

CAPÍTULO I (INTRODUCCIÓN)

1.1 Título del Proyecto:

“Diseño Hidráulico de la Ampliación y Mejoramiento del Sistema de Agua Potable de la comunidad de Rejará Sur”.

1.2 Problema actual

El agua potable es un elemento fundamental y de gran consumo en la vida del ser humano y es así que es una necesidad de todos y tiene una gran importancia en las condiciones de calidad y cantidad con las que llegan al consumidor.

La inestabilidad política e institucional ha contribuido a la debilitación de las instituciones del sector a nivel nacional y de muchas instituciones locales.

Según el Director ejecutivo de la autoridad de Fiscalización y Control Social de Agua Potable y saneamiento básico (AAPS), las coberturas de agua potable en el 2011 eran:

Cuadro 1.1 Coberturas del agua potable en Bolivia

		% Total
Agua potable	Población urbana	70%
	Población rural	48%

Fuente: <http://www.eabolivia.com/economia>

Elaborado por: AAPS, mediante un monitoreo general (2011).

Observando el cuadro 1.1 vemos gran deficiencia entre las conexiones urbanas y rurales hecho que al pasar de los años se han ido agravando por un crecimiento poblacional desmedido y la falta de financiamiento.

No debemos olvidar que el agua potable es una necesidad, las localidades que actualmente cuentan con los servicios de agua potable ya no necesitarán que sus habitantes (principalmente mujeres y niños) caminen largas distancias para llevar a su vivienda uno o dos cántaros de agua, que escasamente cubrían las necesidades de consumo y así como la

preparación de alimentos de su familia. Como también podrán contrarrestar infecciones intestinales como diarrea, cólera y tifoidea, al mismo tiempo que podrán satisfacer otras necesidades como el aseo personal y lavado de ropa dentro de sus viviendas.

Hay que considerar también pero que no simplemente se trata de dotar de agua potable a una comunidad, sino también hay que hacer un seguimiento y un mantenimiento a los sistemas de agua potable de igual modo no podemos olvidar que las poblaciones aumentan conforme pasan los años, por lo tanto la ampliación y el mejoramiento de los sistemas de agua potable es una necesidad permanente de la sociedad que las autoridades competentes al rubro deben preocuparse por cubrir, para así mantener y mejorar la calidad de vida de los habitantes de nuestro país.

1.2.1 Planteamiento del problema

Considerando que el sistema de agua potable de la comunidad de Rejará Sur ha sido construido en el año 1996, ya han transcurrido 16 años con este servicio básico, por lo tanto el sistema de agua potable ya ha quedado obsoleto puesto que no se realiza ningún tipo de mantenimiento preventivo ni correctivo, y la población de la comunidad ha aumentado en estos últimos 10 años, por lo tanto la necesidad de ampliación y mejoramiento del sistema de agua potable de la comunidad de Rejará Sur es una necesidad actual y que se la debe realizar, para así cubrir y dar a todos sus habitantes este servicio básico de primera necesidad.

En la actualidad la comunidad se abastece de agua proveniente de una vertiente que proviene de la cordillera oriental que rodea la comunidad, mediante un sistema de tuberías desde la obra de almacenamiento a los domicilios de los beneficiarios.

Estos sistemas no llegan a abastecer a la totalidad de la población, siendo los comunarios que decidieron establecerse los últimos años en la zona los más afectados, ya que sus propiedades se encuentran fuera del área de cobertura del actual sistema de agua potable.

Éste es un problema que está viviendo hoy en día la comunidad, el cual ocasiona molestia en sus habitantes, que exigen la pronta ampliación de su sistema de agua potable.

1.2.2 Formulación del problema

¿Hace falta la ampliación y el mejoramiento del sistema de agua potable en la comunidad de Rejará Sur, de tal modo que se suministre agua para el consumo humano en la cantidad y calidad necesaria?

La ampliación y el mejoramiento del sistema de agua potable para esta comunidad es una necesidad evidente, que conlleva una inversión económica que será cubierta por el Gobierno Autónomo Municipal de Padcaya.

Con el diseño hidráulico de la ampliación y el mejoramiento del sistema de agua potable, se pretende encarar y solucionar el problema de esta comunidad, tomando muy en cuenta los beneficios que conlleva el nuevo sistema de agua potable, y de este modo ampliar la cobertura de este servicio básico a todos los usuarios, dándoles condiciones de salud e higiene, elevando su calidad de vida.

1.2.3 Sistematización del problema

¿Qué problemas conlleva la falta de la ampliación y mejoramiento del sistema de agua potable, para la comunidad de Rejará Sur?

¿La ampliación y el mejoramiento del sistema de agua potable, reducirá las enfermedades gastrointestinales por el consumo de aguas no tratadas adecuadamente ocasionadas por la ineficiencia del sistema de agua potable actual?

¿Qué perspectivas hacia la conservación, gestión y mantenimiento de la infraestructura del sistema de agua potable se creará en la población beneficiaria?

1.3 Objetivos del proyecto

1.3.1 Objetivo general

El objetivo fundamental del proyecto es de mejorar las condiciones de vida de todos los pobladores de la comunidad de Rejará Sur.

1.3.2 Objetivos específicos

La realización del presente diseño hidráulico apuntará a:

- Garantizar un suministro de agua potable, apta para el consumo humano.
- Distribuir el agua a todos los habitantes de la comunidad, hasta sus domicilios.
- Ampliar y mejorar la infraestructura del sistema de agua potable, a fin de garantizar un servicio de calidad dentro de los estándares establecidos.
- Suministrar un servicio de agua potable de manera permanente cubriendo las expectativas de los beneficiarios.
- Disminuir las enfermedades gastrointestinales, provocadas por la contaminación generada por los animales de la zona que entran al sistema de almacenamiento del agua proveniente de la obra de toma, que se encuentra sin un cerramiento adecuado.
- Proveer de un tratamiento adecuado de potabilización para el sistema de agua potable.
- Generar mejores condiciones de vida y estancia en la comunidad, de este modo reducir enfermedades en las poblaciones producto de la ingesta de agua, y además la disminución de la migración campo-ciudad, evitando el crecimiento de zonas marginales en las ciudades, mejorando las condiciones de salud y desarrollo social en las localidades rurales..

1.4 Justificación del proyecto

El Sistema de Agua Potable de la comunidad de Rejará Sur, es administrado por la Comunidad, quienes se deberían encargar de realizar el mantenimiento y suministro del sistema de agua, el cual es captado de una vertiente.

El servicio que se brinda la Comunidad, no es continuo por consecuencia de la deficiente infraestructura existente y la falta del mismo.

El funcionamiento hidráulico y capacidad de la red existente son insuficientes para atender la demanda actual principalmente debido a la baja presión y las frecuentes interrupciones debido a la inestabilidad del terreno que afecta a la estabilidad del sistema de agua potable. El desorden en la instalación de las ampliaciones para las nuevas habilitaciones ha

provocado que se instalen redes en ramales abiertos sin la previsión para formar circuitos de redes o mallas lo que ocasiona una deficiente distribución de presiones en todos los puntos de la red.

Actualmente la comunidad de Rejará Sur se encuentra con un crecimiento poblacional. El Sistema actual de suministro de agua a esta comunidad es insuficiente. Tomando en cuenta que el saneamiento básico es considerado un importante indicador para medir la pobreza, por incluir el acceso adecuado al agua y a los servicios de saneamiento. La escasez nace de la desigualdad, la pobreza, el poder y no en la carencia de la disponibilidad física del agua.

Todo lo mencionado se plasma en la realidad que vive esta comunidad, y peor aun considerando que la comunidad de Rejará Sur se encuentra muy alejada de la ciudad capital:

- Existe un bajo nivel de vida, que presentan por el bajo nivel de higiene y salud debido a la ineficiencia del sistema de agua potable.
- La alta vulnerabilidad ante enfermedades gastrointestinales por la contaminación del agua en el tanque de almacenamiento.
- El perjuicio económico, que incide en los comunarios que no tienen agua potable en sus domicilios, ya que tienen que invertir tiempo en suministrarse de agua acarreando de la vertiente.

1.4.1 Justificación académica

Aplicar todos los conocimientos adquiridos en la carrera de ingeniería civil en el diseño de sistemas de agua potable, de manera tal que pueda interactuar el campo teórico con la aplicación práctica que conlleva el Diseño Hidráulico de la Ampliación y el Mejoramiento del Sistema de Agua Potable de la comunidad de Rejará Sur.

1.4.2 Justificación técnica

Realizar el diseño hidráulico de la ampliación y el mejoramiento del sistema de agua potable de la comunidad de Rejará Sur, tomando en cuenta que el proyecto contemplará las siguientes etapas: selección de una fuente apropiada de abastecimiento, ubicación y diseño

de la obra de captación, diseño hidráulico del tanque de almacenamiento, modelación de la red de distribución, diseño hidráulico de la red de distribución. El proyecto será diseñado acorde a las especificaciones actuales de los organismos correspondientes, y por la normativa existente.

1.4.3 Justificación social

Una de las principales necesidades para la subsistencia de la sociedad es el suministro de agua, debido a que sin este elemento la vida en las ciudades y comunidades sería nefasta, no sólo por su utilización y valoración como recurso vital, sino porque también es conveniente para el manejo y eliminación de residuos generados por la población.

Debido a la importancia del suministro de agua potable, no solo para las necesidades de la sociedad, sino que además, en el caso de las localidades rurales, mejorar las condiciones de salud de la población y potenciar su desarrollo social, las construcciones de sistemas de abastecimiento de agua deben cumplir con las condiciones mínimas de calidad, desde su obtención de la fuente, tratamiento y entrega de cantidad de agua requerida y a presión suficiente al consumidor individual. Es en este sentido que la propuesta técnica de "Ampliación y Mejoramiento del Sistema de Agua Potable en la comunidad de Rejará Sur", servirá como una alternativa de solución a su problema de suministro de agua para todos sus habitantes.

1.4.4 Justificación institucional

Se realizará el presente proyecto de ingeniería, con el propósito de contribuir la extensión universitaria en beneficio de la sociedad, apoyando técnicamente en la realización del "Diseño hidráulico de la ampliación y mejoramiento del sistema de agua potable en la comunidad de Rejará Sur", siendo adecuado a las necesidades de esta comunidad, lo que generará una mejor dotación y aprovisionamiento de agua potable en la comunidad beneficiaria con el proyecto.

1.5 Alcance del proyecto

El Proyecto de Grado de la Ampliación y Mejoramiento del Sistema de Agua Potable de la Comunidad de Rejará Sur contemplará lo siguiente:

La obtención y recopilación de toda la información necesaria por parte del calculista, el diseño hidráulico de la ampliación y mejoramiento del sistema de agua potable desde su obra de captación, el proceso de aducción hasta la red de distribución y una planificación de obra que nos proporcione el costo y tiempo necesarios para la ejecución del proyecto.

Recopilación de toda la información necesaria.

Es lo primero que se debe hacer antes de realizar el diseño hidráulico, ya que se debe contar con toda la información necesaria que garantice buenos resultados en el diseño, para lo cual se plantea lo siguiente:

- Datos de la población.- Que nos permitirá conocer el número de habitantes de la comunidad actual, su edad, ocupación o actividad económica y sus más frecuentes enfermedades.
- Levantamiento topográfico.- Necesario para el diseño hidráulico, buscando el mejor trazo en consenso con la comunidad de manera que no se tenga ningún problema para su posterior ejecución.
- Cuantificación del agua.- Para asegurar un suministro adecuado de agua potable, se comparará el caudal de diseño requerido por el sistema, con el caudal provisto desde la fuente de captación, de esta forma aseguraremos la funcionabilidad del sistema de agua potable.
- Análisis de la calidad del agua.- Se tomará una muestra de la fuente de captación y se la llevará a un laboratorio especializado. El mismo nos proporcionará datos confiables acerca de la calidad del agua y si requiere de algún tratamiento para su consumo.
- Estudio de Suelos.- Se tomará una muestra del suelo de la comunidad, para así hacer un análisis de suelos que nos permitirá conocer el tipo de suelo de la comunidad y su capacidad portante para emplazar las obras hidráulicas.

El Diseño hidráulico del sistema de agua potable.

En base a toda la información obtenida, se procederá al dimensionamiento del sistema de agua potable:

- La obra de toma.
- El tren de potabilización según sea necesario de acuerdo al resultado de los análisis de laboratorio.
- El sistema de aducción y todas sus obras complementarias que se requieran en su recorrido.
- El tanque de regulación.
- La red de distribución.

La planificación del proyecto.

Una vez concluida la etapa de diseño hidráulico del sistema de agua potable para la comunidad, se procederá a la planificación del proyecto:

- Un presupuesto de obra.- Nos permitirá conocer el costo que se requiere para la construcción del sistema de agua potable, mostrando en detalle los precios unitarios, cálculos métricos y los materiales que van hacer necesarios.
- Un cronograma de actividades.- Nos permitirá conocer el tiempo necesario para la culminación del proyecto, teniendo en cuenta la ruta crítica del mismo.

Documentación final del proyecto.

Todo el diseño del sistema de agua potable será debidamente documentado y representado gráficamente los debidos planos, los que serán los siguientes:

- Plano de la obra de toma
- Planos de la aducción
- Plano de obras complementarias
- Planos de la red de distribución

CAPÍTULO II (DIAGNÓSTICO DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO)

2.1 Ubicación geográfica del proyecto:

La comunidad de Rejará Sur, se encuentra ubicada en el distrito cuarto del municipio de Padcaya, primera sección de la provincia Arce del departamento de Tarija.

Se encuentra entre las siguientes coordenadas:

Figura 2.1 – Coordenadas de ubicación de la comunidad Rejará Sur.



Fuente: elaboración propia mediante el software google Earth Win 2012

PUNTOS	LATITUD	LONGITUD
P1	21°1'10.31"S	64°59'48.36"W
P2	21°1'3.29"S	64°59'46.74"W
P3	21°1'12.54"S	64°59'43.69"W
P4	21°1'16.46"S	64°59'47.61"W

Altura promedio: 3.185 m.s.n.m.

2.2 Acceso a la zona del proyecto

La comunidad de Rejará Sur donde se desarrollará el proyecto de diseño hidráulico de mejoramiento y ampliación del agua potable, se ubica a 95 km de la ciudad de Tarija de los cuales 69 km está asfaltado y 26 km de camino vecinal (tierra).

Cuadro 2.1- Distancias al área del proyecto.

Tramo	Distancia	Tipo	Tiempo
Tarija-Padcaya	45 km	Asfaltado	45 minutos
Padcaya – cruce Chaguaya	12 km	Asfaltado	20 minutos
Cruce Chaguaya – Camacho	12 km	Asfaltado	20 minutos
Camacho – Rejará Centro	22.6 km	Tierra	120 minutos
Rejara Centro – Rejará Sur	3.4 km	Tierra	15 minutos
TOTAL	95 km		220 minutos

Fuente: experiencia personal al trasladarme a la zona del proyecto.

Para ubicar la obra de toma de agua, se debe caminar a pie por la serranía unos 2.1 km, ya que es una zona de difícil acceso.

2.3 Descripción de la zona:

La comunidad de Rejará Sur se sitúa a los pies de la cordillera de Oriental, por lo que fisiográficamente pertenece a los valles altos, distribuidos entre los rangos de 3000 a 4000 m de altitud presentando las siguientes características:

Topografía: serranía baja, disección fuerte, comprende las laderas de serranía que circundan la comunidad de Rejará, a una altura entre los 1.600 a 3.900 msnm, presenta pendientes dominantes moderadamente escarpadas a escarpadas.

Suelo: suelos superficiales a moderadamente profundos, provenientes de rocas areniscas, lutitas y limolitas, textura franca a franco a arcillosa, la disponibilidad de potasio, fósforo y nitrógeno son generalmente bajos a muy bajos, en consecuencia la fertilidad es también baja, cubiertos de pastizales. Los suelos corresponden a asociación Leptosol-Phaeozem-Cambisol y su equivalente a los Entisoles, Inceptisoles en el sistema USDA.

Clima: mesotermal subhúmedo. La región con un clima subhúmedo se encuentra en la parte norte del Subandino, desde la serranía del Aguaragüe hasta las serranías de la Cordillera Oriental. La precipitación media es de 1175.6 mm

Flora: pastizal hidromórfico, sin sinusia arbustiva, subalpino. Se ubica al Oeste de Rejará, en la pendiente superior de los cerros Callejón y Peña Orkho, cubre una superficie de 8,4 km² que equivale al 0,2 % de la superficie total del Municipio de Padcaya.

Una característica particular de la unidad es el hidromorfismo de los suelos determinando un drenaje encharcado a imperfecto, debido a su ubicación en el tercio superior de la serranía más alta del Municipio, con laderas generalmente cóncavas, suelos por lo general profundos, donde se interceptan la mayor cantidad de humedad originando frecuente neblina. Esta característica permite a la unidad una cobertura herbácea constante y una permanente producción de biomasa forrajera durante el año.

Fisonómicamente la vegetación corresponde a un pastizal bajo cespitoso; entre las especies dominantes por su abundancia se tiene Plantago tubulosa (Hierbita, Falsa achicoria), Scirpus sp (Paja escobilla), Muhlenbergia sp (Pasto flor rojiza), Deyeuxia sp. (Pasto morado, pajita), Acaulimalva dryadipoloa (Alteia blanca), Castilleja pumila (Kantutita del cerro)

Fauna: la fauna está constituida por aves propias de la zona (cóndor de los andes), ovinos y vacunos. Los productos de la ganadería se destinan al consumo familiar y los pocos excedentes para la venta.

2.4 Aspectos sociales.-

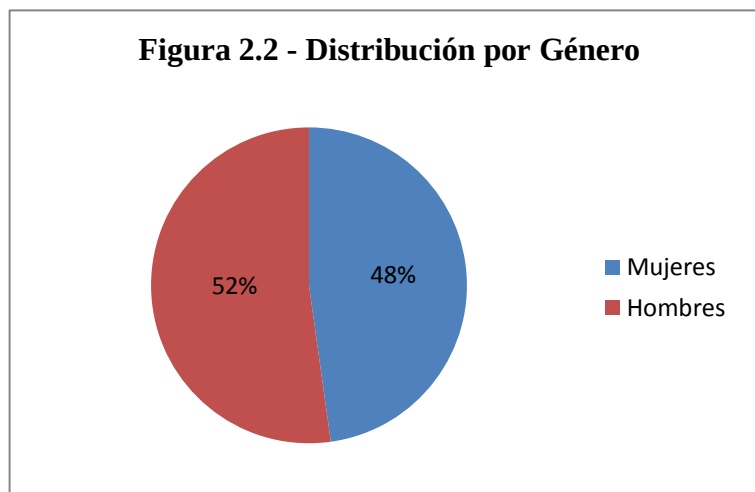
2.4.1 Población beneficiaria.-

Actualmente se cuenta con una población de 113 personas en la comunidad de Rejará Sur que se distribuyen de la siguiente manera:

Cuadro 2.2 - Número de beneficiarios según censo 2012

MUJERES	HOMBRES	TOTAL
54	59	113
47.79%	52.21%	100,00%

Fuente: censo de elaboración propia.
Fecha del censo: 27 de agosto de 2012.



Fuente: censo de elaboración propia
Fecha del censo: 27 de agosto de 2012

El censo de la comunidad se encuentra disponible en el ANEXO 1, sobre el cual se trabajó.

2.4.2 Actitud de los comunarios ante el proyecto.-

El proyecto “Diseño hidráulico de la ampliación y mejoramiento del sistema de agua potable para la comunidad de Rejará Sur” es una propuesta de solución a la necesidad de agua potable que esta población requiere, debido a la creciente necesidad de este servicio básico.

Por parte de la comunidad, el proyecto es respaldado por los pobladores, esperando contar con el mejoramiento y la ampliación del servicio por los grandes beneficios que traerá para ellos. Con una alta expectativa por parte de los comunarios ya que con este proyecto se podrá solicitar financiamiento para la etapa de ejecución al proyecto nacional de dotación de agua Mi Agua.

2.5 Actividad económica de la población.-

De acuerdo a los datos recopilados se puede apreciar:

Cuadro 2.3 - Actividad socioeconómica por número de familias según censo 2012

AGRICULTURA	22	100%
TOTALES:	22	100%

Fuente: censo de elaboración propia
Fecha del censo: 27 de agosto del 2012

Según el cuadro 2.3 se puede apreciar que la principal actividad de la comunidad de Rejará Sur es la agricultura, constituyéndose en su principal y única fuente de ingresos económicos.

Aunque se evidencia actividades menores como:

- La crianza de animales como: Vacas, ovejas, llamas, gallinas entre otros.

2.6 Servicios básicos

2.6.1 Salud

En el tema de salud, según los datos recopilados mediante censo y encuestas realizadas, se puede comprobar que los comunarios de la zona no presentan problemas graves de salud, siendo la enfermedad más recurrente la respiratoria. Todo esto se debe a que en la comunidad de Rejará Centro existe un centro médico que cubre las necesidades de la zona.

2.6.2 Vivienda

Conformado por 22 viviendas construidas en un 90% de materiales de piedra, adobe y teja, un 10% de las viviendas cuentan con materiales como ser ladrillo, cemento, viguetas, cerámicos, etc. Con un promedio de 6 personas por vivienda.

2.6.3 Educación

La comunidad de Rejará Sur cuenta con un centro educativo, es así que los estudiantes de la zona asisten a este establecimiento a cursar sus respectivos niveles: como ser inicial, primaria y secundaria. Los estudiantes se trasladan al centro educativo por sus propios medios (caminando) puesto que las distancias a recorrer no son muy largas.

2.6.4 Comunicaciones

La comunidad de Rejará Centro cuenta con un teléfono público, que pertenece a la empresa de telecomunicaciones ENTEL, el mismo es utilizado, por las comunidades de Rejará Sur y Rejara Norte puesto que las distancias entre las comunidades no es muy considerable.

2.7 Organizaciones

La comunidad de Rejará Sur está representada por el corregidor, que ejerce la autoridad en forma anual apoyándose en personas elegidas a través del voto, las mismas van informando y consensuando actividades en la comunidad, mediante una reunión que se realiza a cabo cada segundo domingo del mes.

CAPÍTULO III (ESTUDIOS PRELIMINARES)

Para diseñar un sistema de agua potable se debe tomar en cuenta que el suministro sea constante en la cantidad y calidad requeridas para consumo humano. Por tanto en el presente acápite se desarrollará los estudios preliminares que vayan a validar esta condicionante.

Se trabajará sobre:

- Un estudio topográfico, sobre el cual se emplazará el diseño del sistema.
- Un estudio de la calidad del agua, que valide la aptitud de la misma para consumo humano.
- Una cuantificación del recurso agua, para validar la continuidad del servicio en la cantidad necesaria.

3.1 Estudio topográfico

El mismo consistió en un levantamiento topográfico a partir de las coordenadas referenciales tomadas mediante GPS (Global Positioning System), barriendo toda la superficie considerada para el emplazamiento de la aducción, desde la obra de toma (vertiente en ladera) hasta la red de distribución. Para tal efecto se trabajó y consensuó con los comunarios para así evitar problemas posteriores de invasión de predios particulares.

El informe topográfico se encuentra disponible en el ANEXO 2, sobre el cual se trabajó.

3.2 Estudio de la calidad del agua

El término calidad del agua es relativo, referido a la composición del agua en la medida en que ésta es afectada por la concentración de sustancias producidas por procesos naturales y actividades humanas.

Como tal, es un término neutral que no puede ser clasificado como bueno o malo sin hacer referencia al uso para el cual el agua es destinada.

Por tanto la condicionante de potabilidad hace referencia a la calidad del agua, cuyos parámetros se encuentran estandarizados, en nuestro país por la norma Boliviana NB – 512.

Cuadro 3.1 - Parámetros de control y técnicas de análisis para agua potable		
		VALORES MÁXIMOS
PARÁMETRO	TÉCNICA	PERMITIDOS
		SEGÚN NB 512-2004
PARÁMETROS FÍSICOS Y ORGANOLÉPTICOS:		
Olor	Organoléptico	Ninguno
Sabor	Organoléptico	Ninguno
Turbiedad	Espectrofotométrico	5 UNT
Sólidos totales disueltos	Gravimétrico	1000 mg/l
PÁRAMETROS QUÍMICOS:		
Alcalinidad total	Volumetría	370 mgCaCO ₃ /l
Antimonio	Absorción atómica	0,005 mg/l
Arsénico	Absorción atómica	0,05 mg/l
Boro	Absorción atómica	0,3 mg/l
Nitrógeno amoniacal	Volumetría	0.5 mg/l
Cadmio	Absorción atómica	0,005 mg/l
Calcio	Volumetría	200 mg/l
	Absorción atómica	
Cloro residual	Sensorial comparativo (DPD)	0,2 - 1 mg/l
Cloruros	Volumetría	250 mg/l
Cobalto	Absorción atómica	1,0 mg/l
Cobre	Absorción atómica	1,00 mg/l
Color	Espectrofotometría	15 UCV
Conductividad eléctrica (20°C)	Potenciometría	1500 uS/cm
Cromo	Absorción atómica	0,05 mg/l
Dureza total	Volumetría	500 mgCaCO ₃ /l
Fluoruros	Volumetría	1.5 mg/l
Hierro total	Absorción atómica	0.3 mg/l
Índice de Langelier	Nomográfico	(- 0.5) a (+ 0.5)
Magnesio	Cálculo	150 mg/l
	Absorción atómica	
Manganeso	Espectrofotometría	0.1 mg/l
	Absorción atómica	
Mercurio	Absorción atómica	0,001 mg/l
Niquel	Absorción atómica	0,05 mg/l
Nitratos	Espectrofotometría	45 mg/l
Nitritos	Espectrofotometría	0.1 mg/l
pH	Potenciometría	6.5 - 9.0
Plomo	Absorción atómica	0,01 mg/l
Sodio	Absorción atómica	200 mg/l
Sulfatos	Espectrofotometría	300 mg/l
PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS:		
Coliformes totales	Número más probable	0 UFC/100 ml
	Membrana filtrante	
Escherichia Coli	Número más probable	0 UFC/100 ml
	Membrana filtrante	
Heterótrofos	Recuento en placa fluida	500 UFC/100 ml

Fuente: Norma Boliviana (NB - 512)

Para tal efecto se sometió una muestra de agua tomada de la fuente a un análisis físico, químico y bacteriológico mediante un laboratorio especializado en el tema. La muestra utilizada para el análisis tenía un tiempo menor a 24 horas de almacenamiento, después de haber sido tomada de la fuente (vertiente en ladera).

El informe de la calidad del agua, se encuentra disponible en el ANEXO 3.

3.3 Cuantificación del agua

En cuanto a la cuantificación del agua, se realizó aforamientos de la fuente en época de estiaje, dicho aforo nos dará a conocer el caudal mínimo de la vertiente, dicho caudal nos permitirá conocer el caudal de diseño del sistema de agua potable de la comunidad, ya que los comunarios aseguran que la vertiente a utilizar no se secó en ninguna ocasión, además indicaron que el caudal sigue siendo el mismo desde hace muchos años, por lo que podemos considerarlo como un caudal constante para realizar el diseño.

Las vertientes son afloramientos naturales de agua provenientes de acuíferos subterráneos. El afloramiento se produce cuando el acuífero intercepta una depresión del terreno, fracturas, grietas o cambios litológicos emergiendo como una o más venas. Según las características de cada tipo de acuífero, el caudal de la vertiente puede variar entre el período de lluvias y el de estiaje.

Figura 3.1 – Fotografía del aforamiento





El tipo de aforo que se utilizó, fue el volumétrico, con un balde de volumen conocido en litros, se midió el tiempo de llenado en intervalos con un cronómetro digital, se realizaron 5 aforos de caudal. Con lo que se obtuvo el caudal mínimo de la vertiente, que es 0.78 lt/seg.

La cuantificación del agua (aforos realizados y tiempos de lectura), se encuentra disponible en el ANEXO 4.

3.4 Caudal Ecológico

El caudal extraído de la fuente (vertiente) es igual a 0.45 lt/seg, el cual equivale al 58% del caudal mínimo (0.78 lt/seg).

Ahora bien la norma nos recomienda que sólo se debe explotar un equivalente al 20% del caudal mínimo de una fuente, en este caso en particular podemos observar que esta recomendación no se cumple, pero también hay que considerar que la necesidad primordial de una comunidad es la dotación de agua potable, también podemos mencionar que el agua que se pretende utilizar para dotar de agua potable a la comunidad no es utilizada por otras comunidades aguas abajo, por lo que no existe ningún inconveniente para utilizar el agua requerido de la fuente en la cantidad ya mencionada.

CAPÍTULO IV (INGENIERÍA DEL PROYECTO)

Para la etapa de diseño del sistema de agua potable se empleará los criterios de diseño y sugerencias vertidas por la norma Boliviana NB-689 y la Guía Técnica de Diseño de Proyectos de Agua Potable para poblaciones menores a 10.000 habitantes.

Según establece la resolución ministerial N° 104 emitida el 11 de diciembre de 2007, en su artículo 6, la norma Boliviana NB-689 es de uso obligatorio en todo el territorio nacional, por instituciones y profesionales del sector, en el diseño de sistemas de agua potable.

4.1 Parámetros de diseño

4.1.1 Índice de crecimiento poblacional

El índice de crecimiento poblacional se lo evalúa de acuerdo a los datos obtenidos por el censo realizado en el presente año (2012) en contrapartida con el censo realizado en el año 2001, de esta manera se tendrá un índice de crecimiento veraz.

Según el censo nacional realizado el año 2001, la comunidad de Rejará Sur contaba con 94 personas y de acuerdo al censo efectuado el año 2012, en la actualidad la comunidad cuenta con 113 habitantes.

Existiendo un crecimiento de 19 personas en 11 años, lo que nos muestra un índice de crecimiento poblacional de 1.8 personas por año.

Por lo tanto tenemos que:

Si $94 \rightarrow 100\%$
 $19 \rightarrow X\%$
 $X = 20.20\%$ en once años
 $X = 1.80\%$ por cada año.

4.1.2 Población horizonte

La población futura es el número de habitantes dentro el área del proyecto que debe ser estimado en base a la población inicial y el índice de crecimiento poblacional, para el período de diseño.

Para el cálculo de la población futura se pueden utilizar uno de los siguientes métodos de crecimiento, según el tipo de población, dependiendo de las características socio-económicas de la población:

- Geométrico:

$$P_f = P_a \times \left(1 + \frac{i}{100}\right)^t \quad (4.1)$$

- Exponencial:

$$P_f = P_a \times e^{\frac{i \times t}{100}} \quad (4.2)$$

- Curva logística:

$$P_f = \frac{L}{1 + m \times e^{a \times t}} \quad (4.3)$$

Donde:

P_f = Población futura en hab.

P_o = Población inicial en hab.

i = Índice de crecimiento poblacional anual en porcentaje.

t = Número de años de estudio o periodo de diseño.

L = Valor de saturación de la población.

$$L = \frac{2 \times P_0 \times P_1 \times P_2 - P_1^2 \times (P_0 + P_2)}{P_0 \times P_2 - P_1^2}$$

m, a Coeficientes

$$m = \frac{L - P_0}{P_0}$$

$$a = \frac{1}{t_1} \ln \left[\frac{P_0 \times (L - P_1)}{P_1 \times (L - P_0)} \right]$$

P_0, P_1, P_2 Población correspondiente a los tiempos t_0, t_1 y $t_2 = 2 \cdot t_1$

t_0, t_1, t_2 Tiempo intercensal en años correspondiente a la población P_0, P_1, P_2

4.1.2.1 Aplicación de métodos según el tamaño de la población

Los métodos a emplearse deben ser aplicados en función del tamaño de la población, de acuerdo a lo especificado en la Cuadro 4.1.

Cuadro 4.1: Aplicación de métodos de cálculo para la estimación de la población futura en poblaciones menores a 10 000 habitantes.

Método	Población (habitantes)	
	Hasta 5 000	De 5 001 a 10 000
Geométrico	x	x
Exponencial	x (1)	x(1)
Curva logística	---	x(2)

(x) Optativo

(1) Recomendable

(2) Sujeto a justificación

Fuente: Norma NB-689, Diseño de Sistemas de Agua Potable.

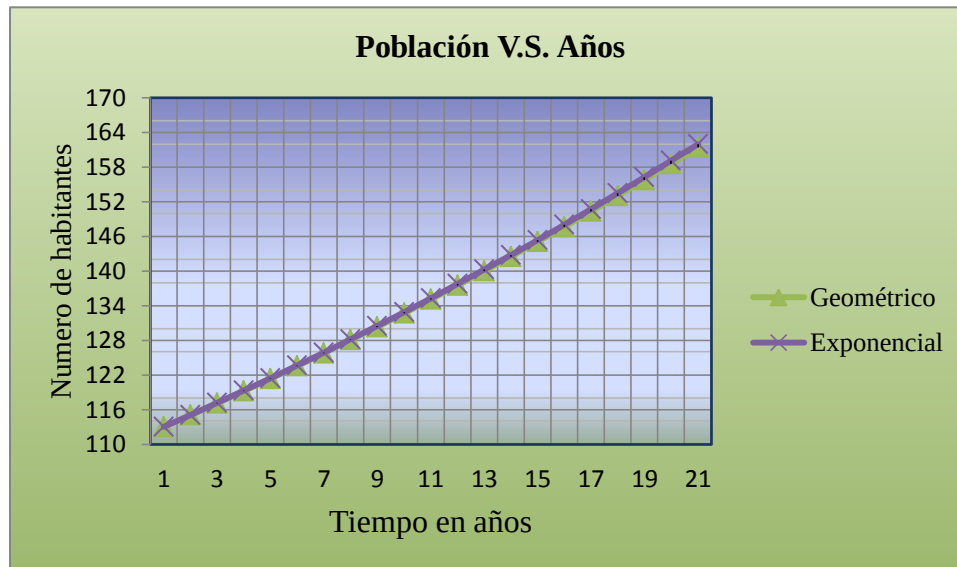
Aplicando las ecuaciones (4.1), (4.2) que nos recomienda la norma se tiene para N=20 años los siguientes resultados:

Cuadro 4.2 - Crecimiento poblacional

Años	Tiempo	Geométrico	Exponencial
2012	0	113	113
2013	1	115	115
2014	2	117	117
2015	3	119	119
2016	4	121	121
2017	5	124	124
2018	6	126	126
2019	7	128	128
2020	8	130	131
2021	9	133	133
2022	10	135	135
2023	11	138	138
2024	12	140	140
2025	13	142	143
2026	14	145	145
2027	15	148	148
2028	16	150	151
2029	17	153	153
2030	18	156	156
2031	19	159	159
2032	20	161	162

Fuente: Aplicación de las ecuaciones (4.1), (4.2).

Figura 4.1 – Crecimiento de la población en función de los años horizonte.



Fuente: Cuadro 4.2

Observando las estimaciones representadas en la cuadro 4.2 y en el figura 4.1, podemos concluir que los datos obtenidos son casi iguales por los 2 métodos, y si hacemos valer lo estipulado por la norma en función de la población podemos decir, que el método utilizado para realizar los cálculos del diseño del sistema de agua potable será el exponencial.

4.1.3 Dotación media diaria

La dotación media diaria se refiere al consumo anual total previsto en un centro poblado dividido por la población abastecida y el número de días del año. Es el volumen equivalente de agua utilizado por una persona en un día.

Para el caso de sistemas nuevos de agua potable, con conexiones domiciliarias, la dotación media diaria puede ser obtenida sobre la base de la población y la zona geográfica dada, según lo especificado en la Cuadro 4.3.

Cuadro 4.3 - Dotación media diaria

Zona	DOTACIÓN MEDIA DIARIA (l/hab-día)					
	POBLACIÓN (habitantes)					
	Hasta 500	500 – 2000	2000 – 5000	5000 – 20000	20000 – 100000	>100000
Altiplano	30 - 50	30 - 70	50 - 80	80 - 100	100 - 150	150-200
Valles	30 - 70	50 - 90	70 - 100	100 - 140	150 - 200	200-300
Llanos	70 – 90	70 - 110	90 - 120	120 - 180	200 - 250	250-350

Fuente: Norma Boliviana NB 689

Para la zona de los valles con una población hasta 500 los habitantes varía entre 30 y 70 (l/hab/día). Se adoptará el valor de 70 (l/hab/día), por las expectativas de desarrollo de la comunidad, considerando también que la vida útil del proyecto es 20 años.

4.1.4 Dotación futura de agua

La dotación media diaria puede incrementarse de acuerdo a los factores que afectan el consumo y se justifica por el mayor hábito en el uso de agua y por la disponibilidad de la misma. Por lo que, se debe considerar en el proyecto una dotación futura para el período de diseño, la misma que debe ser utilizada para la estimación de los caudales de diseño.

La dotación futura se debe estimar con un incremento anual entre el 0,50% y el 2% de la dotación media diaria, aplicando la fórmula del método geométrico:

$$D_f = D_0 \times \left(1 + \frac{d}{100}\right)^t \quad (4.4)$$

Dónde:

- D_f** : Dotación futura
- D₀**: Dotación inicial
- d**: Variación anual de la dotación (0.5 – 2 %)
- t**: Periodo de diseño

Hay que mencionar que si bien se utiliza el 0,50% para sistemas antiguos y el 2% para sistemas nuevos, hay que hacer un promedio de estos dos valores cuando se trata de ampliaciones, según lo aprendido en la materia de Sanitaria I, por lo tanto el valor que utilizaremos para el cálculo será 1.25%.

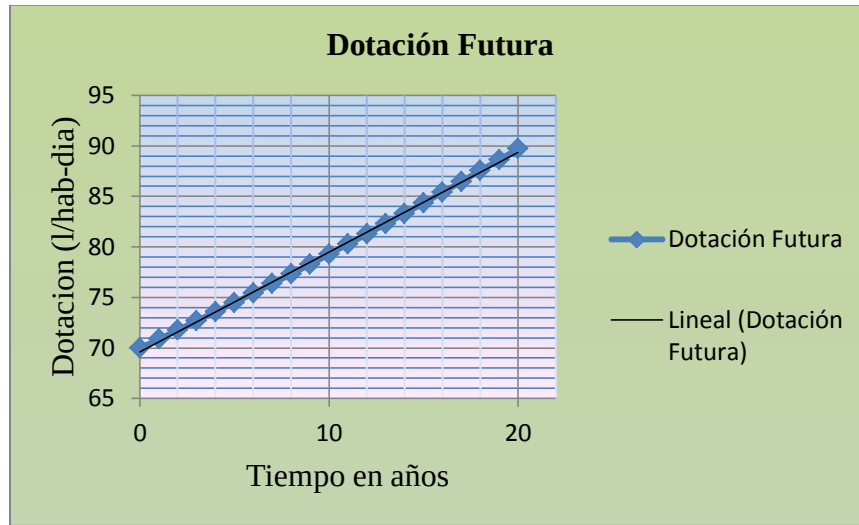
Aplicando la ecuación (4.4) se tiene:

Cuadro 4.4 – Dotación futura

Año	Tiempo	Variación	Dotación Futura (l/hab./día)
2012	0	1.25	70
2013	1	1.25	71
2014	2	1.25	72
2015	3	1.25	73
2016	4	1.25	74
2017	5	1.25	74
2018	6	1.25	75
2019	7	1.25	76
2020	8	1.25	77
2021	9	1.25	78
2022	10	1.25	79
2023	11	1.25	80
2024	12	1.25	81
2025	13	1.25	82
2026	14	1.25	83
2027	15	1.25	84
2028	16	1.25	85
2029	17	1.25	86
2030	18	1.25	88
2031	19	1.25	89
2032	20	1.25	90

Fuente: Aplicación de la ecuación (4.4)

Figura 4.2 – Comportamiento de la dotación futura



4.1.5 Caudal medio diario

Es el consumo medio diario de una población, obtenido en un año de registros. Se determina con base en la población del proyecto y dotación, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$Q_{md} = \frac{P_f \times D_F}{86400} \quad (4.5)$$

Donde:

- Qmd:** caudal medio diario (l/s)
- Pf:** Población futura (hab.)
- Df:** Dotación futura (l/hab/día)

4.1.6 Caudal máximo diario

Es la demanda máxima que se presenta en un día del año, es decir representa el día de mayor consumo del año. Se determina multiplicando el caudal medio diario por el coeficiente k_1 que varía según las características de la población.

$$Q_{máx.d} = k_1 \times Q_{md} \quad (4.6)$$

Donde:

- Q_{máx.d}:** caudal máximo diario (l/s)
Q_{md}: caudal medio diario (l/s)
k₁: Factor de variación diaria (1.2 a 1.5)

Nota: el coeficiente k₁ es 1.2 para poblaciones grandes y es 1.5 para poblaciones pequeñas.

4.1.7 Caudal máximo horario

Es la demanda máxima que se presenta en una hora durante un año completo. Se determina multiplicando el caudal máximo diario por el coeficiente k₂ que varía, según el número de habitantes, de 1,5 a 2,2, tal como se presenta en la Cuadro 4.5.

$$Q_{máx.h} = k_2 \times Q_{máx.d} \quad (4.7)$$

Donde:

- Q_{máx. h}:** Caudal máximo horario (l/s)
Q_{máx. d}: Caudal máximo diario (l/s)
k₂: Factor de variación horaria (2.20)

Cuadro 4.5 – Valores del coeficiente k₂

Población (habitantes)	Coeficiente k ₂
hasta 2000	2.20 - 2.00
2001 - 10000	2.00 - 1.80
10001 - 100000	1.80 - 1.50
Más de 100000	1.5

Fuente: Norma Boliviana NB 689

Aplicando las ecuaciones: (4.5), (4.6) y (4.7) se tiene:

Cuadro 4.6 – Distribución de consumos en el tiempo

AÑOS	Tiempo	Población	Dotación	Qmed (lt/seg)	Qmaxd (lt/seg)	Qmaxh (lt/seg)
2012	0	113	70	0.09	0.34	0.50
2013	1	115	71	0.09	0.34	0.51
2014	2	117	72	0.10	0.35	0.52
2015	3	119	73	0.10	0.35	0.53
2016	4	121	74	0.10	0.36	0.54
2017	5	124	74	0.11	0.36	0.55
2018	6	126	75	0.11	0.36	0.56
2019	7	128	76	0.11	0.37	0.57
2020	8	131	77	0.12	0.38	0.59
2021	9	133	78	0.12	0.38	0.60
2022	10	135	79	0.12	0.39	0.61
2023	11	138	80	0.13	0.39	0.62
2024	12	140	81	0.13	0.40	0.64
2025	13	143	82	0.14	0.40	0.65
2026	14	145	83	0.14	0.41	0.66
2027	15	148	84	0.14	0.42	0.68
2028	16	151	85	0.15	0.42	0.69
2029	17	153	86	0.15	0.43	0.71
2030	18	156	88	0.16	0.44	0.72
2031	19	159	89	0.16	0.44	0.74
2032	20	162	90	0.17	0.45	0.76

Fuente: Aplicación de las ecuaciones (4.5), (4.6) y (4.7)

Siendo el factor de variación diaria: $k_1 = 1.5$

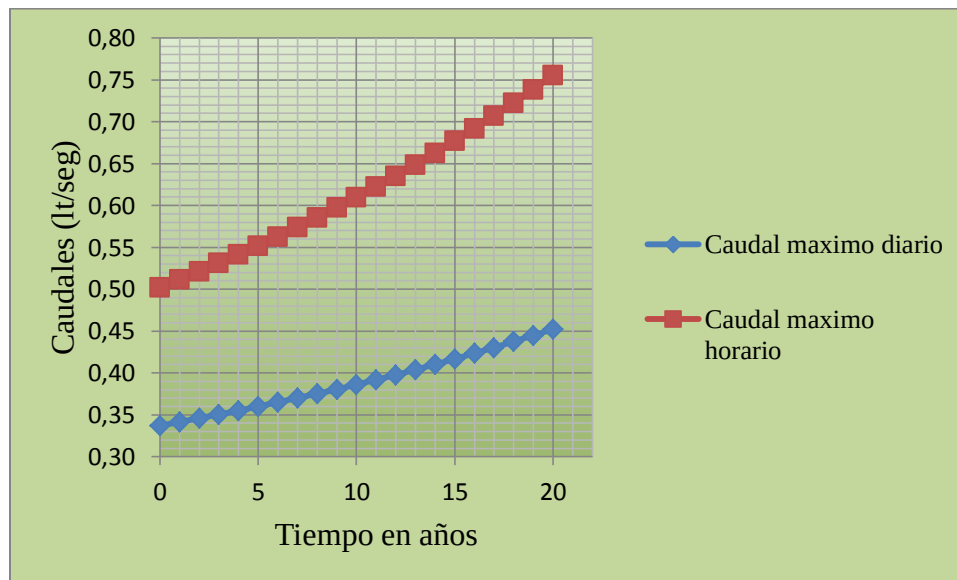
Siendo el factor de variación horaria: $k_1 = 2.2$

Teniendo para N=20 años:

Qmáx.d: 0.450 (l/s)

Qmax.h: 0.760 (l/s)

Figura 4.3 – Distribución de los consumos en el tiempo



4.2 Componentes del sistema

4.2.1 Fuentes de abastecimiento y captación (obra de toma)

▫ **Fuentes de abastecimiento.-** Para el desarrollo de proyectos de agua potable se deben considerar como fuentes de abastecimiento de agua, los siguientes tipos de fuentes:

- Superficial (ríos, arroyos, lagos o lagunas)
- Subterránea (vertientes, agua subsuperficial, agua subterránea profunda)
- De lluvia (agua pluvial)

Para poder hacer la elección de la fuente de agua que nos abastecerá al sistema de agua potable, hicimos un recorrido por las diferentes fuentes de agua de la zona, aunque hay que mencionar que los beneficiarios ya tenían su propuesta para dicha fuente. Ellos aseguraron que en la zona existen muchas vertientes las cuales tienen un caudal constante a lo largo de todo el año, es así que con los comunarios verificamos la existencia de dichas vertientes, al tratarse de un mejoramiento y una ampliación de un sistema de agua potable ya existente, cuantificamos el agua de las vertientes que actualmente abastecen del recurso hídrico al sistema de agua potable, verificando de este modo la cantidad del agua de la vertiente que nos servirá para el nuevo sistema de agua potable de la comunidad.

Para poder conocer ciertamente y verazmente la cantidad y calidad del agua haremos lo siguiente:

- Una cuantificación del agua, por medio de aforos realizados en la época de estiaje en la vertiente.
 - Un análisis de la calidad del agua a captar, el mismo se encuentra en el **Anexo 3** que certifica que cumple los requisitos exigidos por la norma Boliviana NB 512.
- **Obra de toma.-** Son estructuras y dispositivos que permiten la explotación de las aguas subterráneas.

Son obras de captación que protegen los afloramientos naturales de agua subterránea de cualquier tipo de contaminación y permiten el ingreso de agua a los elementos de conducción de agua hacia el tanque de almacenamiento, distribución o planta de tratamiento.

En nuestro caso la obra de captación de vertiente que utilizaremos es de bofedal, que es utilizada cuando el afloramiento de la vertiente se realiza por múltiples “venas de agua” anegando el terreno y debiendo emplearse un colector para captar la totalidad del agua

4.2.2 Línea de aducción

Es un conjunto de tuberías, canales, túneles, dispositivos y obras civiles que permiten el transporte de agua desde la obra de captación hasta la planta de tratamiento y/o tanque de almacenamiento o directamente a la red.

La aducción del sistema será por gravedad, por conductos cerrados a presión, en la que el agua se conduce a presiones superiores a la presión atmosférica, son generalmente tuberías de agua a sección llena.

En lo posible debe utilizarse la aducción por conductos cerrados a presión, debido a las dificultades que presentan los canales en su construcción y mantenimiento, pero fundamentalmente debido a que están más expuestos a contaminación.

4.2.3 Tratamiento

En cuanto a la calidad del agua se refiere, en el Anexo 3 se tiene un informe del mismo donde se pueden apreciar que los parámetros evaluados tanto: físicos-químicos y bacteriológicos están dentro de los rangos propuestos por la norma.

Excepto por el índice de Langelier que debería estar entre un rango de -0.5 a 0.5 según la norma pero este parámetro tiene un valor de -3,48. Lo cual nos indica que el agua es corrosiva, por lo tanto se debe limitar el uso de dispositivos metálicos en la aducción y red de distribución. Como barrera de seguridad, el agua debe ser desinfectada antes de su uso para consumo humano.

Para la desinfección del agua, utilizaremos un hipoclorador por goteo cuyo diseño fue extraído de los planos tipo de la "Guía Técnica de Diseño de Agua Potable y Saneamiento" publicado por el ministerio de servicios obras públicas, que será ubicado encima del tanque de regulación.

▫ Dosificación del cloro:

De acuerdo al balance de masas se tiene:

$$Q * D = q_s * C_s \quad (4.8)$$

Donde:

Q: caudal de entrega al tanque [l/s]

D: dosis de cloro [mg/l]

q_s: caudal de la solución [l/s]

C_s: concentración de la solución

El caudal de entrega al tanque será el caudal máximo diario del proyecto: Q: 0.45 [l/s], con una dosis asumida de 0.7 [mg/l] y con un caudal de la solución que será suministrado por un tanque de 50 litros de capacidad en 15 días de operación de: $3.86 \cdot 10^{-5}$ [l/s].

De la ecuación (4.8) se evaluará la concentración de la solución:

$$C_s = \frac{Q \times D}{qs}$$

$$C_s = \frac{0.45 \times 0.7}{3.86 \times 10^{-5}}$$

$$C_s = 8160 [mg / lt]$$

Con el que se calculará el cloro activo necesario:

$$W = V \times C_s \quad (4.9)$$

$$W = 50lt \times 0.00816kg / lt$$

$$W = 0.408kg \rightarrow CL_2$$

Como la dosis se valió para una concentración de 70%:

$$W = \frac{0.408}{0.70} = 0.583 \text{ kg de hipoclorito de calcio al 70\%}$$

En conclusión se requieren 583 gramos de hipoclorito de calcio para un volumen de 50 litros de agua limpia para una operación de 15 días.

Es aconsejable que esta dosificación sea planificada por el operador del sistema de manera que se tengan buenos resultados en el análisis de cloro residual cuando el sistema se encuentre en funcionamiento.

4.2.4 Tanque de almacenamiento

Los tanques de almacenamiento son estructuras civiles destinadas al almacenamiento de agua. Tienen como función mantener un volumen adicional como reserva y garantizar las presiones de servicio en la red de distribución para satisfacer la demanda de agua.

La capacidad del tanque de almacenamiento, debe ser igual al volumen que resulte mayor de las siguientes consideraciones:

- a) Volumen de regulación
- b) Volumen contra incendios
- c) Volumen de reserva

La norma admite que el proyectista realice análisis técnicos que justifiquen otros criterios para la determinación del volumen o capacidad de almacenamiento, en este caso en particular no voy a realizar el cálculo del volumen contra incendios, puesto la norma indica que para poblaciones con un población menor a 10000 habitantes no es necesario este cálculo.

▫ **Volumen de regulación:**

$$Vr = C \times Q_{máxd} \times t_r \quad (4.10)$$

Donde:

Vr: Volumen de regulación en m^3

C: Coeficiente de regulación

Sistemas con tanque semienterrado 0,15 a 0,30

Sistemas con tanque elevado 0,15 a 0,25

$Q_{máxd}$: Caudal máximo diario en m^3/d

t_r : Tiempo en días

$t_r = 1$ día como mínimo

$$Vr = C \times Q_{máxd} \times t_r$$

$$Vr = 0.25 \times 38.88 \times 1$$

$$Vr = 9.72 \approx 10m^3$$

▫ **Volumen de reserva:**

$$Vre = 3.6 \times Q_{máxd} \times t_{re} \quad (4.11)$$

Donde:

Vre: Volumen de reserva en m^3

$Q_{máxd}$: Caudal máximo diario en l/s

t_{re} : Tiempo de reserva en horas (entre 2 a 4 horas)

$$Vre = 3.6 \times Q_{máxd} \times t_{re}$$

$$V_{re} = 3.6 \times 0.45 \times 4$$

$$V_{re} = 6.48 m^3$$

Observando los cálculos realizados, podemos concluir que el volumen de regulación es mayor que el volumen de reserva, por lo tanto el volumen del tanque de almacenamiento será igual a $9.72 m^3$, asumiendo un volumen constructivo de $10 m^3$ para el tanque de almacenamiento por motivos de practicidad y seguridad.

De la Guía Técnica de Diseño de Agua Potable y Saneamiento, publicado por el ministerio de servicios y obras públicas, tomaremos el plano tipo para un tanque de almacenamiento con una capacidad de $10 m^3$, el mismo que será semi enterrado y de hormigón ciclópeo.

4.2.5 Red de distribución

La red de distribución es un conjunto de tuberías, accesorios y dispositivos que permiten el suministro de agua a los consumidores de forma constante, con presión apropiada, en cantidad suficiente y calidad adecuada para satisfacer sus necesidades domésticas, comerciales, industriales y otros usos.

4.2.5.1 TIPOS DE REDES

4.2.5.1.1 Red abierta o ramificada

La red está constituida por tuberías que forman ramificaciones a partir de una línea principal.

La red abierta puede aplicarse en poblaciones semidispersas y dispersas o cuando por razones topográficas o de conformación de la población no es posible un sistema cerrado.

4.2.5.1.2 Red cerrada o anillada

La red está constituida por tuberías que forman circuitos cerrados o anillos.

La red cerrada puede aplicarse en poblaciones concentradas y semiconcentradas mediante redes totalmente interconectadas o redes parcialmente interconectadas.

La red puede estar compuesta por una red de tuberías principales y una red de tuberías secundarias.

4.2.5.1.3 Red mixta o combinada

De acuerdo a las características topográficas y distribución de la población, pueden aplicarse en forma combinada redes cerradas y redes abiertas.

El tipo de red abierta o ramificada se ajusta mejor a las condiciones de la zona (comunidad de Rejará Sur). El mismo que será diseñado con el caudal máximo horario de la población futura, tomando las siguientes consideraciones extraídas de la norma boliviana NB 689.

4.2.5.2 Presiones de servicio

Durante el período de la demanda máxima horaria, la presión dinámica mínima en cualquier punto de la red no debe ser menor a:

- | | |
|--|--------------|
| ▫ Poblaciones iguales o menores a 2 000 habitantes | 5,00 m.c.a. |
| ▫ Poblaciones entre 2 001 y 10 000 habitantes | 10,00 m.c.a. |
| ▫ Poblaciones mayores a 10 000 habitantes | 13,00 m.c.a. |

Las presiones arriba mencionadas podrán incrementarse observando disposiciones municipales o locales de políticas de desarrollo urbano y según las características técnicas del sistema de distribución.

4.2.5.3 Velocidades

La velocidad mínima en la red principal de distribución en ningún caso debe ser menor a 0,30 m/s para garantizar su autolimpieza.

Para poblaciones pequeñas, se aceptarán velocidades menores, solamente en ramales secundarios.

La velocidad máxima en la red de distribución no debe ser mayor a 2,00 m/s.

4.2.5.4 Diámetros mínimos

Los diámetros mínimos de las tuberías principales para redes cerradas deben ser:

- En poblaciones menores a 2 000 habitantes 1”
- En poblaciones de 2 001 a 20 000 habitantes 1 1/2”
- En poblaciones mayores a 20 000 habitantes 2”

En redes abiertas, el diámetro mínimo de la tubería principal debe ser de 1”, aceptándose, en poblaciones menores a 2 000 habitantes, un diámetro de 3/4” para ramales.

4.2.5.5 Pendientes

Con el objeto de permitir la acumulación del aire en los puntos altos y su eliminación por las válvulas ventosa y facilitar el arrastre de sedimentos hacia los puntos bajos para el desagüe de las tuberías, éstas no deben colocarse en forma horizontal.

4.3 Diseño de obras civiles

4.3.1 Obra de toma

El diseño de la obra de toma se la realizará mediante una toma de vertiente de bofedal, por las características de la zona donde está ubicada la fuente de agua.

Se utilizarán los planos tipo presentados en la” Guía Técnica de Diseño de Agua Potable y Saneamiento” publicado por el ministerio de servicios obras públicas.

4.3.2 Línea de aducción y red de distribución

Para la aducción y para la red de distribución se adoptarán las consideraciones dadas en la norma boliviana NB-689 para su diseño.

4.3.2.1 Línea de aducción

Para el diseño de la aducción se tuvo en cuenta las pérdidas por fricción, las mismas que fueron determinadas con la ecuación de Hazen-Williams:

$$hf = 10,678 * \frac{Q^{1,852} * L}{C^{1,852} * D^{4,87}} \quad (4.12)$$

Donde:

- hf: pérdida de carga por fricción (m)
L: longitud de la tubería (m)
Q: caudal del tramo de tubería analizado (m³/s)
D: diámetro de la tubería (m)
C: coeficiente de Hazen-Williams (adim)

Cuadro 4.7 – Valores del Coeficiente de Hazen-Williams

Material	C
Acero galvanizado	125
Acero soldado c/revestimiento	130
Asbesto cemento	120
Hierro fundido nuevo	100
Hierro fundido usado (15 a 20 años)	60-100
Hierro fundido dúctil c/revestimiento de cemento	120
Plástico PVC o polietileno PE	140

Fuente: Guía Técnica de diseño de proyectos de agua potable para poblaciones menores a 10.000 habitantes

Para sistemas de aducción con tanque de regulación, se adoptará el caudal máximo diario:

$$Q_{máx.d} = 0.45lt / seg$$

Los coeficientes de Hazen Williams que utilizaré están en función de los materiales:

PVC = 140

Acero galvanizado = 125

El procedimiento a seguir, es ir variando los diámetros la tubería de manera que en función a la pérdida generada por la longitud de la tubería (pérdida por fricción) se condicione el funcionamiento de la tubería de tal manera que se cumplan todas las condiciones. Buscando que en zonas de baja presión dinámica pase el agua por los picos sin problemas, de esta manera garantizaré el abastecimiento de agua potable al punto más crítico de la red.

Al trabajarse con un sistema a presión (tubo lleno) la velocidad se la calculará con la ecuación de continuidad:

$$V = \frac{4 \times Q}{\pi \times D^2} \quad (4.13)$$

Por recomendación de la norma, la presión dinámica máxima de las tuberías de aducción no debe ser mayor al 80% de la presión de trabajo especificada por el fabricante,

▫ Metodología:

Se dimensiono la aducción y la red de distribución del sistema, utilizando progresivas cada 50 metros, por la tanto la longitud para la cual se hicieron los cálculos es 50 m como base.

Se tomó en cuenta que la presión mínima recomendable en cualquier punto de la tubería de aducción, en las condiciones más desfavorables de escurrimiento, debe ser de 2 m.c.a., excepto en los puntos inicial y final de la aducción ligados a un tanque o cámara en contacto con la atmósfera.

Nota:

El desarrollo de la metodología de cálculo se puede apreciar en Anexo 5.

4.3.2.2 Red de distribución

La norma nos dice que para la determinación de caudales en redes abiertas con menos de 30 conexiones debe determinarse el caudal por ramal, utilizando el método probabilístico o de simultaneidad, basado en el coeficiente de simultaneidad y el número de grifos.

La comunidad de Rejará Sur que tiene 22 conexiones domiciliarias, por lo tanto tomando la recomendación de la norma se utilizara dicho método de cálculo:

Siendo el caudal por ramal:

$$Q_{ramal} = K \times \sum Q_g \quad (4.14)$$

Donde:

Q_{ramal} : Caudal de cada ramal (l/s)

Q_g : Caudal por grifo (lt/s) $Q_g \geq 0, 10 \text{ lt/s}$

K: Coeficiente de simultaneidad $k \geq 0, 20$

$$K = \frac{1}{\sqrt{x-1}} \quad (4.15)$$

Donde:

x = número de grifos en el área que abastece cada ramal

Como se podrá apreciar en el Anexo 5, fue este el método que se utilizó en el cálculo para obtener el caudal por grifo de todo el sistema de agua potable, cumpliendo la condición de que el caudal mínimo por grifo es de 0.10 lt/seg.

4.3.2.3 Puentes colgantes en el proyecto

De acuerdo con el levantamiento topográfico realizado en la zona beneficiada con el proyecto, se pudo observar en la visita de campo a la comunidad de la existencia de varias quebradas a lo largo del trazo tentativo de la aducción y de la red de distribución, es por ese motivo que se consideró necesario el uso de puentes colgantes para así salvar dichas depresiones a lo hora de realizar el trazo del sistema.

En el siguiente cuadro se podrá observar las progresivas de ubicación de los puentes colgantes y el diámetro de la tubería que pasará por los mismos:

Cuadro 4.8 –Puentes en el trazo

PUENTE COLGANTE	PROG. INICIO	PROG. FINAL	LONGITUD	D(in)
PUENTE - 01	0+403.18	0+419.05	10	1.5
PUENTE - 02	0+493.01	0+499.921	5	1.5
PUENTE - 03	0+660.21	0+667.12	5	1.5
PUENTE - 04	0+881.88	0+890.18	5.8	1.5
PUENTE - 05	0+997.24	1+005.55	5.8	1.5
PUENTE - 06	1+119.10	1+134.89	10	1.5
PUENTE - 07	1+485.96	1+533.35	30	1.5
PUENTE - 08	1+651.72	1+667.51	10	1.5
PUENTE - 09	1+750.41	1+766.20	10	1.5
PUENTE - 10	1+972.84	1+988.62	10	1.5
PUENTE - 11	0+102.40	0+118.20	10	0.75
PUENTE - 12	0+090.44	0+163.10	50	0.75
PUENTE - 13	0+078.27	0+095.06	10	0.75
PUENTE - 13	0+205.35	0+221.14	10	0.75

Como se puede observar en el cuadro anterior, presente el inicio y el final de las estructuras por medio de sus progresivas respectivas, de igual modo en la casilla de longitud podemos observar el ancho de la depresión a salvar por dicha estructura, para el diseño y los planos respectivos, utilizaremos la recomendación de la norma que nos dice que para poblaciones con habitantes menores a 10000 hab directamente se utilicen los planos tipos presentados en la Guía Técnica de Diseño, Especificaciones Técnicas, Costos Referenciales y Planos Tipos de Proyectos de Agua Potable y Saneamiento para Poblaciones Menores a 10000 habitantes, elaborado por el Ministerio de Servicios y Obras Públicas.

4.3.2.4 Válvulas de aire

El aire acumulado en los puntos altos provoca la reducción del área de flujo del agua, produciendo un aumento de pérdida de carga y una disminución del gasto. Para evitar esta acumulación es necesario instalar válvulas de aire pudiendo ser automáticas o manuales. Debido al costo elevado de las válvulas automáticas, en la mayoría de las líneas de conducción se utilizan válvulas de compuerta con sus respectivos accesorios que requieren ser operadas periódicamente.

4.3.2.5 Válvulas de purga

Los sedimentos acumulados en los puntos bajos de la línea de conducción con topografía accidentada, provocan la reducción del área de flujo del agua, siendo necesario instalar válvulas de purga que permitan periódicamente la limpieza de tramos de tuberías.

CAPÍTULO V (PRESUPUESTO DEL PROYECTO)

5.1 Información básica para el presupuesto

5.1.1 Análisis de precios unitarios

Para el análisis de los precios unitarios, se recabó información de proyectos similares, considerando los siguientes datos de referencia:

- Niveles de productividad de mano de obra por tipo de trabajo, en base a información obtenida de sistemas de agua potable construidos en el Departamento anteriormente.
- Disposiciones legales laborales vigentes como ser: pago de beneficios sociales, seguridad social, vacaciones y otros beneficios de acuerdo a ley.
- Disponibilidad de mano de obra y materiales de construcción en la zona del proyecto.
- Costo de maquinaria y equipo en base a cotizaciones de empresas importadoras dedicadas al rubro.

Para el cálculo del presupuesto, se utilizó el programa PRESCOM 2011, de tal manera que utilizando las virtudes de este programa se realizó el cálculo del costo del proyecto del sistema de agua potable.

El desarrollo y cálculo de los precios unitarios se encuentra en el ANEXO 8.

5.1.1.1 Materiales

Este primer componente tiene su importancia en la estructura de costos, su magnitud y cantidad dependen de la definición técnica y las características propias de cada uno de los materiales que integran el ítem.

Los materiales son los recursos que se utilizan en cada una de las actividades o ítemes de la obra. Los materiales están determinados por las especificaciones técnicas, donde se define

la calidad, cantidad, marca, procedencia, color, forma, o cualquier otra característica necesaria para su identificación.

El costo de los materiales consiste en una cotización adecuada de los materiales a utilizar en una determinada actividad o ítem, esta cotización debe ser diferenciada por el tipo de material y buscando al proveedor más conveniente. El precio a considerar debe ser el puesto en obra, por lo tanto, este proceso puede ser afectado por varios factores tales como: costo de transporte, formas de pago, volúmenes de compra, ofertas del momento y claro esta hay que considerar el costo de los materiales a precios de mercado con factura.

5.1.1.2 Mano de obra

El costo total del ítem de mano de obra está conformado por el Costo Horario de la mano de obra utilizada en el ítem, Beneficios Sociales sobre el subtotal de Mano de Obra (55%) y el Impuesto al Valor Agregado (14,94%) del subtotal de Mano de Obra + Beneficios Sociales.

Estos costos fueron obtenidos de cotizaciones en la zona donde se ejecutará el proyecto, y también incorpora los niveles salariales vigentes para este tipo de trabajos.

En los precios unitarios calculados en las planillas, se consideró que un obrero trabaja por día 8 hrs., 25 días al mes, haciendo un total de 200 horas laborales al mes.

5.1.1.3 Equipo, maquinaria y herramientas

Los costos de equipo y maquinaria, se han elaborado en base a cotizaciones hechas a empresas importadoras de este rubro y considerando los factores técnicos recomendados por sus fabricantes. El costo del equipo y maquinaria involucra también el traslado y mantenimiento del mismo.

Es así, que en el costo del equipo de una obra, intervienen dos aspectos muy importantes que son el costo de operación de la maquinaria y el rendimiento mismo de las diferentes maquinarias que se utilizarán en una determinada obra.

Se consideró el 5% del costo total de la mano de obra. Este valor comprende el factor de desgaste y reposición de herramientas menores que es utilizado y aceptado por todas las empresas constructoras de Bolivia.

Es la sumatoria de los costos del equipo y maquinaria considerados dentro de cada ítem, más el costo de herramientas.

5.1.1.4 Gastos generales y administrativos

Para los Gastos Generales se adoptó un porcentaje del 10% del total de las partidas de Materiales, Mano de Obra y Equipo, Maquinaria y Herramientas. Es decir, de la sumatoria de los componentes 1+2+3 de la planilla de cálculo. El porcentaje de Gastos Generales adoptado (10%).

5.1.1.5 Utilidades

Se consideró el factor del diez por ciento (10%) del total de las partidas de Materiales, Mano de Obra, Equipo, Maquinaria y Herramientas. Es decir, de la suma de los componentes 1+2+3+4 de la planilla de análisis de precios unitarios.

5.1.1.6 Impuestos

En lo que se refiere a los impuestos, se toma el Impuesto al Valor Agregado (IVA) y el Impuesto a las Transacciones (IT). El impuesto IVA grava sobre toda compra de bienes, muebles y servicios, estando dentro de estos últimos la construcción, su costo es el del 13% sobre el costo total neto de la obra y debe ser aplicado sobre los componentes de la estructura de costos.

En conformidad con la planilla de cálculo propuesta en el modelo del Pliego de licitaciones, se considera el impuesto IT equivalente a 3.09% del total de las partidas de Materiales, Mano de Obra, Equipo, Maquinaria y Herramientas y gastos Generales y Administrativos. Es decir, de la suma de los componentes 1+2+3+4+5 de la planilla de análisis de precios unitarios.

5.1.2 Cálculos métricos

Por medio del cálculo métrico, se miden las estructuras que forman parte de una obra de ingeniería, con el objeto de:

- a.- establecer el costo de la misma, o de una de sus partes.
- b.- determinar la cantidad de materiales necesarios para ejecutarla.

El cálculo métrico es un problema de medición de longitudes, áreas y volúmenes, que requiere el manejo de fórmulas geométricas, computar es entonces medir, cálculo, medición y cubicación son palabras equivalentes.

El cálculo métrico supone el conocimiento de los procedimientos constructivos de la práctica y su éxito depende en gran medida de una experiencia sólida. El trabajo de medición puede ser ejecutado de dos maneras que son: sobre la obra misma, o sobre los planos.

- Cálculo en plano

Significa realizar los trabajos de medición en los planos del proyecto con la ayuda de un escalímetro teniendo mucho cuidado en la observación de las escalas.

- Cálculo en obra

Este trabajo se lo efectúa en el lugar de la obra, cuando ésta se encuentra en ejecución con la ayuda de una cinta métrica un flexómetro de acuerdo a las normas establecidas.

Para realizar el cálculo métrico del sistema de agua potable, se utilizaron los planos tipos de la norma y los planos realizados conforme iba avanzando el proyecto de esta manera se computaron todos los datos necesarios para el presupuesto.

Los cálculos métricos del proyecto se encuentran en el ANEXO 7.

5.1.3 Presupuesto del proyecto

Una vez analizados todos los componentes o ítems del presupuesto del proyecto, es necesario preparar el presupuesto definitivo.

Es por eso que los precios unitarios tiene una gran importancia en lo que se refiere al presupuesto de una obra, puesto que los precios unitarios tienen que estar de acuerdo a la realidad del proyecto, es decir, tiene que tener una racionalidad de precios en relación al proyecto.

El costo de los materiales tiene una gran importancia en el cálculo del presupuesto, debido a que en el caso de que se cometa errores en esta parte, trae como consecuencia un resultado muy alejado de la realidad, y por lo tanto una total distorsión en el costo total de la obra.

Es por eso que para la determinación del presupuesto del proyecto se utilizó la estimación del mismo por precios unitarios, es indispensable realizar el cómputo métrico, de manera tal que la multiplicación de cada una de las actividades definidas para una unidad determinada, le corresponda un precio unitario que nos determine el costo parcial de la misma, sumando todos los costos parciales se obtiene el costo total del proyecto.

El presupuesto general del proyecto se encuentra detallado en el ANEXO 9.

Conclusiones del proyecto

- La adopción de la obra de toma, se debe esencialmente a las características de la zona, debido a que existen muchas vertientes en el lugar del emplazamiento de la obra de toma, dichas vertientes abastecen de agua a la zona en su totalidad, por lo tanto se adoptó una obra de toma en bofedal, puesto que es la que mejor se adecua a las características de la zona.
- En cuanto a la aducción, esta fue direccionada en conjunto con los representantes de la comunidad tratando en lo posible que el trazado no vaya a generar molestias en la población beneficiaria, técnicamente velando la menor distancia y el mejor trazo.
- La topografía desde el lugar de la toma hacia la red de distribución es favorable por contar con fuertes pendientes lo que garantiza un sistema a gravedad. Pero cabe mencionar que no se hizo el uso de cámaras rompe presión, puesto que se jugó con la clase de tuberías de la aducción y la red de distribución.
- La comunidad se encuentra en una zona que presenta muchos sectores accidentados, lo cual obligó a la disposición de estructuras de paso (puentes colgantes, pasos de quebrada).
- Para la alineación de la red de distribución, se tomó en cuenta la ubicación de las casas de la comunidad, dejando una distancia tolerable desde las casas hasta la tubería de agua. Preponderando la dispersión en estas se optó por una red abierta.
- Con la implementación del mejoramiento y ampliación del sistema de agua potable, se logrará mejorar los indicadores actuales de salud, elevar el nivel de vida de los pobladores de la comunidad de “Rejará Sur”.

Recomendaciones del proyecto

- Se recomienda que para el diseño del sistema de agua potable para la comunidad de Rejará Sur se utilice los planos tipos. Por tratarse de caudales muy pequeños lo cual es un problema al momento de realizar el diseño del sistema.
- Para el diseño del sistema de agua potable se recomienda el uso de tuberías de PVC, puesto que el análisis de calidad del agua nos reportó un índice de Langelier que se sale de los parámetros, lo que nos dice que el agua de la zona es corrosiva, por lo tanto es necesario limitar el uso de dispositivos metálicos, por lo tanto solo se hará el uso de fierro galvanizado para las estructuras de paso.
- Paralelo a la construcción del sistema se recomienda hacer un taller de capacitación a los comunarios sobre el uso racional del agua, un comité del agua es esencial para el buen funcionamiento del sistema de agua potable, lo que hará que el proyecto sea auto sustentable en el tiempo.