado como alternativa óptima una tubería de baja presión, acompañada por este tipo de elementos.

Como opción se permite la eliminación de las cámaras de quiebre, manteniendo siempre la tubería adecuada para soportar las presiones máximas más los factores de seguridad mencionados anteriormente a lo largo de toda la tubería.

1.4.8 Aducción y conducción. Pueden utilizarse los siguientes dos tipos de aducciones: aducción a superficie libre (canales) o aducción a presión (ya sea por bombeo o por gravedad). Deben tenerse en cuenta los siguientes requisitos:

1. En lo posible, no deben utilizarse canales abiertos en la aducción debido a las dificultades que presenta su mantenimiento y fundamentalmente por las condiciones de riesgo de contaminación a las que se hallaría sometida la aducción, con la consiguiente pérdida de calidad sanitaria.
2. Los canales que crucen zonas pobladas o zonas susceptibles de contaminación deben estar provistos de una cubierta de protección.
3. Se admitirá que en un sistema de aducción puedan existir tramos sucesivos a superficie libre, en conducto a presión por gravedad o por bombeo, en cualquier secuencia y dimensiones siempre que se cumplan las condiciones hidráulicas particulares para cada uno de esos tipos de regímenes.
4. En los puntos de transición de tramos definidos por distintos tipos de funcionamiento no deben presentarse pérdidas continuas de agua como resultado

de la diferencia de capacidad de los diversos tramos. El tramo con menor capacidad debe tener la capacidad de diseño de la aducción.

5. No pueden presentarse deficiencias en el comportamiento hidráulico de la aducción como consecuencia de la subdivisión de la aducción en tramos de diferentes tipos de regímenes hidráulicos.

6. Las conducciones deben ser cerradas y a presión.

1.4.8.1 Análisis hidráulico. Para el análisis hidráulico de la aducción o conducción deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. Debe desarrollarse un análisis hidráulico de la línea simulando todas las condiciones operacionales normales y de emergencia, definiendo el régimen de presiones y caudales a lo largo de la línea. En el caso de conductos a presión, debe hacerse un análisis de golpe de ariete.

2. En aquellos casos en que se considere necesario el uso de canales a cielo abierto, deben calcularse las pérdidas por evaporación; si el canal se construye sin revestimiento, la capacidad de conducción debe aumentarse teniendo en cuenta las pérdidas por infiltración.

3. El proyecto debe incluir el cálculo de todas las secciones del canal y de las obras de arte requeridas. La sección transversal del canal puede variar hacia aguas abajo, teniendo en cuenta las pérdidas por evaporación y las pérdidas por infiltración. En todo caso, dichas pérdidas deben estar sujetas a un análisis económico.

4. El conducto en planta puede estar constituido por tramos rectos, segmentos rectos acompañados por una curva o tramos curvos, pero en perfil estarán preferiblemente constituidos por tramos rectos.

❖ Período de diseño según el nivel de Complejidad del Sistema:

Nivel de Complejidad del Sistema Período de diseño

Bajo 15 años

Medio 20 años

Medio alto 25 años

Alto 30 años

1.4.8.2 Canales a flujo libre. Siempre que la aducción sea totalmente en canal abierto, o parcialmente u opere como una tubería o túnel parcialmente lleno, deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos de diseño:

Métodos de cálculo

Debe justificarse el método de cálculo para la sección transversal de los canales. Se recomienda el uso de las ecuaciones de Manning, de Bassin, de Manning-Strickler y de Chèzy. En el caso de secciones con rugosidad compuesta, se recomienda el uso de la fórmula de Strickler. En todos los casos debe justificarse el factor de fricción o coeficiente de pérdidas por fricción utilizado. Como ejemplo, en la siguiente tabla se establecen los coeficientes n de Manning para diferentes materiales.

Tabla 5. Coeficiente de Rugosidad de Manning

Material del canal	n de Manning
Asbesto cemento	0.010
Cemento mortero	0.013
Cemento pulido	0.011
Concreto áspero	0.016
Concreto liso	0.012
Mampostería	0.015
Piedra	0.025
Piedra sobre mortero	0.035

1.4.8.3 Conductos a presión.

Generalidades

Cuando la aducción o la conducción estén compuestas por una tubería que funcione a presión deben cumplirse los siguientes requisitos:

1. El tipo de tuberías, de juntas, de materiales y de apoyos debe ser adecuado a la forma de instalación, garantizando la completa estanqueidad del conducto. Así mismo, la tubería debe estar protegida contra impactos.
2. Las tuberías formadas por segmentos rectos pueden disponerse en forma curva, si es necesario mediante la deflexión de las tuberías en sus juntas, si éstas son flexibles.
3. Las tuberías formadas por segmentos rectos pueden colocarse en curva, si es necesario, mediante la deflexión de las tuberías en sus juntas, si estas son del tipo flexible. Sin embargo para municipios situados en zonas de amenaza sísmica alta no se recomienda deflectar las tuberías en las uniones mecánicas, con el fin de mantener su flexibilidad y dar seguridad a la conducción y/o aducción.

Tabla 6. Características de las tuberías para conductos a presión

Material	Diámetros comerciales	Características
Acero	Desde 50 mm (2 pulgadas), a pedido	<ul style="list-style-type: none"> • Relativamente liviana • Alta resistencia a la tracción • Adaptable a zonas donde puede haber asentamientos • Resiste presiones altas • Baja resistencia a la corrosión • Dúctil y maleable • Está sujeta a electrólisis • Baja resistencia a la corrosión externa en suelos ácidos o alcalinos • En diámetros grandes su resistencia a carga exterior es baja • Presenta tuberculización cuando no tiene revestimiento interno • Poca estabilidad estructural bajo presión negativa • Diseño estructural acorde con la presión requerida
Asbesto Cemento (AC)	50 a 700 mm (2 a 28 pulgadas)	<ul style="list-style-type: none"> • No sujeta a corrosión electrolytica • Se acartonan, en suelos con alto contenido de CO₂ • Buena estabilidad estructural • Frágil • Relativamente liviana • En suelos ácidos (pH inferior a 4) necesita revestimiento epoxico externo.
Concreto reforzado con cilindro de acero (CCP) O sin cilindro.	250 a 1500 mm (10 a 60 pulgadas)	<ul style="list-style-type: none"> • En suelos ácidos (pH inferior a 4) necesita revest. epoxico externo. • Muy resistente a cargas externas, a presión interna y a golpe de ariete. • Pesada • Buena estabilidad estructural • Diseño estructural acorde con la presión requerida
Hierro dúctil HD	100 a 600 mm (4 a 24 pulgadas) o más a pedido	<ul style="list-style-type: none"> • Muy buena resistencia a la corrosión • Buena resistencia a carga exterior • Medianamente liviana • Medianamente dúctil • Facilidad de montaje • Poca elasticidad (pero mayor que el HF) • Sujeta a corrosión electrolytica cuando no está revestida externamente • Sujeta a tuberculización cuando no está revestida internamente

Hierro fundido HF	100 a 600 mm (4 a 24 pulgadas) o más a pedido	<ul style="list-style-type: none"> • Buena resistencia a carga exterior • Buena resistencia a la corrosión • Frágil • Pesada • Poca elasticidad • Sujeta a tuberculización cuando no está revestida internamente
Polivinilo de cloruro (PVC)	12.5 mm a 900 mm (0.5 a 36 pulgadas)	<ul style="list-style-type: none"> • Inerte a la corrosión • Liviana y de fácil manejo. • Buena resistencia a cargas externas • Temperatura máxima de trabajo 50°C • Baja resistencia a la flexión • Fácil de perforar para incorporar acometidas • Se degrada cuando esta expuesta a los rayos solares
Poliéster reforzado con fibra de vidrio (GRP)	300 a 2400 mm	<ul style="list-style-type: none"> • Inerte a la corrosión • Liviana y de fácil manejo. • Buena resistencia a cargas externas
Polietileno de alta densidad (PE)	20 mm a 1200 mm	<ul style="list-style-type: none"> • Inerte a la corrosión • Liviana y de fácil manejo. • Buena resistencia a cargas externas

2. USO ACTUAL DE LOS SUELOS POR MICROCUENCAS EN EL MUNICIPIO DE PAMPLONA

La siguiente información fue suministrada del PMA EMPOPAMPLONA S.A. E.S.P.

2.1 USO ACTUAL

- ❖ **Monteadero:** La mayor parte de su suelo esta clasificada como agropecuaria mixta y potreros abiertos, existe una pequeña zona de protección en la parte alta de microcuena.
- ❖ **EL Rosal:** Tiene suelos clasificados como tierras agropecuarias mixtas, potreros abiertos, rastrojos y en la parte alta se encuentra la zona de protección absoluta áreas estratégicas.
- ❖ **García:** (quebradas Ucuques y Morronegro), la mayor parte de su territorio esta clasificada como matorrales paramunos, existe un área considerable de bosque natural primario y en menor escala un sector de tierras con uso agropecuario mixto.

2.2 USOS POTENCIAL

- ❖ **Monteadero:** Protección absoluta y bosques protectores en la parte alta, u silvopastoril, cultivos densos y franjas de bosques comerciales en la zona media baja.
- ❖ **El Rosal:** Protección absoluta y bosques protectores en la parte alta, u silvopastoril, cultivos densos y franjas de bosques comerciales en la zona media baja.

- ❖ **García:** Protección absoluta y bosques protectores en la parte alta, la mayor parte del territorio y uso silvopastoril, cultivos densos y franjas de bosques comerciales en la zona media y baja.

2.3 ÁREAS ESTRATÉGICAS O ÁREAS DE PROTECCIÓN

El municipio de Pamplona junto con CORPONOR ha adquirido ocho predios catalogados como áreas estratégicas, denominados: El Volcán 104 Ha, Santa Helena 9 Ha y la Cueva 9 Ha, con el número predial 00-03-005-117. La Despensita 102 Ha y 8700 m², con el número predial 00-03- 0005-0053-000. La Rosa de las corralejas 14 Ha, con el número predial 00-03-0005-0127-000. Villa Rica 119 Ha, con el número predial 00-03-0005-0051-000. Las Lajas 26 Ha y 3760 m² y El Atico 40 Ha, con el número predial 00-03-0005-0045-000. Estas áreas alcanzan un total de 424 Ha.

2.3.1 Áreas prioritarias por adquirir. Su importancia radica en que son cabeceras de las fuentes abastecedoras del acueducto actual o donde se plantea ubicar una nueva captación.

Estos predios están ubicados en las partes altas de las microcuencas El Volcán, Monte dentro y García, y se estiman que el área por adquirir alcanza unas 386.1 Ha.

2.4 DESCRIPCIÓN DE LAS CAPTACIONES DEL ACUEDUCTO URBANO DE PAMPLONA.

En los siguientes cuadros se presentan las descripciones de los sistemas de captación del acueducto urbano de la ciudad de Pamplona.

En los cuadros del 1 al 4 se presentan una descripción general de las captaciones, líneas de aducción y conducción, entre las especificaciones tenemos la altura sobre el nivel del mar en las que se encuentran, su ubicación y caudales de las fuentes. Los datos que se presentan fueron sustraídos del Plan de Manejo Ambiental y de los planos de la Empresa.

Cuadro 1. Descripción general de la captación Morronegro que abastece la planta Monte dentro .

CAPTACION MORRONEGRO O POTRERITOS
Ubicación: Sur-Occidente del municipio, Vereda García.
Altura: 2923 m.s.n.m
Fuente: Quebrada Morronegro
Caudal mínimo de la fuente: 8.23 l/s
Caudal medio de la fuente: 30.21 l/s
Caudal captado promedio: 15 l/s
Caudal promedio de la fuente captado: 50%
Captación diaria: 1290 m ³ /d
Capacidad instalada: 60 l/s
Tipo de captación: Rejilla de fondo
Longitud y especificaciones de la conducción: La captación del Mono y Potreritos se unen en el punto situado a 7.3 Km de la planta de tratamiento en la cámara de empalme No.1. Conducción en tubería de PVC combinada en diámetros de 8 y 10 pulgadas. 13 cámaras de quiebre de presión. Distancia de la captación a la planta es de 10.3 Km. Cámara de empalme hasta cámara de llegada en tubería de hierro fundido de 12 pulgadas.
Vida útil de la estructura
Años de uso: 20 años
Vida útil: 50 años
Obra de captación
Rejilla de captación
Canal de captación
Canal de conducción
Cámara reguladora de caudales
Desarenador

Fuente PMA. EMPOPAMPLONA S.A. E.S.P.

Cuadro 2. Descripción general de la captación Ucuques que abastece la planta Monte dentro.

CAPTACION UCUQUES O EL MONO
Ubicación: Sur Occidente del municipio, Vereda García
Altura: 2913 m.s.n.m
Fuente: Quebrada Ucuques
Caudal mínimo de la fuente: 9.79 l/s
Caudal medio de la fuente: 17.61
Caudal captado promedio: 15. 1/s
Caudal promedio de la fuente captado: 85%
Captación diaria: 1290 m ³ /d
Capacidad instalada: 60 1/s
Tipo de captación: Rejilla de fondo
Longitud y especificaciones de la conducción: La captación de Ucuques y Morronegro se unen en un punto situado a 7.3 Km de la planta de tratamiento, en la cámara de empalme No. 1. Conducción en tubería de PVC combinada en diámetros de 8 y 10 pulgadas. Existen 13 cámaras de quiebre para el control de presión. Distancia de la captación a la planta de tratamiento es de 8.3 Km. Cámara de empalme hasta cámara de llegada en tubería de hierro fundido de 12 pulgadas.
Vida útil de la estructura
Años de uso: 18 años
Vida útil: 50 años
Obra de captación
Rejilla de captación
Canal de captación
Canal de conducción
Cámara reguladora de caudales
Desarenador

Fuente **PMA. EMPOPAMPLONA S.A. E.S.P.**

Cuadro 3. Descripción general de la captación El Rosal que abastece la Planta Cariongo.

CAPTACION EL ROSAL
Ubicación: Sur-Occidente del municipio, Vereda el Rosal
Altura: 2343 m.s.n.m
Fuente: Quebrada el Rosal
Caudal mínimo de la fuente: 37.91 l/s
Caudal medio de la fuente: 83.741/s
Caudal captado promedio: 50 l/s
Caudal promedio de la fuente captado: 59%
Captación diaria: 4320 m ³ /d
Capacidad instalada: 100 l/s
Tipo de captación: Rejilla de fondo
Longitud y especificaciones de la conducción: Tubería de asbesto cemento de 10" hasta cámara de empalme. Distancia de la captación a la planta es de 2.5 Km.
Vida útil de la estructura
Años de uso: 25 años
Vida útil: 50 años
Obras de captación
Rejilla de captación
Canal de captación
Canal de conducción
Cámara reguladora de caudales
Desarenador

Fuente **PMA. EMPOPAMPLONA S.A. E.S.P.**

Cuadro 4. Descripción general de la captación Cariongo que abastece a la Planta Cariongo.

CAPTACIÓN CARIONGO
Ubicación: Barrio Cariongo
Altura: 2305 m.s.n.m
Fuente: Quebrada Cariongo o Monteadentro
Caudal mínimo de la fuente: 88.86 l/s
Caudal medio de la fuente: 129.7 l/s
Caudal captado promedio: 80 l/s
Caudal promedio de la fuente captado: 61%
Captación diaria: 6912 m ³ /d
Capacidad instalada: 160 l/s
Tipo de captación: Rejilla de fondo
Longitud y especificaciones de la conducción: Conducción en canal abierto en concreto hasta cámara de empalme. Distancia de la captación a la planta es de 0.3 Km.
Vida útil de la estructura
Años de uso: 57 años
Vida útil: 70 años
Obra de captación:
Rejilla de captación
Canal de captación
Canal de conducción
Cámara reguladora de caudales
Desarenadores

Fuente **PMA. EMPOPAMPLONA S.A. E.S.P.**

3. PROYECCIÓN DE CAUDALES.

3.1 CALCULO DE LA POBLACIÓN.

Población de diseño: Según el último censo del DANE en el 2005, 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 28 años será de 58880 habitantes a 2033.

$$P_{2033} = P_{2005}(1+r)^n$$

$$P_{2033} = 48575 (1+0.0084)^{28}$$

$$P_{2033} = 61395 \text{ hab}$$

3.2 NIVEL DE COMPLEJIDAD, DOTACIÓN Y DEMANDA.

Tabla 7. 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, Titulo A

Tabla 8. 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 9. 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:

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

Dotación Neta 200 L/s

Perdidas Técnicas 20%

$$Dotación\ bruta = 250 \frac{L}{hab\ día}$$

Caudal medio diario

El caudal medio diario se calcula con la siguiente ecuación:

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

Calculo de la dotación básica

$$\text{Caudal medio diario} = 177,64 \frac{\text{L}}{\text{seg}}$$

Tabla 10. Valores de K₁

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

Fuente RAS-2000

Caudal máximo horario

El caudal máximo horario se calcula con la siguiente ecuación:

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

Tabla 11. Valores de K₂

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

Fuente RAS-2000

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

4. EVALUACIÓN HIDRÁULICA DE LOS SISTEMAS DE CAPTACIÓN, ADUCCIÓN, DESARENACIÓN Y CONDUCCIÓN.

4.1 SUBSISTEMA QUEBRADA POTRERITOS

La captación Potreritos se encuentra ubicada a 3040 metros sobre el nivel del mar en el Sur-Occidente del municipio de Pamplona, en la vereda García, la estructura se encuentra sobre la quebrada Morronegro. La captación presenta una rejilla de 50 cm x 160 cm en hierro fundido con varillas de diámetro de 1" separadas entre si por 1" y se encuentra en buen estado, un canal de aducción en concreto ciclópeo que se encuentran en buen estado y una cámara reguladora de caudales en concreto ciclópeo en buen estado. La aducción es en tubería de 10" de diámetro en PVC, con un caudal captado de 15 l/s y una longitud de 105,6 m. El desarenador se encuentra aguas abajo de la captación, es de tipo convencional, estructuralmente se encuentra en buen estado. Consta de una cámara de llegada y aquietamiento, pantalla deflectora, cuerpo del desarenador, pantalla de sólidos flotantes, vertedero de salida, vertedero de rebose, caja de exceso, compuerta para lavado.

En la línea de conducción de Potreritos en el trayecto del desarenador hasta la cámara de empalme es en PVC, con un diámetro de 10" y una longitud 2890 m, luego llega a la cámara de empalme y se une con las aguas de la captación de El Mono, desde la cámara de empalme hasta la planta de tratamiento el diámetro de la tubería es de 12" y en hierro fundido, con una línea de conducción de 364718 m de longitud, además se encuentran 5 purgas de 3" de diámetro, 9 ventosas de 1" de diámetro y 12 cámaras de quiebre de presión.

Con objeto de la presente evaluación se utilizaron los datos del caudal medio y mínimo del Plan de Manejo Ambiental de la Empresa con las siguientes características y resultados.

Para los cálculos de la fuente de abastecimiento se utilizó la fórmula de Francis; en la línea de aducción (captación – desarenador) se utilizaron las ecuaciones a presión, la de HAZEN WILLIAMS; a flujo libre la de MANNING y DARCY – WEISBACH para evaluar las líneas de conducción en combinación con el método de NEWTON o de aproximaciones sucesivas, en donde se halló el factor de fricción f . Para el desarenador, se utilizó la fórmula de Stokes, hallando la velocidad de sedimentación y su periodo de retención.

Los resultados detallados de la evaluación de la captación, aducción y Desarenadores se presentan a continuación y la evaluación de las líneas de conducción, se realizó con la ayuda de programas de cálculos elaborados en hojas electrónicas Excel.

Captación

Q med 30, 21 l/s

Q min = 8, 23 l/s

Q eco = 15,101/s

Lámina de agua

$$H = (Q \text{ med } 1 / 1,84 \cdot L)^{2/3}$$

$$H = 4,8 \text{ cm}$$

$$Q_{\text{med}} = \text{Caudal medio } 0,03021 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$L = \text{Longitud de la rejilla } 1,6 \text{ m}$$

En la tabla 12 se presenta las láminas de agua para los diferentes caudales

Tabla 12. Láminas de agua para los caudales de la quebrada Potreritos.

Caudal	H (cm)
Q medio	4,8
Q mínimo	2,0
Q ecológico	3,0

Area de flujo

$$A = L \cdot H$$

$$A = 0,0768 \text{ m}^2$$

$$L = \text{Longitud de la rejilla } 1,6 \text{ m}$$

$$H = \text{Lamina de agua } 4,8 \text{ cm}$$

En la tabla 13 se presentan las áreas de flujo para los diferentes caudales

Tabla 13. Áreas de flujo para los caudales de la quebrada Potreritos.

Caudal	A (m ²)
Q medio	0,0768
Q mínimo	0,032
Q ecológico	0,048

Velocidad de flujo medio

$$V = Q_{med}/A$$

$$V = 0,393 \text{ m/s}$$

V = Velocidad del flujo medio

Qmed = Caudal medio 0,03021 m³/s

A = Área de flujo medio 0,0768m²

Ancho de la rejilla

$$X_s = (0,36 \cdot V^{2/3}) + (0,60 \cdot H^{4/7})$$

$$X_s = 0,30 \text{ m}$$

$$X_i = (0,18 \cdot V^{4/7}) + (0,74 \cdot H^{3/4})$$

$$X_i = 0.17 \text{ m}$$

V = Velocidad del flujo medio 0,393 m/s

H = Lamina de agua para caudal medio 4,8 cm \approx 0,048 m

Ancho rejilla existente 0,40 m > 0,30 m. Cumple

Velocidades sobre la rejilla

Se obtiene de la relación caudal y el área de la rejilla, en la tabla 14 se encuentra los resultados para los diferentes caudales.

Tabla 14. Velocidades del agua sobre la rejilla para los caudales de la quebrada Potreritos.

Caudales	Q (m³/s)	A(m²)	V (m/s)
Caudal medio	0,03021	0,0768	0,393
Caudal ecológico	0,01510	0,048	0,314
Caudal mínimo	0,00823	0,032	0,26

Velocidad de paso a través de la rejilla

$$V = Q (a + b) / [K \cdot B \cdot L \cdot a]$$

Q = Caudal (medio, mínimo o ecológico) en m³/s

K = Constante equivalente a 0,90

B = Ancho efectivo de la rejilla igual a 0,40 m

L = Longitud total de la rejilla igual a 1,60 m

a = Separación de las varillas que son de 1" \approx 0,025 m

En la tabla 15 se presentan los resultados de las velocidades de paso a través de la rejilla.

Tabla 15. Velocidades de paso a través de la rejilla para los caudales de la quebrada Potreritos.

Caudales	Velocidad(m/s)	RAS-2000	Observación
Caudal medio	0,104	V<0,15 m/s	Cumple
Caudal ecológico	0,05	V<0,15 m/s	Cumple
Caudal mínimo	0,028	V<0,15 m/s	Cumple

Capacidad de la rejilla

Asumiendo una velocidad de 0,15 m/s

Con fórmula No.1

$$Q = K \cdot B \cdot L \cdot (a / (a + b)) \cdot V$$

$$Q = 0,0432 \text{ m}^3/\text{s} \approx 43,21/\text{s}$$

K = Constante equivalente a 0,90

B = Ancho efectivo de la rejilla igual a 0,40 m

L = Longitud total de la rejilla igual a 1,60 m

a = Separación de las varillas que son de 1" \approx 0,025 m

b = Diámetro de las varillas que son de 1" \approx 0,025 m

V = Velocidad asumida 0,15 m/s

Con fórmula No. 2

Caudal captado por un orificio

$$Q_o = C \cdot A_o \cdot (2gH)^{1/2}$$

$$Q_o = 0,00582 \text{ m}^3/\text{s}$$

Qo = Caudal que pasa a través de un orificio

C = Constante igual a 0,60

Ao = Área del orificio equivalente a $(B \cdot a) = 0,40 - 0,0254 = 0,01 \text{ m}^2$

g = aceleración de la gravedad igual a 9,81 m/s²

H = Lamina de agua del caudal medio 4,8 cm \approx **0,048 m**

Caudal máximo que se puede captar

$$Q_{\text{max}} = Q_o \cdot N_o$$

$$Q_{\text{max}} = 0,1804 \text{ m}^3/\text{s}$$

No = Número de orificios que son 31 orificios

Verificación de condiciones de la canaleta de aducción

Lámina de agua critica para Qmed.

$$h_c = [Q^2 / (g \cdot B^2)]^{1/3}$$

$$h_c = 0,083 \text{ m}$$

$$Q = \text{Caudal en } 0,03021 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$B = \text{Ancho efectivo de la rejilla } 0,40 \text{ m}$$

$$g = \text{Aceleración de la gravedad igual a } 9,8 \text{ m/s}^2$$

Lamina de agua de la canaleta de aducción

$$h_o = \{2 \cdot h_c + (h_c - 1/3 \cdot i \cdot L)^2\}^{1/2} - (2/3 \cdot i \cdot L)$$

$$h_o = 0,014 \text{ m}$$

$$h_c = 0,083 \text{ m}$$

$$i = \text{Pendiente de la canaleta igual a } 5\%$$

$$L = \text{Longitud de la canaleta } 3,2 \text{ m}$$

Velocidad en la canaleta de aducción

$$V = Q / (B \cdot h_o)$$

$$V = 5,39 \text{ m/s}$$

$$Q = \text{Caudal medio } 0,03021 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$B = 0,40 \text{ m}$$

$$h_o = 0.014\text{m}$$

Velocidad crítica en la canaleta de aducción

$$V_c = (g \cdot hc)^{1/2}$$

$$V_c = 0,9 \text{ m/s}$$

$$hc = 0,083 \text{ m}$$

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

Según el RAS-2000 $V < V_c$ luego, $V = 5,39 \text{ m/s} > V_c = 0,9 \text{ m/s}$; por lo tanto no cumple ya que la pendiente es mayor a la mínima requerida. El hecho de disponer mayor pendiente en el fondo de la canaleta no afecta el funcionamiento hidráulico.

En la tabla 16 se presentan las condiciones de la canaleta para los diferentes caudales.

Tabla 16. Verificación de las condiciones de la canaleta de aducción para los caudales de la quebrada Potreritos.

Caudal	Q (m3/s)	hc	ho	V	Vc	Vc>V
Medio	0,03021	0,083	0,014	5,39	0.9	X
Máximo de la captación	0,1804	0,27	0,33	1,36	1.62	OK
Captado con V=0,15 m/s	0,0432	0,106	0,052	2,07	1,02	X

X = La pendiente es mayor a la mínima requerida.

Línea de aducción

A PRESION (HAZEN WILLIAMS)

$$Q = 0,2785 \cdot C \cdot D^{2,63} \cdot J^{0,54}$$

$$Q = 0,148 \text{ m}^3/\text{s}$$

C = Coeficiente de rozamiento de la tubería (PVC =150)

D = Diámetro de la tubería en metros (0,254m)

J = Pendiente

La pendiente se obtiene con la siguiente ecuación:

$$J = \Delta h/L$$

$$J = 0,023$$

Δh = Diferencia de niveles entre puntos de evaluación. Cabeza hidráulica de energía disponible

Cota clave de salida = 2920,23 m.s.n.m

Cota clave de llegada = 2917,75 m.s.n.m

L = Longitud de la aducción 105,6 m

Ø = 10" \approx 0,254 m

Como $L < 500 \text{ } \varnothing$, entonces:

$$Q = C_d \cdot A_o (2gH)^{1/2}$$

Despejando H:

H = 0,093 m

Q = Caudal medio en 0,103 m³/s

Cd = Constante igual a 0,60

Ao = Área de la tubería 0,050 m²

g = 9,81 m/s²

La altura mínima requerida para que el flujo de agua se mueva es de 9,3 cm, la altura presente en la captación es de 20 cm \approx 0,20 m

A FLUJO LIBRE (MANNING)

Q = **A•V** de donde:

$$Q = (11 D^2/4) (1/N) (RH)^{2/3} (s)^{1/2}$$

$$Q = 0,0124 \text{ m}^3/\text{s}$$

N = Coeficiente de rozamiento de la tubería (PVC = 0,10)

$$\varnothing = 10" \approx 0,254 \text{ m}$$

RH = Radio hidráulico igual a $RH = D/4$

$$RH = 0,0635 \text{ m}$$

S = Pendiente igual anterior $J = \Delta h / L$

$$S = 0,023$$

Cota clave de salida = 2920,23 m.s.n.m

Cota clave de llegada = 2917,75 m.s.n.m

L = Longitud de la aducción 105,6 m

Desarenador

Capacidad hidráulica

Cota muros	2918,30 m
Cota clave entrada de la tubería	2917,55 m
Paso por pantalla	9 orificios Ø 4"
Ancho útil	3,30 m
Largo útil	10,0 m
Profundidad útil	1,91 m
Cota clave salida de la tubería	2917,75 m

Velocidad de sedimentación

Según fórmula de Stokes:

$$V_s = (g/18) \cdot \{ (P_s - P)/\mu \} \cdot d^2$$

$$V_s = 0,65 \text{ cm/s} \approx 6,5 \text{ mm/s}$$

$$g = \text{Aceleración de la gravedad igual a } 981 \text{ cm/s}^2$$

$$P_s = \text{Peso específico de las partículas a remover, arena} = 2,65 \text{ kg/cm}^3$$

$$P = \text{Peso específico del agua} = 1,00 \text{ kg/cm}^3$$

$$\mu_{8^\circ\text{C}} = \text{Viscosidad del agua a la temperatura en que se encuentra} = 0,0139 \text{ cm}^2/\text{s}$$

$$d = \text{Diámetro de las partículas a remover} = 0,01 \text{ cm}$$

Tiempo de sedimentación

$$T = H/V_s$$

$$T = 293,85 \text{ s} \approx 4,89 \text{ min.}$$

T = Tiempo que demora la partícula en tocar fondo (segundos)

H = Profundidad útil del desarenador = 1,91 m

V_s = Velocidad de sedimentación 0,065 m/s

Según el libro sobre Abastecimiento de Aguas de Flinn — Weston y Bogert, la relación entre el periodo de retención (A) y el tiempo que demora la partícula en tocar fondo (T), en condiciones de depósitos con buenos deflectores y esperando una remoción del 75% de las partículas es:

$$A/T = 1,66$$

$$A = 1,66 \cdot T$$

$$A = 487,79 \text{ s.}$$

Sin embargo, este periodo es muy bajo, razón por la cual se dimensionó el desarenador, con un periodo de retención mayor.

Periodo de retención real

$$T_{dr} = Vol / Q$$

$$\mathbf{Tdr} = 72,20 \text{ min ó } 1,20 \text{ h}$$

$$\mathbf{Q} = \text{caudal promedio captado } 0,015 \text{ m}^3/\text{s (obtenido del PMA de la empresa)}$$

$$\mathbf{Vol} = 63,03 \text{ m}^3$$

Área transversal del desarenador

$$\mathbf{At} = \text{ancho útil} \cdot \text{profundidad útil}$$

$$\mathbf{At} = 6,30 \text{ m}^2$$

$$\mathbf{\text{Ancho útil}} = 3,30 \text{ m}$$

$$\mathbf{\text{Profundidad útil}} = 1,91 \text{ m}$$

Área superficial del desarenador

$$\mathbf{As} = \text{ancho útil} \cdot \text{largo útil}$$

$$\mathbf{As} = 33,00 \text{ m}^2$$

$$\mathbf{\text{Ancho útil}} = 3,30 \text{ m}$$

$$\mathbf{\text{Largo útil}} = 10,0 \text{ m}$$

Velocidad vertical

$$\mathbf{Vv = Q/At}$$

$$\mathbf{Vv = 0,0023 \text{ m/s}}$$

$$\mathbf{Q = \text{caudal promedio captado } 0,015 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (obtenido del PMA de la empresa)}}$$

$$\mathbf{At = 6,30 \text{ m}^2}$$

Velocidad horizontal

$$\mathbf{Vh = Q/As}$$

$$\mathbf{Vh = 0,00045 \text{ m/s}}$$

$$\mathbf{Q = 0,015 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (obtenido del PMA de la empresa)}}$$

$$\mathbf{As = 33 \text{ m}^2}$$

Velocidad de sedimentación real

$$\mathbf{Vsr = Vh/Vv}$$

$$\mathbf{Vsr = 0,19}$$

$$\mathbf{Vh = 0,00045 \text{ m/s}}$$

$$\mathbf{Vv = 0,0023 \text{ m/s}}$$

Capacidad hidráulica real

Asumiendo un tiempo de detención de 1200 s:

$$Q = \text{Vol} / t_d$$

$$Q = 52,52 \text{ l/s}$$

$$\text{Vol} = 63,03 \text{ m}^3$$

$$t_d = 1200 \text{ s}$$

Conducción

A continuación se presentan los cálculos de la línea conducción de la vereda García

Tabla 17. Cálculos de la línea de conducción de la vereda García, sistema Potreritos

PUNTO 1	PUNTO 2	LONGITUD	Ø (Pulg)	Q LPS	velocidad (m/s)	COTA PUNTO 1	COTA PUNTO 2	PERDIDAS TRAMO	PIEZOMETRICA	PRESION PUNTO 2
CAMARA DE EMPALME	CAMARA DE QUIEBRE 1	81,71	8,00	60,00	1,850	2894	2870,16	1,18	2892,82	22,66
CAMARA DE QUIEBRE 1	CAMARA DE QUIEBRE 2	115,58	8,00	60,00	1,850	2870,16	2830,03	1,66	2868,50	38,47
CAMARA DE QUIEBRE 2	CAMARA DE QUIEBRE 3	78,10	8,00	60,00	1,850	2830,03	2809,50	1,12	2828,91	19,41
CAMARA DE QUIEBRE 3	CAMARA DE QUIEBRE 4	193,36	8,00	60,00	1,850	2809,50	2747,50	2,78	2806,72	59,22
CAMARA DE QUIEBRE 4	CAMARA DE QUIEBRE 5	247,17	8,00	60,00	1,850	2747,50	2686,13	3,56	2743,94	57,81
CAMARA DE QUIEBRE 5	CAMARA DE QUIEBRE 7	256,60	8,00	60,00	1,850	2686,13	2640,20	3,69	2682,44	42,24
CAMARA DE QUIEBRE 7	CAMARA DE QUIEBRE 8	662,22	8,00	60,00	1,850	2640,20	2601,93	9,53	2630,67	28,74
CAMARA DE QUIEBRE 8	P. MONTEADENTRO	637,95	8,00	60,00	1,850	2601,93	2518,43	9,19	2592,74	74,31

4.2 SUBSISTEMA QUEBRADA EL MONO

La captación El Mono se encuentra ubicada a 030 metros sobre el nivel del mar en el Sur-Occidente del municipio de Pamplona, en la vereda García, la estructura se encuentra sobre la quebrada Ucuques. La captación presenta una rejilla de 50 cm x 160 cm en hierro fundido con varillas de diámetro de 1" de espesor y 6cm de separación y se encuentra en buen estado, un canal de aducción en concreto ciclópeo que se encuentran en buen estado y una cámara derivadora de caudales en concreto ciclópeo en buen estado. En el trayecto de la bocatoma hasta el desarenador es en PVC, con un diámetro de 10" y una longitud de 10,5 m.

El desarenador se encuentra aguas abajo de la captación, es de tipo convencional, estructuralmente se encuentra en buen estado. Consta de una cámara de llegada y quietamiento, pantalla deflectora, cuerpo del desarenador, pantalla de sólidos flotantes, vertedero de salida, vertedero de rebose, caja de exceso, compuerta para lavado.

En la línea de conducción de El Mono en el trayecto del desarenador hasta la cámara de empalme es en PVC, con un diámetro de 8" y una longitud 137,5 m; luego llega a la cámara de empalme y se une con las aguas de la captación de Potreritos, desde la cámara de empalme hasta la planta de tratamiento el diámetro de la tubería es de 12" y en hierro fundido, con una línea de conducción de 364718 m de longitud; además, se encuentran 5 purgas de 3" de diámetro, 9 ventosas de 1" de diámetro y 12 cámaras de quiebre de presión.

Con objeto de la presente evaluación se utilizaron los datos del caudal medio y mínimo del Plan de Manejo Ambiental de la Empresa con las siguientes características y resultados.

Para los cálculos de la fuente de abastecimiento se utilizó la fórmula de Francis; en la línea de aducción (captación — desarenador) se utilizaron las ecuaciones a presión, la de HAZEN WILLIAMS; a flujo libre la de MANNING y DARCY — WEISBACH para evaluar las líneas de conducción en combinación con el método de NEWTON o de aproximaciones sucesivas, en donde se halló el factor de fricción f . Para el desarenador, se utilizó la fórmula de Stokes, hallando la velocidad de sedimentación y su periodo de retención.

Los resultados detallados de la evaluación de la captación, aducción y desarenador se presentan a continuación y la evaluación de las líneas de conducción se realizó con la ayuda de programas de cálculos elaborados en hojas electrónicas Excel.

Captación

$$Q_{\text{med}} = 17,61 \text{ l/s}$$

$$Q_{\text{min}} = 9,791 \text{ l/s}$$

$$Q_{\text{eco}} = 8,81 \text{ l/s}$$

Lamina de agua

$$H = (Q_{\text{med}} 1,84 \cdot L)^{2/3}$$

$$H = 3,4 \text{ cm} \approx 0,034 \text{ m}$$

$$Q_{\text{med}} = \text{Caudal medio } 17,61 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$L = \text{Longitud de la rejilla } 1,6 \text{ m}$$

En la tabla 18 se presenta las láminas de agua para los diferentes caudales

Tabla 18. Láminas de agua para los caudales de la quebrada El Mono.

Caudal	H (cm)
Q medio	3,4
Q mínimo	2,3
Q ecológico	2,1

Area de flujo

$$A = L \cdot H$$

$$A = 0,054 \text{ m}^2$$

$$L = \text{Longitud de la rejilla } 1,6 \text{ m}$$

$$H = \text{Lamina de agua } 3,4 \text{ cm}$$

En la tabla 19 se presentan las áreas de flujo para los diferentes caudales

Tabla 19. Áreas de flujo para los caudales de la quebrada EL Mono.

Caudal	A (m ²)
Q medio	0,054
Q mínimo	0,0368
Q ecológico	0,0336

Velocidad de flujo medio

$$V = Q \text{ med} / A$$

$$V = 0,33 \text{ m/s}$$

$$Q_{\text{med}} = \text{Caudal medio } 0,01761 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A = \text{Área de flujo medio } 0,054 \text{ m}^2$$

Ancho de la rejilla

$$X_i = (0,36 \cdot V^{2/3}) + (0,60 \cdot H^{4/7})$$

$$X_s = 0,26 \text{ m}$$

$$X_i = (0,18 \cdot V^{4/7}) + (0,74 H^{3/4})$$

$$X_i = 0.143 \text{ m}$$

$$V = \text{Velocidad del flujo medio } 0,33 \text{ m/s}$$

$$H = \text{Lámina de agua para caudal medio } 3,4 \text{ cm} \approx 0,034 \text{ m}$$

Ancho rejilla existente $0,40 \text{ m} > 0,26 \text{ m}$. Cumple

Velocidades sobre la rejilla

Se obtiene de la relación caudal y el área de la rejilla, en la tabla 22 se encuentra los resultados para los diferentes caudales.

Tabla 20. Velocidades del agua sobre la rejilla para los caudales de la quebrada El Mono.

Caudales	Q (m³/s)	A(m²)	V (m/s)
Caudal medio	0,01761	0,054	0,33
Caudal ecológico	0,0088	0,0336	0,26
Caudal mínimo	0,00979	0,0368	0,29

Velocidad de paso a través de la rejilla

$$V = Q (a + b) / [K \cdot B \cdot L \cdot a]$$

Q = Caudal (medio, mínimo o ecológico) en m³/s

K = Constante equivalente a 0,90

B = Ancho efectivo de la rejilla igual a 0,40 m

L = Longitud total de la rejilla igual a 1,60 m

a = Separación de las varillas que son de 0,06 m

En la tabla 21 se presentan los resultados de las velocidades de paso a través de la rejilla.

Tabla 21. Velocidades de paso a través de la rejilla para los caudales de la quebrada El Mono.

Caudales	Velocidad(m/s)	RAS-2000	Observación
Caudal medio	0,043	V<0,15 m/s	Cumple
Caudal ecológico	0,021	V<0,15 m/s	Cumple
Caudal mínimo	0,024	V<0,15 m/s	Cumple

Capacidad de la rejilla

Asumiendo una velocidad de 0,15 m/s

Con fórmula No.1

$$Q = K \cdot B \cdot L \left[\frac{a}{a+b} \right] \cdot V$$

$$Q = 0,061 \text{ m}^3/\text{s} \approx 61 \text{ l/s}$$

$$K = \text{Constante equivalente a } 0,90$$

$$B = \text{Ancho efectivo de la rejilla igual a } 0,40 \text{ m}$$

$$L = \text{Longitud total de la rejilla igual a } 1,60 \text{ m}$$

$$a = \text{Separación de las varillas que son de } 0,06 \text{ m}$$

$$b = \text{Diámetro de las varillas que son de } 1" \approx 0,0254 \text{ m}$$

V = Velocidad asumida 0,15 m/s

Con fórmula No. 2

Caudal captado por un orificio

$$Q, = C \cdot A_o \cdot (2gH)^{1/2}$$

$$Q_o = 0,012 \text{ m}^3/\text{s}$$

Qo = Caudal que pasa a través de un orificio

C = Constante igual a 0,60

Ao = Área del orificio equivalente a (B a) = (0,40 • 0,06) = 0,024 m²

g = aceleración de la gravedad igual a 9,81 m/s²

H = Lamina de agua del caudal medio 3,4 cm ≈ 0,034 m

Caudal máximo que se puede captar

$$Q \text{ max} = Q_o \cdot N_o$$

$$Q \text{ max} = 0,216 \text{ m}^3/\text{s}$$

No = Número de orificios que son 18 orificios

Verificación de condiciones de la canaleta de aducción

Lámina de agua crítica para Qmed.

$$h_c = [Q^2 / (g \cdot B^2)]^{1/3}$$

$$h_c = 0,06 \text{ m}$$

$$Q = \text{Caudal en } 0,01761 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$B = \text{Ancho efectivo de la rejilla } 0,40 \text{ m}$$

$$g = \text{Aceleración de la gravedad igual a } 9,8 \text{ m/s}^2$$

Lámina de agua de la canaleta de aducción

$$h_o = \{2 \cdot (h_c - \frac{1}{3} \cdot i \cdot L)^2\}^{1/2} - (\frac{2}{3} \cdot i \cdot L)$$

$$h_o = 0,084 \text{ m}$$

$$h_c = 0,06 \text{ m}$$

$$i = \text{Pendiente de la canaleta igual a } 5\%$$

$$L = \text{Longitud de la canaleta } 2,4 \text{ m}$$

Velocidad en la canaleta de aducción

$$V = Q / (B \cdot h_o)$$

$$V = 0,52 \text{ m/s}$$

$$Q = \text{Caudal medio } 0,01761 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$B = 0,40 \text{ m}$$

$$h_o = 0.084 \text{ m}$$

Velocidad crítica en la canaleta de aducción

$$V_c = (g \cdot hc)^{1/2}$$

$$V_c = 0,76 \text{ m/s}$$

$$hc = 0,06 \text{ m}$$

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

Según el RAS-2000 $V < V_c$ luego, $V = 0,52 \text{ m/s} < V_c = 0,76 \text{ m/s}$; por lo tanto cumple. En la tabla 22 se presentan las condiciones de la canaleta para los diferentes caudales.

Tabla 22. Verificación de las condiciones de la canaleta de aducción para los caudales de la quebrada El Mono.

Caudal Q	(m ³ /s)	hc	ho	V	Vc	Vc>V
Medio	0,01761	0,06	0,084	0,52	0,76	Cumple
Máximo de la captación	0,216	0,30	0,41	0,32	1,71	Cumple
Captado con V=0,15 m/s	0,061	0,13	-0,047			Cumple

Línea de aducción

A PRESION (HAZEN WILLIAMS)

$$Q = 0,2785 \cdot C \cdot D^{2.63} \cdot J^{0,54}$$

$$Q = 0,0945 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$C = \text{Coeficiente de rozamiento de la tubería (PVC = 150)}$$

$$D = \text{Diámetro de la tubería en metros (0,254m)}$$

$$J = \text{Pendiente}$$

La pendiente se obtiene con la siguiente ecuación:

$$J = \Delta h / L$$

$$J = 0,01$$

Δh = Diferencia de niveles entre puntos de evaluación. Cabeza hidráulica de energía disponible

$$\text{Cota clave de salida} = 2911,53 \text{ m.s.n.m}$$

$$\text{Cota clave de llegada} = 2910,85 \text{ m.s.n.m}$$

$$L = \text{Longitud de la aducción } 10,5 \text{ m}$$

$\emptyset = 10" \approx 0,254\text{m}$ Como $L < 500 \emptyset$, entonces:

$$Q = C_d \cdot A_o (2gH)^{1/2}$$

Despejando H:

$$H = 0,08 \text{ m}$$

$$Q = \text{Caudal medio en } 0,0756 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$C_d = \text{Constante igual a } 0,60$$

$$A_o = \text{Area de la tubería } 0,050 \text{ m}^2$$

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

La altura mínima requerida para que el flujo de agua se mueva es de 8 cm, la altura presente en la captación es de 20 cm $\approx 0,20 \text{ m}$

A FLUJO LIBRE (MANNING)

$$Q = A \cdot V$$

$$Q = (11 \cdot D^2/4) \cdot (1/N) \cdot (RH)^{2/3} \cdot (s)^{1/2}$$

$$Q = 0,01621 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$N = \text{Coeficiente de rozamiento de la tubería (Hierro fundido = } 0,10)$$

$\emptyset = 10" \approx 0,254 \text{ m}$

RH = Radio hidráulico igual a **$RH = D/4$**

RH = 0,0635 m

S = Pendiente igual anterior **$J = \Delta h/L$**

S = 0,01

Cota clave de salida = 2911,53 m.s.n.m

Cota clave de llegada = 2910,85 m.s.n.m

L = Longitud de la aducción 10,5 m

Desarenador

Capacidad hidráulica

Cota muros	2911,60 m
Cota clave entrada de la tubería	2910,85 m
Paso por pantalla	9 orificios $\emptyset 4"$
Ancho útil	3,30 m
Largo útil	10,0 m
Profundidad útil	1,80 m
Cota clave salida de la tubería	2911,00 m

Velocidad de sedimentación

Según fórmula de Stokes:

$$V_s = (08) \cdot \{ (P_s - P) / \mu \} \cdot d^2$$

$$V_s = 0,65 \text{ cm/s} \approx 6,5 \text{ mm/s}$$

$$g = \text{Aceleración de la gravedad igual a } 981 \text{ cm/s}^2$$

$$P_s = \text{Peso específico de las partículas a remover, arena} = 2,65 \text{ kg/cm}^3$$

$$P = \text{Peso específico del agua} = 1,00 \text{ kg/cm}^3$$

$$\mu_{8^\circ\text{C}} = \text{Viscosidad del agua a la temperatura en que se encuentra} = 0,0139 \text{ cm}^2/\text{s}$$

$$d = \text{Diámetro de las partículas a remover} = 0,01 \text{ cm}$$

Tiempo de sedimentación

$$T = H/V_s$$

$$T = 276,92 \text{ s} \approx 4,61 \text{ min.}$$

$$T = \text{Tiempo que demora la partícula en tocar fondo (segundos)}$$

$$H = \text{Profundidad útil del desarenador} = 1,80 \text{ m}$$

$$V_s = \text{Velocidad de sedimentación } 0,065 \text{ m/s}$$

Según el libro sobre Abastecimiento de Aguas de Flinn – Weston y Bogert, la relación entre el periodo de retención (A) y el tiempo que demora la partícula en tocar fondo (T), en condiciones de depósitos con buenos deflectores y esperando una remoción del 75% de las partículas es:

$$A/T = 1,66$$

$$A = 1,66 T$$

$$A = 487,79 \text{ s.}$$

Sin embargo, este periodo es muy bajo, razón por la cual se dimensionó el desarenador, con un periodo de retención mayor.

Periodo de retención real

$$T_{dr} = Vol / Q$$

$$T_{dr} = 66 \text{ min ó } 1,10 \text{ h}$$

$$Q = \text{Caudal captado } 0,015 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (obtenido del PMA de la empresa)}$$

$$Vol = 59,4 \text{ m}^3$$

Área transversal del desarenador

$$At = \text{ancho útil} \cdot \text{profundidad útil}$$

$$At = 5,94 \text{ m}^2$$

Ancho útil = 3,30 m

Profundidad útil = 1,8 m

Área superficial del desarenador

As = ancho útil • largo útil

As = 33,00 m²

Ancho útil = 3,30 m

Largo útil = 10,0 m

Velocidad vertical

Vv = Q/At

Vv = 0,0025 m/s

Q = caudal promedio captado 0,015 m³/s (obtenido del PMA de la empresa)

At = 5,94 m²

Velocidad horizontal

Vh = Q/As

Vh = 0,00045 m/s

$$Q = 0,015 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (obtenido del PMA de la empresa)}$$

$$As = 33 \text{ m}^2$$

Velocidad de sedimentación real

$$V_{sr} = V_h / V_v$$

$$V_{sr} = 0,18$$

$$V_h = 0,00045 \text{ m/s}$$

$$V_v = 0,0025 \text{ m/s}$$

Capacidad hidráulica real

Asumiendo un tiempo de detención de 1200 s:

$$Q = Vol / t_d$$

$$Q = 49,5 \text{ l/s}$$

$$Vol = 59,4 \text{ m}^3$$

$$T_d = 1200 \text{ s}$$

Conducción

Tabla 23. Cálculos de la línea de conducción de la vereda García, sistema El Mono

PUNTO 1	PUNTO 2	LONGITUD	Ø (Pulg)	Q LPS	velocidad (m/s)	COTA PUNTO 1	COTA PUNTO 2	PERDIDAS TRAMO	PIEZOMETRICA	PRESION PUNTO 2
CAMARA DE EMPALME	CAMARA DE QUIEBRE 1	81,71	8,00	60,00	1,850	2894	2870,16	1,18	2892,82	22,66
CAMARA DE QUIEBRE 1	CAMARA DE QUIEBRE 2	115,58	8,00	60,00	1,850	2870,16	2830,03	1,66	2868,50	38,47
CAMARA DE QUIEBRE 2	CAMARA DE QUIEBRE 3	78,10	8,00	60,00	1,850	2830,03	2809,50	1,12	2828,91	19,41
CAMARA DE QUIEBRE 3	CAMARA DE QUIEBRE 4	193,36	8,00	60,00	1,850	2809,50	2747,50	2,78	2806,72	59,22
CAMARA DE QUIEBRE 4	CAMARA DE QUIEBRE 5	247,17	8,00	60,00	1,850	2747,50	2686,13	3,56	2743,94	57,81
CAMARA DE QUIEBRE 5	CAMARA DE QUIEBRE 7	256,60	8,00	60,00	1,850	2686,13	2640,20	3,69	2682,44	42,24
CAMARA DE QUIEBRE 7	CAMARA DE QUIEBRE 8	662,22	8,00	60,00	1,850	2640,20	2601,93	9,53	2630,67	28,74
CAMARA DE QUIEBRE 8	P. MONTEADENTRO	637,95	8,00	60,00	1,850	2601,93	2518,43	9,19	2592,74	74,31

4.3 SUBSISTEMA QUEBRADA EL ROSAL

La captación El Rosal se encuentra ubicada a 2343 metros sobre el nivel del mar en el Sur-Occidente del municipio de Pamplona, en la vereda El Rosal, la estructura se encuentra sobre la quebrada El Rosal. La captación presenta una rejilla de 50 cm x 160 cm en hierro fundido con varillas de diámetro de 1" de espesor y 1" de separación y se encuentra en buen estado, un canal de aducción en concreto ciclópeo que se encuentran en buen estado y una cámara derivadora de caudales en concreto ciclópeo en buen estado. La aducción es en tubería de asbesto cemento de 12" de diámetro con un caudal captado de 50 l/s y con una longitud de aducción de 159,5 m

El desarenador se encuentra aguas abajo de la captación, es de tipo convencional, estructuralmente se encuentra en buen estado. Consta de una cámara de llegada y aquietamiento, pantalla deflectora, cuerpo del desarenador, pantalla de sólidos flotantes, vertedero de salida, vertedero de rebose, caja de exceso, compuerta para lavado.

En la línea de conducción de El Rosal la tubería es de 10" de diámetro en asbesto cemento, además se encuentran 9 purgas de 3" de diámetro y 10 ventosas de 1" de diámetro con una línea de conducción de 3722 m de longitud.

Con objeto de la presente evaluación se utilizaron los datos del caudal medio y mínimo del Plan de Manejo Ambiental de la Empresa con las siguientes características y resultados.

Para los cálculos de la fuente de abastecimiento se utilizó la fórmula de Francis; en la línea de aducción (captación — desarenador) se utilizaron las ecuaciones a presión, la de HAZEN WILLIAMS; a flujo libre la de MANNING y DARCY — WEISBACH para evaluar las líneas de conducción en combinación con el método

de NEWTON o de aproximaciones sucesivas, en donde se halló el factor de fricción f . Para el desarenador, se utilizó la fórmula de Stokes, hallando la velocidad de sedimentación y su periodo de retención.

Los resultados detallados de la evaluación de la captación, aducción y desarenador se presentan a continuación y la evaluación de las líneas de conducción se realizó con la ayuda de programas de cálculos elaborados en hojas electrónicas Excel.

Análisis de la capacidad hidráulica de las estructuras existentes.

Captación

Q med 83,74 l/s

Q min = 37,91 l/s

Q eco = 42 l/s

Lamina de agua

$$H = (Q \text{ med} / 1,84 L)^{2/3}$$

$$H = 9,5 \text{ cm} \approx 0,095 \text{ m}$$

Q_{med} = Caudal medio 83,74 m³/s

L = Longitud de la rejilla 1,6 m

En la tabla 24 se presenta las láminas de agua para los diferentes caudales

Tabla 24. Láminas de agua para los caudales de la quebrada El Rosal.

Caudal	H (cm)
Q medio	9,5
Q mínimo	5,6
Q ecológico	6,0

Área de flujo

$$A = L \cdot H$$

$$A = 0,152\text{m}^2$$

$$L = \text{Longitud de la rejilla } 1,6 \text{ m}$$

$$H = \text{Lamina de agua } 9,5 \text{ cm}$$

En la tabla 25 se presentan las áreas de flujo para los diferentes caudales

Tabla 25. Áreas de flujo para los caudales de la quebrada EL Rosal.

Caudal	A (m²)
Q medio	0,152
Q mínimo	0,0896
Q ecológico	0,096

Velocidad de flujo medio

$$V = Q_{med} / A$$

$$V = 0,55 \text{ m/s}$$

$$Q_{med} = \text{Caudal medio } 0,08374 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A = \text{Área de flujo medio } 0,152 \text{ m}^2$$

Ancho de la rejilla

$$X_i = (0,36 \cdot V^{2/3}) + (0,60 \cdot H^{4/7})$$

$$X_s = 0,39 \text{ m}$$

$$X_i = (0,18 \cdot V^{4/7}) + (0,74 \cdot H^{3/4})$$

$$X_i = 0,23 \text{ m}$$

$$V = \text{Velocidad del flujo medio } 0,55 \text{ m/s}$$

$$H = \text{Lamina de agua para caudal medio } 9,5 \text{ cm} \approx 0,095 \text{ m}$$

Ancho rejilla existente $0,40 \text{ m} > 0,39 \text{ m}$. Cumple

Velocidades sobre la rejilla

Se obtiene de la relación caudal y el área de la rejilla, en la tabla 26 se encuentran los resultados para los diferentes caudales.

Tabla 26. Velocidades del agua sobre la rejilla para los caudales de la quebrada El Rosal.

Caudal	Q (m³/s)	A(m²)	V(m/s)
Caudal medio	0,08374	0,152	0,55
Caudal ecológico	0,042	0,096	0,44
Caudal mínimo	0,03791	0,08%	0,423

Velocidad de paso a través de la rejilla

$$V = Q(a + b) / [K \cdot B \cdot L \cdot a]$$

Q = Caudal (medio, mínimo o ecológico) en m³/s

K = Constante equivalente a 0,90

B = Ancho efectivo de la rejilla igual a 0,40 m

L = Longitud total de la rejilla igual a 1,60 m

a = Separación de las varillas que son de 0,0254 m

En la tabla 27 se presentan los resultados de las velocidades de paso a través de la rejilla.

Tabla 27. Velocidades de paso a través de la rejilla para los caudales de la quebrada El Rosal.

Caudales	Velocidad(m/s)	RAS-2000	Observación
Caudal medio	0,29	V<0,15 m/s	No Cumple
Caudal ecológico	0,14	V<0,15 m/s	Cumple
Caudal mínimo	0,13	V<0,15 m/s	Cumple

Capacidad de la rejilla

Asumiendo una velocidad de 0,15 m/s

Con fórmula No.1

$$Q=K \cdot B \cdot L [a/(a+b)] J \cdot V$$

$$Q = 0,0432 \text{ m}^3/\text{s} \approx 43,2 \text{ L/s}$$

K = Constante equivalente a 0,90

B = Ancho efectivo de la rejilla igual a 0,40 m

L = Longitud total de la rejilla igual a 1,60m

a = Separación de las varillas que son de 0,0254 m

b = Diámetro de las varillas que son de 1" \approx 0,0254 m

V = Velocidad asumida 0,15 m/s

Con fórmula No. 2

Caudal captado por un orificio

$$Q_o = C \cdot A_o \cdot (2gH)^{1/2}$$

$$Q_o = 0,0083 \text{ m}^3/\text{s}$$

C = Constante igual a 0,60

A_o = Área del orificio equivalente a $(B \cdot a) = (0,40 \cdot 0,0254) = 0,01 \text{ m}^2$

g = aceleración de la gravedad igual a $9,81 \text{ m/s}^2$

H = Lamina de agua del caudal medio $9,5 \text{ cm} \approx 0,095 \text{ m}$

Caudal máximo que se puede captar

$$Q_{\text{max}} = Q_o \cdot N_o$$

$$Q_{\text{max}} = 0,251 \text{ m}^3/\text{s}$$

N_o = Número de orificios que son 31 orificios

Verificación de condiciones de la canaleta de aducción

Lámina de agua crítica para Q_{med}.

$$h_c = [Q^2 / (g \cdot B^2)]^{1/3}$$

$$h_c = 0,016 \text{ m}$$

$$Q = \text{Caudal en } 0,08374 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$B = \text{Ancho efectivo de la rejilla } 0,40 \text{ m}$$

$$g = \text{Aceleración de la gravedad igual a } 9,8 \text{ m/s}^2$$

Lámina de agua de la canaleta de aducción

$$h_o = \{2 \cdot h_c + (h_c - 1/3 \cdot i \cdot L)^2\}^{1/2} - (2/3 \cdot i \cdot L)$$

$$h_o = 0,143 \text{ m}$$

$$h_c = 0,016 \text{ m}$$

$$i = \text{Pendiente de la canaleta igual a } 5\%$$

$$L = \text{Longitud de la canaleta } 3,2 \text{ m}$$

Velocidad en la canaleta de aducción

$$V = Q / (B \cdot h_o)$$

$$V = 1,46 \text{ m/s}$$

$$Q = \text{Caudal medio } 0,08374 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$B = 0,40 \text{ m}$$

$$h_o = 0.143 \text{ m}$$

Velocidad crítica en la canaleta de aducción

$$V_c = (g \cdot hc)^{1/2}$$

$$V_c = 1,25 \text{ m/s}$$

$$hc = 0,016 \text{ m}$$

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

Según el RAS-2000 $V < V_c$, luego, $V = 1,46 \text{ m/s} > V_c = 1,25 \text{ m/s}$, por lo tanto no cumple. Por consiguiente la pendiente es mayor a la mínima requerida. El hecho de disponer mayor pendiente en el fondo de la canaleta no afecta el funcionamiento hidráulico.

Tabla 28. Verificación de las condiciones de la canaleta de aducción para los caudales de la quebrada El Rosal.

Caudal	Q (m ³ /s)	hc	h _o	V	V _c	V _c >V
Medio	0,08374	0,016	0,143	1,46	1,25	X
Máximo de la captación	0,251	0,34	0,45	1,39	1,82	Cumple
Captado con V=0,15 m/s	0,0432	0,105	0,05	2,16	1,01	X

X = La pendiente es mayor a la mínima requerida.

Línea de aducción

A PRESION (HAZEN WILLIAMS)

$$Q = 0,2785 \cdot C \cdot D^{2,63} \cdot J^{0,54}$$

$$Q = 0,157 \text{ m}^3/\text{s}$$

C = Coeficiente de rozamiento de la tubería (asbesto cemento = 120)

D = Diámetro de la tubería en metros 12" \approx 0,3048 m

J = Pendiente 1,6%

La pendiente se obtiene con la siguiente ecuación:

$$J = \Delta h/L$$

$$J = 0,016$$

Δh = Diferencia de niveles entre puntos de evaluación. Cabeza hidráulica de energía disponible

Cota clave de salida = 2340,71 m.s.n.m

Cota clave de llegada = 2338,37 m.s.n.m

L = Longitud de la aducción 159,5 m

Ø = 12" ≈ 0,3048 m

Como $L > 500 \text{ Ø}$, entonces no se aplica la ecuación:

$$Q = C_d \cdot A_o (2gH)^{1/2}$$

A FLUJO LIBRE (MANNING)

Q = **A** • **V**; de donde:

$$Q = (II \cdot D^2/4) \cdot (IN) \cdot (RH)^{2/3} \cdot (s)^{1/2}$$

$$Q = 0,13 \text{ m}^3/\text{s}$$

N = Coeficiente de rozamiento de la tubería (Asbesto cemento = 0,013)

Ø = 12" ≈ 0,3048 m

RH = Radio hidráulico igual a **RH = D/4**

$$RH = 0,0762 \text{ m}$$

S = Pendiente igual anterior **J = Δh/L**

$$S = 0,016$$

Cota clave de salida = 2340,71 m.s.n.m

Cota clave de llegada = 2338,37 m.s.n.m

L = Longitud de la aducción 159,5 m

Desarenador

Capacidad hidráulica

Cota muros	2338,75 m
Cota clave entrada de la tubería	2338,05 m
Paso por pantalla	9 orificios Ø 4"
Ancho útil	3,60 m
Largo útil	14,95 m
Profundidad útil	2,11 m
Cota clave salida de la tubería	2337,45 m

Velocidad de sedimentación

Según formula de Stokes:

$$V_s = (g/18) \cdot \{ (P_s - P)/\mu \} \cdot d^2$$

$$V_s = 0,72 \text{ cm/s} \approx 7,2 \text{ mm/s}$$

$$g = \text{Aceleración de la gravedad igual a } 981 \text{ cm/s}^2$$

$$P_s = \text{Peso específico de las partículas a remover, arena} = 2,65 \text{ kg/cm}^3$$

$$P = \text{Peso específico del agua} = 1,00 \text{ kg/cm}^3$$

$\mu_{14^{\circ}\text{C}}$ = Viscosidad del agua a la temperatura en que se encuentra =
0,0117cm²/s

d = Diámetro de las partículas a remover = 0,01 cm

Tiempo de sedimentación

T = H/V_s

T = 293,05 s \approx 4,88 min.

T = Tiempo que demora la partícula en tocar fondo (segundos)

H = Profundidad útil del desarenador =2,11 m

V_s = Velocidad de sedimentación 0,0072 m/s

Según el libro sobre Abastecimiento de Aguas de Flinn — Weston y Bogert, la relación entre el periodo de retención (A) y el tiempo que demora la partícula en tocar fondo (T), en condiciones de depósitos con buenos deflectores y esperando una remoción del 75% de las partículas es:

A/ T=1,66

A = 1,66 • T

A = 486,46 s.

Sin embargo, este periodo es muy bajo, razón por la cual se dimensionó el desarenador, con un periodo de retención mayor.

Periodo de detención real

$$\mathbf{Tdr = Vol/Q}$$

$$\mathbf{Tdr = 37,85 \text{ min } 0,63 \text{ h}}$$

$$\mathbf{Vol = 113,56 \text{ m}^3}$$

$$\mathbf{Q = 0,050 \text{ m}^3/\text{s}}$$

Área transversal del desarenador

$$\mathbf{At = \text{ancho útil} \cdot \text{profundidad útil}}$$

$$\mathbf{At = 7,59 \text{ m}^2}$$

$$\mathbf{\text{Ancho útil} = 3,60 \text{ m}}$$

$$\mathbf{\text{Profundidad útil} = 2,11 \text{ m}}$$

Área superficial del desarenador

$$\mathbf{As = \text{ancho útil} \cdot \text{largo útil}}$$

$$\mathbf{As = 53,82 \text{ m}^2}$$

Ancho útil = 3,6 m

Largo útil = 14,95 m

Velocidad vertical

$$V_v = Q/At$$

$$V_v = 0,0065 \text{ m/s}$$

$$Q = 0,050 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$At = 7,59 \text{ m}^2$$

Velocidad horizontal

$$V_h = Q/As$$

$$V_h = 0,00092 \text{ m/s}$$

$$Q = 0,050 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$As = 53,82 \text{ m}^2$$

Velocidad de sedimentación real

$$V_{sr} = V_h/V_v$$

$$V_{sr} = 0,14$$

$$V_h = 0,00092 \text{ m/s}$$

$$V_v = 0,0065 \text{ m/s}$$

Capacidad hidráulica real

Asumiendo un tiempo de detención de 1200 s:

$$Q = \text{Vol}/t_d$$

$$Q = 94,631/\text{s}$$

$$\text{Vol} = 113,56 \text{ m}^3$$

$$T_d = 1200 \text{ s}$$

CONDUCCION

Tabla 29. Cálculos de la línea de conducción de la vereda Monteadentro, sistema El Rosal

PUNTO 1	PUNTO 2	LONGIT UD	Ø (Pulg)	Q LPS	velocidad (m/s)	COTA PUNTO 1	COTA PUNTO 2	PERDIDAS TRAMO	PIEZOMETRICA	PRESION PUNTO 2
BOCATOMA	DESARENADOR	176,50	12,00	50,000	0,685	2340,71	2313,00	0,25	2340,46	27,46
DESARENADOR	VENTOSA 1	72,70	10,00	50,000	0,987	2340,71	2313,00	0,25	2340,46	27,46
VENTOSA 1	VENTOSA 2	145,75	10,00	50,000	0,987	2340,71	2313,00	0,51	2340,20	27,20
VENTOSA 2	VENTOSA 3	113,88	10,00	50,000	0,987	2340,71	2313,00	0,39	2340,32	27,32
VENTOSA 3	VENTOSA 4	281,26	10,00	50,000	0,987	2340,71	2313,00	0,98	2339,73	26,73
VENTOSA 4	VENTOSA 5	61,94	10,00	50,000	0,987	2340,71	2313,00	0,21	2340,50	27,50
VENTOSA 5	VENTOSA 6	237,96	10,00	50,000	0,987	2340,71	2313,00	0,83	2339,88	26,88
VENTOSA 6	VENTOSA 7	43,55	10,00	50,000	0,987	2340,71	2313,00	0,15	2340,56	27,56
VENTOSA 7	VENTOSA 8	220,28	10,00	50,000	0,987	2340,71	2313,00	0,76	2339,95	26,95
VENTOSA 8	VENTOSA 9	475,58	10,00	50,000	0,987	2340,71	2313,00	1,65	2339,06	26,06
VENTOSA 9	VENTOSA 10	352,65	10,00	50,000	0,987	2340,71	2313,00	1,22	2339,49	26,49
VENTOSA 10	P. TRATAMIENTO	290,56	10,00	50,000	0,987	2340,71	2313,00	1,01	2339,70	26,70

En la conducción de la vereda García, se han detectado dos problemas:

El primero la alta presión que se genera en el recorrido de la línea favorecida por la topografía del terreno y el segundo las conexiones fraudulentas por manguera de riego que se presentan en toda la línea de conducción donde se encuentran las cámaras de quiebre de presión ya que las personas las destapan y extraen el agua captada.

A continuación se presentan las siguientes alternativas para resolver estos problemas.

Alternativa 1. Válvulas de doble acción.

Sacar de funcionamiento las nueve cámaras de quiebre de presión (de la 1 a la 9) y reemplazarlas con válvulas de doble acción de 6 pulgadas ubicadas cada 50 metros sobre la vertical, que a su vez regulan el caudal captado eliminando las pérdidas por conexiones fraudulentas de mangueras de riego.

Adicionalmente se regulará el caudal que entra a la planta para que este sea más constante.

Alternativa 2. Tanque de equilibrio.

Se plantea la construcción de un tanque de equilibrio que permitirá regular el caudal con el que llega a la planta, mejorando la eficiencia del sistema de tratamiento de agua potable a la planta.

Diseño del tanque de equilibrio:

Calculo de h ó altura de la lámina de agua dentro del tanque.

$$Q = Cd \cdot A \sqrt{2gh}$$

$$Q=60 \text{ l/s}$$

$$Cd= 0,61 \text{ (Kte)}$$

Cálculo del área:

Asumimos tubería de salida 8 pulgadas.

$$A = \frac{Q^2 \cdot \pi}{4}$$

$$\emptyset = 8 \text{ pulgadas} = 0,20 \text{ mts}$$

$$A= 0,0314 \text{ m}^2$$

Despejando h:

$$h=0,70 \text{ mts}$$

Calculando el área del tanque:

$$A = \frac{V}{h}$$

$$\text{Asumo volumen} = 100\text{m}^3$$

$$A= 142,85 \text{ m}^2$$

Se deberá construir un tanque cuya área debe ser de 142 m^2 y de altura $0,90 \text{ mts}$ ($0,70 \text{ mts}$ altura de la lamina de agua y $0,20 \text{ mts}$ de borde libre) para un tanque cuyo volumen total será de 127 m^3 .

El largo y ancho del tanque dependerán del terreno ó de la topografía del lugar.

5. COMPARACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO DE PAMPLONA CON EL RAS-2000

PARAMETRO	S. ACUEDUCTO	RAS-2000	OBSERVACION
CAPTACIONES			
QUEBRADA POTRERITOS			
1. Velocidad de paso a través de la Rejilla	0.104 m/s	Menor a 0.15 m/s	Cumple
2. Verificación condiciones en la canaleta de aducción.	$V = 5,39$ m/s y $V_c = 0,9$ m/s	$V > V_c$	No Cumple
3. Separación entre barrotes	25,4 mm	Entre 20 mm y 40 mm, lechos con grava fina.	Cumple
4. Capacidad de la rejilla	$Q_{captado}=15$ l/s Capa. Instalada= 60 l/s	Debe ser 2 ó 3 el caudal captado.	Cumple
QUEBRADA EL MONO			
1. Velocidad de paso a través de la rejilla	0.043 m/s	Menor a 0.15 m/s	Cumple
2. Verificación condiciones en la canaleta de aducción.	$V = 0,52$ m/s y $V_c = 0,76$ m/s	$V > V_c$	Cumple
3. Separación entre barrotes	60 mm	Entre 20 mm y 40 mm, lechos con grava fina.	No cumple
4. Capacidad de la rejilla	$Q_{captado}=15$ l/s Capa. Instalada = 60 l/s	Debe ser 2 ó 3 el caudal captado.	Cumple
QUEBRADA EL ROSAL			
1. Velocidad de paso a través de la rejilla	0,29 m/s	Menor a 0.15 m/s	No Cumple
2. Verificación condiciones en la canaleta de aducción.	$V = 1,46$ m/s y $V_c = 1,25$ m/s	$V < V_c$	No Cumple
3. Separación entre barrotes	25,4 mm	Entre 20 mm y 40 mm, lechos con grava fina.	Cumple
4. Capacidad de la rejilla	$Q_{captado}=50$ l/s Capa. Instalada= 100 l/s	Debe ser 2 ó 3 el caudal captado.	Cumple

QUEBRADA EL CARIONGO			
(No fue calculada, la información se sustrajo del PMA de la Empresa)			
1. Capacidad instalada	Captado=80 l/s Capacidad Instalada=160l/s	Debe ser 2 ó 3 el caudal captado.	Cumple
Análisis de la calidad del agua en captaciones	No se realizan diarios	Registros diarios	No cumple
ADUCCION Y CONDUCCION			
1. Facilidad de acceso	No presenta facilidad de acceso.	Facilidad de acceso para los equipos de mantenimiento.	No cumple
2. Ø de la tubería de conducción	Ø entre 8" y 12"	Permite Ø mínimo de 2" flujo a presión	Cumple
3. Ø de la tubería de aducción	Ø entre 10" y 12"	Permite Ø mínimo 4" flujo a superficie libre	Cumple
DESARENADORES			
Potreritos			
1. Periodo de retención	72,20 min	> 20 min	Cumple
2. Velocidad de sedimentación	0,19	Inferior a 20	Cumple
3. Mantenimiento	2 veces al año	Cada 6 meses	Cumple
4. Velocidad horizontal para aguas con tratamiento posterior.	0,00045 m/s	Máximo 0,25 m/s	Cumple
El Mono			
1. Periodo de retención	66 min	> 20 min	Cumple
2. Velocidad de sedimentación	0,18	a 20	Cumple
3. Mantenimiento	2 veces al año	Cada 6 meses	Cumple
4. Velocidad horizontal para aguas con tratamiento posterior.	0,00045 m/s	Máximo 0,25 m/s	Cumple
El Rosal			
1. Periodo de retención	37,85	> 20 cumple	Cumple
2. Velocidad de sedimentación	0,14	Inferior a 20	Cumple
3. Mantenimiento	2 veces al año	Cada 6 meses	Cumple
Velocidad horizontal	0,00092	Máximo 0,25 m/s	Cumple

6. CONCLUSIONES

Pamplona cuenta con dos microcuencas, la cuenca Pamplonita en donde se encuentran las captaciones el Rosal y Cariongo, la cuenca Chitagá donde se encuentra las captaciones el Mono y Potreritos, hoy en día Pamplona presenta problemas de escasez de agua y la problemática se ve reflejada en la incapacidad para satisfacer la demanda durante los meses secos. Esta crisis es consecuencia de la presunción establecida en la cultura de los habitantes de Pamplona para que los recursos naturales son ilimitados.

Agua arriba de los sitios de captación, se registra degradación de los suelos producto de actividades como la siembra de tubérculos, hortalizas, frutales, entre otros, explotación de las especies maderables, acelerando gravemente los desastres naturales y antrópicos; además, ocasionando el deterioro de las zonas abastecedoras y protectoras de dichas fuentes hídricas.

EMPOPAMPLONA, La Alcaldía y CORPONOR, como medida de protección del recurso hídrico, han adquirido áreas por un total de 424 Ha en las veredas El Volcán, Santa Helena, La Cueva, Despensita, La Rosa de las Corralejas, Las Lajas, Villa Rica y Ático para la protección de las nacientes de las quebradas que surten al acueducto urbano de la ciudad de Pamplona; se prevee adicionalmente la adquisición de 368,1 Ha en las partes altas de las microcuencas de El Volcán, Monteadentro y García.

En las captaciones se observó que las rejillas presentaban obstrucciones por desechos vegetales como hojas y ramas que obstruían el normal paso del agua, en las mismas el mantenimiento no es periódico.

Para el dimensionamiento hidráulico de las rejillas, las normas técnicas establecen que la velocidad de paso debe ser menor a 0,15 m/s y de acuerdo con los cálculos realizados se obtuvo que en la captación Potreritos y El Mono se cumple con este parámetro; sin embargo, en la captación El Rosal este parámetro no se cumple, al obtener una velocidad de 0,29 m/s para el caudal medio, por razón que el caudal captado es de 501/s; no obstante, el no cumplimiento del parámetro no implica un mal funcionamiento de la captación.

En la separación de los barros de las rejillas el RAS-2000 permite una separación de 20 mm a 40 mm, para lechos de grava fina, para las rejillas de las captaciones ubicadas sobre

Las quebradas Potreritos y El Rosal este parámetro se cumple al tener una separación de 25,4 mm 1"; en cambio, para la rejilla ubicada en la quebrada El Mono este parámetro no se cumple al presentar una separación de 60 mm 2,36", que es muy grande y permite la entrada de palos, piedras y rastrojos, que pueden tapar la tubería y desgastar por fricción las paredes de las mismas y disminuir su vida útil.

Según el RAS-2000 las captaciones deben estar diseñadas para captar 2 ó 3 veces el caudal que se transporta por la aducción, lo que en el caso de las captaciones ubicadas en las quebradas Potreritos y El Mono, donde por la línea de aducción se transportan 15 l/s en cada una, la rejilla debería estar diseñada para captar 30 l/s ó 45 l/s; sin embargo, están diseñadas para captar 60 l/s, por lo cual estas estructuras se encuentra subutilizadas; por lo tanto, el caudal de la fuente no permite que se realice la derivación similar a la capacidad de las conducciones. En el caso de la captación ubicada en la quebrada El Rosal se encuentra dimensionada acorde con el caudal transportado por la aducción que es de 50 l/s y la capacidad de la rejilla es de 100l/s.

Estructuralmente, las captaciones se encuentran en buen estado, a excepción de la rejilla instalada en la quebrada Cariongo que se encuentra en pésimas condiciones, con varillas dobladas, montadas unas sobre otras y con daños en la estructura.

Las condiciones de trabajo de las canaletas de aducción de la quebrada de El Mono se encuentran dentro de los parámetros establecidos por el RAS-2000, pues al realizar los cálculos de las velocidades dentro de ellas, se cumple la condición que "la velocidad crítica es mayor que la velocidad real". En la canaleta de aducción de la quebrada Potreritos esta condición no se cumple, ya que la velocidad real que es de 5,39 m/s, es mayor a la velocidad crítica de 0,9 m/s, por lo cual se concluye que la pendiente del 5% que tiene esta canaleta es mayor a la mínima requerida. Igual ocurre con la canaleta de aducción en la quebrada El Rosal, donde se presenta una velocidad real de 1,46 m/s y una velocidad crítica de 1,25 m/s; por lo tanto, su pendiente del 5% es mayor a la mínima requerida. El hecho de disponer de mayor pendiente en el fondo de la canaleta no afecta el funcionamiento hidráulico.

Las bocatomas al no estar debidamente cercadas o cerramiento de protección, son de fácil acceso para animales o personal ajeno a la Empresa, pudiéndose presentar sabotajes o contaminación del agua que esta siendo captada.

Por el tipo de captación, bocatoma de fondo, en temporadas de verano no es posible garantizar el caudal ecológico que debería dejar pasar la estructura de captación para evitar desequilibrios de los ecosistemas que se encuentran en la fuente aguas abajo.

Los diámetros de las aducciones a flujo libre que oscilan entre 10" y 12" de diámetro, cumplen el parámetro del RAS-2000 que exige como mínimo un diámetro de 4" para estas tuberías, las mismas están en capacidad de transportar el caudal requerido por la demanda.

Las líneas de conducción a presión que oscilan entre 8" y 12" de diámetro, están en capacidad de transportar el caudal para las que fueron diseñadas, cumpliendo con lo exigido por el RAS-2000 -como mínimo 2" de diámetro para este tipo de tuberías-. En todos los casos la velocidad de trabajo es mayor a 0,6 m/s.

Los accesorios ubicados como las ventosas, purgas y las 12 cámaras de quiebre de presión que se encuentran a lo largo de la conducción de la vereda García y las ventosas y purgas de las línea de conducción de la vereda El Volcán funcionan normalmente y no presentan daños. El acceso para realizar el mantenimiento de estos accesorios como de las captaciones y desarenadores en el caso de los que se encuentran ubicados en la Vereda García (El Mono y Potreritos) es de difícil acceso, ya que no existen caminos para el paso de vehículos y en algunos tramos es difícil para las personas acceder a los sitios donde se encuentran accesorios y estructuras. En el caso de la Vereda El Volcán (El Rosal), el acceso a la captación es fácil, pues existe un camino que pasa muy cerca de la bocatoma; sin embargo, el acceso al desarenador es difícil.

Los desarenadores ubicados aguas abajo de las captaciones se encuentran, en óptimas condiciones de trabajo, puesto que no se observaron daños en la estructura ni fugas; además, se encuentran debidamente encerrados evitando así el paso de animales que puedan llegar a causar daños en las estructuras o contaminar el agua con desechos orgánicos.

El dimensionamiento hidráulico de los desarenadores se encuentra dentro de los parámetros del RAS-2000 para su tiempo de retención, velocidades de sedimentación y al periodo de mantenimiento que se realiza cada 6 meses. La capacidad total de tratamiento de los desarenadores es de 2101/s; en la actualidad, solo se utilizan para tratar 160 l/s, por lo cual están en capacidad de tratar caudales mayores al captado.

El problema detectado en el mantenimiento de los desarenadores es que las arenas extraídas de estos no son dispuestas debidamente. Lo cual, actualmente, se está realizando, es la disposición en sitios aledaños al desarenador, de tal forma que con las lluvias se retornan las arenas a las quebradas.

7. RECOMENDACIONES

- ❖ Adquirir áreas para aumentar las zonas de reserva o de protección en las cuencas de las fuentes de abastecimiento de Pamplona, apoyados con la creación de fondos regionales en la que participen los municipios que utilicen como fuente de abastecimiento el Río Pamplonita.
- ❖ Para las zonas de cultivos cercanos a las áreas de protección, se deben establecer y ejecutar programas de control de agroquímicos, gestionando e informando a estas personas sobre el cuidado y uso sostenible del suelo que les permita comprometerse en el manejo y trabajo colectivo de las mismas.
- ❖ Se debe dar un mantenimiento diario a las rejillas en todas las captaciones, líneas de aducción y conducción y desarenadores.
- ❖ Se debe reconstruir adecuadamente y cumpliendo con especificaciones de diseño la rejilla de la captación Cariongo.
- ❖ Se debe realizar encerramiento de las captaciones, con alambres de púa para evitar el paso de animales que puedan llegar a contaminar el agua con que está siendo captada.
- ❖ Se recomienda la disposición de las arenas en sitios donde no se encuentren drenajes naturales para evitar que estas retornen a cuerpos de agua cercanos.

8. 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.



ANEXOS

ANEXO A

CAPTACIÓN POTRERITOS



ANEXO B

CAPTACIÓN EL MONO



ANEXO C

CAPTACIÓN EL ROSAL



ANEXO D

CAPTACIÓN CARIONGO



ANEXO E

CAMARA DE QUIEBRE

