

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

1.1. Título del proyecto

“Diseño Hidráulico de un Sistema de agua potable a bombeo mediante energía fotovoltaica en la comunidad de Morterito”

1.2. Problema actual

La comunidad de Morterito actualmente cuenta con un sistema de agua potable por bombeo con generador a diésel, sin embargo esta alternativa no satisface a los beneficiarios, porque actualmente la fuente con la que cuentan no abastece a toda la comunidad, considerando también que el costo de operación y mantenimiento es alto ya que la capacidad para el suministro de combustible para la comunidad de Morterito se torna muy costosa, esta situación hace que necesariamente se deba plantear una alternativa que cuente con una fuente de agua cuya oferta satisfaga la demanda de toda la población además disminuya los costos de operación y mantenimiento del sistema.

1.2.1. Planteamiento del problema

La comunidad de Morterito está ubicada en una zona lejana tanto a la Capital del Municipio de Entre Ríos de la Provincia O'Connor, como a la Capital del Departamento de Tarija, y esto hace que no cuente con algunos servicios básicos. En el suministro de agua potable, actualmente cuenta con un sistema de agua potable por bombeo convencional (generado por diésel) pues la comunidad no cuenta con energía eléctrica y con una fuente de agua no suficiente para abastecer la demanda mínima de la población, además el alto costo en la operación, la dificultad al acceso de combustible para el funcionamiento del sistema, y en el mantenimiento de los componentes del sistema de bombeo, ocasionando un mayor gasto por el servicio y detrimento a la economía de los beneficiarios de la comunidad.

1.2.2. Formulación del problema

¿De qué forma se ayudaría a la población de la comunidad de Morterito con la implementación de un sistema de agua potable por bombeo utilizando energía fotovoltaica?

Con la implementación del sistema fotovoltaico, especialmente se contribuirá en la economía del usuario, ya que el costo que significa operar el sistema actual por bombeo con diésel, eleva el costo de tarifas que tienen que pagar, por lo tanto reducirá notablemente el costo de operación y por ende rebajaran las tarifas del servicio.

En el siguiente cuadro resumimos las ventajas y desventajas que tendrá la comunidad con el sistema fotovoltaico, en relación al sistema actual:

Cuadro N° 1 Ventajas y desventajas de un sistema fotovoltaico

Tipo de sistema	Ventajas	Desventajas
Fotovoltaica	➤ Poco mantenimiento ➤ Limpio ➤ No necesita combustible ➤ Fácil de Instalar ➤ Confiable ➤ De larga durabilidad ➤ Funciona sin supervisión ➤ Pocos costos repetitivos ➤ Sistema modular flexible que se adapta exactamente a lo necesario ➤ Tarifas más baratas ➤ Inversión moderada en operador del sistema ➤ Disponibilidad de agua	➤ Inversión de capital relativamente cara ➤ Menor producción en clima de poco sol.

	oportuna	
Bombeo con Diesel	➤ Inversión de capital moderada ➤ Puede ser portátil ➤ Tecnología muy conocida ➤ Fácil de Instalar	➤ Servicio inadecuado de mantenimiento tiende a reducir su vida útil ➤ Combustible a menudo caro y el abastecimiento tiende a ser irregular ➤ Problemas de ruido, hollín y gases de humo. ➤ Inversión alta en la operación del sistema

Fuente: Guía de desarrollo de proyectos de bombeo de agua con Energía Fotovoltaica.

Por lo que se muestra con el sistema fotovoltaico son más las ventajas que las desventajas que tendrá la comunidad, lo que contribuirá a mejorar la calidad de vida de los beneficiarios.

1.2.3. Sistematización del problema

¿Qué confiable sería la implementación de un sistema de bombeo por energía fotovoltaica?

¿Qué características deberá tener el sistema de bombeo por energía fotovoltaica para que llegue a satisfacer las perspectivas de la población de la comunidad de Morterito?

¿Qué cambio existiría en conservar el sistema de bombeo por energía convencional o implementar un sistema de bombeo por energía fotovoltaica?

¿Cuál sería la diferencia del costo de operación-mantenimiento del sistema de bombeo por energía fotovoltaica con el sistema actual?

1.3.Objetivos del problema

1.3.1. Objetivo general

- Contribuir a mejorar las condiciones de vida en la comunidad de Morterito mediante el aprovechamiento de la energía solar como opción para el bombeo de agua en el sistema de agua potable.

1.3.2. Objetivo específico

- Implementar un sistema fotovoltaico de bajo costo, en operación y mantenimiento
- Disponer de agua potable en forma oportuna y barata
- Producción de energía eléctrica con la técnica fotovoltaica
- Comparar costos de O y M de un sistema convencional y un fotovoltaico.

1.4. Justificación del proyecto

El suministro suficiente de agua limpia y segura constituía una importante preocupación en la comunidad de Morteritos, una vez implementado su sistema de agua potable por bombeo con generación a diésel se solucionaron sus problemas de suministro y abastecimiento de agua, sin embargo se dieron cuenta, que este sistema generó: un alto costo en la operación del sistema y su mantenimiento, impactos ambientales importantes, así también la falta de conocimiento en el manejo electrónico y mecánico de ese sistema y gastos elevados en la economía de la población. Es por eso que con este proyecto (sistema fotovoltaico) se pueda otorgar una alternativa de solución que sea sostenible en el tiempo, beneficie a la población y a la comunidad.

1.4.1. Justificación Académica

Al realizar el proyecto “Diseño de un Sistema de Agua Potable por bombeo mediante Energía Fotovoltaica como opción en la comunidad de Morteritos” se aplicara los conocimientos adquiridos en el diseño de sistemas de agua potable además que se aportara con criterios de diseño para la utilización de energía solar en el bombeo de agua, este tipo de proyectos que todavía no se implementaron en el Departamento de Tarija, puede generar la utilización y aceptación de este tipo de sistemas e interés por otros sistemas similares.

1.4.2. Justificación Técnica

Esta alternativa se convierte en atractiva en lugares donde no ha sido posible usar la fuerza de la gravedad para aliviar los problemas de suministro de agua, por ende la

tecnología fotovoltaica constituye una fuente ideal de generación de energía, para satisfacer demandas en gran y pequeña escala, independientemente de las condiciones y reducir el costo del sistema actual. En la mayor parte del mundo, todos los días caen más de 4 kilovatios hora de luz solar sobre cada metro cuadrado de tierra, haciendo que la energía solar sea un recurso fácilmente disponible y aprovechable, ya que la producción y el transporte de la luz del sol no cuesta nada.

1.4.3. Justificación Social

Los usuarios se ven afectados por el elevado costo de operación, mantenimiento del sistema actual, lo que incide en el pago de tarifas de consumo elevados, afectando su economía familiar.

La opción del sistema fotovoltaico reducirá los gastos por la utilización del sistema, aliviando su economía, de manera que este proyecto pueda ser una opción más en el tiempo.

1.4.4. Justificación Institucional

La Universidad como formadores de profesionales, desea que las investigaciones y proyectos que sean realizados al culminar la etapa de formación profesional, sean de contribución para la implementación de proyectos con opciones técnicas aplicables y razonables en el tiempo por instituciones tanto públicas como privadas que contribuyen en el desarrollo de nuestro Departamento.

1.5.Descripción Técnica del proyecto.

El planteamiento del proyecto nace a consecuencia de visitas a la comunidad conjuntamente con los beneficiarios, donde se llevaron a cabo reuniones con el fin de proponer la opción de la utilización de un sistema de bombeo con energía fotovoltaica mediante recorridos al área del proyecto, para verificar aspectos técnicos como ser: fuente de agua que tenga un caudal en época de estiaje que satisfaga la demanda, trayectoria de la aducción y red de distribución, con un análisis de ventajas y desventajas de acuerdo a la topografía de la zona, pendientes, tipo de suelo, y ubicación de posibles obras complementarias, etc.

Fruto de este análisis se determinó que el proyecto de Abastecimiento de agua Potable debe ser mixto por gravedad y bombeo mediante energía fotovoltaica con el siguiente esquema hidráulico:

- Una captación en la vertiente, “Ojo de agua” que cumple, con la cantidad y calidad, pero con la limitante de la distancia que está a 3700,00 m de la población y dividida por una serranía a una altura de 130 m que impide la conducción por gravedad.
- Una aducción por gravedad de 1103 m, ya que las condiciones topográficas de este primer tramo así lo permite, hasta un punto donde empieza la serranía e impide su continuación.
- Un cárcamo de bombeo, donde estará instalada la bomba mediante energía fotovoltaica, y bombeara agua hasta un tanque de almacenamiento, a fin de sortear la serranía que impide el trazo de la aducción.
- Una aducción de impulsión de 634m de longitud, y un desnivel de 128 m.
- Un tanque de almacenamiento de agua a lo alto de la serranía, para luego realizar la distribución del agua hacia las viviendas.
- Una red de distribución por gravedad, con acometidas domiciliarias, en una población dispersa y topografía ondulada.

1.6.Marco de referencia

Para desarrollar la presente propuesta, es necesario definir los alcances y la metodología a emplear. Para lo cual se debe contar con la suficiente información disponible y sobre todo definir todas las variables que limitarán el perfil del proyecto.

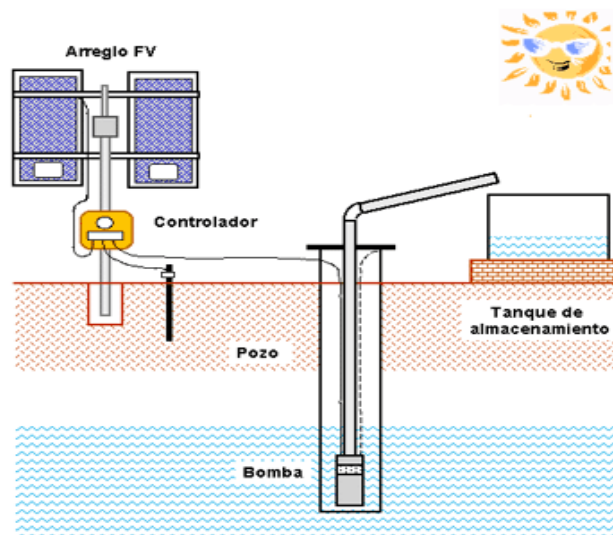
1.6.1. Marco teórico

Sistema de energía fotovoltaica para bombeo de agua

En los sistemas fotovoltaicos de bombeo de agua, la energía necesaria para accionar la bomba proviene del sol. La energía solar es captada y transformada a energía eléctrica por medio de los dispositivos llamados celdas solares, las cuales son la base de la construcción de los módulos fotovoltaicos.

Se demostró que para una amplia gama de aplicaciones los sistemas accionados con el proceso fotovoltaico son sumamente confiables y de menor costo que los otros métodos, la facilidad para su instalación y la poca necesidad de mantenimiento explica su creciente popularidad. Los sistemas de bombeo de agua accionados a energía fotovoltaica disponibles comercialmente pueden suministrar agua de fuentes superficiales con profundidades de hasta 1 metro, o de pozos de hasta 120 metros. Debido a que el consumo del agua crece a medida que aumenta la luz del sol con la intensa radiación solar que está sufriendo el mundo haciendo mucho más factible y viable la implementación de estos sistemas en regiones rurales que no cuentan con energía eléctrica, ni con ningún tipo de energía no renovable.

Figura N° 1 Sistema de energía fotovoltaica



Fuente: Guía de desarrollo de proyectos de bombeo de agua con Energía Fotovoltaica.

Recurso solar

El sol es una fuente inagotable de energía debido a magnitud de las reacciones nucleares que ocurren en su centro y corona. Debido a la gran masa con la que cuenta, se puede asegurar que su tiempo de vida es “infinito” comparado con el tiempo de vida del hombre sobre el planeta tierra. Una gran parte de esta energía llega a la tierra en forma de radiación electromagnética llamada comúnmente energía solar, la cual está formada básicamente por “luz” y “calor”.

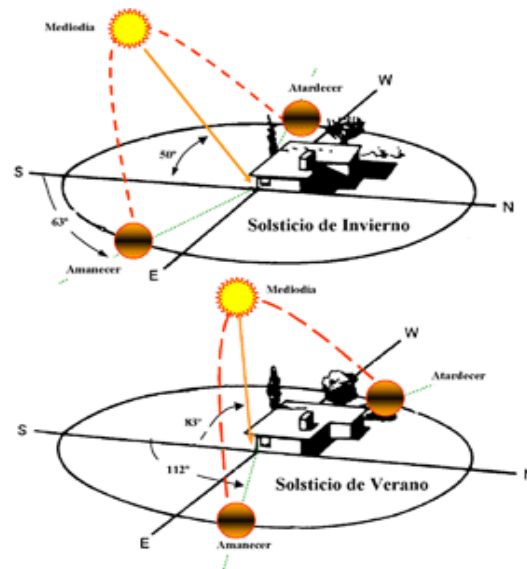
La potencia de la radiación solar que se recibe en un instante dado sobre un captador de una superficie determinada se le conoce como Irradiación y se mide en unidades de W/m^2 . Dado que la distancia tierra-sol es “relativamente” fija, el valor de la irradiación fuera de la atmósfera terrestre, llamada la constante solar, es de $1,353 \text{ W/m}^2$.

La insolación también se expresa en términos de horas solares pico. Una hora solar pico es equivalente a la energía recibida durante una hora, a una irradiación promedio de $1,000 \text{ W/m}^2$. La energía que produce el arreglo fotovoltaico es directamente proporcional a la insolación que recibe.

Trayectoria del sol

Un arreglo fotovoltaico recibe la máxima insolación cuando se mantiene apuntando directamente al sol; es decir, cuando los rayos inciden perpendicularmente en él. Para esto se necesita seguir al sol durante el día y durante todo el año, requiriéndose el ajuste de dos ángulos del arreglo: el azimut para seguir el movimiento diario del sol de este a oeste, y el ángulo de elevación para seguir el movimiento anual de la trayectoria solar en la dirección norte-sur. Así, para que el arreglo fotovoltaico siga al sol se necesita de estructuras de montaje que estén diseñadas para tal propósito.

Figura N° 2 Trayectoria del sol



Movimiento aparente del sol en la bóveda celeste en función de la hora del día y la época del año (21 de Diciembre y 21 de Junio respectivamente) para una latitud de 16°N.

Fuente: Guía de desarrollo de proyectos de bombeo de agua con Energía Fotovoltaica

Cuadro N° 2 Principales Características de Bombas Fotovoltaicas

Bombas Fotovoltaicas	Características y Ventajas	Desventajas
Centrífugas sumergibles	Comúnmente disponibles. Pueden tolerar pequeñas cantidades de arena. Pueden utilizar el agua como lubricante. Cuentan con motores de CC de velocidad variable o CA. Manejan flujos altos. Operan a cargas dinámicas grandes. Tienen un diseño modular que permite obtener más agua al agregar más módulos fotovoltaicos	Tienen un rango de eficiencia estrecho con respecto a la CDT. Se dañan si trabajan en seco. Deben extraerse para darles mantenimiento. Sufren desgaste acelerado cuando se instalan en fuentes corrosivas

Centrífugas de succión superficial	Comúnmente disponibles. Pueden tolerar pequeñas cantidades de arena. Son de fácil operación y mantenimiento por ser superficiales. Cuentan con motores de CC de velocidad variable o CA. Manejan flujos altos. Manejan cargas dinámicas altas, aunque no son capaces de succionar más de 8 metros.	Tienen un rango de eficiencia estrecho con respecto a la CDT. Sufren desgaste acelerado cuando se instalan en fuentes corrosivas. Pueden dañarse por el congelamiento en climas fríos.
Desplazamiento positivo de pistón	Soportan cargas dinámicas muy grandes. La producción puede variarse ajustando la carrera del pistón.	Requieren de reemplazo regular de sellos del pistón. No toleran arenas o sedimentos. La eficiencia se reduce a medida que el pistón pierde la capacidad de sellar el cilindro. Debe extraerse el pistón y el cilindro del pozo para reparar los sellos. No dan grandes flujos.
Diafragma	Operan a cargas menores de 40 metros. Son muy económicas.	No toleran arenas o sedimentos. No trabajan a cargas dinámicas grandes Bajos flujos.

Fuente: Guía de desarrollo de proyectos de bombeo de agua con Energía Fotovoltaica.

Tipos de motores

La selección de un motor depende de la eficiencia, disponibilidad, confiabilidad, acoplamiento a bombas y costos. Comúnmente se usan dos tipos de motores en aplicaciones FV: De CC (de imán permanente y de bobina) y de corriente alterna CA. Debido a que los arreglos FV proporcionan potencia en CC, los motores de CC pueden conectarse directamente, mientras que los motores de CA deben incorporar un inversor CCCA. Los requerimientos de potencia en Watts pueden usarse como una guía general para la selección del motor. Los motores de CC de imán permanente, aunque requieren reemplazo periódico de las escobillas, son sencillos y eficientes para cargas pequeñas. Los motores de CC de campos bobinados (sin escobillas) se utilizan en aplicaciones de mayor capacidad y requieren de poco mantenimiento. Aunque son motores sin escobillas, el mecanismo electrónico que sustituye a las escobillas puede significar un gasto adicional y un riesgo de descompostura.

Los motores de CA son más adecuados para cargas grandes en el rango de diez o más caballos de fuerza. . Los sistemas de CA son ligeramente menos eficientes que los sistemas CC debido a las pérdidas de conversión. Los motores de CA pueden funcionar por muchos años con menos mantenimiento que los motores CC.

Reservas de energía- Tanque de agua

Las bombas sin baterías no producen agua cuando el sol no brilla. La demanda de agua para los animales y los seres humanos también varía según la intensidad solar. Sin embargo siempre se recomienda tener varios días de agua acumulada en un tanque o cisterna. Una reserva de tres días es típica, pero las condiciones locales del clima y el uso del agua deben definir el tamaño óptimo para suplir la demanda.

Definición de la demanda de agua

El que diseña un sistema de agua debe conocer el volumen de agua que se requiere por día y hasta donde hay que transportarlo y en caso de sistemas solares, la cantidad de energía disponible del sol. El diseñador puede proyectar varios sistemas alternos y definir el costo de cada uno.

Es un poco complicado identificar las demandas de agua para los seres humanos porque el uso de agua varía según el tamaño de la aldea, su ubicación y su estilo de vida.

Producción de agua

La cantidad de agua que puede producir el pozo es uno de los factores más importantes en el diseño de un sistema de bombeo. Por ejemplo si un pozo produce solamente 0.5 litros/segundo, un sistema capaz de bombear el doble de esa cantidad solo lograría secar el pozo. Comúnmente se usan dos técnicas para determinar la capacidad de producción de un pozo. El primer método sirve tanto para pozos profundos cavados a mano como para pozos profundos perforados a máquina. Para efectuar esta prueba se necesita una bomba portátil capaz de bombear un flujo que sea a lo menos igual al flujo necesario. También se necesita con alguna forma de medir el nivel del agua en el pozo ya sea con una vara de medición o una cuerda con nudos cada 50 cm. Después de medir el nivel del agua enseguida instale la bomba y déjela funcionar hasta que el nivel de agua se estabilice. Sin apagar la bomba se debe volver a medir nuevamente la profundidad del nivel de agua. El agua del pozo no siempre permanece en el mismo nivel en todo el año. Para asegurar que produzca suficiente agua a lo largo del año, se deben hacer medidas durante el mes más seco, cuando el nivel del agua en el pozo y la rapidez con que se recupera sean normalmente los más bajos.

Carga estática y dinámica

La carga estática es la distancia desde el nivel del espejo del agua hasta el borde superior del tanque de almacenamiento, o hasta el punto más alto que se bombeará. En un sistema de agua potable, el agua generalmente se almacena en un tanque lo suficientemente elevado para que la gravedad entregue el agua a presión a los usuarios. Si se usa un tanque a presión en vez de uno por gravedad, cada kg/cm^2 de presión positiva en el tanque equivale a 10 metro de carga estática. En los sistemas de riego o de abrevadero de animales, se usan generalmente tanques o reservorios a nivel del suelo.

Carga estática es la medida de la altura de bombeo total de un sistema en reposo. Sin embargo, cuando se está bombeando un pozo, hay que tomar en cuenta otros factores. Por una parte, el nivel de agua en el pozo cae (se abate), y por otra, el paso del agua bombeada por la cañería ocasiona pérdidas por fricción. Estos factores adicionales constituyen la carga dinámica total. Las pérdidas por fricción dependen del diámetro interior de la cañería (a mayor diámetro, menor pérdida por fricción), de su largo, del número y tipo de codos y del flujo. En los sistemas fotovoltaicos de bombeo es importante mantener la fricción al mínimo.

1.6.2. Marco conceptual

Agua potable: Agua que por su calidad química, física y bacteriológica es apta para el consumo humano.

Bomba: Máquina movida por cualquier tipo de agente motor y usada para elevar líquidos de un nivel más bajo a otro más alto o para impulsarlos comunicándoles energía de movimiento.

Bomba centrífuga: Tienen un impulsor que por medio de la fuerza centrífuga de su alta velocidad arrastran agua por su eje y la expulsan radialmente. Estas bombas pueden ser sumergibles o de superficie y son capaces de bombear el agua a 60 metros de carga dinámica total, o más, dependiendo del número y tipo de impulsores. Están optimizadas para un rango estrecho de cargas dinámicas totales y la salida de agua se incrementa con su velocidad rotacional.

Bombas centrífugas de succión superficial: Se instalan a nivel del suelo y tienen la ventaja de que se les puede inspeccionar y dar servicio fácilmente. Tienen la limitante de que no trabajan adecuadamente si la profundidad de succión excede los 8 metros. Algunas de estas bombas tienen el motor acoplado directamente a los impulsores y se sumergen completamente otras, tienen el motor en la superficie mientras que los impulsores se encuentran completamente sumergidos y unidos por una flecha. Generalmente las bombas centrífugas sumergibles tienen varios impulsores y por ello, se les conoce como bombas de paso múltiple o de etapas.

Bombas de desplazamiento positivo de pistón: Su principio consiste en que cada vez que el pistón baja, el agua del pozo entra a su cavidad y cuando éste sube, empuja el agua a la superficie. La energía eléctrica requerida para hacerla funcionar se aplica sólo durante una parte del ciclo de bombeo. Las bombas de esta categoría deben estar siempre conectadas a un controlador de corriente para aprovechar al máximo la potencia del arreglo fotovoltaico.

Bombas de diafragma: Bomba en la que el émbolo o pistón es reemplazado por un diafragma flexible, sujeto por el borde y por el centro a un vástago de movimiento alternativo de corta carrera. Desplaza el agua por medio de diafragmas de un material flexible y resistente. Comúnmente los diafragmas se fabrican de caucho reforzado con materiales sintéticos.

Carga estática: Se trata de la distancia vertical que el agua se desplaza desde el nivel del espejo del agua antes del abatimiento del pozo hasta la altura en que se descarga el agua. La carga estática es entonces la suma del nivel estático y la altura de la descarga.

Carga dinámica: Es la distancia que baja el nivel del agua debido a la constante extracción. La carga dinámica, es el incremento en la presión causado por la resistencia al flujo al agua debido a la rugosidad de las tuberías y componentes como codos y válvulas.

Energía: Capacidad de realizar un trabajo, convirtiendo la energía mecánica como al igual que la solar en eléctrica y está en calor.

Sistema fotovoltaico: Tecnología que transforma la luz solar en electricidad.

Irradiación: Cuerpo que despidе rayos de luz calor u otra energía en todas las direcciones.

Tanque de agua: Recipiente cerrado de hormigón armado u otro material, para almacenar agua.

1.6.3. Marco espacial

Se diseñará el proyecto “Sistema de Agua Potable por bombeo mediante Energía Fotovoltaica”, como opción técnica para la comunidad de Morteritos, correspondiente al Municipio de Entre Ríos, Provincia O’connor, del Departamento de Tarija.

1.6.4. Marco temporal

El diseño del Sistema de Agua Potable por bombeo mediante Energía Fotovoltaica como opción técnica en la comunidad de Morteritos se desarrollará en el segundo semestre en la materia de Proyecto de Ingeniería Civil II CIV-502.

En el proceso de diseño se utilizarán los siguientes parámetros de diseño:

El periodo de diseño estará entre 15 a 20 años de acuerdo a experiencias similares.

Los datos poblacionales se proyectarán para 15 años.

1.7. Alcance del proyecto

El alcance del proyecto está definido por:

- La obtención y recopilación de toda la información necesaria por parte del proponente.
 - Datos de la población, el número de familias beneficiadas, ocupación económica, etc. Estos datos serán contrastados con los datos del INE 2001.
 - Levantamiento topográfico.
- Revisión bibliográfica.
- Elección de la alternativa fotovoltaica, motivos por las que fue escogida, y justificación de las alternativas descartadas.
- Diseño con la alternativa elegida el bombeo de agua para un sistema de agua potable.
- Evaluación de costos de instalación operación y mantenimiento de sistemas convencionales y sistemas fotovoltaicos.
- Planos a diseño final
- Especificaciones técnicas
- Presupuesto.

CAPÍTULO II ASPECTOS PRELIMINARES

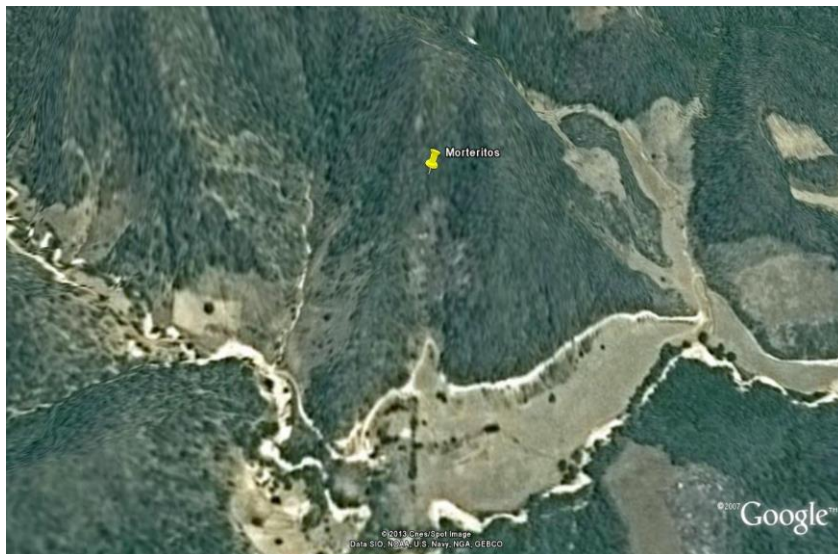
2.1.Ubicación geográfica del lugar

La comunidad de Morterito se encuentra ubicada en la zona norcentrica del Departamento de Tarija, perteneciendo al distrito N°5 del Municipio de la Provincia O'Connor, se encuentra en los límites del Departamento de Chuquisaca, se extiende desde el punto más extremo al norte en la unión de los ríos Pilaya y Pilcomayo ($20^{\circ}53'00''$ LS, $64^{\circ}10'00''$ LO), hasta el cerro de Tres Aguadas en el sud ($21^{\circ}30'00''$ LS; $63^{\circ}44'16''$ LO), desde el Este parte de un punto ubicado en la serranía de Caipipendi ($21^{\circ}00'00''$ LS, $63^{\circ}35'36''$ LO), hasta el cerro Conventillo en el Oeste ($21^{\circ}08'27''$ LS, $63^{\circ}12'06''$).





Tiene una altitud de 1230 m.s.n.m. con una latitud de $21^{\circ} 4'35.21''$ y longitud de $64^{\circ} 7'3.6''$.



2.2. Acceso a la zona del proyecto

La comunidad de Morderito donde se desarrollara el proyecto se ubica a 206 km de la ciudad de Tarija. Las vías de acceso a la comunidad de Morderito, se encuentran en buen estado, las mismas que para trasladarse a esta comunidad desde la localidad de Entre Ríos, se debe seguir la ruta hacia Palos Blancos y llegar a la comunidad de San

Simón e ingresar por la misma hacia las comunidades de Potrerillos, Timboy, Ñaurenda, Agua Buena y llegar a la comunidad beneficiaria.

2.3.Descripción de la zona

Topografía: Zona muy escarpada con fuertes pendientes, montañas con abundante vegetación, principalmente bosques con mucha densidad y siempre verde, dominan serranías y colinas, las pendientes varían entre 30 a 90 %.

Suelo: El lugar presenta un material semiduro, generalmente muestra signos de erosión laminar en medida, y en algunos sectores con cárcavas, existe material aluvial bien confinado. Existe mucho material rocoso y libre de deslizamientos. Los colores del suelo varían de un pardo oscuro en lo superficial a un pardo amarillento a medida que se va profundizando.

2.4.Aspectos Sociales

2.4.1. Población beneficiaria

Actualmente se cuenta con una población beneficiada de 108 habitantes en la comunidad de Morteritos y se distribuyen de la siguiente manera:

Cuadro N° 1 Distribución de la población

HOMBRES	MUJERES	TOTAL
58	50	108
53.7 %	46.30%	100%

FUENTE: Censo elaborado 30/03/2012

2.4.2. Actitud de los comunarios ante el proyecto

La comunidad actualmente cuentan con un sistema de agua potable por bombeo siendo un sistema convencional (bomba de motor generado a diésel), lo que origina un elevado costo del servicio afectando la economía de los comunarios, con esta nueva opción (Sistema fotovoltaico) reducirá las tarifas que con lleva este sistema mejorando así la calidad de vida de los beneficiarios.

2.4.3. Actividad económica de la población

De acuerdo a los datos que se obtuvieron la principal actividad es la agricultura constituyéndose en su principal fuente económica, también se dedican a la crianza de animales.

2.5. Servicios Básicos

2.5.1. Agua potable

Actualmente la comunidad de Morterito cuenta con un sistema de agua potable, sin embargo la fuente ya no es capaz de abastecer a toda la comunidad que necesita este servicio y el costo que representa el tipo de sistema hace que se busque otra alternativa económica.

2.5.2. Alcantarillado sanitario

La población de la comunidad cuenta con pozos sépticos utilizando letrinas y no así un alcantarillado sanitario.

2.5.3. Salud

Actualmente la comunidad presenta enfermedades gastrointestinales (Infección estomacal), por el consumo de aguas contaminadas de las fuentes de captación que no presentan ningún tratamiento para considerar como agua potable ya que solamente se puede decir que es un sistema de agua solamente por tubería.

2.5.4. Vivienda

Las viviendas en el área de influencia del proyecto se caracterizan por estar construidas en su mayoría con materiales propios del lugar. De acuerdo al diagnóstico se estima que del total de viviendas el 76 % tiene sus paredes de adobe y paja, el 23% de ladrillo y solamente el 1% de las viviendas tiene sus paredes de otros materiales (Elaboración propia).

2.5.5. Educación

La comunidad de Morterito cuenta con un centro educativo que cuenta hasta el 8vo grado llamado Morterito Centro

2.6.Clima

En la zona del proyecto, el clima es principalmente semiárido con variaciones de humedad hacia el subhúmedo y árido. El periodo de disponibilidad de agua en el suelo para el crecimiento de plantas varía entre los 5 y 7 meses en las terrazas y llanuras con suelos más profundos, y es menor de 3 meses por año en las pendientes con suelos superficiales y presentan heladas los meses de mayo a julio.

La temperatura media mensual se incrementa de Oeste a Este, los valores más altos de temperatura media mensual se registran en los meses de Octubre hasta Marzo, alcanzando temperaturas de hasta 28.3 °C

La estación que se encuentran cercanas al área de estudio de tipo climatológica es:

Cuadro N° 2 Estaciones pluviométricas y climatológicas

ESTACION	LATITUD S	LONGITUD W	ALTURA msnm	TIPO
EL PAJONAL	21° 30'11''	64° 10'14''	1260	Climatológica

Fuente: SENHAMI

En el anexo 1 se presentara el dato de las temperaturas máximas, mínimas y de la radiación media diaria.

CAPÍTULO III ESTUDIOS PRELIMINARES

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.
- Cuantificación del agua, para validar la continuidad del servicio en la cantidad necesaria.
- Un estudio de la calidad del agua, que valide la aptitud de la misma para consumo humano.

3.1. Estudio topográfico

El mismo consistió en un levantamiento topográfico con una estación total a partir de coordenadas obtenidas mediante GPS (Global Positioning System), barriendo toda la superficie considerada para el sistema de agua potable desde la sección de la vertiente para la obra de toma hasta la red de distribución. Para tal efecto se consensuó con los comunarios para evitar problemas posteriores de invasión de predios particulares.

En el anexo 2 se presentará la planilla del levantamiento topográfico.

3.2. Cuantificación del agua

Para la cuantificación de agua se realizaron aforos ya que se cuenta como fuente de agua una vertiente esta se encuentra ubicada a 3,60 km del primer subsistema para lo cual se midió en época de estiaje para hallar el caudal mínimo de esta fuente y así garantizar el suministro de agua.

El tipo de aforo que se realizó es volumétrico, que con una cubeta graduada cada litro se midió el tiempo de llenado y los resultados son los siguientes:

Datos del primer aforo

Cuadro N°1 Datos de los aforos

Fecha: 18 de Agosto del 2012		Hora: 10:35 am
N° de Aforo	Tiempo (s)	Caudal (l/s)
1	1.06	0,94
2	1.05	0,95
3	1,03	0,97
4	1.02	0,98
5	1,02	0,98
6	0,98	1,02
7	1,05	0,95
8	1,03	0,97
9	0,96	1.04
Promedio	0,91	0,98

Fuente: Elaboración propia

Datos del segundo aforo

Cuadro N° 2 Datos de los aforos

Fecha: 19 de Agosto del 2012		Hora: 9:15 am
N° de Aforo	Tiempo (s)	Caudal (l/s)
1	0,98	1,02
2	0.96	1,04
3	1,03	0,97
4	1.02	0,98
5	1,05	0,95
6	1,01	0,99
7	1,05	0,95
8	1,02	0,98
9	0,96	1.04
Promedio	1	0,99

Fuente: Elaboración propia

Datos del tercer Aforo

Cuadro N° 3 Datos de los aforos

Fecha: 22 de Septiembre del 2012		Hora: 13:00 pm
N° de Aforo	Tiempo (s)	Caudal (l/s)
1	0,97	1,03
2	1,02	0,98
3	0,98	1,02
4	1,04	0,96
5	1,02	0,98
Promedio	1,006	0,99

Fuente: Elaboración propia

Datos de Cuarto Aforo

Cuadro N° 4 Datos de los aforos

Fecha: 23 de Septiembre del 2012		Hora: 15:00 pm
N° de Aforo	Tiempo (s)	Caudal (l/s)
1	1,03	0,97
2	1,05	0,95
3	1,06	0,94
4	0,98	1,02
5	1,02	0,98
6	0,97	1,03
7	1,03	0,97
Promedio	1,02	0,98

Fuente: Elaboración propia

El caudal menor que se obtuvo de los aforos realizados fue de 0,98 l/s el caudal necesario para alimentar a la población es de 0,14 l/s determinando por estos aforos que el menor caudal obtenido de ellos es mayor al que se requiere en los sistemas.

3.3. Estudio de la calidad del agua

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

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 N° 1 Parámetros de control y técnicas de análisis para agua potable

		VALORES MÁXIMOS
PARÁMETRO	TÉCNICA	PERMITIDOS
PARAMETROS QUÍMICOS:		
Alcalinidad total	Volumetría	370 mgCaCO₃/l
Calcio	Volumetría	200 mg/l
	Absorción atómica	
Cloro residual	Sensorial comparativo (DPD)	0,2 - 1 mg/l
Dureza total	Volumetría	500 mgCaCO ₃ /l
Hierro total	Absorción atómica	0.3 mg/l
Magnesio	Cálculo	150 mg/l
	Absorción atómica	
Manganeso	Espectrofotometría	0.1 mg/l
	Absorción atómica	
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	

Fuente: Norma Boliviana (NB - 512)

Se realizó el análisis de agua de manera que el informe se encuentra en el ANEXO 3, sin embargo se mostrara los resultados del mismo en el siguiente cuadro.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Parámetro	Unidad	Resultado de la Muestra	Límites Permitidos (Para agua Potable)
Alcalinidad	mgCaCO ₃ /l	41,8	370
Calcio Disuelto	Mg/l	8,61	200
Cloruros	Mg/l	13,3	250
Dureza Total	mgCaCO ₃ /l	67,4	500
Hierro	Mg/l	< 0,008	0,3
Magnesio	Mg/l	11	150
Manganeso	Mg/l	< 0,04	0,1
Sodio disuelto	Mg/l	14,0	200
Sólidos disueltos totales	Mg/l	84,0	1000
Sulfatos	Mg/l	54,5	400
Coliformes totales	NMP/100ml	2,8 x 10 ²	< 2
Escherichia Coli	NMP/100ml	1,1 x 10 ¹	< 2

Como se puede observar todos los parámetros físicos químicos están dentro del rango permitido por la norma.

Excepto que en los parámetros microbiológicos como ser: Coliformes totales y Escherichia Coli se encuentran fuera del rango permitido por la norma ya que esta debe ser < 2 NMP/100 ml ambos parámetros, en los resultados del ensayo realizado se obtuvo que de Coliformes totales se tiene 280NMP/100ml, y de Escherichi Coli 11 NMP/100ml. Lo cual indica que el agua debe ser sometido a un tratamiento por lo que se deberá hacer la desinfección del agua, utilizando un hipoclorador de goteo que estará ubicado sobre el tanque de almacenamiento cuyo diseño fue extraído de los planos tipos de “La Guía de Diseño de Agua Potable y Saneamiento” publicado por el ministerio de servicios y obras públicas.

La dosificación para el tratamiento del agua estará desarrollada en el Capítulo IV Ingeniería del proyecto.

CAPITULO IV INGENIERIA DEL PROYECTO

4.1. Parámetros de diseño

4.1.1. Índice de crecimiento poblacional

Según el Instituto Nacional de Estadística, el Municipio de Entre Ríos tiene una tasa de crecimiento poblacional de 0,92%, la misma que fue empleada para proyectar la población involucrada en el proyecto, ya que esta comunidad se encuentra dentro de la jurisdicción de este municipio.

4.1.2. Periodo de diseño

Es el tiempo durante el cual el sistema de agua potable será eficiente. El periodo de diseño del sistema se determinara por el siguiente cuadro:

Cuadro N° 1 Periodo de diseño

Sistema	Periodo (años)
Gravedad	20
Bombeo	10
Tratamiento	10

Fuente: Manual de proyectos de agua potable en poblaciones rurales.

El periodo de diseño que se utilizara en este proyecto será de 15 años ya que no se trata de un sistema de bombeo convencional (donde el periodo de diseño es de 10 años), sino que contara con un sistema fotovoltaico para el bombeo donde el periodo de vida útil es de 15 a 20 años optando a utilizar 15 años.

4.1.3. Población horizonte

La población futura es el crecimiento histórico de la población o crecimiento que ha sido observado para diferentes períodos de tiempo.

La población futura para poblaciones menores a 5000 habitantes se la puede calcular con los siguientes métodos:

Cuadro N° 2 Métodos de cálculo de población

Método	Población (habitantes)	
	Hasta 5000	De 5001 a 10000
Geométrico	x	x
Exponencial	x (1)	x (1)
Curva logística	---	x (2)

(X) = Optativo

(1) = Recomendable

(3) = Sujeto a justificación

Fuente: Norma NB-689, Diseños de Sistemas de Agua Potable

➤ Crecimiento geométrico

$$Pf = Pa * \left(1 + \frac{i}{100}\right)^t \quad (4.1)$$

➤ Método Exponencial

$$Pf = Pa * e^{\frac{i*t}{100}} \quad (4.2)$$

Dónde:

Pf= Población final (hab)

Pact= Población actual (hab)

i= Índice de crecimiento poblacional

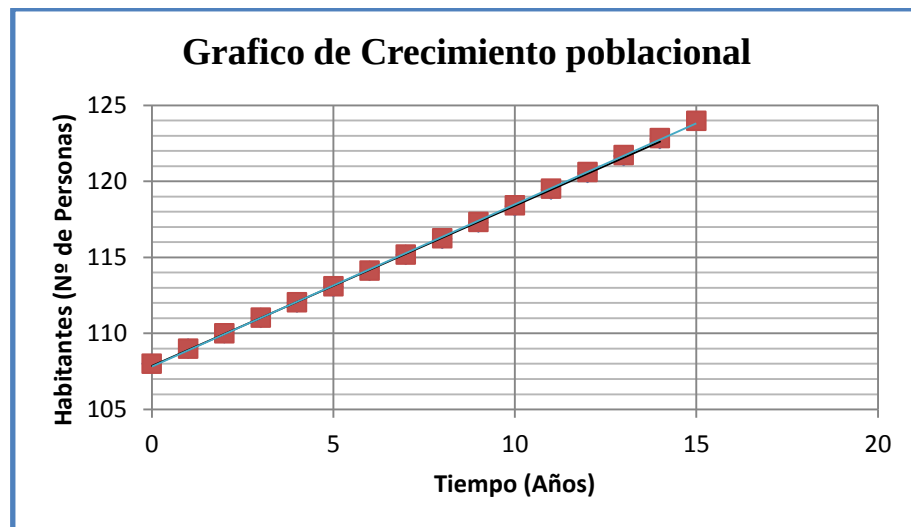
t= Periodo de diseño

Aplicando las ecuaciones (4.1) y (4.2) se tiene para un periodo de diseño de 15 años se tiene:

Crecimiento Poblacional

Año	Tiempo	Geométrico	Exponencial
2013	0	108	108
2014	1	109	109
2015	2	110	110
2016	3	111	111
2017	4	112	112
2018	5	113	113
2019	6	114	114
2020	7	115	115
2021	8	116	116
2022	9	117	117
2023	10	118	118
2024	11	119	120
2025	12	121	121
2026	13	122	122
2027	14	123	123
2028	15	124	124

Gráfico de Crecimiento Poblacional



4.1.4. Dotación media diaria

La dotación media diaria por habitante es la medida de los consumos registrados durante un año. Para el caso de ampliación, incorporación o cambio de los componentes de un sistema de dotación media diaria debe ser fijada en base al análisis y resultados de los datos de producción y consumo del sistema.

Para determinar las necesidades de agua potable en zonas habitadas, se deben considerar los siguientes factores:

- Nivel económico de la población y tamaño propiedades.
- Clima del lugar.
- Capacidad de las fuentes

El primer factor es importante, ya que la capacidad económica condiciona las necesidades de las familias. En consecuencia, los consumos en los sectores de nivel económico elevado son mayores.

Conviene recordar, que la dotación debe cubrir las necesidades de la población en cuanto a los servicios domésticos, aseo personal, limpieza, riego de jardines y pérdidas en el sistema.

En cuanto al factor clima, su influencia se refleja en los grandes consumos registrados en poblaciones con clima cálido, en relación con los templados y fríos. En muchos casos la disponibilidad de agua en la fuente limita la dotación.

Cuadro N° 3 Dotaciones medias

ZONA	Dotación Media (l/hab-día)					
	Población (Hab.)					
	Hasta 500	De 500 a 2000	De 2000 a 5000	De 5000 a 20000	De 20000 a 100000	Más de 100000
Altiplano	30 – 50	30 – 70	50 – 80	80 – 100	100 – 150	150 – 250
De los Valles	50 – 70	50 – 90	70 – 100	100 – 140	150 – 200	200 – 300
De los 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 la dotación media varía entre 50 y 70 (l/hab-día). Se adoptará el valor de 70 (l/hab/día), por la zona y las expectativas de desarrollo de la comunidad.

4.1.5. Dotación futura

La dotación futura se puede estimar con un incremento anual entre 0.5% y 2% aplicando la siguiente ecuación:

$$Df = Di * \left(1 + \frac{d}{100}\right)^n \quad (4.3)$$

Dónde:

Df= Dotación Futura (l/hab-día)

Di= Dotación inicial (l/hab-día)

d= Variación anual de la dotación que fluctúa entre 0.5-2%

n= Periodo de diseño

Aplicando la ecuación (4.3) se obtuvieron los siguientes resultados:

Dotación Futura para una variación anual de 0,5%

Año	Tiempo	Variación (%)	Dotación futura (lt /hab-día)
2013	0	0,5	70
2014	1	0,5	70,35
2015	2	0,5	70,70
2016	3	0,5	71,05
2017	4	0,5	71,41
2018	5	0,5	71,77
2019	6	0,5	72,13
2020	7	0,5	72,49
2021	8	0,5	72,85
2022	9	0,5	73,21
2023	10	0,5	73,58
2024	11	0,5	73,95
2025	12	0,5	74,32
2026	13	0,5	74,69
2027	14	0,5	75,06
2028	15	0,5	75,44

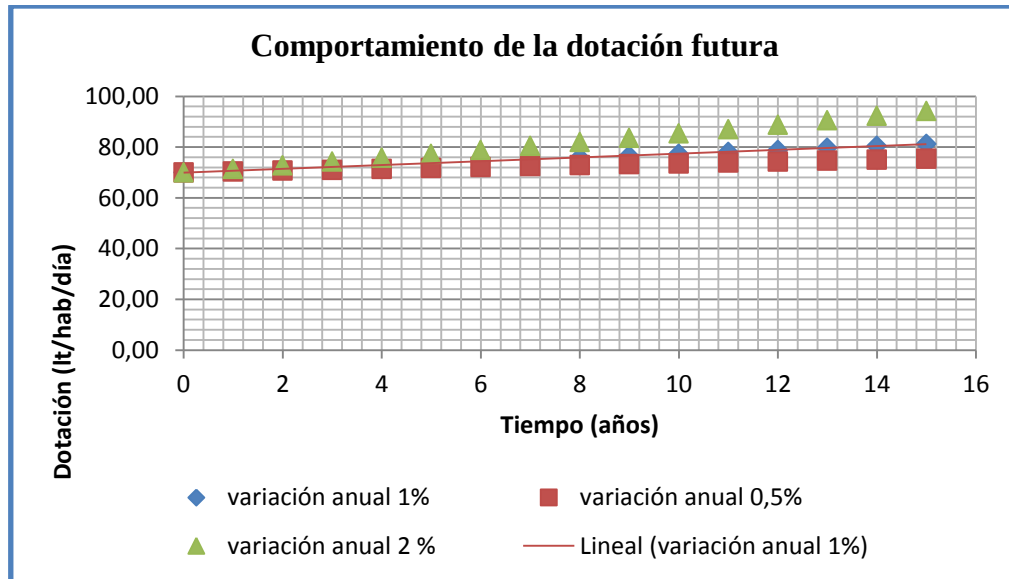
Dotación Futura para una variación anual de 1%

Año	Tiempo	Variación (%)	Dotación Futura (lt/hab-día)
2013	0	1	70,00
2014	1	1	70,70
2015	2	1	71,41
2016	3	1	72,12
2017	4	1	72,84
2018	5	1	73,57
2019	6	1	74,31
2020	7	1	75,05
2021	8	1	75,80
2022	9	1	76,56
2023	10	1	77,32
2024	11	1	78,10
2025	12	1	78,88
2026	13	1	79,67
2027	14	1	80,46
2028	15	1	81,27

Dotación Futura para una variación anual de 2%

Año	Tiempo	Variación (%)	Dotación Futura (lt/hab-día)
2013	0	2	70
2014	1	2	71,4
2015	2	2	72,83
2016	3	2	74,28
2017	4	2	75,77
2018	5	2	77,29
2019	6	2	78,83
2020	7	2	80,41
2021	8	2	82,02
2022	9	2	83,66
2023	10	2	85,33
2024	11	2	87,04
2025	12	2	88,78
2026	13	2	90,55
2027	14	2	92,36
2028	15	2	94,21

Comportamiento de la dotación futura



Como se trata de un sistema de abastecimiento antiguo se usará una variación anual de 1 % ya que se encuentra entre 0,5 y 2%.

4.1.6. Consumo medio diario

El consumo medio diario es la cantidad de agua que consume la gente diariamente y se expresa por la siguiente ecuación.

$$Q_m = \frac{P_f * D_f}{86400} \quad (4.4)$$

Dónde:

Q_m = Caudal medio diario en (lt/s).

P_f = Población futura (hab)

D_f = Dotación futura (l/hab-día)

4.1.7. Consumo máximo diario

Con las variaciones de agua que existe en una fuente de agua durante todo el año se puede determinar el día más crítico que debe ser necesariamente satisfecho, puesto que de lo contrario originaría situaciones deficitarias para el sistema. La NB-689 establece lo siguiente: “El consumo máximo diario Q_{max} diario expresado en lts/seg será determinado en base de la población calculada, la dotación futura calculada y se

multiplica por un coeficiente de variación diaria K_1 que varía entre 1.2 a 1.5, según las características de la población es decir:

$$Q_{\max d} = \frac{Pf * Df}{86400} * K_1 \quad (4.5)$$

Dónde:

$Q_{\max d}$ = caudal máximo diario (l/s)

Pf = Población futura (hab.)

Df = Dotación futura (l/hab-día)

K_1 = Coeficiente de variación diaria (1.2- 1.5)

4.1.8. Consumo máximo horario

El valor máximo tomando hora a hora, representara la hora de máximo consumo de ese día. Se determinara multiplicado el caudal máximo diario por un coeficiente de variación horaria K_2 que varía de acuerdo a la siguiente tabla:

Cuadro N° 4 Dotaciones medias

Tamaño de la población	Coeficiente k_2
Hasta 2000 hab.	2.20 – 2.00
De 2000 hab. A 10000 hab.	2.00 – 1.80
De 10000 hab. A 100000 hab.	1.80 – 1.50
De 100000 hab. Adelante	1.5

Fuente: Norma Boliviana NB 689

Como la población es menor a 2000 habitantes entonces K_2 varía entre 2.20 -2 de manera que se tomara el valor de 2.2

$$Q_{\max h} = \frac{Pf * Df}{86400} * K_1 * K_2 \quad (4.6)$$

Dónde:

$Q_{\max h}$ = Caudal máximo horario (l/s)

Pf = Población futura (hab.)

Df = Dotación futura (l/hab-día)

K_1 = Coeficiente de variación diaria> 1.2

K_2 =Coeficiente de variación horaria —> 2.2

Obtención de caudales

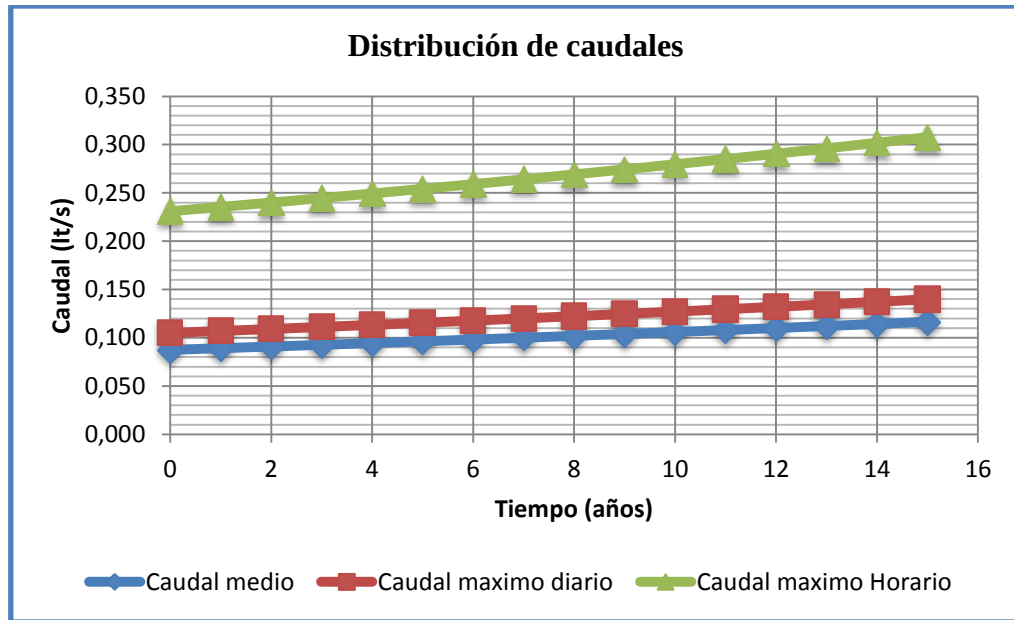
Años	Tiempo	Población	Dotación (lt/hab-día)	Qmed (lt/s)	Qmaxd (lt/s)	Qmaxh (lt/s)
2013	0	108	70	0,088	0,105	0,231
2014	1	109	71	0,089	0,107	0,235
2015	2	110	71	0,091	0,109	0,240
2016	3	111	72	0,093	0,111	0,245
2017	4	112	73	0,094	0,113	0,249
2018	5	113	74	0,096	0,116	0,254
2019	6	114	74	0,098	0,118	0,259
2020	7	115	75	0,100	0,120	0,264
2021	8	116	76	0,102	0,122	0,269
2022	9	117	77	0,104	0,125	0,274
2023	10	118	77	0,106	0,127	0,280
2024	11	119	78	0,108	0,130	0,285
2025	12	121	79	0,110	0,132	0,291
2026	13	122	80	0,112	0,135	0,296
2027	14	123	80	0,114	0,137	0,302
2028	15	124	81	0,117	0,140	0,308

Para un periodo de diseño de 15 años se tiene:

Caudal máximo diario (Qmaxd) = 0,14 (l/s)

Caudal máximo horario (Qmaxh) = 0,31 (l/s)

Distribución de consumos en el tiempo

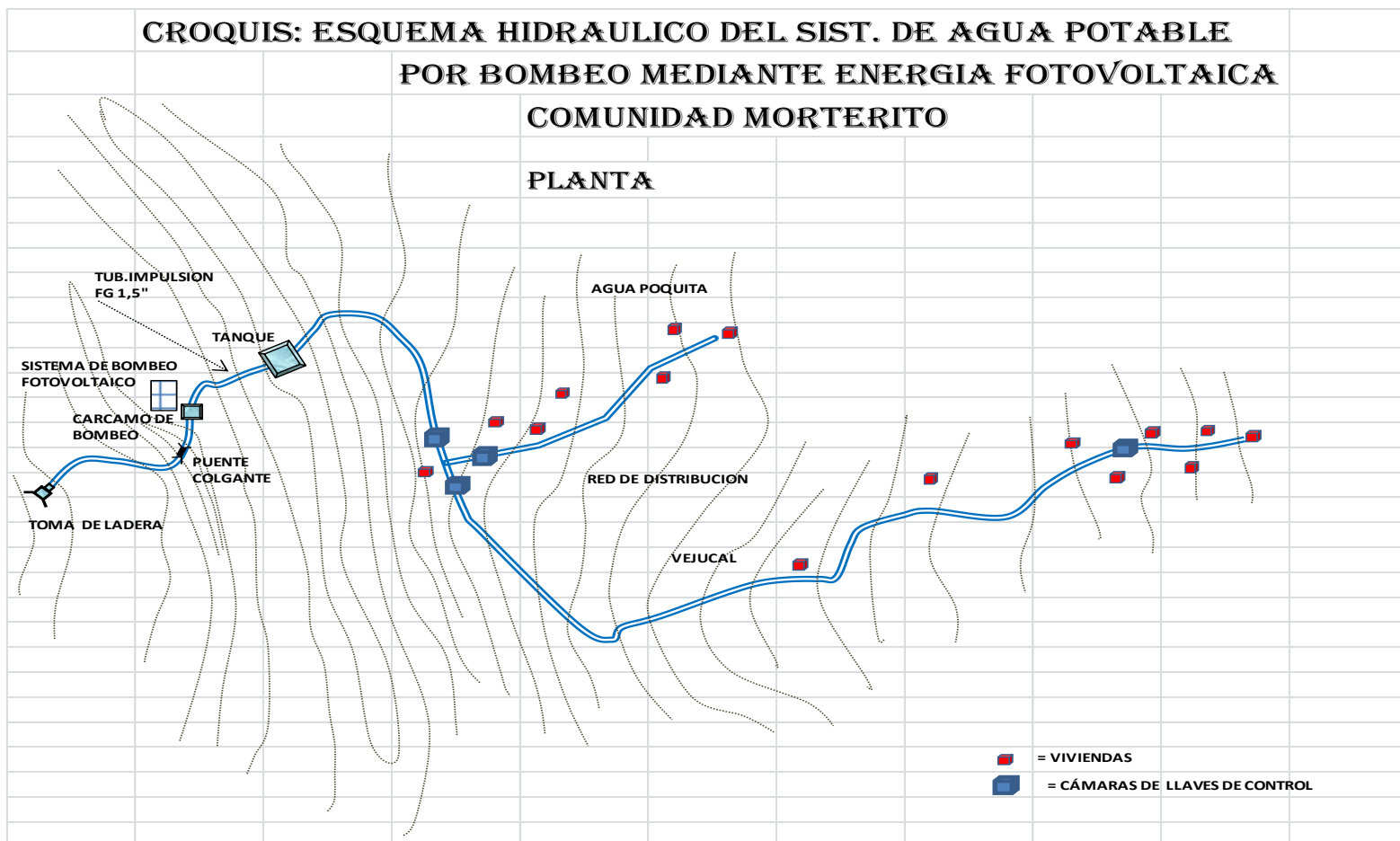


4.2.Componentes del sistema

Para decidir el tipo de componentes que tendrá el sistema de agua potable se toma en cuenta la topografía del lugar. Ya que el lugar presenta una topografía accidentada con muchas ondulaciones y fuertes pendientes, los componentes del sistema son los siguientes:

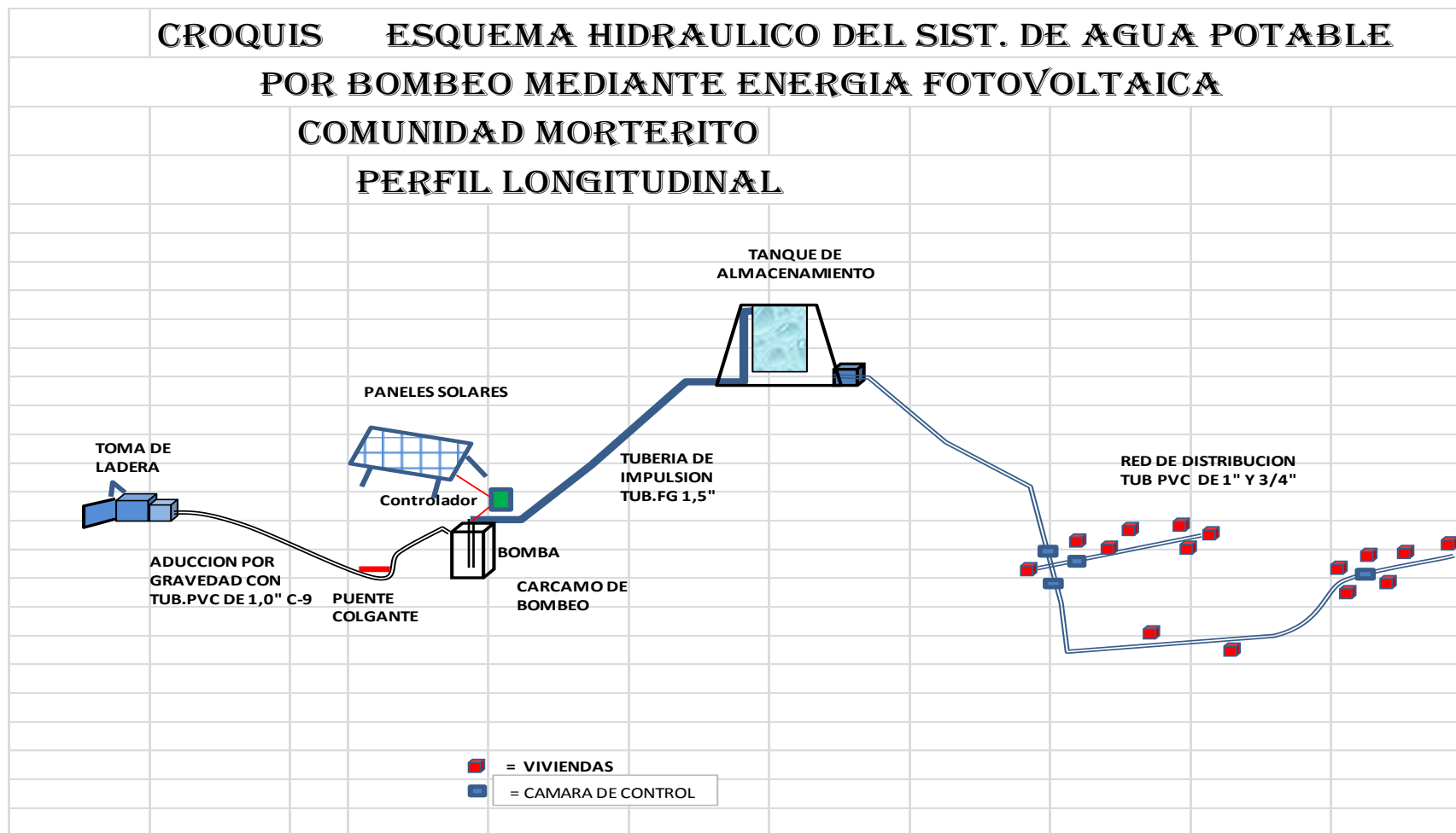
- Captación de vertiente tipo ladera con cerramiento perimetral
- Línea de aducción por gravedad
- Cárcamo de bombeo con cerramiento perimetral
- Bomba sumergible
- Sistema Fotovoltaico con su protección respectiva
- Tanque de almacenamiento con cerramiento perimetral
- Red de distribución.

Figura N° 1 Croquis de los componentes del sistema – Vista en planta



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 2 Croquis de los componentes del sistema – Vista en perfil



Fuente: Elaboración propia

4.3. Fuentes de abastecimiento y captación (obra de toma)

➤ **Fuentes de abastecimiento:** Dentro de las posibles fuentes de captación convencional de agua que se conoce:

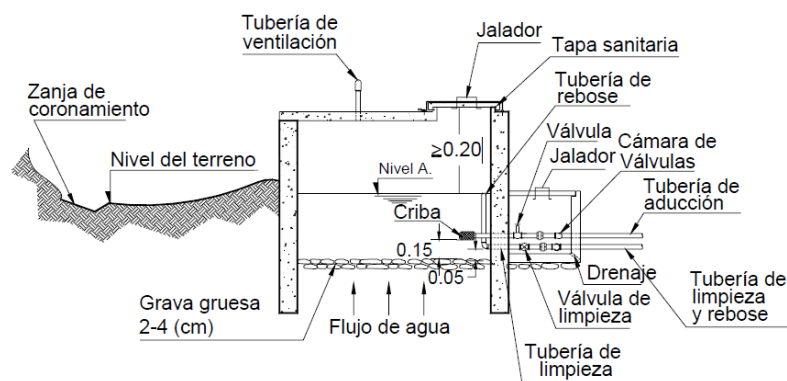
- Fuentes Superficiales (Ríos, arroyos, lagos y lagunas)
- Fuentes Subsuperficiales (Vertientes, manantiales)
- Fuente Subterránea (Acuífero)

Para la comunidad de Morterito se tiene como fuente de agua una vertiente y según los aforos realizados es lo suficientemente caudalosa para abastecer a la comunidad, esta alternativa es válida mediante la cuantificación del agua la cual se analizó en el Capítulo III.

➤ **Captación de vertiente.-** Debe estar construida de manera sencilla y práctica. La captación dependerá de la situación topográfica, de la estructura del suelo y de la clase de vertiente. No se debe tratar de modificar la corriente y el caudal natural, cualquier obstrucción puede tener consecuencias graves. La captación debe ser realizada de manera que el agua este protegida de las contaminaciones debidas a accidentes, a la negligencia o a la mala intención. Las obras de captación pueden ser:

- De fondo cuando se capta agua que emerge en terreno llano

Figura N° 3 Obra de toma para vertiente de fondo

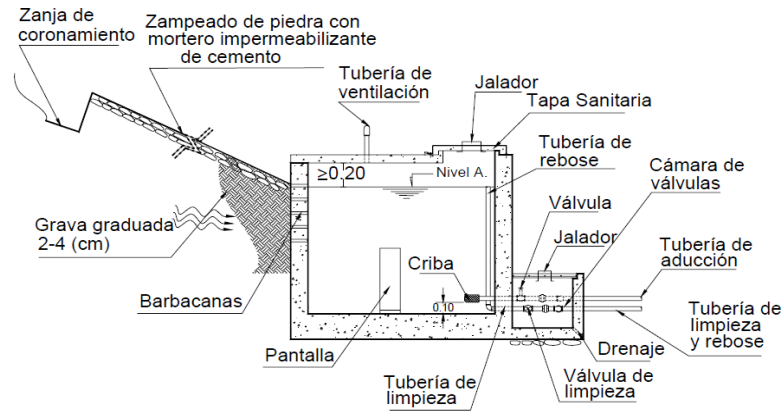


Vista en corte

Fuente: Guía técnica de diseño de agua potable para poblaciones menores a 10000 hab.

- De ladera o lateral, cuando se realiza la protección de una vertiente que aflora a una superficie tipo plano inclinado con carácter puntual o disperso.

Figura N° 4 Obra de Toma para vertiente de ladera

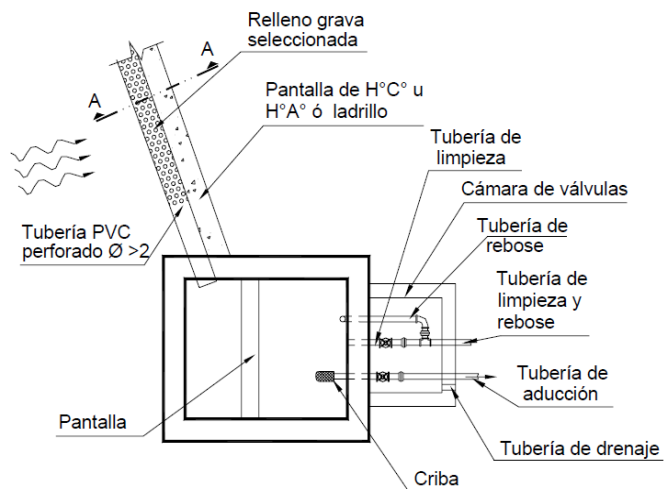


Vista en corte

Fuente: Guía técnica de diseño de agua potable para poblaciones menores a 10000 hab.

- De bofedal, 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 de agua.

Figura N° 5 Obra de toma para vertiente de bofedal



Vista en planta

Fuente: Guía técnica de diseño de agua potable para poblaciones menores a 10000 hab.

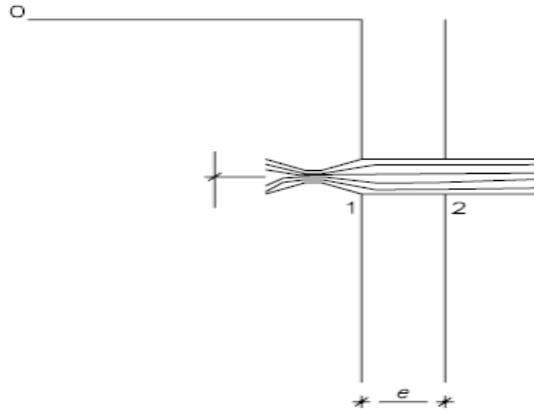
- **Obra de toma.-** La obra de toma es la estructura más importante de un sistema de agua potable, es la que define la disposición de los demás componentes del sistema además de abarcar un porcentaje de presupuesto.

La finalidad básica de una obra de captación es asegurar de manera continua y bajo cualquier condición de flujo la captación de caudal de diseño previsto.

Para el presente diseño se optará por el tipo de obra de toma para vertiente de ladera o lateral ya que el flujo del agua fluye lateralmente y su afloramiento es en un solo punto y sobre un área pequeña correspondiendo a un manantial concentrado es por eso que se optó por ese tipo de obra de toma.

Cuando la fuente de agua es un manantial de ladera y concentrado, la captación constará de tres partes: La primera, corresponde a la protección del afloramiento; la segunda, a una cámara húmeda para regular el gasto a utilizarse; y la tercera, a una cámara seca que sirve para proteger la válvula de control de salida y desagüe. La cámara húmeda está provista de una canastilla de salida y tuberías de rebose y limpieza. El compartimiento de protección de la fuente consta de una losa de concreto que cubre toda la extensión del área adyacente al afloramiento de modo que no exista contacto con el ambiente exterior, quedando así sellado para evitar la contaminación. Junto a la pared de la cámara existe una cantidad de material granular clasificado, que tiene por finalidad evitar el socavamiento del área adyacente a la cámara y de aquietamiento de algún material en suspensión. La cámara húmeda tiene una canastilla de salida para conducir el agua requerida y un cono de rebose para eliminar el exceso de producción de la fuente.

Figura N° 6 Flujo de agua en un orificio de pared gruesa



Fuente: Guía para el diseño y construcción de captación de manantiales

Cálculo de la distancia entre el afloramiento y la cámara húmeda

Es necesario conocer la velocidad de pase y la pérdida de carga sobre el orificio de salida, según a fórmula de Bernoulli:

$$\frac{P_o}{\gamma} + h_o + \frac{V_o^2}{2g} = \frac{P_1}{\gamma} + h_1 + \frac{V_1^2}{2g}$$

Considerando los valores de P_o , V_o , P_1 y h_1 igual a cero, se tiene:

$$h_o = \frac{V_1^2}{2g} \quad \text{ecc (1)}$$

Dónde:

h_o = Altura entre el afloramiento y el orificio de entrada en (m).

V_1 = Velocidad teórica en (m/s).

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

Mediante la ecuación de continuidad considerando los dos puntos 1 y 2, se tiene:

$$Q_1 = Q_2$$

$$C_d * A_1 * V_1 = A_2 * V_2$$

Siendo $A_1 = A_2$

$$V_1 * C_d = V_2$$

Entonces:

$$V_1 = \frac{V_2}{Cd} \quad \text{ecc (2)}$$

Dónde:

V_1 = Velocidad teórica en m/s.

V_2 = Velocidad de pase (Se recomienda valores menores o iguales a 0,60 m/s).

Cd = Coeficiente de descarga en el punto 1 (se asume 0,8).

Reemplazando la ecuación 2 en 1 se tiene:

$$h_o = 1,56 * \frac{V_2^2}{Cd}$$

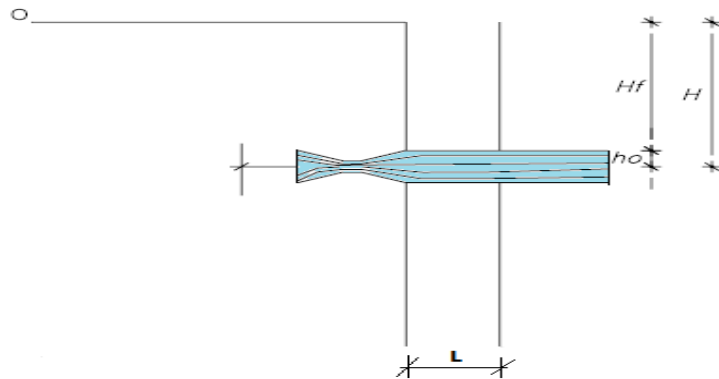
Dónde:

h_o = Carga necesaria sobre el orificio de entrada que permite producir la velocidad de pase en (m)

V_2 = Velocidad de pase (Se recomienda valores menores o iguales a 0,60 m/s).

Cd = Coeficiente de descarga en el punto 1 (se asume 0,8).

Figura N° 7 Carga disponible y pérdida de carga



Fuente: Guía para el diseño y construcción de captación de manantiales

Observando la figura se tiene que:

$$H = H_f + h_o \quad \text{ecc. (3)}$$

Dónde:

H = Altura de agua sobre la canastilla en (m).

H_f = Pérdidas de carga en (m).

h_o = Carga necesaria sobre el orificio de entrada que permite producir la velocidad de pase en (m)

La pérdida de carga (H_f) servirá para determinar la distancia entre el afloramiento y la caja de captación (L) como se ve en la figura 4.8.

Si H_f esta expresado:

$$H_f = 0,30 * L$$

Dónde:

H_f = Pérdidas de carga en (m).

L = Distancia entre el afloramiento y la caja de captación en (m)

Ancho de la pantalla

Para determinar el ancho de la pantalla es necesario conocer el diámetro y el número de orificios que permitirán fluir el agua desde la zona de afloramiento hacia la cámara húmeda. Para el cálculo del diámetro de la tubería de entrada (D), se utilizan la siguiente ecuación:

$$Q_{vertiente} = A * C_d * (2 * g * h)^2 \quad \text{ecc (4)}$$

Dónde:

$Q_{vertiente}$ = Caudal de la fuente en (m^3/s).

C_d = Coeficiente de descarga varia de 0,6 a 0,8 (adimensional).

A = Área de la tubería en (m).

h = Carga sobre el centro del orificio en (m).

Despejando el A de la ecuación (4) se tiene:

$$A = \frac{Q_{vertiente}}{C_d * (2 * g * h)^2}$$

El diámetro para esa área será:

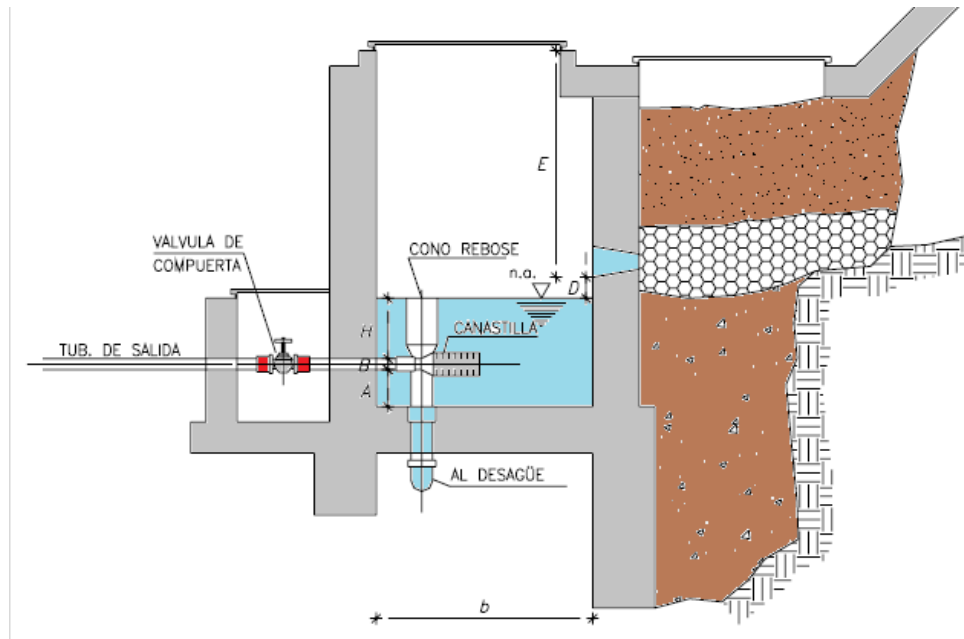
$$D = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}}$$

Número de barbacanas

$$Nb = \frac{\text{Área del diametro calculado}}{\text{Área del diámetro asumido}} + 1$$

Altura de la cámara húmeda

Figura N° 8 Altura total de la cámara húmeda



Fuente: Guía para el diseño y construcción de captación de manantiales

En base a los elementos identificados de la figura 4.9, la altura total de la cámara húmeda se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$H_t = A + B + H + D + E \quad \text{ecc (5)}$$

Dónde:

H_t = Altura total de la cámara en (m).

A = Se considera una altura mínima de 10 cm que permite la sedimentación de la arena.

B = Diámetro de la tubería de salida en (m).

H = Altura del agua sobre la canastilla (m).

D = Desnivel mínimo entre el nivel de ingreso de agua del afloramiento y el nivel de agua de la cámara en (m).

E = Borde libre en (m). (Como mínimo se recomienda 30 cm).

Tubos de servicio

Hay tres diferentes tubos de servicio en una estructura de bocatoma: tubos de limpieza, reboses y embocaduras (salidas).

Tubos de limpieza: Permite el drenaje de la bocatoma de manera que se pueden sacar los sedimentos arraigados, se debe diseñar a nivel del piso de la cámara colectora. Según la guía técnica de diseño de agua potable y saneamiento, el piso debe tener una pendiente mayor o igual a 1,5 % para permitir la limpieza de sedimentos. El diámetro mínimo de la tubería de limpieza debe ser de un diámetro comercial mayor al de la tubería de aducción.

Reboses: Permiten que el exceso de agua sea desviado de manera segura fuera del tanque sin causar erosión. El tamaño del rebose se debe seleccionar de manera que pueda pasar la creciente máxima del flujo durante la estación de lluvias. El dispositivo debe diseñarse como vertedero o tubería. El diámetro debe garantizar la evacuación del caudal máximo de la vertiente.

Para calcular la tubería de rebose y de salida ambas deben ser diseñadas con el caudal de la vertiente, y deben tener una pendiente de 1 a 1,5 % utilizando la fórmula de Manning ya que el tubo de ambas será de PVC.

$$Q = \frac{1}{n} * A * Rh^{\frac{2}{3}} * So^{\frac{1}{2}}$$

$$Q_v = \frac{1}{n} * \left(\frac{D}{4}\right)^{\frac{2}{3}} * \left(\frac{\pi * D^2}{4}\right) * So^{\frac{1}{2}}$$

Dónde:

Q_v = Caudal de la vertiente en (m³/s).

So = Pendiente de la tubería (m/m)

D = Diámetro de la tubería de limpieza y el de rebose (m)

n = Coeficiente de rugosidad de manning (adimensional)

Salidas: El tubo de la salida debe estar ubicado al menos a 0,10 m del fondo de la cámara colectora y deberá disponer de criba o filtro de entrada con orificios de 2 a 5 mm. El diámetro deberá ser calculado en función del caudal de diseño.

Para calcular la altura total se necesita el diámetro de la tubería de salida utilizando la fórmula de Manning.

$$Q = \frac{1}{n} * A * Rh^{\frac{2}{3}} * So^{\frac{1}{2}}$$

Dónde:

Q= Caudal de diseño (Caudal máximo diario) en (m³/s).

So= Pendiente que tendrá la tubería de salida (m/m)

D= Diámetro de la tubería de salida (m)

n= Coeficiente de rugosidad de manning (adimensional)

Cuadro N° 5 Coeficientes de rugosidad de Manning para distintos tipos de materiales

Material de las paredes	Valores de n
Albañilería de piedra	0,020
Albañilería de piedra labrada	0,017
Albañilería de ladrillo sin revestimiento	0,015
Canales de hormigón acabado ordinario	0,014
Canales de hormigón revestimiento liso	0,012
Canales con revestimiento muy liso	0,010
Canales de tierra en buenas condiciones	0,025
Canales irregulares mal conservados	0,040
Conductos de madera cepillada	0,011
Losetas cerámicas	0,013
Tubos de PVC	0,010
Tubos de acero soldado	0,011
Tubos de hormigón	0,013
Tubos de hierro fundido	0,012
Tubos de asbesto cemento	0,011
Tubos de ladrillo bien construido	0,013
Tubos de hierro galvanizado	0,015
Arcilla vitrificada o ladrillo corriente	0,015
Zanjas y ríos con algunas piedras y hiervas	0,030
Zanjas y ríos con fondos rugosos y mucha vegetación	0,040

Fuente: Manual de hidráulica, Azebedo Netto – Acosta Guillermo

Los resultados de la obra de toma son:

Tubos de servicio	Diámetro (plg)	Tipo de tubería
Tubería de limpieza	2	PVC
Tubería de rebose	2	PVC
Tubería de salida	1	FG
Medidas de la cámara		Unidad
Altura de la cámara	1	m
Ancho de la cámara	0,90	m
Número de barbacanas	5	pza

Las medidas de la caja colectora se usaran las medidas obtenidas en el cálculo ya que constructivamente se tomara una altura de 0,9 m, un ancho de 0,90 y largo de 1,0 m.

En el ANEXO 4 se presentaran los cálculos desglosados de la obra de toma con las correspondientes ecuaciones que han sido descritas.

4.4.Línea de aducción a gravedad

La aducción al principio será por gravedad por conductos cerrados a presión, en la que el agua conduce presiones superiores a la atmosférica. Por efecto de sanidad y para evitar la contaminación del agua la norma sugiere este tipo de aducción, el material a emplear será poli (cloruro de vinilo) – PVC y en los cruces de quebrada se utilizara fierro galvanizado.

La tubería de aducción conectara la obra de toma con el cárcamo de bombeo del sistema.

Las velocidades máximas permitidas en distintos tipos de tubería son:

Cuadro N° 6 Velocidades máximas permisibles

Material	Velocidad máxima (m/s)
Tubería revestida de hormigón simple	3,00
Tubería de asbesto cemento	5,00
Tubería de PVC	5,00
Tubería de hierro fundido	5,00
Tubería de acero galvanizado	5,00
Tubería de acero	5,00

Fuente: Guía técnica de diseños de proyectos de agua potable para poblaciones menores a 10.000 habitantes.

La velocidad mínima en la tubería debe ser establecida en función a la velocidad de autolimpieza. La velocidad mínima es de 0,30 m/s.

Línea de aducción por Hazen Williams:

$$hf = \frac{10,643 * Qd^{1,85} * L}{C^{1,85} * D^{4,87}}$$

Dónde:

Hf= Pérdida de carga distribuida o continua en m.

Qd= Caudal de diseño m³/s.

L= Longitud de la tubería en m.

D= Diámetro interno de la tubería en m.

C= coeficiente de Hazen Williams (adimensional).

Cuadro N° 7 Valores de coeficiente C 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: Manual de Hidráulica Azevedo Netto – Acosta Guillermo

Las presiones máximas y mínimas

Las presiones estáticas máximas de la tubería de aducción no deben ser mayores al 80 % de la presión de trabajo especificada por el fabricante debiendo ser compatibles con las presiones de servicios de los accesorios y válvulas.

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 ya que están en contacto con la atmósfera.

El cálculo de la aducción por gravedad estará adjunto en el ANEXO 5.

El cálculo del puente colgante se adjuntara en el ANEXO 6.

4.4.1. Estructuras complementarias de la línea de aducción

Ventosas o válvulas de expulsión de aire

Las líneas por gravedad tienen la tendencia a acumular aire en los puntos altos. Cuando se tiene presiones altas el aire tiende a disolverse y continua en la tubería hasta que sea expulsado, pero en los puntos altos, de relativa baja presión, el aire no se disuelve creando bolsas que reducen el área útil de la tubería.

La presencia de aire en las tuberías, crea tapones que dificultan parcial o completamente el flujo de agua, aunque la tubería tenga un diámetro grande.

Las bolsas de aire son causadas por:

- a) Cuando la carga estática sobre la tubería es más baja que 5 m.
- b) Por los puntos altos en la tubería (badenes) y allí donde la presión disminuye con relación a la LGH.
- c) Por poner en función la tubería sin la suficiente ventilación.

A fin de prevenir contra este fenómeno deben utilizarse válvulas automáticas que ubicadas en los puntos altos permitirán la expulsión del aire acumulado y la circulación del caudal deseado.

Puntos altos se consideran todos aquellos puntos donde existiendo una curva vertical se pasa de una pendiente positiva a una negativa y donde conviene la instalación de ventosas.

Para diámetros de tuberías menores a 12 pulgadas de diámetro, pueden usarse ventosas automáticas de ½ pulgada de diámetro. En caso de redes de distribución generalmente no se utilizan ventosas, puesto que el aire es expulsado a través de las conexiones domiciliarias.

Purgas o válvulas de limpieza

En líneas de aducción con topografía accidentada existirá la tendencia a la acumulación de sedimentos en los puntos bajos, por lo cual resulta conveniente colocar dispositivos que permitan periódicamente la limpieza de tramos de tuberías.

La limpieza consiste en una derivación de la tubería provista de llave de paso.

Profundidad de instalación

La profundidad mínima para el tendido de la tubería de aducción debe ser mayor o igual a 0,60 m sobre la clave de la misma.

En zonas con pendiente fuerte se deben adoptar tendidos superficiales siempre y cuando se tenga en cuenta apoyos y anclajes anti deslizables. En el caso de tuberías de PVC y PEAD deben necesariamente estar enterradas.

4.5.Cárcamo de bombeo

El volumen del cárcamo de bombeo podrá calcularse considerando el volumen que se requiere para almacenar el caudal máximo diario, para el periodo más largo de descanso de las bombas.

El cárcamo de bombeo, será diseñado como tanque de Hormigón Ciclópeo, con sección cuadrada.

Volumen del cárcamo de bombeo

El cálculo que se requiere para el cárcamo debe ser calculado con la siguiente relación:

$$V_{CB} = Q_{maxd} * t$$

Dónde:

V_{CB} = Volumen del cárcamo de bombeo (m^3)

Q_{maxd} = Caudal máximo diario (m^3/s)

t = Tiempo más largo de descanso de las bombas (s) $\longrightarrow$ Se adoptara 12 hrs

$V_{CB} (m^3)$	$Q_{maxd} (m^3/s)$	$t (s)$
6,048	0,00014	43200

A este valor encontrado, para efectos de ventilación y resguardo, debemos considerar un incremento del 15 %, de esta manera encontraremos el volumen final:

$$Vol_{CB} = 6,048 + 0,907 = 6,955 (m^3)$$

Dimensiones del cárcamo

Para dimensionar el cárcamo de bombeo, tomamos como dato principal su volumen y lo utilizaremos en la fórmula:

$$V_{CB} = A * h$$

Asumiendo una altura económica (h) de 1,5 m:

$$A = \frac{V_{CB}}{h}$$

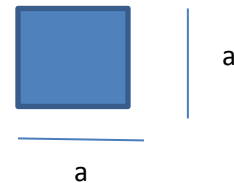
$$A = 4,66 \text{ m}^2$$

La sección del cárcamo es cuadrada por lo que:

$$A = a^2$$

$$a = \sqrt{4,66}$$

$$a = 2,2 \text{ m}$$



a (m)	V _{CB} (m ³)	h (m)
2,2	7,0	1,5

Adoptando a medidas comerciales el volumen del cárcamo de bombeo será de 7 m³.

El diseño estructural se adjuntará en el ANEXO 7.

4.5.1. Caudal de bombeo

El equipo de bombeo y tubería de impulsión deben ser calculadas con base en el caudal máximo diario y el número de horas de bombeo.

$$Q_b = Q_{maxd} * \frac{24}{N}$$

Dónde:

Q_b= Caudal de bombeo en (l/s)

Q_{maxd}= Caudal máximo diario en (l/s) —————> 0,14 (l/s)

N= Número de hrs de bombeo.

Calculando con la anterior ecuación para distinta horas de bombeo los caudales de bombeo son:

Número de horas de bombeo (hrs)	Caudal máximo diario (l/s)	Caudal de bombeo (l/s)
0,5	0,14	6,72
1	0,14	3,36
1,5	0,14	2,24
2	0,14	1,68
2,5	0,14	1,34
3	0,14	1,12
3,5	0,14	0,96
4	0,14	0,84

Se asumirá que el bombeo se hará durante 4 horas, por lo tanto se utilizara un caudal de bombeo de 0,84 l/s.

4.5.2. Cálculo de la tubería de impulsión.

Las características de la tubería de impulsión dependen de las pérdidas de carga, de la velocidad y viscosidad del líquido. Hay dos fórmulas para el cálculo del diámetro de la tubería:

Para el cálculo del diámetro económico en instalaciones donde no son operadas continuamente se utiliza la siguiente fórmula:

$$D = 1,30 * x^{\frac{1}{4}} * \sqrt{Q_b}$$

Dónde:

D= Diámetro económico en (m)

$$x = \frac{N^{\circ} \text{ de horas de bombeo}}{24}$$

Q_b= Caudal de bombeo en (m³/s)

Para cuando se quiera calcular el diámetro económico cuando las instalaciones son operadas continuamente se emplea la fórmula según Bresse:

$$D = K * \sqrt{Q_b}$$

Dónde:

D= Diámetro económico (m)

Q_b = Caudal de bombeo en (m³/s)

K = Coeficiente de Bresse

La fórmula es aplicable a instalaciones de funcionamiento continuo. El coeficiente K está en función de la velocidad económica puede ser determinado por la siguiente expresión:

$$K = \sqrt{\frac{4}{\pi * v}}$$

Dónde:

v = velocidad económica (m/s). Para Metcal & Eddy, las velocidades óptimas se encuentran entre 1.1 a 1.5 m/s.

En este caso las instalaciones serán operadas continuamente se utilizara la fórmula según Bresse.

Asumiendo una velocidad de 1,1 m/s.

$$K = 1,075$$

Reemplazando en la fórmula del diámetro será:

$$\varnothing = 0,0311 \text{ m}$$

Adoptando medidas comerciales se trabajara con un diámetro de 1 ½”.

4.5.3. Línea de aducción por bombeo

La aducción será por bombeo utilizando conductos cerrados a presión, en la que el agua conduce presiones superiores a la atmosférica. Por efecto de sanidad y para evitar la contaminación del agua la norma sugiere este tipo de aducción, el material a emplear será poli (cloruro de vinilo) – PVC.

La tubería de aducción conectara el cárcamo de bombeo hasta el tanque de almacenamiento del sistema.

Pérdidas totales en la tubería

Para obtener las pérdidas totales en la línea de aducción se utiliza la siguiente ecuación:

$$H_T = h_f + h_{fL}$$

Dónde:

H_T = Pérdidas totales en (m).

h_f = Pérdidas de carga por fricción en (m).

h_{fL} = Pérdidas localizadas por accesorios en (m).

Pérdidas de carga por fricción

Para el cálculo de las pérdidas de carga por fricción se utilizara la fórmula de Hazen Williams que es la siguiente:

$$h_f = \frac{10,643 * Qb^{1,85} * L}{C^{1,85} * D^{4,87}}$$

Dónde:

H_f = Pérdida de carga distribuida o continua en m.

Q_b = Caudal de bombeo m^3/s .

L = Longitud de la tubería en m.

D = Diámetro interno de la tubería en m.

C = coeficiente de Hazen Williams (adimensional).

Pérdidas Localizadas

Estas pérdidas llamadas locales o accidentales, por el hecho de resultar específicamente de puntos o partes bien determinadas de la tubería. Dichas pérdidas se deben más que todo a cambios de sección, la fórmula general es:

$$h_{fL} = k * \frac{v^2}{2 * g}$$

Dónde:

h_{fL} = Pérdidas localizadas en (m).

K = Coeficiente de pérdida localizada de acuerdo a cada accesorio (adimensional).

v = Velocidad que pasa por la tubería en (m/s).

g = Aceleración de la gravedad.

Cuadro N° 8 Valores aproximados de K

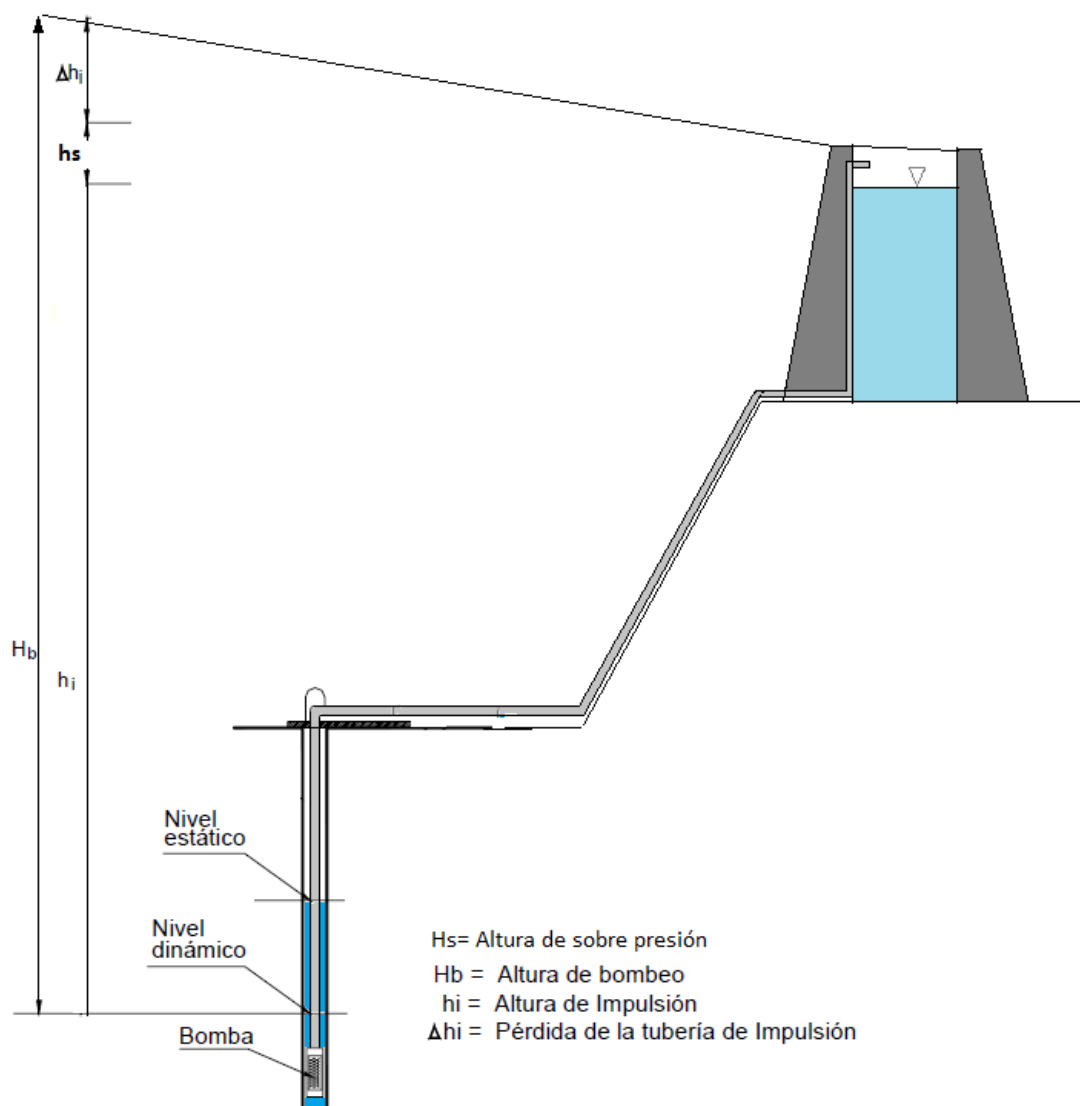
Pieza y pérdida	K
Ampliación gradual	0,30
Boquillas	2,75
Compuerta abierta	1,00
Codo de 90°	0,90
Codo de 45°	0,40
Rejilla	0,75
Curva de 90°	0,40
Curva de 45°	0,20
Entrada redondeada ($r=D/2$)	0,23
Entrada normal en tubo	0,50
Reducción Gradual	0,15
Válvula de compuerta abierta	0,20
Válvula de ángulo abierto	5,00
Válvula tipo globo abierto	10,00
Salida tubo	1,00
Válvula de retención	1,75
Válvula de pie	2,50
Velocidad	1,00

Fuente: Manual de prácticas del laboratorio de hidráulica

El cálculo de las pérdidas de carga en la tubería de impulsión y la altura manométrica estará adjunto en el ANEXO 8.

Como la bomba será sumergible la altura manométrica se calculará de la siguiente manera:

Figura N° 9 Esquema de la altura total de bombeo



Fuente: Guía técnica de diseño de agua potable y saneamiento para poblaciones menores a 10.000 hab.

$$H_b = h_i + \Delta h_i + h_s$$

Dónde:

H_b = Altura total de bombeo (m).

h_i = Altura geométrica de impulsión en (m).

Δh_i = Altura de pérdida de carga en la tubería de impulsión en (m).

h_s = Altura de sobre presión (m) (golpe de ariete)

Los resultados que salieron del cálculo son los siguientes:

4.5.3.1. Golpe de ariete

Cuando en una línea de bombeo se interrumpe súbitamente la energía que propulsa la columna de agua, este efecto genera una presión interna a todo lo largo de la tubería, la cual es recibida en su interior y en de las demás instalaciones como un impacto. Al cerrar instantáneamente o para el equipo de bombeo, la compresión del agua y expansión de la tubería comienzan en el punto de cierre transmitiéndose hacia arriba a una velocidad determinada, conocida como: “velocidad de la onda de presión”.

Por lo tanto, la energía cinética se ha transformado en energía potencial y el agua y la tubería han sido deformado elásticamente.

El exceso de presión en el cerrado brusco depende de la velocidad inicial del agua en la tubería para el momento en que se cierre la válvula, de los módulos de elastó de la tubería y del espesor del conducto.

La teoría de la onda elástica se puede resumir como sigue:

1. La presión instantánea creada (Golpe de Ariete), es directamente proporcional a la velocidad de fluido (v) y la velocidad de onda (a), por lo tanto la sobre presión (h) expresada en metros de columna de agua producida por el golpe de ariete estará dada por:

$$h = \frac{av}{g}$$

Dónde:

v = Velocidad de fluido (m/seg)

a = Velocidad de onda (m/seg)

g = Aceleración de gravedad (9,81 m/seg)

h = Sobrepresión en (m.c.a)

2. La velocidad de la onda estática se obtiene de la ecuación de ALLIEVE:

$$a = \sqrt{\frac{K}{\frac{\rho}{g} * \left[1 + \left(\frac{K}{E} \right) * \left(\frac{D}{e} - 2 \right) \right]}}$$

Dónde:

a= Velocidad de la onda elástica (m/seg)

K= Modulo de elasticidad volumétrica o de compresibilidad del fluido. En el caso del agua 2.06×10^8 (kg/m²).

D/e= Relación diámetro exterior (mm)/espesor de pared (mm).

d= Diámetro de la tubería en (m).

E= Módulo de elasticidad de FG igual $2,1 \times 10^8$ (kg/m²).

Para obtener el módulo de elasticidad de la tubería se obtiene del siguiente cuadro.

Cuadro N° 9 Módulos de elasticidad de los materiales usado en tuberías

Material	E (kg/m ²)
Agua	$2,00 \times 10^8$
Acero (HG, AG)	$2,1 \times 10^8$
Asbesto cemento (AC)	$2,4 \times 10^8$
Hierro fundido (HF)	6×10^8
PVC	$2,81 \times 10^8$
Concreto Armado (tubería)	$3,5 \times 10^8$

Fuente: Abastecimiento de agua, Simon Arocha R.

Para el flujo de agua en tubería de FG, se tiene:

$$a = \frac{1421}{\sqrt{1 + \frac{K * d}{e * E}}}$$

La onda máxima de presión ocurre, si el tiempo de cierre de la válvula es menor que el tiempo de cierre crítico.

$$T = \frac{2L}{a}$$

Dónde:

T= Tiempo crítico (seg)

L= Longitud de tubería en (m).

a= Velocidad de la onda en (m/s)

El resultado de la altura manométrica es:

Altura geom. De imp. h_i (m)	Longitud de tubería total (m)	Pérdida de carga unitaria (m/m)	Pérdida de carga total Δh_i (m)	Pérdidas menores localizadas (m)	Altura de bombeo H_b (m)
131,47	634,89	0,0234	14,035	0,20	173,425

La altura manométrica es de 173,42 m, y la sobre presión que se tiene es de 26,92 m.c.a, por lo tanto la tubería que se utilizara es FG 1 ½”.

El cálculo de la altura manométrica y el golpe de ariete se adjuntaran en el anexo 8.

4.5.4. Selección de la bomba de agua

En la selección de la bomba se debe considerar los siguientes parámetros:

Características del proyecto

- Caudal de bombeo
- Altura manométrica
- Calidad de agua
- Tipo de energía
- Disponibilidad y tipo de combustible.
- Disponibilidad de bombas en el mercado
- Número de unidades
- Eje horizontal o vertical

- Economía y factibilidad de operación y mantenimiento.

Característica de la bomba

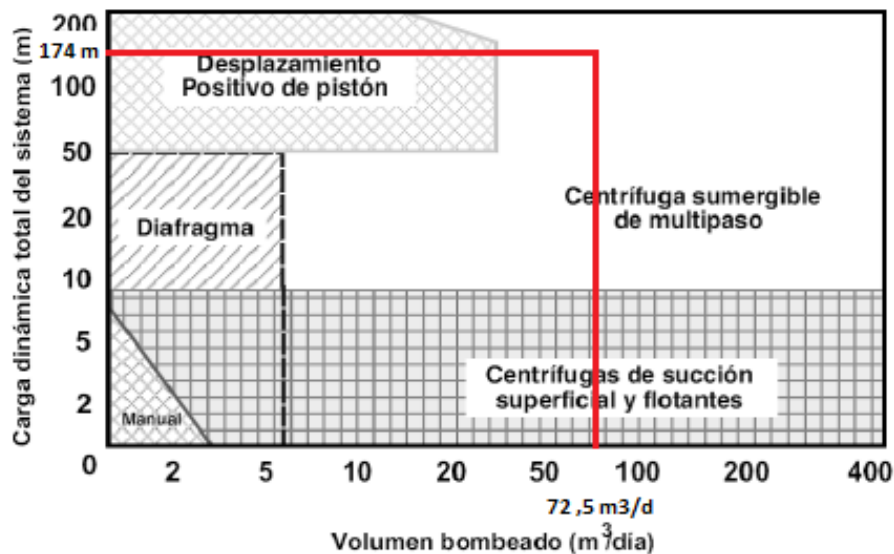
- Potencia
- Voltaje, amperaje necesario.
- Curvas características de comportamiento de la bomba (altura dinámica versus caudal, eficiencia versus caudal y potencia versus caudal).
- Tipo y material de los impulsores.
- Dimensiones.

4.5.4.1. Tipo de bomba

Cada bomba está diseñada de diferente manera ofreciendo los fabricantes muchos modelos y cada uno tiene un rango óptimo de operación.

En el siguiente cuadro se puede obtener el tipo de bomba adecuada según la carga dinámica y el caudal bombeado.

Figura N° 10 Intervalos comunes donde se aplica los diferentes tipos de bomba



Fuente: Centro Nacional de Investigación y Desarrollo

Ingresando a la gráfica con el $Q_b = 0,84 \text{ l/s} = 72,5 \text{ m}^3/\text{d}$ y con la altura manométrica de 174 m se obtiene que el tipo de bomba será Centrífuga sumergible de multipaso.

En la siguiente tabla se tiene posibles alternativas de empleo de bombas respecto al tipo de fuente:

Cuadro N° 10 Tipos de bombas eléctricas recomendados por el tipo de fuente

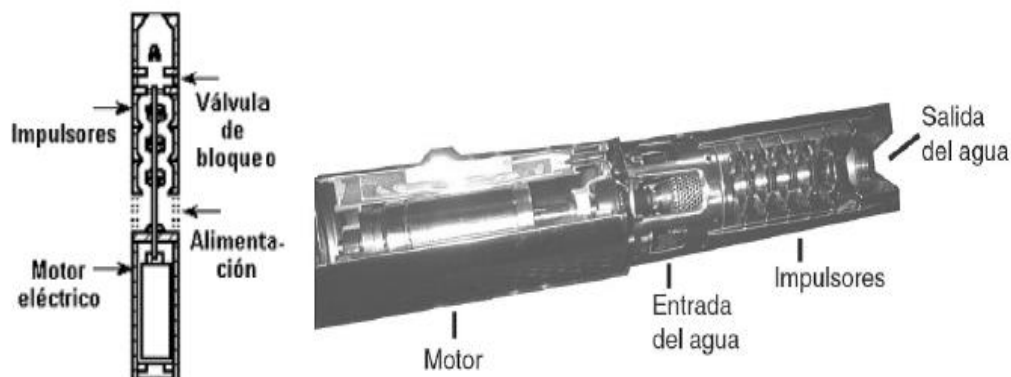
Tipo de fuente	Tipo de bomba
Pozo profundo	Bomba centrífuga vertical sumergible (cilíndrica angosta) Bomba axial vertical sumergible (cilíndrica, angosta) Bomba neumático jet
Pozo excavado o cárcamo de bombeo	Bomba centrífuga vertical sumergible Bomba axial vertical sumergible. Si $h_s < 4\text{m}$ (h_s = altura de succión) Bomba centrífuga horizontal, no sumergible Bomba centrífuga vertical no sumergible
Cuerpo de agua superficial	Bomba centrífuga vertical, sumergible (cuerpo chato). Bomba centrífuga horizontal (sobre plataforma flotante o móvil) Bomba axial horizontal (sobre plataforma flotante o móvil)

Fuente: Norma Boliviana de Agua Potable NB 689

Bombas Centrífugas

Hay una gran variedad de bombas centrífugas sumergibles, algunas de estas bombas tienen un motor acoplado directamente a los impulsores se encuentran completamente sumergidos y unidos por una flecha. Generalmente las bombas centrífugas sumergibles tienen varios impulsores, por esa razón se las conoce como las bombas de paso múltiple o múltiples etapas.

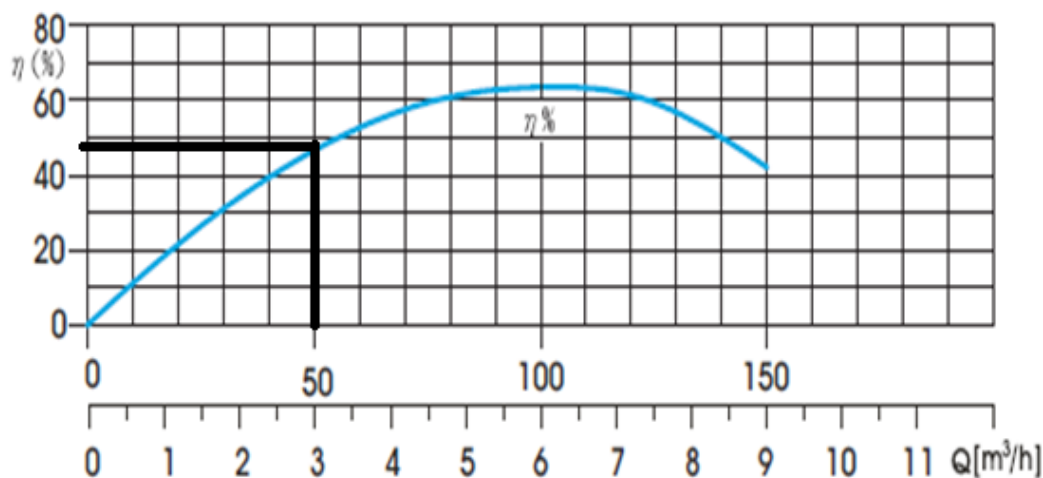
Figura N° 11 Esquema e ilustración de una bomba centrífuga sumergible múltiples etapas



Fuente: Centro Nacional de Investigación y Desarrollo

De acuerdo a la altura de bombeo y el caudal de bombeo se procede elegir el modelo de bomba a utilizar.

Figura N° 12 Curva Característica de Bomba Eficiencia vrs Caudal



Fuente: Rotor Pump.

Ingresando a la gráfica de eficiencia vrs caudal con el caudal de bombeo de 50,4 l/h se obtiene una eficiencia de 50 % por lo que con esa eficiencia se utilizara para calcular la potencia de la bomba.

4.5.5. Potencia de la bomba

La potencia de un sistema de bombeo está dado por:

$$P = \frac{Q_b * H_b}{76 * \varepsilon}$$

Dónde:

P= Potencia de la bomba en (HP).

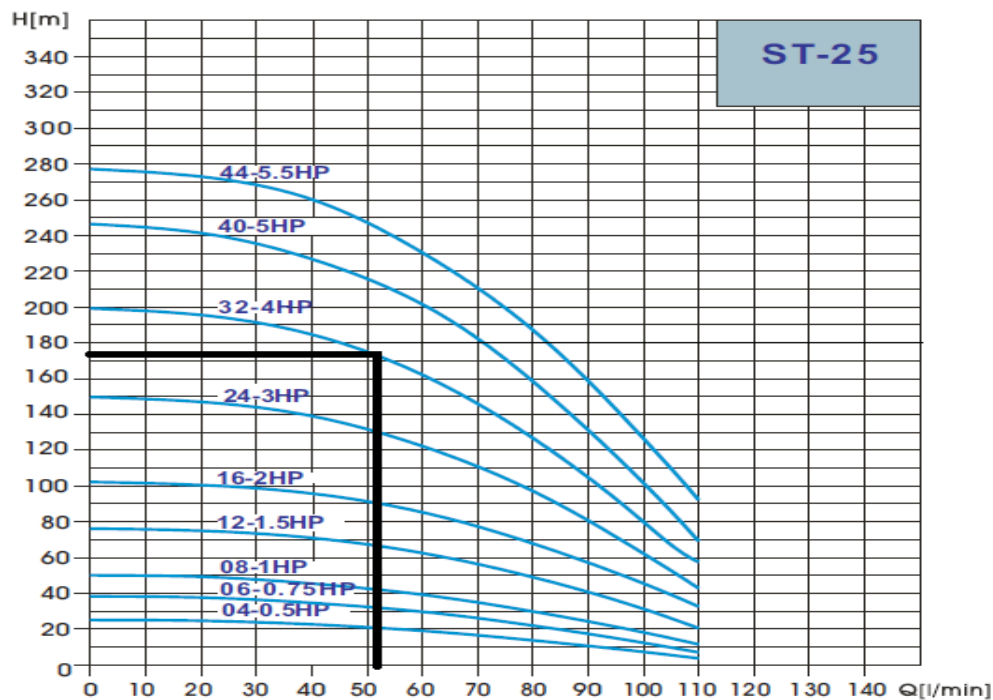
Q_b = Caudal de bombeo en (l/s).

H_b = Altura manométrica en (m).

ε = Eficiencia (%).

Caudal de bombeo Q_b (l/s)	Altura manométrica de bombeo H_b (m)	Eficiencia del sistema ε (%)	Potencia de la bomba P (HP)
0,84	173,425	0,5	3,83

Sin embargo se tiene una curva de h (m) vrs q (l/min) donde en función a eso se puede determinar el tipo de bomba a utilizarse:



Fuente: Rotor pump

Se puede observar en la gráfica que para el caudal de 50,4 l/min se requiere una bomba de 4 HP con una altura manométrica aproximadamente de 175 m, siendo esta

cercana a la altura manométrica con la que se cuenta en este proyecto. Por ende se utilizara una bomba de 4 HP.

El modelo de la bomba a usarse es ST 2532 las características técnicas de la bomba elegida se adjuntaran en ANEXO 9.

Figura N° 13 Modelo de la bomba en función de la potencia

Modelo de Bomba 50 Hz	Potencia HP	Q= CAUDAL																				DATOS ESPEC.		Ø Salida	
		l/min 0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100	120	140	160	180	200	Largo (mm)		Peso (kg)
		m³/h 0	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	3	3,6	4,2	4,8	5,4	6	7,2	8,4	9,6	10,8	12			
		H: ALTURA TOTAL EN METROS																							
ST 2504	0,5	26							23	22	22	21	19	17	14	11	7						247	2,4	1 1/2"
ST 2506	0,75	38							36	35	33	32	30	26	22	18	12						296	2,9	
ST 2508	1.0	51							47	46	44	43	39	35	30	24	18						345	3,3	
ST 2512	1.5	77							72	71	69	68	63	57	49	41	31						433	4,1	
ST 2516	2.0	102							98	96	94	92	86	77	68	57	46						542	5,0	
ST 2524	3.0	151							142	139	136	132	122	111	97	80	62						777	6,6	
ST 2532	4.0	203							188	185	180	175	162	146	127	105	80						965	8,7	2"
ST 2540	5.0	253							232	227	222	216	202	182	159	131	102						1160	10,4	
ST 2544	5.5	278							265	260	254	247	230	210	187	159	127						1296	11,2	
ST 3507	1.0	42										36	34	32	30	28	25	19	11				390	3,7	
ST 3510	1.5	62										53	51	48	45	41	38	29	18				483	4,6	
ST 3514	2.0	90										77	74	71	68	63	59	46	28				607	5,7	
ST 3520	3.0	125										107	102	97	92	86	80	62	40				831	7,5	
ST 3527	4.0	169										145	139	131	123	115	107	84	55				1048	9,6	
ST 3533	5.0	208										178	170	162	153	143	132	103	66				1257	11,6	
ST 3536	5,5	221										190	181	173	164	154	143	112	72				1318	12,2	
ST 3549	7,5	302										257	246	234	222	209	193	151	96				1802	15,9	
ST 4004	1.0	26													24	23	22	21	19	17	15	12	294	2,8	2"
ST 4006	1.5	39													36	35	34	32	29	26	22	17	356	3,4	
ST 4008	2.0	52													48	47	46	43	39	35	29	24	418	4,0	
ST 4013	3.0	82													75	73	71	66	59	50	40	30	573	5,5	
ST 4017	4.0	108													98	96	94	87	79	70	58	46	697	6,6	
ST 4021	5.0	132													117	114	111	103	93	82	68	52	859	7,8	
ST 4023	5,5	148													134	131	127	118	108	95	79	60	921	8,4	
ST 4032	7.5	202													182	178	172	160	143	125	105	80	1238	11,0	

Fuente: Rotor Pump.

4.5.5.1.Instalaciones de bombas

Las bombas centrifugas pueden instalarse en pozo húmedo o pozo seco, en posición horizontal o vertical. Las bombas de eje horizontal son instaladas con el grupo motor-bomba en pozo o ambiente seco, debiendo reducirse en lo posible la altura de succión.

En los pozos perforados, pueden emplearse las bombas tipo turbina (conjunto motor-bomba separado), o las de tipo sumergible (conjunto motor-bomba compacto).

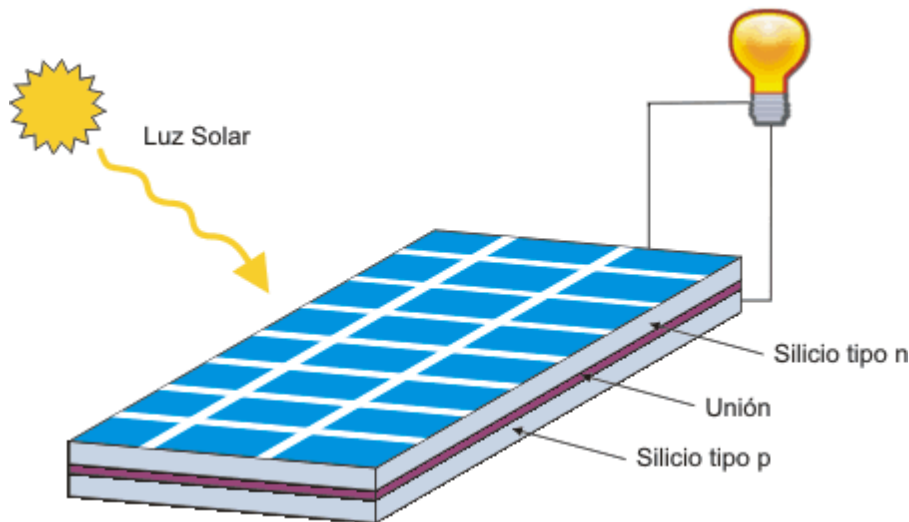
En los casos de captaciones de corrientes superficiales con grandes variaciones de nivel, se recomienda la instalación de toma flotante con bombas sumergibles del tipo compacto motor-bomba.

4.6. Bombeo con paneles solares

4.6.1. Efecto fotovoltaico

El efecto fotovoltaico se produce cuando el material de la celda solar (silicio u otro material semiconductor) absorbe parte de los fotones del sol. El fotón absorbido libera a un electrón que se encuentra en el interior de la celda. Ambos lados de la celda están conectados por un cable eléctrico, así que se genera una corriente eléctrica.

Figura N° 14 Esquema del efecto fotovoltaico



Fuente: Guía de energía solar fotovoltaica

La eficiencia de las celdas solares es determinante para reducir los costos de los sistemas fotovoltaicos, ya que su producción es la más cara de todo el sistema.

4.6.2. Inclinação y orientación

Muchos de los módulos FV están inclinados para colectar mayor radiación solar. La cantidad óptima de energía se colecta cuando el módulo está inclinado en el mismo ángulo que el ángulo de latitud.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que el ángulo mínimo de inclinación debería ser de por lo menos 15° para asegurar que el agua de las lluvias drene fácilmente, lavando el polvo al mismo tiempo. A latitudes mayores (> 30° Norte o Sur), los módulos a veces están más inclinados sobre el ángulo de latitud para tratar de nivelar las fluctuaciones por estaciones.

Los módulos deben estar inclinados en la dirección correcta. Esto significa: en el hemisferio sur, los módulos están mirando exactamente hacia el Norte y en el hemisferio norte, los módulos están mirando hacia el Sur. Para saber dónde se encuentra el Norte y el Sur, se debe utilizar una brújula.

Por supuesto, algunas veces hay circunstancias locales que impiden la correcta colocación de los módulos. Por ejemplo, los módulos deben acoplarse sobre un techo inclinado que no tiene la inclinación adecuada y que no está mirando exactamente al sol.

Para ello se cuenta con la siguiente tabla la cual indica la inclinación óptima del panel fotovoltaico según el uso de los módulos:

Cuadro N° 11 Inclinaciones óptimas en función de la máxima captación

Tipo de instalación	Uso	Máxima captación de energía	Inclinación óptima
Conectadas a la red	Anual	Anual	$\beta_{\text{opt}} = \phi - 10$
Bombeo de agua	Anual	Verano	$\beta_{\text{opt}} = \phi - 20$
Autónomas de consumo anual constante	Anual	Periodo de menor radiación (por ejemplo, invierno)	$\beta_{\text{opt}} = \phi + 10$

Fuente: Guía de diseño de Módulos Fotovoltaicos

Dónde:

β_{opt} = Ángulo de inclinación óptimo en (grados, minutos, segundos)

Φ = Latitud del lugar de estudio en (grados, minutos, segundos).

De acuerdo a la latitud se podrá obtener la inclinación óptima que deberá tener los módulos fotovoltaicos para que pueda recibir la mayor radiación.

4.6.3. Módulo fotovoltaico

Un conjunto de celdas fotovoltaicas que sirven para transformar la radiación solar (luz solar) en energía eléctrica.

Genera un voltaje y corriente requeridos por las cargas. Esta energía es de 12V DC (voltaje de corriente continua) para el uso de diferentes equipos, como radio grabadoras, lámparas, bombas de agua, televisores, etc.

Si se utilizan artefactos eléctricos estándar, es necesario cambiar 12V DC a un voltaje mayor de corriente alterna 220V AC, que es el voltaje que se utiliza en las zonas urbanas.

Todas las características básicas de un módulo fotovoltaico están señaladas bajo condiciones estándar (Radiación = 1 000 W/m², T = 25 °C):

Potencia Pico [Wp] = Máxima salida de potencia en Watts pico

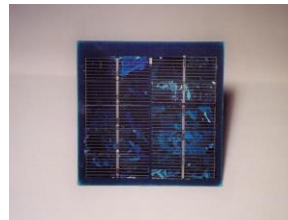
Corriente de cortocircuito [A] = Corriente entre los polos conectados de un módulo

Tensión de circuito abierto [V] = Voltaje entre los polos de un módulo sin carga

Figura N° 15 Tipos de módulos fotovoltaicos



Monocrystalino



Policristalino

Fuente: www.suntechnics.com

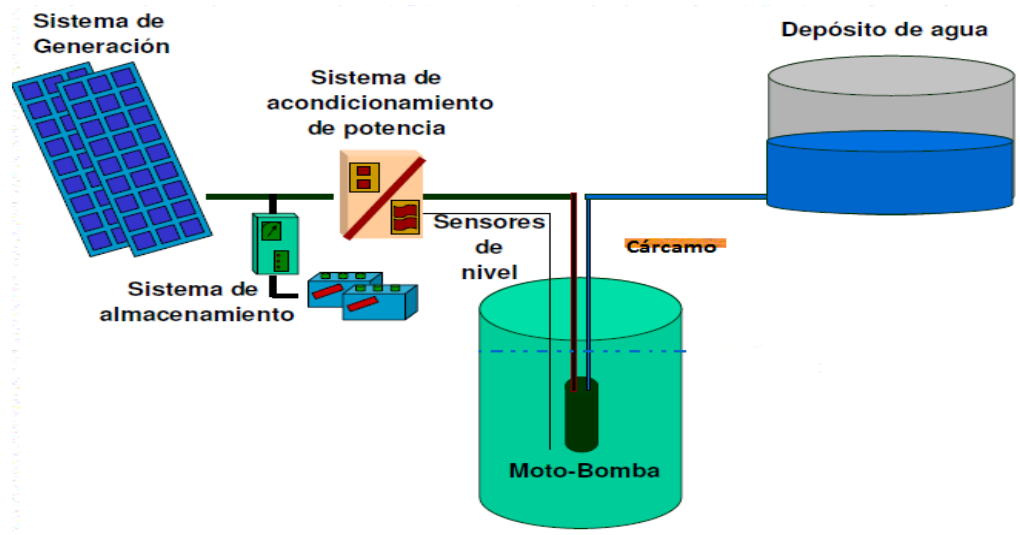
La instalación y mantenimiento de una bomba eléctrica con paneles solares es simple. Los paneles que son rectangulares de diferentes medidas se instalan sobre un marco de fierro, con un ángulo adecuado, tratando de que se ubique perpendicularmente a la luz solar, para lo cual se utiliza una orientación al norte (fijo) o en un balancín este – oeste, movable para hacerlo perpendicular al sol.

- Esta estructura de fierro debe tener 4 salientes orientados hacia arriba, que sirvan de pararrayos.
- La altura del panel al suelo será de 0,5 a 1,0 m y se evitara que el polvo ensucie, pues le quitara potencia.
- La duración del panel se aproxima de 15 a 20 años.

4.6.4. Componentes de un sistema fotovoltaico

- **Regulador de carga:** Llamado también controlador de carga se encarga de producir el acople correcto del módulo con la batería y la carga.
- **Baterías solares:** Es uno de los componentes más importantes del sistema, tiene como función almacenar la electricidad generada por el módulo y suministrar a los equipos cuando lo necesiten.
- **Inversores de voltaje:** Es usado cuando se desea utilizar equipos convencionales donde implique que la salida sea de 12 V o 24 DC y cambie a 220 AC o 50 hertz.
- **Cables eléctricos:** Los cables utilizados en un sistema FV están cuidadosamente diseñados. Como el voltaje en un sistema FV es voltaje bajo: 12V ó 24V CC, las corrientes que fluirán a través de los cables son mucho más altas que las de los sistemas con voltaje de 110 ó 220V CA.

Figura N° 16 Esquema de los componentes de un sistema fotovoltaico para el bombeo de agua



Fuente: Sist. Fotovoltaicos para bombeo de agua- Universidad Jaen.

4.6.5. Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico

Consumo energético real

$$E = \frac{E_T}{R}$$

Dónde:

E= Consumo energético real (W*h)

E_T= Consumo energético estimado (W*h)

R= Parámetro de rendimiento global de la instalación fotovoltaica (adimensional)

El parámetro de rendimiento global de la instalación fotovoltaica (R) se define como:

$$R = (1 - k_b - k_c - k_v) * \left(1 - \frac{K_a * N}{P_d}\right)$$

Dónde:

R= Parámetro de rendimiento global de la instalación fotovoltaica (adimensional).

K_b=Coeficiente de pérdidas por rendimiento del acumulador.

K_c = Coeficiente de pérdidas en el convertidor.

K_v = Coeficiente de pérdidas varios.

K_a = Coeficiente de descarga diaria.

N = Número de autonomía

P_d = Profundidad de descarga diaria de batería

Todos estos parámetros se obtienen de la siguiente tabla:

Cuadro N° 12 Factores de pérdida

Factor	Significado	Valor	Condición
K_b	Coeficiente de pérdidas por rendimiento acumulador	0,05	Sistemas que no demanden descargas intensas
		0,1	Sistemas con descargas profundas
K_c	Coeficiente de pérdidas en el convertidor	0,05	Convertidores senoidales (régimen óptimo)
		0,1	Otras condiciones de trabajo (lejos del óptimo)
		0	Sin convertidor
K_v	Coeficiente de pérdidas varias	0,05 – 0,015	Agrupar otras pérdidas como: rendimiento de red, efecto joule, etc.
K_a	Coeficiente de autodescarga diario	0,02	Batería de baja autodescarga, Ni,Cd
		0,05	Baterías estacionarias de Pb, ácido (más comunes).
		0,012	Baterías de alta descarga (arranque de automóviles).
N	Número de días de autonomía	3 - 10	Días de autonomía referencial.
		0	Utilizada solo cuando hay suficiente radiación.
P_d	Profundidad de descarga diaria de batería	Menor al 80%	Con la relación a la capacidad nominal del acumulador.

Fuente: Green Energy Consultoria y servicios SRL

Número de paneles solares

Para el cálculo de los paneles solares se toma en cuenta la radiación solar ya que un sistema fotovoltaico depende de la cantidad de luz solar disponible. Se usará el mes con menos radiación, para asegurar que se contará con agua suficiente durante todo el año.

Sin embargo se debe tomar en cuenta la inclinación óptima que deberá tener los paneles solares para así recibir la radiación óptima, para ello se deberá calcular la inclinación óptima de los paneles solares de acuerdo a lo siguiente:

$$\beta_{opt} = \Phi - 20$$

El tipo de instalación adecuado para este proyecto es el bombeo de agua, sin embargo la inclinación óptima que se obtiene con esa fórmula no se adecua a las condiciones del lugar. Por lo cual se utilizará:

$$\beta_{opt} = \Phi + 10$$

Con esta inclinación óptima se podrá saber la radiación óptima que se podrá captar con un panel solar y para obtenerla se utiliza la siguiente expresión:

$$Ga_{\beta_{opt}} = \frac{Ga_{(0)}}{1 - (4,46 * 10^{-4} * \beta_{opt}) - (1,19 * 10^{-4} * (\beta_{opt})^2)}$$

Dónde:

$Ga_{(\beta_{opt})}$ = Valor medio diario de la radiación global sobre superficie con inclinación óptima (Kw*h/m²)

$Ga(0)$ = Valor medio diario de la radiación global sobre la superficie horizontal en (Kw*h/m²)

β_{opt} = Ángulo de inclinación óptimo en (grados, minutos, segundos)

Ya teniendo la radiación óptima se procede a calcular los números de paneles solares de acuerdo a la siguiente expresión:

$$Np = \frac{E}{0,9 * Wp * HPS}$$

Dónde:

NP= Número de paneles solares

E= Consumo energético real (w*h)

W_p = Potencia pico de los arreglos fotovoltaicos (w)

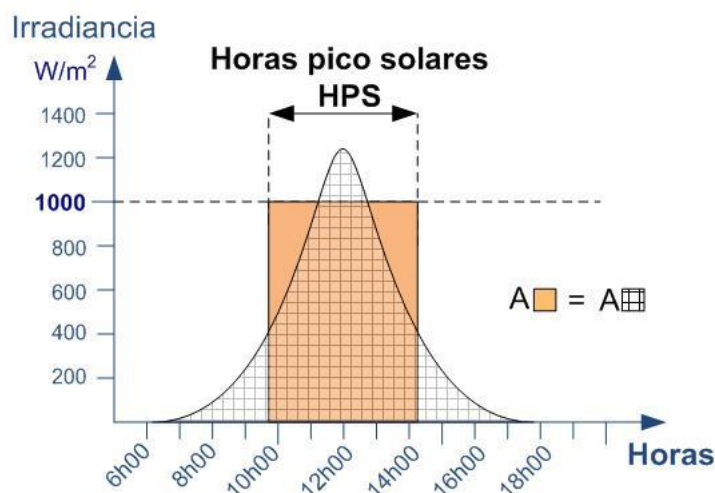
HPS= Horas de pico solar

Para el cálculo del número de paneles se necesita saber que son las horas de pico solar.

Horas de pico solar

Es el número de horas, del total de horas entre el amanecer y el anochecer durante el cual el sol irradia con una potencia luminosa de 1 KW/m² en la superficie perpendicular al sol, como se expresa en el siguiente cuadro:

Figura N° 17 Horas Pico Solares



Fuente: Green Energy Consultoria y servicios SRL

De manera que:

$$HPS = \frac{\text{Radiación solar } (\frac{kwh}{m^2})}{1 \text{ kwh}/m^2}$$

Dónde:

HPS= Horas de pico solar

Radiación óptima solar en Kwh/m².

Capacidad de baterías

La capacidad de la batería está sujeta a la siguiente expresión:

$$C = \frac{E * N}{P_d}$$

Dónde:

C= Capacidad de la batería (Watts)

E= Consumo energético real (Watts*hora)

N= Número de días de autonomía

Pv= Profundidad de descarga diaria de batería

Resultados:

Nº de paneles solares: 6 paneles.

Nº de baterías: 1 batería.

El dimensionamiento de los paneles solares se adjuntara en el ANEXO 10 junto con las características técnicas.

4.7.Tratamiento de agua

En cuanto al resultado del informe de la calidad del agua en la vertiente se encuentra en el ANEXO 3. Aquí se encuentra la desinfección del agua ya que los parámetros bacteriológicos no se encuentran dentro del rango establecido por la norma, para la desinfección del agua se utilizara un hipoclorador de 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 de obras públicas que será ubicado encima del tanque de regulación.

Dosificación del cloro

$$C_s = \frac{Q * D}{q_s}$$

Dónde:

Cs= Concentración de solución

Q= Caudal de entrega al tanque (l/s)

D= Dosis de cloro (mg/l)

Caudal de entrega al tanque será el caudal de bombeo Q: 0,84 (l/s), con una dosis asumida de 1 (mg/l) y con un caudal de la solución por un tanque de 50 litros de capacidad en 15 días de operación de: $3,86 \times 10^{-5}$ (l/s).

$$C_s = \frac{0,84 * 1}{3,86 * 10^{-5}}$$

$$C_s = 21761,65 \text{ mg/l (Concentración de Solución)}$$

Cloro Activo Necesario

$$W = V * C_s$$

$$W = 50 \text{ l} * 0,021761$$

$$W = 1,08 \text{ Kg Cl}_2$$

Como la dosis se evaluó para una concentración del 70%

$$W = \frac{1,08}{0,70} = 1,55 \text{ Kg de Hipoclorito de Calcio HTH al 70\%}$$

En síntesis se requiere 1554 gramos de hipoclorito de calcio para un volumen de 50 litros de agua para un tiempo de 15 días.

Es aconsejable que estas dosificaciones sean planificadas 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.

4.8. Tanque de almacenamiento

Los tanques de almacenamiento juegan un papel básico para el diseño del sistema de distribución de agua, tanto del punto de vista económico, así como su importancia en el funcionamiento hidráulico del sistema y en el mantenimiento de un servicio eficiente.

Un estanque de almacenamiento cumple tres propósitos fundamentales:

1. Compensar las variaciones de los consumos que se producen durante el día.
2. Mantener las presiones adecuadas en la red de distribución.

3. Mantener almacenada cierta cantidad de agua para atender situaciones de emergencia, tales como incendios e interrupciones por daños de tuberías de aducción o de estaciones de bombeo.

La capacidad del estanque de almacenamiento será igual al volumen que resulte de las siguientes consideraciones:

$$\text{Capacidad} \geq \left\{ \begin{array}{l} \text{Volumen de regulación} \\ \text{Volumen contra incendios} \\ \text{Volumen de reserva} \end{array} \right\}$$

➤ **Volumen de regulación**

Para sistemas de gravedad, el volumen del tanque de regulación debe estar entre 15 a 30 % del consumo máximo diario.

Al tratarse de un sistema de bombeo, el volumen del tanque de regulación debe estar comprendido entre 15 a 25% del consumo máximo diario, sin embargo considerando el número de horas de bombeo se toma en cuenta el caudal de bombeo.

Se determinara un volumen de regulación cada veinticuatro horas utilizando la siguiente ecuación:

$$Vol_{reg} = C * Q_b * t$$

Dónde:

Vol_{reg} = Volumen de regulación en m^3 .

C= Coeficiente de regulación varia de (15 a 25 % para sistemas de bombeo).

Se adoptara 15%.

Q_b = Caudal de bombeo (m^3/s)

t= Tiempo en días (tiempo mínimo 1 día=86400)

$$Vol_{reg} = 0.15 * 0,00084 * 86400$$

$$Vol_{reg} = 10,88 \, m^3$$

➤ **Volumen contra incendios**

Tomando en cuenta que se trata de una comunidad rural que tiene una población menor a 10.000 habitantes no es recomendable y resulta antieconómico el proyectar sistemas contra incendio.

➤ **Volumen de reserva**

Este volumen prevé el abastecimiento de agua durante las interrupciones accidentales de funcionamiento de los componentes del sistema situados antes del tanque de almacenamiento, o durante períodos de reparaciones y mantenimiento de obras de captación, conducción o en caso de falla en el sistema de bombeo.

Se determina mediante:

$$Vol_{re} = 3,6 * Q_{maxd} * t_{re}$$

Dónde:

Vol_{re}= Volumen de reserva en (m³)

Q_{maxd}= Caudal máximo diario del sistema en (m³/s).

T_{re}= Tiempo de reserva en horas (entre 2 a 4 horas).

$$Vol_{re} = 3,6 * 0,00014 * 3 * 3600$$

$$Vol_{re} = 5,44 \text{ m}^3$$

$$\text{Capacidad del tanque} \geq \begin{cases} 10,88 \text{ m}^3 \\ 5,44 \text{ m}^3 \end{cases}$$

Siendo el volumen de regulación mayor que el de reserva, sin embargo para obtener el volumen final del tanque se sumara el volumen de regulación y el de reserva dando un volumen final de 16,32 m³ por motivos de practicidad y seguridad se adoptará para diseño por las características de la zona los planos tipo de la” Guía Técnica de Diseño de Agua Potable y Saneamiento” publicado por el ministerio de servicios obras públicas del tanque superficial de hormigón ciclópeo de 18 m³.

$$\text{Capacidad del tanque} = 18 \text{ m}^3$$

En el ANEXO 11 se adjuntara el diseño estructural del tanque de almacenamiento de hormigón de ciclópeo.

4.8.1. Accesorios del tanque

- a) **Tubería de entrada:** La entrada de agua debe ser dotada de un sistema de cierre mediante válvula y será maniobrada mediante dispositivo situado en la parte externa del tanque. La distancia entre la generatriz inferior de la tubería de ingreso y la generatriz superior de la tubería de rebose no debe ser inferior a 0,05 m.
- b) **Tubería de salida:** La tubería de salida de agua debe ser dotada de un sistema de cierre mediante una válvula compuerta, que debe ser maniobrada por medio de un dispositivo situada en la parte externa del tanque. El diámetro de la tubería de salida será correspondiente al diámetro de la tubería de distribución o tubería de conducción.
- c) **Tubería de rebose:** La tubería de rebose debe ser dimensionada para posibilitar la descarga de caudal máximo diario que podrá alimentar al tanque. Diámetro de la tubería de rebose no debe ser inferior al diámetro de la tubería de ingreso. Por ende el diámetro de la tubería de rebose será de 1 ½” ya que el diámetro de la tubería de ingreso es de 1 ½” plg. La tubería de rebose se conectara con descarga libre a la tubería de limpieza, permitiendo la descarga en cualquier momento, para lo cual no se proveerá de válvula.
- d) **Tubería de limpieza:** Todo tanque de almacenamiento debe estar provisto de una tubería de limpieza. La limpieza del tanque será realizada a través de una tubería de descarga a fondo situada por debajo de su nivel mínimo. El fondo del tanque debe contar con una pendiente no menor al 1% hacia la tubería de limpieza. Debe proveerse una tubería cuyo diámetro debe ser tal que facilite el vaciado del tanque en un periodo no mayor a 4 horas. Para el cálculo del área del orificio de la tubería de limpieza debe utilizarse la formula siguiente:

$$A = \frac{2 * S * \sqrt{h}}{C_d * T * \sqrt{2 * g}}$$

Dónde:

A= Área del orificio de desagüe en m².

S= Área superficial del tanque en m². (Vista en planta).

h= Carga sobre el desagüe en m.

Cd= Coeficiente de contracción= 0,6 – 0,65.

T= Tiempo de vaciado en seg.

Datos de las dimensiones del tanque:

$$V= 18 \text{ m}^3 \quad a= 3 \text{ m} \quad b= 3 \text{ m} \quad \text{Altura}= 2 \text{ m.}$$

El tiempo de vaciado será de 4 horas= 14400 seg.

El coeficiente de contracción que se utilizara será de 0,65.

El área superficial del tanque será:

$$S = a * b$$

$$S = 3 \text{ m} * 3 \text{ m}$$

$$S = 9 \text{ m}^2$$

Reemplazando los datos en la ecuación para el cálculo del área de la tubería de limpieza:

$$A = \frac{2 * 9,0 * \sqrt{2}}{0,65 * 14400 * \sqrt{2} * 9,81}$$
$$A = 0,000614 \text{ m}^2$$

Teniendo ya la sección transversal del tubo debemos obtener el diámetro de la tubería.

$$D = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * 0,000614}{\pi}}$$

$$D = 0,028 \text{ m} = 1,10 \text{ plg} \approx 1,5 \text{ plg}$$

El diámetro de la tubería de limpieza será de 1 ½”.

4.9. Red de distribución

La red de distribución es el conjunto de tuberías y accesorios destinados al suministro de agua a los usuarios. Los sistemas de distribución deben cumplir con los siguientes requisitos:

- Suministrar agua potable al consumidor en la cantidad y calidad necesaria.
- Proveer suficiente agua para combatir incendios en cualquier punto del sistema.

Para el diseño de la red, es imprescindible haber definido la fuente de abastecimiento y la ubicación del tanque de almacenamiento, cumplidos estos requisitos se procederá al diseño de la red de distribución.

Las cantidades de agua estarán definidas por los consumos, estimados en base a las dotaciones de agua.

La red debe mantener “Presiones de servicio” mínimas que sean capaces de llevar agua al interior de la vivienda.

4.9.1. Tipos de redes

Existen básicamente tres tipos de redes:

- Red abierta o ramificada: Constituida por tuberías que tienen la forma ramificada a partir de una línea principal; puede emplearse en poblaciones semidispersas y dispersas o cuando por razones topográficas o de conformación de la población no es posible un sistema cerrado.
- Red cerrada o anillada: La red está constituida por tuberías que tiene la forma de circuitos cerrados o anillos, puede aplicarse en poblaciones concentradas y semiconcentradas mediante redes totalmente interconectadas o redes parcialmente interconectadas.
- Red mixta o combinada: Cuando por las características topográficas 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 Morterito). 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.

4.9.2. 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. La presión estática máxima en la red no debe ser superior a los 70 m.c.a. La presión debe estar referida al nivel máximo de agua.

Cuando la presión sobrepase los límites establecidos máximos se debe dividir la red en zonas que trabajen con diferentes líneas piezometricas, mediante válvulas reguladoras de presión, cámaras rompe presión y/o la instalación de tanques paralelos.

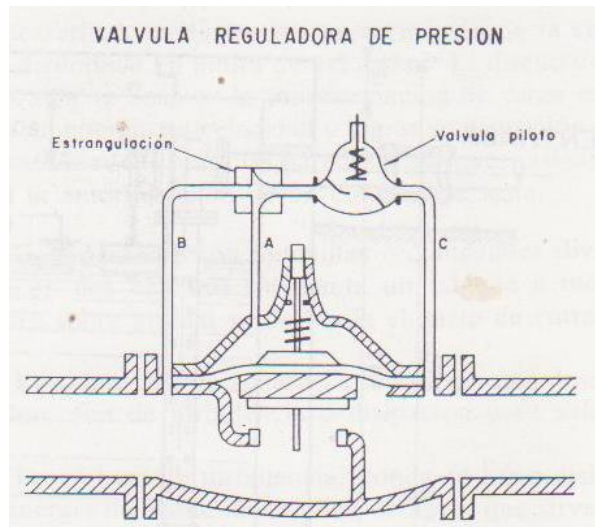
4.9.3. Velocidades

La velocidad mínima en la red principal de distribución en ningún caso debe ser menor a 0,30 m/s para garantizar su auto limpieza para poblaciones pequeñas, se aceptan velocidades menores, solamente en ramales secundarios. La velocidad máxima en la red no debe ser mayor de 2 m/s.

4.9.4. Válvulas reguladoras de presión

Son destinadas para producir un pérdida de carga predeterminada, su principal función es de controlar la presión, manteniéndola constante, independientemente del caudal que pasa a través de ellas. Se utilizan cuando es necesario reducir la alta presión variable en el sistema a una presión más baja y constante requerida por el servicio.

Figura N° 18 Esquema de una válvula reguladora de presión.



Fuente: Abastecimiento de agua- Simón Arocha

4.9.5. Diámetros mínimos

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

- En poblaciones menores a 2 000 habitantes 1”.
- En poblaciones entre 2 001 a 20 000 habitantes 1 ½”.
- En poblaciones mayores a 20 000 habitantes 2”.

Para redes abiertas, el diámetro mínimo de la tubería principal debe ser de 1”, aceptándose en poblaciones menores a 2 000 habitantes un diámetro de ¾” para ramales.

4.9.6. Ubicación de las tuberías

Las tuberías de la red de distribución se colocaran a un metro del cordón de la acera de la casa o a 1/3 de la calzada, a una profundidad mínima de 0,5 m en área rural medidos desde la rasante hasta la corona o la clave del tubo.

4.9.7. Análisis hidráulico

El diseño hidráulico de las redes, puede ser realizado por una de las siguientes formulas: Flamant, Darcy Weisbach, Hazen Williams u otros justificados técnicamente.

➤ **Diseño hidráulico en redes abiertas**

En el dimensionamiento de las tuberías de redes abiertas deben considerarse los siguientes aspectos:

La distribución del caudal es uniforme a lo largo de la longitud de cada tramo.

La pérdida de carga en el ramal debe ser determinada para un caudal igual al que se verifica en su extremo inicial.

El método para el cálculo será el método de las longitudes, el consiste en que el caudal por nudo debe determinarse utilizando el caudal unitario y la longitud del tramo correspondiente. El Caudal unitario debe determinarse dividiendo el caudal máximo horario entre la longitud total de la red principal se aplica en poblaciones cuya densidades poblacionales es uniforme.

Factor de cálculo:

$$FC = \frac{Q_d}{\sum L_T}$$

Dónde:

FC= Factor de cálculo en (l/seg/m)

Qd= Caudal máximo horario para un determinado periodo de retorno (l/seg)

Lt= Longitud total de la tubería en (m)

Pérdidas de carga por Hazen Williams

$$hf = \frac{10,643 * Qb^{1,85} * L}{C^{1,85} * D^{4,87}}$$

Dónde:

Hf= Pérdida de carga distribuida o continua en m.

C= Coeficiente de Hazen Williams (adimensional)

Qb= Caudal de bombeo m³/s.

L= Longitud de la tubería en m.

D= Diámetro interno de la tubería en m.

El cálculo de la red de distribución se adjuntara en el ANEXO 12.

CAPÍTULO V PRESUPUESTO

El presupuesto es el cálculo anticipado del costo de una obra, o una de sus partes. Es la predicción de un hecho futuro cuya magnitud debe representarse con toda la exactitud con que ella pueda determinarse.

5.1.Cómputo métrico

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

- Determinar la cantidad de materiales necesarios para ejecutarla.
- Establecer el costo de las mismas, o de una de sus partes.

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

El cómputo métrico supone el conocimiento de los procesos 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 misma o sobre los planos.

- Cómputo en plano: Significa realizar los trabajos de medición en los planos del proyecto con ayuda de un escalímetro teniendo mucho cuidado en la observación de las escalas.
- Cómputo en obra: Este trabajo se lo efectúa en el lugar de la obra, cuando esta se encuentra en ejecución con la ayuda de una cinta métrica, un flexómetro.

El desarrollo del cómputo métrico se encuentra en el ANEXO 13.

5.2.Precio Unitario

El precio unitario es la remuneración que recibe el contratista por las operaciones que realiza y los materiales que se emplean en la ejecución de las distintas partes de

una obra considerando la unidad que de acuerdo con las especificaciones respectivas, se fija para efectos de medición de la ejecución.

5.2.1. Materiales

Los materiales son los recursos que se utilizan en cada una de las actividades o ítems de la obra. Los materiales están determinados por las especificaciones técnicas, donde se define la calidad, cantidad, marca, procedencia, color o cualquier otra característica necesaria para su identificación.

Este componente tiene su importancia en la estructura de costos, su magnitud y cantidad depende de las definiciones técnicas y las características propias de cada uno de los materiales que integran el ítem.

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, etc.

5.2.2. Maquinaria y equipo

En lo que se refiere a obras de mayor magnitud el equipo que se utilizará en un determinado ítem toma una gran importancia en los precios unitarios, dado que como se tratan de obras más grandes, desde el punto de vista ingenieril, se tendrá una serie de movimiento de tierras en el transcurso de la obra, lo que quiere decir, que en la obra se hará una serie de transportes, excavaciones, compactaciones, etc. para la ejecución de la obra.

5.2.3. Utilidades

Las utilidades deben ser calculadas en base a la política empresarial de cada empresa, al mercado de la construcción, a la dificultad de ejecución de la obra y a su ubicación geográfica (urbana o rural).

Para fines de cálculo se toma como base el 5-10% del costo sub total, que resulta de la suma del costo directo más los gastos generales.

5.2.4. 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 14,94 % sobre el costo total neto de la obra y debe ser aplicado sobre los componentes de la estructura de costos.

El IT grava sobre ingresos brutos obtenidos por el ejercicio de cualquier actividad lucrativa, su valor es el del 3,09% sobre el monto de la transacción del contrato de obra, pero el IT puede ser compensado con el importe pagado por el impuesto sobre las utilidades de las empresas (IUE) en la gestión anterior.

El desarrollo de los precios unitarios se encuentra en el ANEXO 14.

5.3.Presupuesto general

En el caso en que el presupuesto significa el compromiso de la ejecución, es necesario determinar el costo con la máxima aproximación, en este caso es recomendable el sistema analítico por el cual el calculista en base a los pliegos de condiciones y especificaciones y a los planos a diseño final, calcula los precios unitarios de cada una de las actividades que forman parte de la obra como asimismo los correspondientes volúmenes de obra. Este método permite establecer el costo total de la obra como resultado de la suma de los costos parciales por ítems, además de facilitar la determinación de las cantidades de materiales y mano de obra a emplearse en la obra.

El desarrollo del presupuesto general se encuentra en el ANEXO 15.

5.4.Costo del ciclo de vida útil (CCVU)

Este método fue obtenido de la Guía para el desarrollo de proyectos de bombeo de agua con energía fotovoltaica. Permite calcular el costo total de un sistema de

bombeo durante un periodo determinado, considerando no solo los gastos de inversión inicial, sino también los gastos incurridos durante la vida útil del sistema.

El CCVU es el valor presente del costo de inversión, los gastos de refacción, operación y mantenimiento, transporte al sitio y el combustible para operar el sistema.

Se entiende por valor presente el cálculo de gasto que se realizaría en el futuro y que aplicando las fórmulas para este efecto se estima cuánto dinero se requiere tener para sufragar este gasto:

$$CCVU = CI + Rvp + OYMvp + Tvp + Cvp$$

Dónde:

CI= (Capital de inversión inicial): Es el valor presente del capital con que se pagará el equipo, diseño del sistema, ingeniería y gastos de instalación. Esta es la cantidad inicial que el usuario paga. Este costo no se debe de descontar.

Rvp= (Refacciones): Valor presente de los gastos en piezas de reemplazo que se anticipan a lo largo de vida del sistema.

OyMvp= (Operación y Mantenimiento): Valor presente de los gastos de operación y mantenimiento programados. El combustible y refacciones no son incluidos en este costo. El costo de OyM incluye el salario del operador, combustible para llegar al sitio, garantías y mantenimiento.

Tvp= (Transporte): Valor presente del costo de la transportación al sitio del sistema. Este costo representa el combustible consumido en el viaje al sitio si es necesario para operar el sistema.

Cvp= (Combustible): Este gasto es el costo del combustible consumido por el equipo de bombeo, si se trata de un sistema de diésel o gasolina.

Para poder estimar la vida útil y el costo de reemplazo de componentes principales del sistema (bomba, motor, generador, etc.) durante el periodo de análisis. La vida útil varía dependiendo de la calidad de los componentes y la operación.

Cuadro N° 1 Años de vidas útiles de equipos de sistema FV y sistemas de combustión interna

COMPONENTE	VIDA ÚTIL (AÑOS)	MANTENIMIENTO
Arreglo FV y estructuras	15 a 20	Ninguno
Controlador de potencia FV	10	Ninguno
Motor/bomba centrífuga sumergible	10	Ninguno o Limpiar los impulsores
Bomba centrífuga superficial	10	Ninguno
Motor/bomba diafragma sumergible CC	3-5	Cambio de diafragmas cada 5 años
Generador diésel	5-7	Aceite, filtros, afinación anual
Motores (3 a 5 HP)	3-4	Aceites, filtros, afinación anual

Fuente: Guía para el desarrollo de proyectos de bombeo de agua con energía fotovoltaica.

Utilizando esta tabla para obtener un parámetro de la vida útil de cada componente del sistema FV y de un sistema convencional, así se podrá obtener el costo de cada valor del costo del ciclo de vida útil.

En el ANEXO 17 se encontrara desarrollado el cálculo de Costo de ciclo de vida útil para el sistema de bombeo fotovoltaico, y para realizar el sistema de bombeo convencional se utilizara los mismos componentes solo que el sistema de bombeo cambiara. (Solo para comparar).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

El presente proyecto me ha permitido diseñar bajo las normas vigentes y consideraciones técnicas de varios autores teniendo como resultado la utilización de materiales del lugar y materiales disponibles del mercado local. El diseño se lo realizo mediante fórmulas empíricas y experiencias de tecnología apropiada al tipo de topografía de la comunidad de Morterito.

El análisis y diseño de cada módulo me ha permitido determinar los siguientes resultados.

- El periodo de diseño que se utilizó en este proyecto es de 15 años ya que no es un sistema convencional de bombeo (donde el periodo de diseño es de 10 años) si no que contara con un sistema fotovoltaico donde el periodo de vida útil del mismo comprende entre 15 a 20 años, por lo tanto se decidió utilizar un valor promedio entre ambos.
- El índice de crecimiento poblacional que se adoptó para este proyecto es de 0,92 % según el Instituto Nacional de Estadística (INE) para el Municipio de Entre Ríos ya que la comunidad se encuentra dentro de la jurisdicción de este Municipio.
- Obra de toma: Por las características de la fuente se ha diseñado una obra de toma directa para una vertiente de ladera que consta de una captación de agua mediante barbacanas de ½", con una cámara de recolección de 1 metro de largo 0,90 de ancho y 0,90 de alto interiormente. También consta de su respectiva cámara de llaves y la fuente estará protegida por un zampeado de piedra.
- Aducción por gravedad: Mediante el cálculo hidráulico se determinó el empleo de una tubería de PVC desde la obra de toma hasta el cárcamo de bombeo con un diámetro de 1" con presiones admisibles y normas vigentes. Para un caudal máximo diario de 0,14 l/s.

- Cárcamo de bombeo: Por la durabilidad y el desgaste que se tendrá en un periodo de 15 años el cárcamo será de hormigón ciclópeo, el diseño estructural e hidráulico nos expresa los siguientes resultados volumen del tanque $V = 7 \text{ m}^3$ con una dimensión de 2,2 m de largo y ancho, una altura de 1,5 m.
- Tubería de impulsión: En función al desnivel que existe entre el cárcamo de bombeo y el tanque de almacenamiento se determinó una altura geométrica de 131,47m y con un golpe de ariete de 26,92 dando así una altura manométrica de 173,42 m por lo tanto se utilizara una tubería de FG con un diámetro de 1 ½ “, transportando un caudal de bombeo de 0,84l/s.
- Sistema de bombeo: En base a los requerimientos técnicos de desnivel y longitud de tubería se ha determinado una potencia de bomba eléctrica de 4 HP sumergible, así mismo se calculó 6 paneles solares para el funcionamiento de esta bomba. Los datos utilizados para el cálculo del sistema fotovoltaico fueron la estación climatológica del Pajonal (Entre Ríos) con un registro de 19 años (radiación solar y temperaturas).
- Tanque de almacenamiento: Por la durabilidad y el desgaste que se tendrá en un periodo de 15 años el tanque de almacenamiento será de hormigón ciclópeo, el diseño estructural e hidráulico definió el tamaño y volumen de esta obra que como resultado es un $V = 18 \text{ m}^3$ con un dimensión de 2m largo y de ancho, una altura de 2 m. La tubería de ingreso es de PVC de $D = 1 \frac{1}{2}$ ” y una tubería de salida $D = 1$ ” a la red de distribución.
- Red de distribución: El cálculo hidráulico se realizó por el método de las longitudes ya que la topografía se adecua a este método, para la red principal se utilizó una tubería PVC de $D = 1$ ” y de $D = 3/4$ ” para los ramales secundarios, siendo necesarios 9 válvulas reguladoras de presión ya que la topografía presentan pendientes elevadas, por lo tanto en el sistema de tuberías la presión estática sobre pasan los 70 m.c.a.

- Con los resultados obtenidos se puede llegar a la conclusión que toda la población será abastecida de agua potable ya que la fuente considerada es capaz de dotar de agua en forma oportuna.
- La energía del sol llega a la atmósfera de manera que los paneles solares recibe la energía solar transformándola en energía eléctrica.
- Al realizar los cálculos métricos y precios unitarios de todos los ítems, se obtuvo un presupuesto general del proyecto de 848.042,04 Bs. (Ochocientos cuarenta y ocho mil cuarenta y dos con 04/100 Bolivianos).
- Para el análisis y comparación de costos de un sistema convencional generado por combustible (Diésel), y un sistema por bombeo fotovoltaico, se han tomado las siguientes variables para la vida útil del sistema (15 años): Capital de inversión, Refacciones, Operación y Mantenimiento, Transporte y Combustibles

En todas las variables el sistema de bombeo es el que incide en los costos teniendo como resultado el siguiente resumen:

Variables	Bombeo Convencional (Bs.)	Bombeo Fotovoltaico (Bs.)	observaciones
Capital de inversión	816.967,29	848.042,04	El costo del sistema de bombeo es la diferencia en esta variable
Refacciones	23.905,00	30.352,20	El costo de paneles y baterías hacen la diferencia por la reposición de las mismas
O + M	45.900,00	6.660,00	El sistema convencional es más costoso
Transporte	8.100,00	900,00	El acceso al combustible y transporte incide en el costo
Combustibles	138.214,70	0	El costo del combustible incide en esta variable
Costo total durante el ciclo de vida	1.033.087,02	885.954,21	

Se puede observar que en la operación y mantenimiento del sistema el bombeo convencional es mucho más caro que el bombeo fotovoltaico, e incluso en el costo

total durante el ciclo de vida el sistema de bombeo convencional se tiene un costo elevado.

Con esto se demuestra que un Sistema de bombeo convencional resulta a largo plazo más caro que un sistema fotovoltaico.

Recomendaciones

El presente proyecto cuenta con las condiciones técnicas favorables para determinar la factibilidad del mismo, esta afirmación la sustentamos con las siguientes recomendaciones:

Para la construcción de las obras civiles del sistema, las tecnológicas de construcción son accesibles en el medio y los bancos de préstamos de agregados (ripio, arena y piedra) como los materiales de construcción (cemento, fierro madera y otros), también son accesibles para el proyecto.

Existe disponibilidad de agua en la fuente, suficiente a la demanda lo que garantiza sostenibilidad.

Las condiciones ambientales están dadas a través de un uso racional de los recursos naturales del agua.

La construcción de cada uno de los módulos del sistema no tendrá mucha incidencia en impactos ambientales por lo que podemos mencionar por componentes los siguientes:

- Ambientalmente: Los sistemas fotovoltaicos ya que cuentan con la utilización de combustible limpio y energía renovable hace que no haya un peligro ambiental de contaminación. En resumen el impacto ambiental será positivo, pues se traduce en un bien social, uso racional del agua y utilización de combustible limpio renovable.
- Económicamente: Uno de las restricciones para utilizar los sistemas fotovoltaicos es el precio en el costo inicial de inversión y en la refacción o reposición de los componentes de este sistema, sin embargo en la operación y

mantenimiento los gastos son reducidos ya que hay poca necesidad de mantenimiento y supervisión lo que hace a largo plazo mucho más económico que un sistema de bombeo convencional.

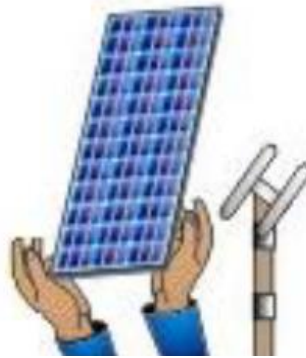
- Socialmente: Con este proyecto los comunarios no tendrán que preocuparse por la operación y mantenimiento del sistema a comparación de un sistema de bombeo convencional ya que este requiere de mayor supervisión del equipo, sin embargo se recomienda un cronograma de supervisión del sistema fotovoltaico para el óptimo funcionamiento del sistema, ya que este no tiene la necesidad de controlar continuamente, dando más comodidad a los pobladores de la comunidad.
- Se recomienda a la empresa ejecutora brindar cierta capacitación al comité de agua de la comunidad acerca de cómo manejar este sistema. A continuación se detalla ciertos ejemplos sobre el mantenimiento del sistema:
 - ✓ No arrojar piedras cerca del módulo, no permitir jugar con pelota.



- ✓ No jale, ni cuelgue objetos en los cable eléctricos, que van desde el módulo hasta el regulador.



- ✓ Por ningún motivo se debe desconectar el módulo.



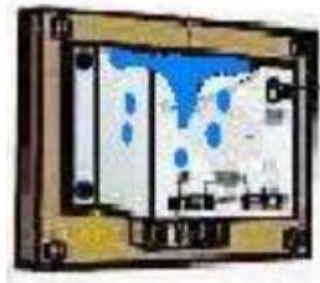
- ✓ No mueva los módulos de su sitio, si esto sucede oriéntelo adecuadamente hacia el norte.
- ✓ El vidrio de la cubierta del módulo es suficientemente fuerte para resistir lluvia, granizo pero no es irrompible por lo tanto se lo debe cuidar que no tiren objetos.



- ✓ No se debe extraer el regulador del sistema.



- ✓ No se debe mojar el regulador de carga por ningún motivo.



- ✓ Las baterías sin mantenimiento no necesitan adición de agua destilada.
- ✓ Nunca desconecte la batería del sistema fotovoltaico puede dañar el regulador.



- ✓ Colocar la batería sobre una madera.

