



UNIVERSIDAD
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL
PIRHUA

SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA CUATRO POBLADOS RURALES DEL DISTRITO DE LANCONES

Moira Milagros Lossio Aricoché

Piura, Abril de 2012

FACULTAD DE INGENIERÍA

Programa Académico de Ingeniería Civil

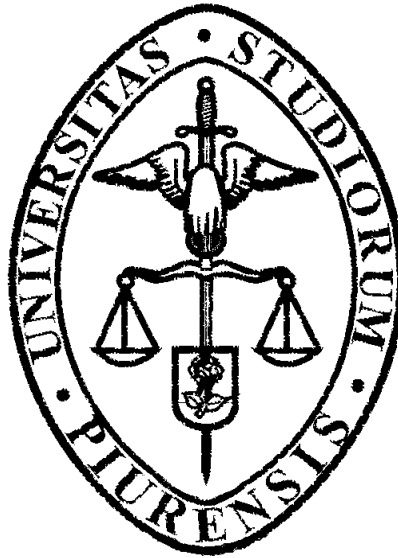
Lossio, M. (2012). *Sistema de abastecimiento de agua potable para cuatro poblados rurales del distrito de Lancones*. Tesis de pregrado en Ingeniería Civil. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil. Piura, Perú.



Esta obra está bajo una [licencia](#)
[Creative Commons Atribución-](#)
[NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](#)

Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura

**UNIVERSIDAD DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERÍA**



“Sistema de abastecimiento de agua potable para cuatro poblados rurales del distrito de Lancones”

**Tesis para optar el Título de
Ingeniero Civil**

Moira Milagros Lossio Aricoché

Asesor: Dr. Ing. Nikolai Ezerskii

Piura, Abril 2012

Dedico este trabajo a mi familia, quienes me motivaron a continuar y perseverar en los momentos difíciles:

A mi padre: por enseñarme con su ejemplo a enfrentar sola los problemas.

A mi madre: por su aliento y apoyo en todo momento y ante cualquier circunstancia.

A mis hermanas Ethel y Karen: por su comprensión y cooperación para brindarme espacios y tiempos.

Dios los proteja y bendiga siempre.

Prólogo

El servicio de agua potable para consumo humano es considerado como una necesidad prioritaria e indispensable para el desarrollo del ser humano. Sin embargo, para muchos esta necesidad no está satisfecha, sobre todo en las zonas rurales más pobres de Piura, donde la carencia de este servicio origina diversos problemas, como el de salud.

Los rezagos se incrementan de manera alarmante, ya que es imposible suministrar este servicio a una velocidad mayor que la del crecimiento de la población rural, en virtud del alto costo que tienen los sistemas tradicionales en estas zonas de características tan difíciles para los proyectos; o del temor que se tiene, de que los sistemas se abandonen o pierdan su condición sanitaria.

Los sistemas tradicionales se encuentran en condiciones deficientes debido a que muchos de ellos no se ajustan a la realidad socioeconómica de los poblados. Muchos de estos proyectos técnicamente bien concebidos tuvieron serios problemas de funcionamiento cuando las instalaciones eran ejecutadas al margen de las creencias y costumbres de la gente, de sus necesidades y aspiraciones sentidas; o cuando los usuarios del agua, escasamente motivados y preparados, quedaban bruscamente envueltos en la responsabilidad de su operación y mantenimiento. De esta apreciación se puede colegir que el servicio de agua potable no es sólo un problema técnico de ingeniería, sino fundamentalmente una cuestión humana; una función de la forma de vida de la colectividad.

Debe reconocerse que la única forma de enfrentar el problema es ofreciendo soluciones ingeniosas e imaginativas que resulten de diseño sencillo, económicas, fáciles de construir, prácticas en su operación y adecuadas al entorno en que se erijan con total aceptación de la comunidad usuaria.

Considerando la falta de soluciones adecuadas para la implementación y sostenibilidad de los sistemas de abastecimiento de agua potable, especialmente en poblaciones rurales, se ha creído conveniente la elaboración del presente trabajo de tesis, el cual desarrolla una metodología para el diseño e implementación de sistemas de abastecimiento de agua potable mediante utilización de energía solar fotovoltaica, enfocado a pequeñas comunidades rurales; siendo ésta, una solución segura, accesible y sostenible en el tiempo.

Agradezco de manera especial a mi asesor Dr. Ing. Nikolai Ezerskii y a mis padres y hermanas por su incentivo para mantenerme constante en el desarrollo de la tesis.

Resumen

El propósito del presente trabajo de tesis es contribuir técnicamente, proponiendo criterios de diseño para sistemas de abastecimiento de agua similares en zonas rurales de nuestro ámbito regional, teniendo en cuenta las normas nacionales y la experiencia de diseño, construcción, evaluación y transferencia de sistemas rurales de abastecimiento de agua que en los últimos años ha desarrollado la Universidad de Piura.

Se ha utilizado la tecnología solar fotovoltaica como una buena alternativa de aplicación en estas zonas de características tan particulares donde la energía solar ofrece mayores ventajas frente al uso de otros tipos de energía.

También se ha realizado una evaluación de la sostenibilidad económica del proyecto y del impacto ambiental con las respectivas medidas de mitigación. Además, se ha resaltado la importancia de la participación comunitaria en la gestión, administración, operación y mantenimiento del servicio de agua, no sólo para garantizar la viabilidad y sostenibilidad del proyecto, sino también, porque queda sentada una base sólida de organización para que en el futuro la población pueda gestionar nuevos proyectos que impulsen el desarrollo de su comunidad.

Índice general

Introducción	1
---------------------------	---

Capítulo 1 Aspectos generales de los poblados de Charancito, El Naranjo, Charán Grande y El Alumbre

1.1 Ubicación geográfica.....	3
1.2 Vías de comunicación.....	5
1.3 Clima	5
1.4 Topografía	6
1.5 Condiciones económicas, sociales y culturales	6
1.5.1. Situación económica.....	6
1.5.2. Situación social.....	7
1.5.3. Situación cultural.....	7
1.6 Estado actual y problemática del sistema de abastecimiento de agua en la zona de estudio.....	8
1.7 Conclusiones preliminares.....	9

Capítulo 2 Sistemas de abastecimiento de agua potable en poblados rurales

2.1 Distribución del agua en la naturaleza.....	11
2.1.1 Constitución de la hidrósfera.....	11
2.1.2 El ciclo hidrológico	12
2.2 Usos y características del agua potable	13
2.2.1 Usos del agua.....	13
2.2.2 Calidad física, química y microbiológica del agua para consumo humano.....	16
2.3 Sistemas de abastecimiento de agua potable	19
2.3.1 Sistema de abastecimiento de agua por gravedad	19
2.3.2 Sistema de abastecimiento de agua por bombeo	19
2.4 Consideraciones a seguir para la selección del sistema de abastecimiento de agua.....	19
2.4.1 Consideraciones técnicas para la selección del sistema de abastecimiento de agua.....	20

2.4.2	Consideraciones sociales para la selección del sistema de abastecimiento de agua.....	20
2.4.3	Consideraciones económicas para la selección del sistema de abastecimiento de agua.....	21
2.5	Fuentes de abastecimiento de agua potable en zonas rurales.....	21
2.5.1	Agua pluvial como fuente de abastecimiento de agua.....	22
2.5.2	Fuente superficial.....	24
2.5.3	Fuente subterránea.....	26
2.6	Consideraciones a seguir para la selección de la fuente de abastecimiento de agua.....	27
2.7	Conclusiones preliminares.....	28

Capítulo 3 Criterios para el diseño de los elementos de un sistema rural de abastecimiento de agua potable

3.1	Sistema adecuado de captación en zonas rurales.....	29
3.1.1	Manantiales.....	30
3.1.1.1	Clasificación de los manantiales.....	30
3.1.1.2	Captación de agua de manantiales.....	31
3.1.2	Pozo excavado de gran diámetro o noria.....	33
3.1.2.1	Consideraciones para el diseño de pozos excavados.....	35
3.1.2.2	Consideraciones para la construcción de pozos excavados.....	36
3.1.3	Pozos tubulares.....	36
3.1.3.1	Pozos clavados.....	38
3.1.3.2	Pozos perforados a chorro.....	39
3.1.3.3	Pozos taladrados.....	40
3.1.4	Aspectos hidráulicos de las fuentes subterráneas.....	41
3.2	Línea de impulsión.....	43
3.2.1	Criterios y parámetros de diseño.....	44
3.2.1.1	Caudal de diseño.....	44
3.2.1.2	Diámetro de la tubería.....	44
3.2.1.3	Velocidad y presión.....	45
3.2.1.4	Clase y material de tuberías.....	46
3.2.1.5	Pendientes mínimas.....	46
3.2.2	Pérdida de carga en las tuberías.....	46
3.2.3	Golpe de ariete.....	49
3.2.3.1	Valor de la celeridad.....	49
3.2.3.2	Tiempo de cierre de la válvula y tiempo de parada de bombas. Cierre lento y cierre rápido.....	50
3.2.3.3	Método práctico para el cálculo del golpe de ariete.....	52
3.2.4	Accesorios y válvulas.....	54
3.3	Tecnologías apropiadas a sistemas rurales de abastecimiento de agua.....	55
3.3.1	Energía solar fotovoltaica.....	56
3.3.2	Bombeo solar.....	57

3.3.2.1	Componentes de una instalación típica de bombeo solar	57
3.3.2.2	Tipos de bomba solar.....	59
3.3.2.3	Funcionamiento de un sistema de bombeo solar	61
3.3.2.4	Requerimientos previos para la instalación de un sistema de bombeo solar	63
3.3.2.5	Aplicaciones del bombeo solar.....	63
3.3.2.6	Ventajas del sistema de bombeo solar.....	64
3.3.2.7	Bombeo solar en sistemas rurales de abastecimiento de agua	65
3.4	Almacenamiento y regulación del agua	67
3.4.1	Consideraciones para el diseño de reservorios de almacenamiento.....	68
3.4.2	Capacidad mínima de almacenamiento y regulación del agua	69
3.4.3	Volumen de almacenamiento y regulación de agua con sistemas de bombeo accionados por energía solar fotovoltaica.....	70
3.5	Redes de distribución	70
3.5.1	Consideraciones de diseño.....	71
3.5.2	Tipos de redes.....	72
3.5.2.1	Redes ramificadas.....	72
3.5.2.2	Redes malladas	73
3.5.3	Construcción de la red	74
3.6	Nivel de servicio de suministro de agua.....	74
3.6.1	Nivel de servicio público o multifamiliar.....	74
3.6.2	Nivel de servicio por conexión domiciliaria o familiar.....	75
3.7	Piletas públicas	75
3.8	Implementación de la infraestructura del proyecto y esquema general del sistema de abastecimiento de agua potable	76
3.9	Conclusiones preliminares.....	79

Capítulo 4 Diseños de ingeniería del sistema de abastecimiento de agua potable para los caseríos de Charancito, El Naranjo, Charán Grande y El Alumbre

4.1	Aspectos poblacionales.....	81
4.1.1	Análisis del crecimiento poblacional.....	81
4.1.2	Período de diseño	82
4.1.3	Población actual.....	83
4.1.4	Cálculo de la población de diseño	83
4.2	Criterios de diseño del sistema rural de abastecimiento de agua	85
4.2.1	Dotaciones	85
4.2.1.1	Factores genéricos que afectan el consumo de agua	85
4.2.1.2	Factores específicos que afectan el consumo de agua	86
4.2.2	Variaciones de consumo.....	86
4.2.2.1	Coeficiente de variación diaria (K_I)	87

4.2.2.2	Coeficiente de variación horaria (K_2).....	88
4.2.3	Caudal de diseño.....	89
4.2.4	Tratamiento del agua	90
4.3	Diseño de los elementos del sistema de abastecimiento de agua potable.....	91
4.3.1	Diseño de la estructura de captación tipo noria.....	91
4.3.2	Diseño de la línea de impulsión: estructura de captación – reservorio apoyado de regulación y almacenamiento.....	93
4.3.2.1	Cálculo del diámetro y velocidad en la tubería	94
4.3.2.2	Cálculo de las pérdidas	94
4.3.2.3	Cálculo del golpe de ariete	95
4.3.3	Diseño del sistema de bombeo con utilización de la energía solar fotovoltaica	97
4.3.3.1	Requerimientos del sistema de bombeo	97
4.3.3.2	Componentes del sistema de bombeo solar	97
4.3.4	Diseño del reservorio apoyado de almacenamiento y regulación	105
4.3.5	Diseño de las redes de distribución de agua potable	106
4.3.5.1	Generalidades sobre modelación hidráulica con software WaterCAD.....	106
4.3.5.2	Cálculo y simulación de las redes de distribución del sistema propuesto mediante WaterCAD	110
4.3.6	Diseño de cámara rompe presión.....	118
4.3.7	Diseño de fuentes o piletas públicas.....	119
4.3.8	Esquema resumen del sistema de abastecimiento de agua potable proyectado	119
4.4	Conclusiones preliminares.....	121

Capítulo 5 Evaluación socioeconómica y ambiental del proyecto

5.1	Sostenibilidad del proyecto	123
5.1.1	Antecedentes.....	123
5.1.2	Caracterización del problema	124
5.1.3	Alternativas de solución	124
5.2	La participación comunal para un proyecto sostenible	125
5.2.1	Fases del proyecto	126
5.2.1.1	Fase de propuesta	126
5.2.1.2	Fase de puesta en marcha	126
5.2.1.3	Fase de consolidación	127
5.2.2	Gestión, administración, operación y mantenimiento de los servicios de abastecimiento de agua	128
5.2.2.1	Gestión	128
5.2.2.2	Administración.....	129
5.2.2.3	Operación y mantenimiento	129
5.3	Evaluación económica, transferencia del proyecto	130
5.3.1	Viabilidad económica	130
5.3.2	Presupuesto general de la construcción del sistema de abastecimiento de agua.....	132
5.3.3	Cronograma de ejecución de obra	133

5.4	Estudio de impacto ambiental.....	134
5.4.1	Introducción.....	134
5.4.2	Identificación de los impactos ambientales.....	134
5.4.2.1	Actividades susceptibles de producir impacto sobre el medio ambiente.....	134
5.4.2.2	Factores ambientales a analizar.....	135
5.4.2.3	Matriz de identificación de impactos.....	137
5.4.3	Descripción de los impactos ambientales potenciales que se generarían en cada etapa del proyecto.....	139
5.4.3.1	Etapa previa a la construcción.....	139
5.4.3.2	Etapa de construcción.....	140
5.4.3.3	Etapa de operación y mantenimiento.....	143
5.4.4	Valoración de los impactos ambientales del sistema de abastecimiento de agua.....	145
5.4.4.1	Método de análisis y procedimiento de la valoración.....	145
5.4.4.2	Matriz de importancia.....	147
5.4.4.3	Evaluación de la matriz de importancia de impactos.....	149
5.4.4.4	Evaluación global, integral y sintética de la incidencia ambiental de la obra ejecutada y su sostenibilidad ecológica.....	150
5.4.5	Plan de mitigación y manejo ambiental.....	151
5.4.5.1	Introducción.....	151
5.4.5.2	Acciones preventivas y acciones correctivas.....	152
5.4.5.3	Plan de cierre.....	155
5.4.5.4	Plan de contingencia.....	157
5.4.5.5	Programa de monitoreo.....	159
5.4.5.6	Indicadores del grado de consecución de los resultados.....	161
5.5	Conclusiones preliminares.....	163

Capítulo 6 Conclusiones y recomendaciones..... 165

Bibliografía..... 169

Anexos

Anexo A	Información sobre trabajos topográficos en la zona de estudio.
Anexo B	Acta de cesión de la fuente de agua potable.
Anexo C	Análisis de la calidad del agua del acuífero subterráneo.
Anexo D	Datos técnicos de la bomba solar.
Anexo E	Cálculos hidráulicos obtenidos mediante el uso del software Watercad.
Anexo F	Metrados de los elementos del sistema de abastecimiento de agua potable.

Anexo G Análisis de costos unitarios.

Anexo H Presupuesto de mitigación.

Anexo I Documentación fotográfica.

Anexo J Planos.

Introducción

El distrito de Lancones, ubicado en la provincia de Sullana, departamento de Piura, presenta altos índices de pobreza y desnutrición infantil, reflejados en la carencia de servicios básicos, principalmente el de agua potable, lo que ha conllevado a que la población consuma agua de fuentes superficiales contaminadas, causantes de enfermedades gastrointestinales.

Una de las causas principales de que la cobertura del servicio de agua potable en el medio rural sea muy baja, es debido a que los sistemas convencionales de abastecimiento de agua potable no siempre se adecúan a la realidad de las comunidades rurales. La utilización de fuentes de energía como los combustibles hidrocarburos y la electricidad, no resultan ser opciones adecuadas ya que generan problemas de almacenamiento, transporte y distribución de combustible, además de generación de desechos que contaminan el ambiente. Esto no garantiza un funcionamiento continuo y confiable de los equipos del sistema de abastecimiento de agua potable y genera elevados costos. Por ello ha sido fundamental encontrar otras fuentes de energía, a la vez económicas e inocuas para el medio ambiente, con el fin de incrementar la productividad agrícola y mejorar la calidad de vida de las comunidades rurales.

Se puede considerar que las zonas rurales de la región costera presentan las condiciones técnicas favorables para que las poblaciones pequeñas y medianas puedan servirse de aguas subterráneas de calidad aceptable, utilizando la energía solar fotovoltaica como alternativa viable por las muchas ventajas, entre las que se encuentran, los costos de operación accesibles a la situación económica de estas poblaciones. Esto es deducible de los diversos estudios y proyectos de abastecimiento de agua que la Universidad de Piura, a través del Instituto de Hidráulica, Hidrología e Ingeniería Sanitaria, viene ejecutando en diversos poblados de la región; los cuales, han permitido conocer de cerca los problemas relacionados con los criterios de diseño que se presentan en la costa norte del Perú y en los que se han aplicado sistemas de abastecimiento de agua por bombeo, utilizando pozos de agua subterránea y norias como fuentes de captación.

Por las razones expuestas anteriormente y con el propósito de contribuir a mejorar la salud y calidad de vida de la población, la presente tesis brinda un estudio definitivo en el que se ha implementado un sistema de agua potable por bombeo utilizando energía fotovoltaica (paneles solares) y abastecimiento a través de piletas públicas (39 en total), en cuatro caseríos del distrito de Lancones: Charancito, El Naranjo, Charán Grande y El Alumbre. Además se mencionan alternativas que se integran de una estrategia técnica y una de

organización, que consiste en la participación comunitaria e institucional para proteger las fuentes de abastecimiento y para hacer un correcto uso del agua sin alterar su calidad.

Cabe precisar que la autora de la tesis ha trabajado en la elaboración del expediente técnico del proyecto “Sistema de abastecimiento de agua potable de los caseríos Charancito, El Naranjo, Charán Grande y El Alumbre” y ha realizado viajes continuos a la zona de estudio en las diferentes etapas del proyecto (previa, de construcción y de operación y mantenimiento), recopilando información que ha servido para la elaboración de la presente tesis.

El trabajo de tesis consta de seis capítulos. El primer capítulo contiene la siguiente información básica: aspectos sociales, económicos, culturales, clima, topografía, entre otros.

El segundo capítulo trata sobre la distribución, usos, características y calidad del agua; así también, sobre sistemas y tipos de fuentes de abastecimiento de agua potable en zonas rurales con las respectivas consideraciones a seguir para su selección.

En el tercer capítulo se establece los criterios para el diseño de los elementos del sistema rural de abastecimiento de agua potable, materia del presente estudio.

En el cuarto capítulo se determina los aspectos poblacionales, dotaciones, variaciones de consumo, caudales de diseño, tratamiento del agua y diseño de los elementos del sistema, para lo cual se ha utilizado lo establecido en el Reglamento Nacional de Edificaciones y la experiencia del Instituto de Hidráulica, Saneamiento e Hidrología de la UDEP en la elaboración de proyectos similares.

En el quinto capítulo se da a conocer la importancia de la participación comunal en la construcción y transferencia del proyecto para garantizar la sostenibilidad del mismo. Además se resalta la viabilidad económica y se presenta el presupuesto general y el cronograma de ejecución de obra. Por último, se ha elaborado el estudio de impacto ambiental con las respectivas medidas de mitigación.

Finalmente, en el sexto capítulo, se exponen las conclusiones y recomendaciones generales extraídas de las conclusiones preliminares de cada capítulo.

Capítulo 1

Aspectos generales de los poblados de Charancito, El Naranjo, Charán Grande y El Alumbre

1.1. Ubicación geográfica

Las localidades de Charancito, El Naranjo, Charán Grande y El Alumbre se encuentran ubicadas al Noroeste del Perú, en el área fronteriza peruano-ecuatoriana del distrito de Lancones, provincia Sullana, departamento de Piura, Perú. Ver Fig. 1.1.

Lancones es el distrito con mayor extensión en la provincia de Sullana, su superficie es de 2,189.35 Km² y está ubicado al Noreste de la capital provincial a unos 50 Km. Es considerado como un distrito de costa. Limita por el Norte, con el departamento de Tumbes y la República del Ecuador; por el Este, con los distritos de Suyo de la provincia de Ayabaca y Las Lomas de la provincia de Piura; por el Sur, con los distritos de Querecotillo y Sullana; y por el Oeste, con el distrito de Marcavelica.

Su localización geográfica se encuentra entre las coordenadas: latitud Sur de 04°34'27" y latitud Oeste de 80°28'24". Su altitud promedio es de 150 m.s.n.m.

En la Fig. 1.2 se muestra el principal acceso al distrito de Lancones, a través de la red vial nacional.

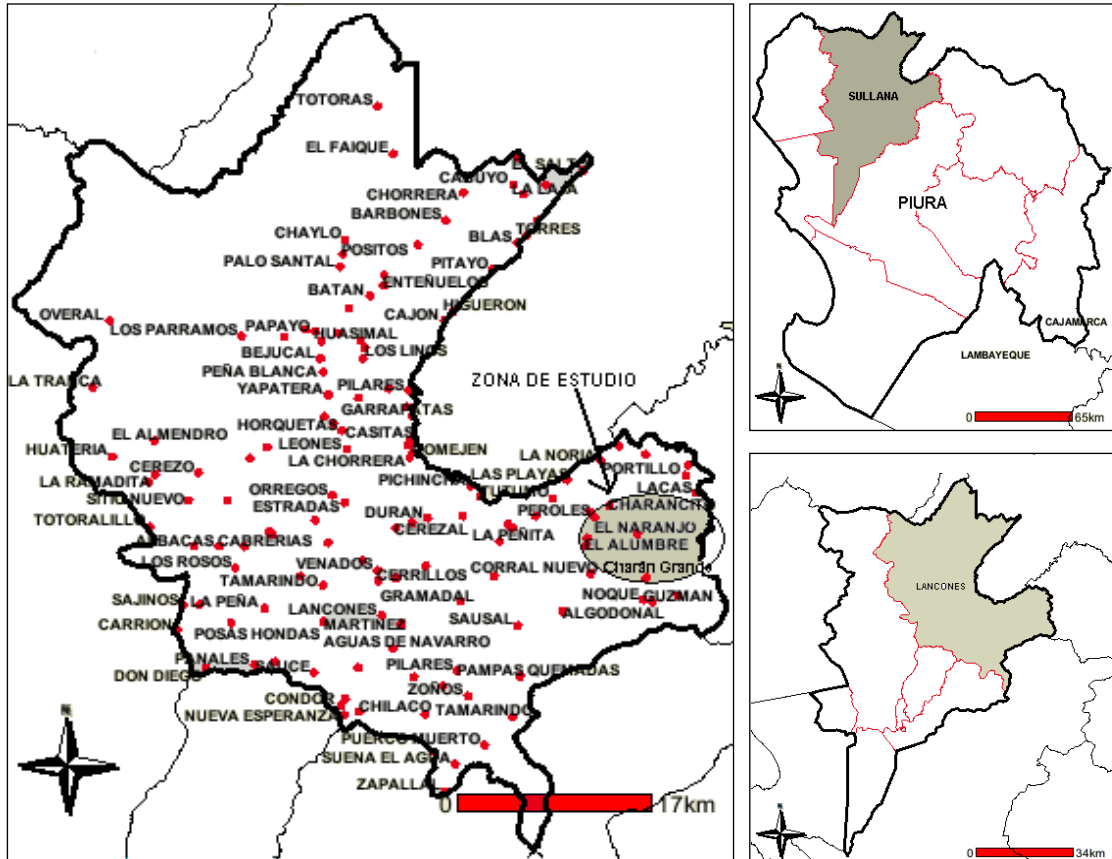


Fig. 1.1. Ubicación geográfica de la zona de estudio en el distrito de Lancones, provincia de Sullana, departamento de Piura.

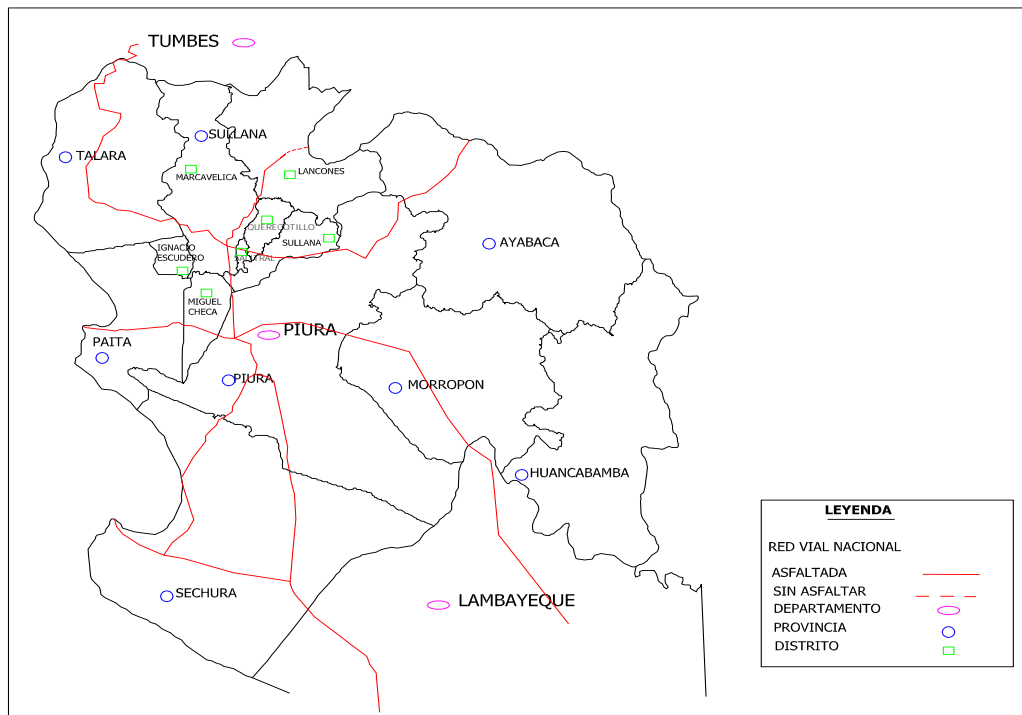


Fig. 1.2. Vista de la red vial nacional, principal acceso al distrito de Lancones.

1.2. Vías de comunicación

Los caseríos que son parte de este estudio se encuentran aproximadamente a 65 Km de la capital del distrito de Lancones y se conectan con ella mediante trochas carrozables. La ruta desde la capital del departamento es a través de la carretera Panamericana Norte hasta el punto de acceso al distrito de Tambogrande. Siguiendo esta vía a la altura de la localidad de Cieneguillo, se toma el camino afirmado paralelo al canal de irrigación (margen derecha) hasta llegar al caserío Chilaco; desde allí, se toma una ruta de trocha carrozable que conduce hacia a la zona del proyecto. Este tramo de camino se vuelve intransitable en épocas de lluvia (enero febrero y marzo), debido al aumento del caudal de las quebradas existentes, que originan el aislamiento de estos caseríos con la capital distrital, provincial y departamental.

En lo que se refiere a comunicaciones, las localidades no cuentan con los principales servicios, como: correo, teléfono, fax, etc., que son los que permiten una comunicación más fluida y eficaz entre las poblaciones.

Por encontrarse ubicados en zona de frontera con Ecuador, estos caseríos tienen mayor comunicación con el país vecino que con el nuestro. Algunos pobladores cuentan con un televisor y llegan a captar la señal de TV ecuatoriana.

No hay acceso a medios de prensa escrita, lo que se explicaría en parte por la dificultad de acceso desde la capital distrital a estas zonas. Es importante señalar que para muchos pobladores de la zona la única oportunidad de leer periódicos o diarios es cuando van a la capital de la provincia (Sullana).

En la zona del proyecto casi el 90% de los hogares cuentan con una radio, que es el medio más asequible por su bajo costo y porque funciona con baterías, no necesitando de energía eléctrica. Cabe resaltar que en esta zona la radio es quizá el medio de comunicación más importante, siendo la emisora más escuchada “Radio Nuevo Norte”, que cumple una labor informativa y de entretenimiento.

Los medios de transporte son escasos y provienen de la ciudad de Sullana. Normalmente el tiempo de viaje es de 4 a 6 horas, ya sea en camiones o camionetas rurales (que son las más usadas); mientras que, en épocas de lluvia puede aumentar a más de 8 horas, o a dos días a pie, cuando las quebradas suben su caudal y el camino se torna intransitable.

1.3. Clima

La zona del proyecto, por ubicarse muy cerca de la línea ecuatorial presenta un clima mayormente tropical, es decir cálido y húmedo, con regular precipitación pluvial durante el período de verano (febrero a abril).

La temperatura promedio mensual varía entre los 20 y 30 ° C. En verano tiene un máximo de 35°C y un mínimo de 30°C. En invierno las temperaturas oscilan entre 20 y 26°C. La represa ha creado un microclima en la zona lo que motiva neblina en épocas de invierno.

La humedad relativa es de 90%, con un régimen de lluvias promedio de enero a marzo de 200 mm, a excepción de los años 1983, 1992 y 1998 durante los cuales se registró el

“Fenómeno El Niño” con lluvias que sobrepasaron los 3000 mm. Una estación cercana a los caseríos en estudio es la de Chilaco, donde se registró en promedio 2396 mm en el año 1998 y 3362 mm en el año 1983.

1.4. Topografía

La zona de estudio presenta un relieve variado, se distinguen zonas planas con características de cierta aridez. Además, algunas zonas más inclinadas, con presencia de cerros cubiertos de poca vegetación con abundante material rocoso. Igualmente, algunas quebradas secas o con muy poca agua.

Se ha efectuado el levantamiento topográfico a curvas de nivel equidistantes a 1 metro, que ha servido para determinar el relieve de la zona, conocer los desniveles del terreno y sobre todo determinar la ubicación de las viviendas y locales públicos (capillas, colegios, locales comunales, etc.) de los caseríos Charancito, El Naranjo, Charán Grande y El Alumbre, así como los caminos más seguros para acceder a ellas. Esta información ha sido básica para efectuar la ubicación y el dimensionamiento hidráulico de las estructuras que conforman el sistema de abastecimiento de agua para las localidades en estudio.

1.5. Condiciones económicas, sociales y culturales

1.5.1. Situación económica

La gran mayoría de la población de la zona de estudio vive en extrema pobreza, debido a una serie de factores entre los que se puede mencionar: la falta de atención del gobierno central, falta de organización de las autoridades locales y el mal estado de las vías de comunicación con la provincia, que en general impiden el desarrollo de la comercialización de sus productos y el desarrollo de pequeñas actividades económicas.

El ingreso promedio por familia no pasa de 20 dólares al mes y apenas alcanza para sustentar los gastos del hogar, lo que niega a los menores las posibilidades de acceso a los servicios de salud, educación, esparcimiento, etc.

En estos poblados la agricultura y la ganadería constituyen la base sobre la que descansa la economía de la zona, ya que la mayoría de su población económicamente activa (PEA) se dedica a estas actividades. Los productos se comercializan informal e individualmente en los mercados de las ciudades de Sullana y Piura distantes a 95 y 135 km respectivamente, pues no existen centros de expendio de estos productos en la zona del proyecto.

La actividad agrícola de las familias se desarrolla sobre una pequeña propiedad que en la mayoría de los casos no supera las 2 hectáreas. Los cultivos predominantes son: la cebolla, el camote, el fríjol, la yuca y el maíz, variables según la temporada del año.

La ganadería es una actividad económica muy importante. Se realiza a través de explotaciones de ganado caprino, que permite adicionalmente la explotación a pequeña escala de productos lácteos y sus derivados. El rango de cabezas de ganado en las familias dedicadas a la actividad pecuaria está entre 50 y 100 cabras. Se destaca además, la crianza de aves de corral como son gallinas, pavos y patos.

La dieta alimenticia de los pobladores está constituida fundamentalmente por los productos que ellos mismos producen. Suelen consumir el maíz en diversas variedades: incluido en la sopa, después de molerlo, sancochado y acompañado de arroz. En cuanto al consumo de carnes, ésta proviene de los animales que ellos mismos crían.

1.5.2. Situación social

Las familias albergan en su seno, comúnmente, a dos o más generaciones, conviviendo en un hogar rústico abuelos, padres, hijos, nietos, tíos, sobrinos, etc. La densidad promedio es de 6 personas por familia y cada una tiene en promedio de 4 a 5 hijos.

En relación a los servicios básicos (agua, desagüe y electricidad), casi la totalidad de la población carece de los servicios elementales.

Los habitantes de los poblados, Charancito, Charán Grande, El Naranjo y El Alumbre no cuentan con un establecimiento de salud en la zona para su atención, teniendo que caminar aproximadamente dos horas para llegar al puesto de salud más cercano ubicado en La Peñita o al ubicado en el poblado Las Playas, los cuales son atendidos sólo por un técnico en enfermería.

Sobre la mujer recae la responsabilidad de la crianza, alimentación y salud de los hijos, y una de sus tareas principales es proveer de agua para el consumo de la familia; cabe mencionar que esta labor también es realizada, en algunos casos, por los hijos menores de la casa.

Las mujeres del distrito están organizadas en dos tipos de organizaciones comunales: Comité de Vaso de Leche y Club de Madres, que son independientes y fueron formadas para hacer frente a las carencias alimenticias de las familias. El Comité de Vaso de Leche a cargo de la Municipalidad, brinda a las mujeres embarazadas, madres lactantes y niños en edad escolar, un desayuno balanceado y alimentos básicos. El Club de Madres es receptor de una ayuda alimentaria por el Programa Nacional de Asistencia Alimentaria (PRONAA) y gestiona los comedores populares. También existen las Juntas Vecinales de Desarrollo que son organizaciones reconocidas por la Municipalidad de Lancones y que tienen como objetivo fomentar el desarrollo de sus caseríos a través de la formulación y canalización de acciones concretas en beneficio de su comunidad.

Las viviendas de los caseríos Charancito, El Naranjo, Charán Grande y El Alumbre son construidas de manera rústica (barro y quincha con pisos de tierra), presentan deficiencias en el saneamiento básico y constan ordinariamente de 2 ó 3 ambientes. Éstas se hallan dispersas por todo el territorio debido, principalmente, al tipo de relieve de la zona, razón por la cual la mayor parte de los pobladores tienen sus viviendas junto a sus corrales de ganado.

1.5.3. Situación cultural

En la zona de estudio sólo existen dos colegios de nivel primario (El Alumbre y El Naranjo). Los alumnos de los poblados: Charancito, El Naranjo, Charán Grande y El Alumbre, que pasan al nivel secundario tienen que trasladarse a pie hacia los poblados La Peñita o Las Playas, distantes 2 horas aproximadamente.

En la zona la calidad educativa es deficiente. En los tres niveles de educación se tiene ausentismo y deserción escolar, lo que contribuye a mantener altos índices de analfabetismo, que se ve acrecentado por el ingreso de alumnos y alumnas al colegio en edad extraescolar, quienes finalmente abandonan la escuela para dedicarse a labores del campo.

La mayoría de los centros educativos tienen problemas de infraestructura, carecen de servicios higiénicos, de mobiliario educativo adecuado y de equipamiento con material escolar. El personal docente no está preparado como para impartir una educación que responda a las necesidades, a las aspiraciones, a la naturaleza y las potencialidades de su entorno medio ambiental y cultural, por las limitadas capacitaciones que reciben.

La población no está culturalmente motivada para cultivar el arte popular peruano, ni está integrada al resto del país.

1.6. Estado actual y problemática del sistema de abastecimiento de agua en la zona de estudio

Los habitantes de Charancito, El Naranjo, Charán Grande y El Alumbre no cuentan con una fuente adecuada de abastecimiento de agua potable y menos con sistemas de alcantarillado, teniendo que realizar sus necesidades fisiológicas en el campo.

Se abastecen de agua de norias que excavan de manera artesanal en el cauce de las quebradas que cruzan sus poblados o la que obtienen de afloramientos naturales, los cuales por algunos meses del año satisfacen sus requerimientos. Las norias tienen en promedio una profundidad de 2 m y son excavadas cada vez que finaliza el periodo lluvioso. En años de extrema sequía se excavan norias de hasta 12 m de profundidad, según lo manifiestan los moradores más antiguos de la zona. Esta agua no es de buena calidad ya que en la misma zona los animales domésticos de los pobladores realizan sus necesidades, contaminando el recurso hídrico, transformándolo en un foco infeccioso y altamente contaminante para la salud de las personas, quienes padecen de múltiples enfermedades especialmente infecciones intestinales, diarreas, fiebre intestinal, tifoidea, y enfermedades de la piel (granos, hongos, etc.), que se presentan con más frecuencia en la población infantil y que se acentúa en los períodos de verano.

En los últimos años la mortalidad de niños menores de 5 años ha oscilado entre 15.7% y un máximo de 25% del número total de fallecidos en la zona de estudio, principalmente debido a enfermedades respiratorias o por enfermedades, tales como, disentería, gastroenteritis e infecciosas y parasitarias. La morbilidad en la población menor de 5 años, indica que el 63% de las enfermedades registradas (disentería, gastroenteritis e infecciones estomacales) son la principal causa de muerte de la población.

Para el acarreo de agua la población realiza alrededor de 3 a 4 viajes por familia, utilizando recipientes inadecuados para transportar y depositar agua: baldes, latas, cilindros deteriorados, mohosos y sucios, donde el agua se contamina fácilmente, además del contacto con las manos no lavadas y de su exposición a la intemperie.

Actualmente el agua es consumida sin ningún tipo de tratamiento sanitario y los niños son los más perjudicados, tanto en la calidad sanitaria del agua como también en el tiempo que dedican a la actividad de transporte de la misma, dejando de lado sus labores escolares.

En tal sentido, la fuente actual de abastecimiento de agua que se utiliza para fines potables, se encuentra muy por debajo de los requerimientos básicos de salubridad y no es considerada confiable para el consumo humano, por lo que es necesario realizar evaluaciones de otras fuentes de abastecimiento como por ejemplo el recurso hídrico del acuífero subterráneo de la quebrada El Naranjo, en el poblado de Charán Grande.

1.7. Conclusiones preliminares

- a) Los habitantes de los poblados Charancito, El Naranjo, Charán Grande y El Alumbre, sufren no sólo la ausencia del servicio básico de abastecimiento de agua, sino también se encuentran aislados culturalmente en materia de comunicación escrita. Asimismo, presentan limitaciones en el acceso a medios de comunicación peruanos como la radio y televisión, recibiendo en la mayoría de los casos señales del extranjero particularmente del vecino país del Ecuador.
- b) Se hace necesario mejorar la red de trochas carrozables en términos de disminuir su vulnerabilidad en los puntos críticos y revertir la amenaza de aislamiento en los períodos lluviosos de cada año, así como reconstruir algunos tramos de la vía Lancones-Sullana.
- c) La zona de estudio carece de servicios básicos adecuados debido a la escasez de recursos económicos y al poco interés de las instituciones gubernamentales en ampliar sus servicios hasta esta zona.
- d) La población tiene malos hábitos de higiene, que se explican por la deficiente calidad de enseñanza en las escuelas y las inadecuadas tradiciones y costumbres de la población en los diferentes caseríos.
- e) Las malas condiciones de saneamiento e higiene, la falta de agua potable, el hacinamiento de las familias y el desconocimiento general de higiene, redundan en una alta incidencia de enfermedades infecciosas (respiratorias y digestivas) y parasitarias, que son la principal causa de muerte sobre todo en la población infantil, oscilando la mortalidad entre 15.7% y un máximo de 25% del número total de fallecidos en la zona de estudio.
- f) El ingreso promedio por familia de 20 dólares al mes, la densidad promedio de 6 personas por familia y la agricultura y ganadería de subsistencia, llevadas con criterios poco eficientes; hacen que la vida en estas comunidades sea cada vez más difícil y que las familias sobrevivan en condiciones de extrema pobreza, negando a los menores las posibilidades de acceso a los servicios de salud, educación, esparcimiento, etc.
- g) La información económica, social y cultural disponible, indica que la población de la zona rural fronteriza del distrito de Lancones vive en condiciones de extrema pobreza, en donde la falta de oportunidades existentes en la zona, el desempleo y subempleo frecuente; especialmente entre las poblaciones jóvenes, cause que en la última década se

genere un aumento acelerado de la migración hacia las ciudades costeras del país, que presentan mejores perspectivas de desarrollo.

Capítulo 2

Sistemas de abastecimiento de agua potable en poblados rurales

2.1. Distribución del agua en la naturaleza

El agua cubre casi tres cuartas partes (71%) de la superficie de la Tierra. Se puede encontrar en prácticamente cualquier lugar de la biosfera y es la única sustancia que existe a temperaturas ordinarias en los tres estados de agregación de la materia: sólido, líquido y gaseoso.

En su uso más común, con agua nos referimos a la sustancia en su estado líquido, encontrándola en forma de pantanos, ríos, mares, océanos, en las nubes de lluvia formada por gotas de agua, y en forma de rocío en la vegetación.

En estado sólido (hielo), se encuentra en los casquetes polares y en los glaciares, así como en las superficies en invierno; también en forma de granizo, nieve y escarcha, y en las nubes formadas por cristalitas de hielo.

En estado gaseoso se presenta en forma de gas o vapor de agua, en forma de niebla, vapor y nubes.

2.1.1. Constitución de la hidrósfera

El total del agua presente en el planeta, en todas sus formas, se denomina hidrósfera. Podemos considerar que la hidrosfera se reparte en cuatro grandes conjuntos. Ver Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Constitución de la hidrósfera en cuatro grandes conjuntos.

Localización	Volumen (millones de km³)	Proporción (% del total)
Mares y océanos	1350	97,2
Aguas continentales:		
- Glaciares	29.2	2.15
- Aguas subterráneas	8.4	0.62
- Aguas superficiales	0.23	0.017
Atmósfera	0,013	0,001
Biosfera	0,006	0,0005

La hidrosfera incluye los océanos, mares, ríos, lagos, agua subterránea, el hielo y la nieve. La Tierra es el único planeta en nuestro Sistema Solar en el que está presente de manera continuada el agua líquida, que cubre aproximadamente dos terceras partes de la superficie terrestre, con una profundidad promedio de 3,5 km, lo que representa el 97% del total de agua del planeta. El agua dulce representa 3% del total y de esta cantidad aproximadamente 98% está congelada, de allí que tengamos acceso únicamente a 0,06% de toda el agua del planeta. El agua migra de unos depósitos a otros por procesos de cambio de estado y de transporte que en conjunto configuran el ciclo hidrológico o ciclo del agua.

2.1.2. El ciclo hidrológico

Existe un trasvase continuo de agua entre los diferentes compartimentos de la hidrosfera movido por la energía solar y la fuerza de la gravedad, constituyéndose un circuito prácticamente cerrado denominado ciclo hidrológico, que pone en movimiento grandes cantidades de agua y de energía. Ver Fig. 2.1.

Los procesos que encierra el ciclo hidrológico se pueden explicar de la siguiente manera:

La energía solar produce la evaporación del agua superficial, tanto continental como oceánica, que pasa a la atmósfera y, al evaporarse el agua, acumula una gran cantidad de energía como calor latente. Por otro lado, una pequeña cantidad del vapor de agua procede por transpiración de la biosfera y, a veces, ambos procesos se expresan de manera conjunta, bajo la denominación de evapotranspiración.

Corrientes ascendentes de aire llevan el vapor a las capas superiores de la atmósfera, donde la menor temperatura causa que el vapor de agua se condense y forme las nubes. Las corrientes de aire mueven las nubes sobre el globo, las partículas de nube colisionan, crecen y según el grado de enfriamiento, dan lugar a precipitaciones sólidas o líquidas, que caen sobre la superficie terrestre gracias a la fuerza de la gravedad. Las precipitaciones pueden caer directamente sobre los océanos, o pueden caer sobre los continentes y, en este último caso, el agua puede seguir diversos caminos.

Una parte de las precipitaciones discurre sobre la superficie terrestre (escorrentía superficial), en forma de corrientes de agua líquida o de glaciares, desembocando en el mar. Otra parte se infiltra en el terreno, pasando a constituir las aguas subterráneas, que también acaban por desembocar en el mar (escorrentía subterránea). También, parte del

agua, puede quedar transitoriamente retenida en los continentes de diferentes maneras: incorporada a la biosfera, en los lagos, en glaciares y en aguas subterráneas muy profundas (agua fósil), que representan la herencia de un clima más húmedo en el pasado y cuya explotación, al tratarse de depósitos no recargables, debe hacerse con gran cuidado.

Pero, en último término, el agua de las precipitaciones continentales vuelve a la atmósfera por evapotranspiración, o al mar por escorrentía debida a la gravedad, cerrándose el ciclo.

El volumen de agua evaporada en el mar es mayor que el de las precipitaciones caídas en el mismo, mientras que en los continentes es menor. Es decir, existe un déficit de precipitación en los océanos, que se compensa con el superávit de los continentes, el cual es devuelto al océano mediante la escorrentía.

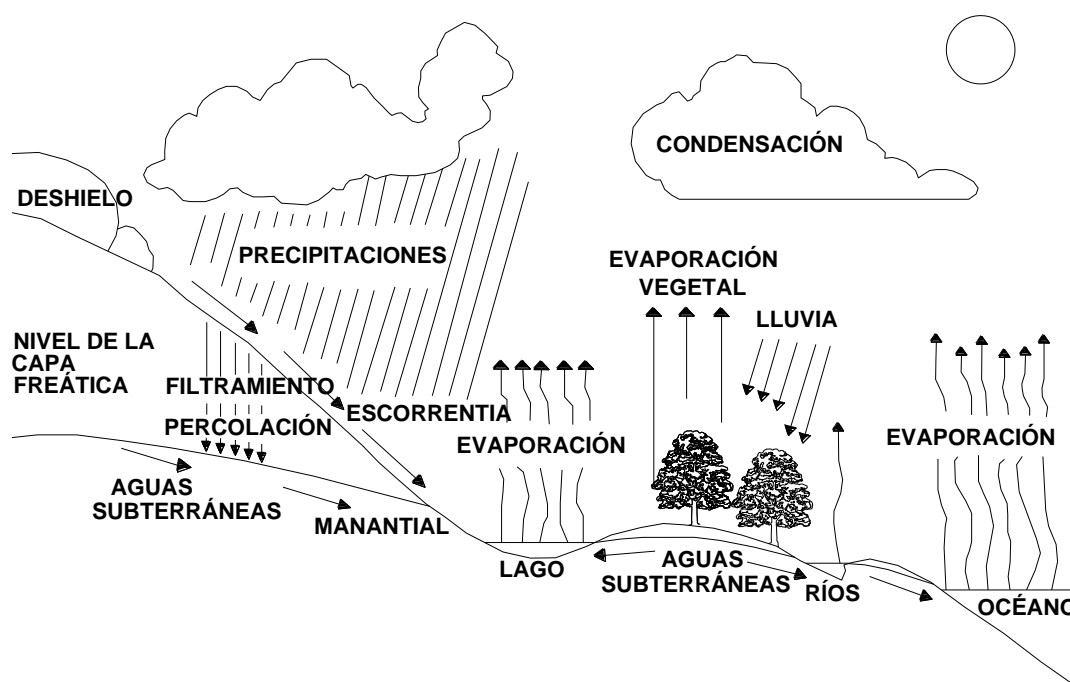


Fig. 2.1. Esquema del ciclo hidrológico.

2.2. Usos y características del agua potable

2.2.1. Usos del agua

El agua es necesaria para el consumo doméstico y para llevar a cabo las diversas actividades económicas como: la agricultura, la ganadería, la industria o la minería. Está presente en todas las actividades humanas, necesitamos el agua para nuestra alimentación, higiene, para nuestros cultivos que aseguran nuestro alimento y para fabricar gran cantidad de productos que hacen más confortable nuestra vida.

El agua ofrece una variedad de usos, dependiendo del tipo y disponibilidad del abastecimiento de agua. Éstos son:

- a) Uso para consumo doméstico: Comprende el consumo de agua en nuestra alimentación, en la limpieza de nuestras viviendas, en el lavado de ropa y en nuestra higiene.

- b) Uso para consumo público: En la limpieza de las calles de ciudades y pueblos, en las fuentes públicas, ornamentación, riego de parques y jardines, otros usos de interés comunitario, etc.
- c) Uso en agricultura y ganadería: En agricultura, para el riego de los campos; en ganadería, como parte de la alimentación de los animales; y, en la limpieza de los establos y otras instalaciones dedicadas a la cría de ganado.
- d) Uso en la industria: En las fábricas, en el proceso de fabricación de productos, en los talleres y en la construcción.
- e) Uso como fuente de energía: Aprovechamos el agua para producir energía eléctrica (en centrales hidroeléctricas situadas en los embalses de agua). En algunos lugares se aprovecha la fuerza de la corriente de agua de los ríos para mover máquinas (molinos de agua, aserradero, etc.).
- f) Uso como vía de comunicación: En los mares, ríos y lagos, enormes embarcaciones pueden llevar las cargas más pesadas que no pueden ser transportadas por otros medios.
- g) Uso recreativo: En los ríos, en el mar, en las piscinas y lagos, practicamos un gran número de deportes: vela, submarinismo, windsurf, natación, esquí acuático, waterpolo, piragüismo, etc., y pasamos parte de nuestro tiempo libre disfrutando del agua o, simplemente, contemplando y sintiendo su belleza en los ríos, las cascadas, los arroyos, las olas del mar, etc.

Existe una relación entre la calidad del agua y los usos a los que se le destina, estableciéndose dos tipos de uso:

- a) Uso consuntivo: Es el que implica que el agua, después de ser empleada, no puede ser usada de nuevo con el mismo fin, ya que su calidad varía. Éste es el caso del consumo doméstico, agropecuario, minero, etc.
- b) Uso no consuntivo: El agua puede volver a ser utilizada diversas veces. Éste es el caso del uso de agua como transporte, actividades recreativas, o centrales hidroeléctricas.

En las zonas rurales el agua tiene los siguientes usos:

- a) Uso doméstico: Comprende el consumo de agua para bebida, preparación de alimentos, limpieza de viviendas, lavado de ropa e higiene personal.
- b) Uso en agricultura: Para el riego de pequeños huertos.
- c) Uso en ganadería: Abrevadero del ganado y animales de corral. Alimentación y limpieza debidas a la cría de animales.
- d) Otros usos, incluyendo eliminación de excretas.

Los datos sobre el uso diario del agua por habitante, son importantes para realizar estimados que se aproximen a la demanda de agua de un poblado; es por ello, que se presenta una relación del uso típico del agua con fines domésticos para diferentes tipos de sistemas de abastecimiento de agua en poblados rurales. Ver Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Uso típico del agua con fines domésticos para diferentes tipos de sistemas de abastecimiento de agua en poblados rurales [1].

Tipo de sistema de abastecimiento de agua	Consumo típico de agua (lt/hab/día)	Rango de consumo de agua (lt/hab/día)
Punto de agua comunal		
Pozo o fuente de agua del poblado		
Distancia considerable (> 1000 m)	7	5-10
Distancia media (500 - 1000 m)	12	10-15
Distancia pequeña (< 500 m)	20	15-25
Fuente pública comunal		
Distancia pequeña (< 250 m)	30	20-50
Punto de agua domiciliario		
Conexión de patio		
Grifo en el patio de la casa	40	20-80
Conexión a casa		
Grifo simple	50	30-60
Grifo múltiple	120	70-250

Los datos indicados en la Tabla 2.2 incluyen aproximadamente un 20% de tolerancia por pérdida de agua y por derroches [1].

El sistema de abastecimiento de agua para las comunidades rurales también satisface otros usos que no son domésticos y que son importantes a la hora de establecer el consumo diario de agua de una población; por ello, es necesario considerar cantidades adicionales de agua para estas categorías. Ver Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Uso típico del agua con fines no domésticos [1].

Categoría	Uso típico de agua
Ganado	
Ganado vacuno	25-35 (lt/día/cabeza)
Caballos y mulas	20-25 (lt/día/cabeza)
Ovejas	15-25 (lt/día/cabeza)
Cerdos	10-15 (lt/día/cabeza)
Aves de Corral	
Pollos	15-25 (lt/día/ por 100 cabezas)
Pavos	20-30 (lt/día/ por 100 cabezas)

Es importante considerar estas cantidades adicionales de agua en zonas rurales donde la agricultura y crianza de aves y ganado es la principal actividad de subsistencia.

2.2.2. Calidad física, química y microbiológica del agua para consumo humano

Al seleccionar la fuente de abastecimiento de agua para un proyecto determinado, el proyectista debe tener en cuenta como factor importante no sólo la cantidad, sino también la calidad del agua como criterio técnico para evitar efectos nocivos en la salud de la población; particularmente en sistemas de abastecimiento de agua potable de comunidades rurales donde las alternativas de la fuente y la posibilidad de tratamiento del agua son limitadas.

Habitualmente el agua potable es captada de manantiales o extraída del suelo mediante túneles artificiales o pozos de un acuífero. Otras fuentes de agua son: el agua de lluvia, los ríos y los lagos. Las fuentes de abastecimiento sean superficiales o subterráneas, no pueden ser utilizadas hasta que no se asegure la calidad del agua y esto puede hacerse mediante un análisis de laboratorio.

El agua debe ser tratada para el consumo humano y puede ser necesaria la extracción de sustancias disueltas, de sustancias sin disolver y de microorganismos perjudiciales para la salud.

La calidad del agua se define en función de una serie de parámetros físicos, químicos y biológicos que indican las características del agua y que la hacen apropiada o no para el uso (bebida, baño, etc.) al que se vaya a destinar.

Cada país regula por ley la calidad del agua destinada al consumo humano. Normas nacionales e internacionales sobre la calidad del agua potable protegen la salud de las personas de los efectos adversos derivados de cualquier tipo de contaminación de las aguas, garantizando su salubridad y limpieza; por ello, no puede contener ningún tipo de microorganismo, parásito o sustancia, en una cantidad o concentración que pueda suponer un peligro para la salud.

Las características generales que debe tener el agua destinada al consumo humano son:

- a) Debe estar libre de organismos patógenos (causantes de enfermedades gastrointestinales).
- b) No contener compuestos que tengan un efecto adverso, agudo o crónico sobre la salud humana.
- c) Aceptablemente clara (por ejemplo: baja turbiedad, poco color).
- d) No salina (salobre).
- e) Que no contenga compuestos que causen sabor u olor desagradables.
- f) Que no cause corrosión o incrustaciones en el sistema de abastecimiento de agua, ni que mache la ropa lavada con ella.

El parámetro más importante que determina si el agua es apta o no para beber es la calidad bacteriológica. Los parámetros biológicos indican la cantidad y especies de microorganismos en el agua. Los más importantes son las bacterias coliformes, los coliformes totales, estreptococos fecales y clostridios sulforreductores. Los coliformes y los estreptococos fecales, son gérmenes, en principio inofensivos, que se hallan en el intestino de los seres humanos y de los animales. Sin embargo su presencia indica contaminación fecal reciente, que normalmente está asociada con la presencia de gérmenes patógenos. Muchos tipos de bacterias coliformes están presentes en el suelo, como por

ejemplo los conocidos como Escherichia-coli (E-coli) y Estreptococo Fecal. El agua debe estar totalmente exenta de estas bacterias o no puede considerarse apta para ser bebida.

Los siguientes criterios de calidad bacteriológica son, por lo general, aplicables a sistemas rurales de abastecimientos de agua potable [1]:

- a) Coliformes (número promedio presente en el agua de bebida muestreada), inferior a 10 por 100 ml.
- b) E. Coli, inferior a 2.5 por 100 ml.

Las concentraciones o valores de los parámetros para considerar que el agua es apta para el consumo humano se muestran en la Tablas 2.4, 2.5 y 2.6.

Tabla 2.4. Parámetros que afectan la calidad estética y organoléptica del agua potable [2].

Parámetro	Unidad de medida	Concentración o valor
Color	mg/l Pt/Co escala	15
Turbiedad agua superficial agua subterránea	Unidades nefelométricas de turbiedad	5 10
Olor		inofensivo
Sabor		inofensivo
Ión hidronio (i)	valor de pH	6,5 a 8,5
Conductividad	$\mu\text{S/cm}$	1500
Sulfato (ii)	mg/l como SO_4	400
Cloruro	mg/l Cl	400
Calcio (iii)	mg/l como Ca	30 - 150
Magnesio	mg/l como Mg	30 - 100
Sodio	mg/l como Na	200
Alcalinidad (iii)	mg/l como CaCO_3	25
Dureza total	mg/l como CaCO_3	100 - 500
Residuo seco total	mg/l	1000 (180°C)
Oxidabilidad	mg/l como O_2	5
Aluminio (i)	$\mu\text{g/l}$ como Al	200
Hierro (i)	$\mu\text{g/l}$ como Fe	300
Manganeso (i)	$\mu\text{g/l}$ como Mn	100
Cobre (i)	$\mu\text{g/l}$ como Cu	1000
Cinc (i)	$\mu\text{g/l}$ como Zn	5000
Material extractable (i) (éter de petróleo)	$\mu\text{g/l}$	10
Extracto carbón cloroformo (i)	$\mu\text{g/l}$ residuo seco	200

- (i) Parámetro no exceptuable.
- (ii) 30 mg/l ó menos si el contenido de sulfato es inferior a 400 mg/l. Para concentraciones de sulfato menor a 200 mg/l se acepta hasta 100 mg/l de magnesio.
- (iii) Valor mínimo para aguas con dureza menor a 100 mg/l como CaCO₃.

Tabla 2.5. Parámetros que afectan la salud [2].

Parámetro	Unidades de medidas	Concentración máxima
Arsénico	mg/l como As	0.100
Cadmio	mg/l como Cd	0.005
Cianuro	mg/l como CN	0.100
Cromo total	mg/l como Cr	0.050
Mercurio	mg/l como Hg	0.001
Plomo	mg/l como Pb	0.050
Selenio	mg/l como Se	0.010
Fenoles	mg/l como C ₆ H ₅ OH	0.100
Nitrato	mg/l como N de NO ₃	10
Nitrito	mg/l como N de NO ₂	0.9
Amonio	mg/l como N de NH ₄	0.4
Bario	mg/l como Ba	1.0
Fluoruro	mg/l como F	1.5

Tabla 2.6. Requisitos biológicos y microbiológicos que debe presentar el agua potable [3].

Requisitos biológicos	
Parásitos y protozoarios	ausencia
Requisitos microbiológicos	Valor máximo admisible
Recuento total	500 UFC/ml
Coliformes totales	ausencia
Coliformes fecales	ausencia

Nota: UFC - Unidades Formadoras de Colonias.

2.3. Sistemas de abastecimiento de agua potable

La elaboración del diseño de un sistema de abastecimiento de agua exige como elementos básicos: fijación de las cantidades de agua a suministrar, que determinarán la capacidad de las diferentes partes del sistema; estudios sobre cantidad y calidad del agua disponible en las diferentes fuentes; reconocimientos del suelo y subsuelo; reunión de informaciones y antecedentes indispensables para el diseño, para la justificación de las soluciones adoptadas, para la preparación de su presupuesto, etc.

2.3.1. Sistema de abastecimiento de agua por gravedad

En estos sistemas el agua cae por acción de la fuerza de la gravedad desde una fuente elevada ubicada en cotas superiores a las de la población a beneficiar. El agua fluye a través de tuberías para llegar a los consumidores finales. La energía utilizada para el desplazamiento es la energía potencial que tiene el agua por su altura.

Las ventajas principales de este tipo de sistema son:

- a) No tienen gastos de bombeo.
- b) El mantenimiento es pequeño porque apenas tienen partes móviles.
- c) La presión del sistema se controla con mayor facilidad.
- d) Robustez y fiabilidad.

Incluso los sistemas bombeados suelen diseñarse para distribuir el agua por gravedad a partir de un punto determinado.

2.3.2. Sistema de abastecimiento de agua por bombeo

En los sistemas de agua potable por bombeo, la fuente de agua se encuentra localizada en elevaciones inferiores a las poblaciones de consumo, siendo necesario transportar el agua mediante sistemas de bombeo a reservorios de almacenamiento y regulación ubicados en cotas superiores al centro poblado.

Generalmente los sistemas bombeados son diseñados para que el agua sea distribuida por la fuerza de la gravedad, saliendo desde un punto determinado. Estos sistemas ayudan a que se pueda distribuir una gran cantidad de agua para cada una de las personas, por un precio que puede ser pagado por toda la comunidad.

2.4. Consideraciones a seguir para la selección del sistema de abastecimiento de agua

Los factores que generalmente inciden en la selección apropiada de una solución tecnológica para el abastecimiento de agua son de tipo técnico, económico, social y cultural. La secuencia de su aplicación debe ser analizada de forma tal que permita establecer la opción tecnológica y el nivel de servicio más convenientes y que mejor se ajusten a las condiciones de las comunidades rurales a ser atendidas.

Se define como opción tecnológica a la solución de ingeniería que pueda aplicarse en función de las condiciones físicas, económicas y sociales de la comunidad. Son ejemplos de opción tecnológica los sistemas de abastecimiento de agua con o sin tratamiento y por bombeo o gravedad.

Así mismo, el nivel de servicio se define como el grado de satisfacción en la utilización de las opciones tecnológicas, pudiendo ser familiar o multifamiliar. Son ejemplos de nivel de servicio: el abastecimiento a escala individual o multifamiliar, a partir de pequeñas fuentes de agua de uso exclusivo; de alcance comunitario, por medio de piletas públicas; y a nivel individual, por conexiones domiciliarias enlazadas al servicio público de abastecimiento de agua.

Hay que tener en cuenta determinados factores que constituyen una herramienta indispensable para la toma de decisiones en la implementación de servicios de abastecimiento de agua en el medio rural. Estos factores se refieren básicamente a aspectos técnicos, económicos, sociales y culturales que al interrelacionarse permiten la selección de la opción tecnológica y el nivel de servicio que mejor se ajusten a las necesidades y expectativas de las comunidades evaluadas.

2.4.1. Consideraciones técnicas para la selección del sistema de abastecimiento de agua

- a) Dotación: La dotación promedio diaria anual por habitante, se fijará en base a un estudio de consumos técnicamente justificado, sustentado en informaciones estadísticas comprobadas. Si se comprobara la no existencia de estudios de consumo y no se justificara su ejecución, se considerará por lo menos para sistemas con conexiones domiciliarias una dotación de 200 l/hab/d, en clima frío y de 250 l/hab/d, en clima templado y cálido. Para sistemas de abastecimiento indirecto por surtidores para camión cisterna o piletas públicas, se considerará una dotación entre 30 y 50 l/hab/d respectivamente [4].
- b) Fuente: Es indispensable identificar el tipo y procedencia de las fuentes existentes para analizar cuál de todas es la más conveniente.
- c) Rendimiento de la fuente: Determina la cantidad y disponibilidad de agua que puede ser destinada al abastecimiento de agua, y permite definir el nivel de servicio al que puede acceder la comunidad a ser beneficiada.
- d) Ubicación de la fuente: La fuente de agua puede estar ubicada por encima o por debajo de la localidad y permite definir si el abastecimiento es por gravedad o por bombeo.

2.4.2. Consideraciones sociales para la selección del sistema de abastecimiento de agua

- a) Categoría de la población: Se considera como comunidad rural a las localidades cuya población normalmente no es mayor a 2000 habitantes. Sin embargo, el algoritmo puede ser aplicado a localidades con mayor número de habitantes, si su patrón corresponde a la de una localidad rural.

- b) Características de la población: La característica está vinculada con la distribución espacial de la población y puede ser:
- Concentrada: Corresponde a las localidades con viviendas agrupadas formando calles y vías que determinan un crecimiento con tendencia a un núcleo urbano.
 - Dispersa: Son localidades con viviendas distanciadas unas de otras y sin un orden de desarrollo preestablecido.
- c) Tipo de servicio: Viene a estar representado por el resultado o la definición de la opción tecnológica y nivel de servicio que mejor se adecúan a las necesidades de la comunidad y que responden a las características físicas, económicas y sociales de la misma. Al efecto, se han considerado tres niveles básicos: familiar, multifamiliar y comunal.
- Familiar: Permite la atención de una a cinco familias.
 - Multifamiliar: Facilita la atención a grupos que van de cinco a 25 familias.
 - Comunal: Permite la atención de grandes grupos de familia.

2.4.3. Consideraciones económicas para la selección del sistema de abastecimiento de agua

La condición económica es un factor muy importante porque permite limitar la opción tecnológica y el nivel de servicio, al afectar directamente el monto de inversión para la construcción del sistema o los gastos de operación y mantenimiento. Teniendo en cuenta los niveles de ingresos económicos de las poblaciones a ser atendidas, puede ser bajo, medio o alto.

- a) Bajo: Cuando los ingresos familiares corresponden a la mitad del valor de la canasta familiar básica.
- b) Medio: Corresponde a ingresos familiares equivalentes al valor de la canasta familiar básica.
- c) Alto: Cuando los ingresos familiares equivalen a dos o más veces el valor de la canasta familiar básica.

2.5. Fuentes de abastecimiento de agua potable en zonas rurales

El primer paso para diseñar un sistema de agua potable, es elegir una fuente de agua que tenga buena calidad y que produzca agua en cantidad suficiente como para abastecer a la población que se desea servir.

Las fuentes de abastecimiento de agua pueden ser subterráneas, superficiales y pluviales. Para la selección de la fuente de abastecimiento deben ser considerados los requerimientos de la población, la disponibilidad y la calidad de agua durante todo el año, así como todos los costos involucrados en el sistema, tanto de inversión como de operación y mantenimiento.

El tipo de fuente de abastecimiento influye directamente en las alternativas tecnológicas viables. El rendimiento de la fuente de abastecimiento puede condicionar el nivel de servicio a brindar. La operación y el mantenimiento de la alternativa seleccionada deben

estar de acuerdo a la capacidad de gestión de los beneficiarios del proyecto, a costos compatibles con su perfil socio económico.

2.5.1. Agua pluvial como fuente de abastecimiento de agua

La captación de agua de lluvia para consumo humano se emplea en aquellos casos en los que no es posible obtener aguas superficiales y subterráneas de buena calidad. Está recomendada sólo para zonas rurales o urbano marginales con niveles de precipitación pluviométrica que hagan posible el adecuado abastecimiento de agua de la población beneficiada, es decir, en aquellas zonas donde la precipitación pluvial es de intensidad considerable.

Uno de los requisitos para el diseño de sistemas de captación de agua de lluvia es que la demanda de agua debe considerar un mínimo de cuatro litros por persona/día para ser destinada solamente a la bebida, preparación de alimentos e higiene bucal.

La captación de aguas de lluvia se efectúa mediante preparación de un área suficientemente extensa como para coleccionar el agua de lluvia necesaria para el abastecimiento de la localidad a servir. El dimensionamiento de las canalizaciones propias del sistema, debe apoyarse en lo posible en una base pluviográfica de la región. Comúnmente, la captación se efectúa mediante plateas receptoras que impermeabilizan el área en cuestión, dando pendiente que facilite el escurrimiento hacia canaletas y cañerías que conducen el agua hasta las cisternas de almacenamiento, elemento indispensable del sistema.

En cuanto a su calidad, las aguas de lluvia coleccionadas pueden contener sólidos disueltos en bajísima concentración y muy baja turbiedad, especialmente si la explotación de las áreas de colección se efectúa racionalmente.

El sistema de captación de agua de lluvia para consumo humano se compone de cuatro partes: captación, recolección, interceptor, almacenamiento. Ver Fig. 2.2.

La captación está conformada por el techo de la vivienda, el mismo que podrá ser de tejas, esquisto, hierro galvanizado (corrugado) o aluminio, si es que se sigue las medidas de limpieza y protección. Los techos de paja no son adecuados debido a los riesgos para la salud. Asimismo deberá tener una pendiente no menor al 5% en dirección a las canaletas de recolección del agua de lluvia, de lo contrario, se formarán “lagunitas” que pueden convertirse en lugares de reproducción de mosquitos.

En intervalos en los cuales prácticamente no hay lluvia o hay muy poca lluvia se acumulará en el techo y canaletas, polvo, hojas muertas y deyecciones de aves, por lo que se requiere tomar las medidas adecuadas de limpieza y protección para salvaguardar la calidad fisico-química del agua pluvial recolectada. Estos depósitos serán lavados por las primeras nuevas lluvias. Puede ser útil arreglar la tubería de descenso de tal forma que la primera agua de cada lluvia (“el chorro sucio”) pueda ser separada del contenedor o recipiente de agua clara y se le permita correr al desagüe. Además se debe colocar una malla de alambre sobre el tope del tubo de descenso para evitar que se atore con material que haya sido arrastrado por lavado. Ver Fig. 2.3.

La recolección se da mediante un conjunto de canaletas situadas en las partes más bajas del área de captación con el objeto de recolectar el agua de lluvia y de conducirla hacia el interceptor. La canaletas podrán ser de PVC, metálicas galvanizadas, bambú o cualquier otro material que no altere la calidad físico – química del agua recolectada. Se recomienda que las canaletas estén fuertemente adosadas a los bordes más bajos del techo y que las uniones entre canaletas sean lo más lisas posibles para evitar el represamiento del agua.

El interceptor es un dispositivo dirigido a captar las primeras aguas de lluvia correspondientes al lavado del área de captación y que pueden contener impurezas de diversos orígenes.

El almacenamiento se realiza en depósitos destinados a la acumulación, conservación y abastecimiento del agua de lluvia con fines domésticos. El volumen del tanque de almacenamiento será determinado a partir de la demanda de agua, de la intensidad de las precipitaciones y del área de captación. Las instalaciones de almacenamiento pueden estar sobre o bajo tierra.

Cualquiera que sea el tipo de almacenamiento que se escoja, debería cercarse para prevenir que cualquier contaminación proveniente de humanos o animales, hojas, polvo, u otros contaminantes ingresen al contenedor de almacenamiento. Una cubierta hermética asegurará condiciones de oscuridad en el almacenamiento, de tal forma que se evite así el crecimiento de algas y la reproducción de larvas de mosquitos. Por lo general los recipientes abiertos o estanques de almacenamiento no son apropiados como fuentes de agua de bebida.

El agua retirada del tanque de almacenamiento podrá ser tratada por medio de filtros de mesa o filtración seguida la cloración o cualquier otro proceso de desinfección.

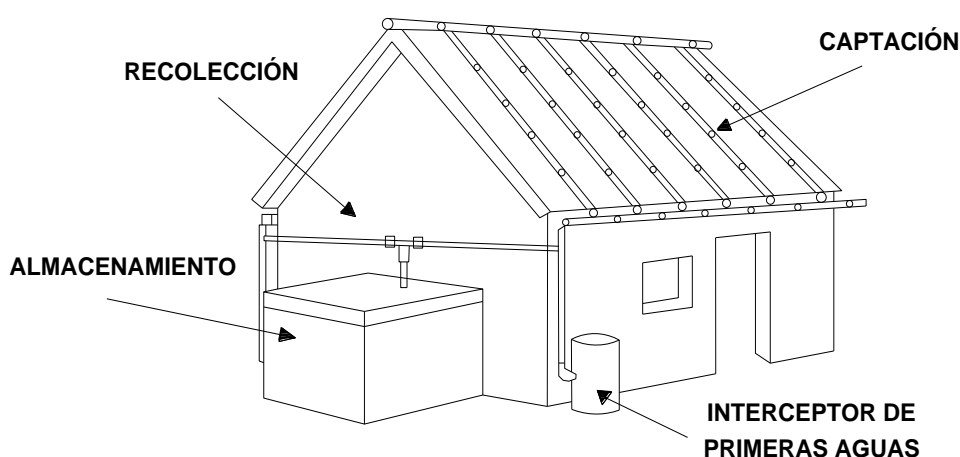


Fig. 2.2. Componentes de un sistema de captación de agua de lluvia.

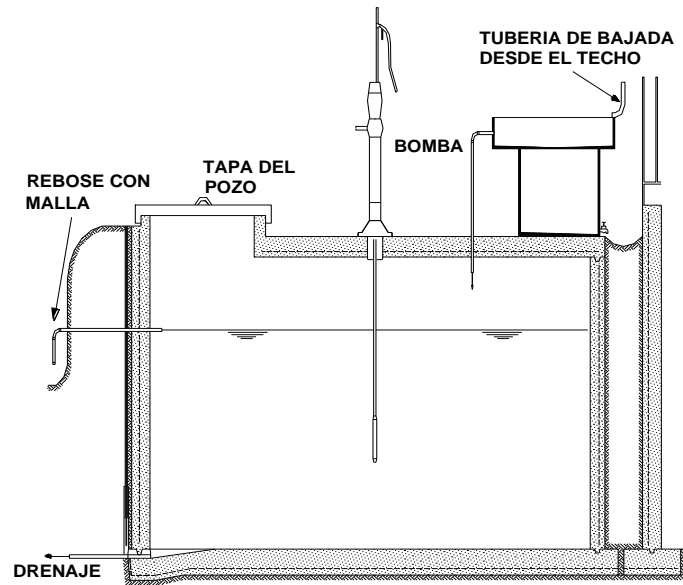


Fig. 2.3. Arreglo de almacenamiento de agua pluvial [1].

La escorrentía de agua pluvial también se puede recolectar mediante instalación de captación de agua en el suelo. La cantidad de agua pluvial que puede recolectarse en captaciones en el suelo dependerá de si los elementos de captación son planos o inclinados, y de la impermeabilidad de la capa superior. Mediante la preparación de la superficie del terreno se puede asegurar un flujo de agua lo suficientemente rápido hasta el punto de recolección y almacenamiento con el fin de reducir las pérdidas por evaporación y por filtración [1].

La porción de agua de lluvia que se puede recolectar fluctúa aproximadamente entre 30% en captadores permeables tendidos en suelo plano, a casi el 90 % en captadores colocados en hileras inclinadas (con pendiente) y cubiertos con material impermeable [1].

2.5.2. Fuente superficial

Las aguas superficiales están constituidas por arroyos, ríos, lagos, etc. que discurren naturalmente en la superficie terrestre. Estas fuentes no son tan deseables, especialmente si existen zonas habitadas o de pastoreo animal aguas arriba. Sin embargo a veces no existe otra fuente alternativa en la comunidad, siendo necesario para su utilización, contar con información detallada y completa que permita visualizar su estado sanitario, caudales disponibles y calidad de agua.

Antes de que pueda ser usada para bebida y para propósitos domésticos, el agua superficial deberá ser potabilizada de la siguiente manera:

- a) Floculación: Con productos químicos se la “limpia” de las sustancias que la enturbian.
- b) Decantadores: Se hace sedimentar los coágulos formados en la 1ª instancia mediante un pasaje lento por decantadores.
- c) Filtración: Luego de ser decantada, el agua es filtrada mediante filtros especiales que aseguran que no se contamine ni se vea infectada por ningún agente patógeno.

d) Desinfección: El agua filtrada pasa a depósitos llamados cisternas para ser depuradas con el agregado de cloro en cantidades permitidas.

La captación de aguas superficiales incluye, como parte fundamental, las obras de toma, destinadas a derivar o extraer de la fuente el agua necesaria para el abastecimiento. Si se trata de abastecimiento a pequeñas localidades, los caudales a captar serían pequeños por lo que las obras pueden ser relativamente económicas. Sin embargo, muchas veces no es posible construir pequeñas plantas de tratamiento de acuerdo con las técnicas requeridas. Lo importante es que dentro de su sencillez se proyecten de manera que aseguren la continuidad del servicio.

La calidad del agua superficial puede estar comprometida por contaminaciones provenientes de la descarga de desagües domésticos, residuos de actividades mineras o industriales, uso de defensivos agrícolas, presencia de animales, residuos sólidos, y otros. Como recomendaciones de carácter general, conviene recordar que debe procurarse captar el agua de los niveles superiores, donde es menor el contenido de sólidos en suspensión y que el ingreso del agua debe protegerse con rejas o dispositivos equivalentes contra ingreso de cuerpos gruesos incompatibles con los conductos de toma, sistemas de bombeo, etc.

En caso de la utilización de aguas superficiales para abastecimiento, además de conocer las características físico químicas y bacteriológicas de la fuente, será preciso definir el tratamiento requerido para que cumpla con los requerimientos de calidad para consumo humano.

Para abastecimientos de agua de comunidades pequeñas, siendo poca la cantidad de agua necesaria, a menudo se puede usar estructuras de captación muy simples que consisten en arreglos simples usando tuberías flexibles de plástico [1]. Ver Fig. 2.4.

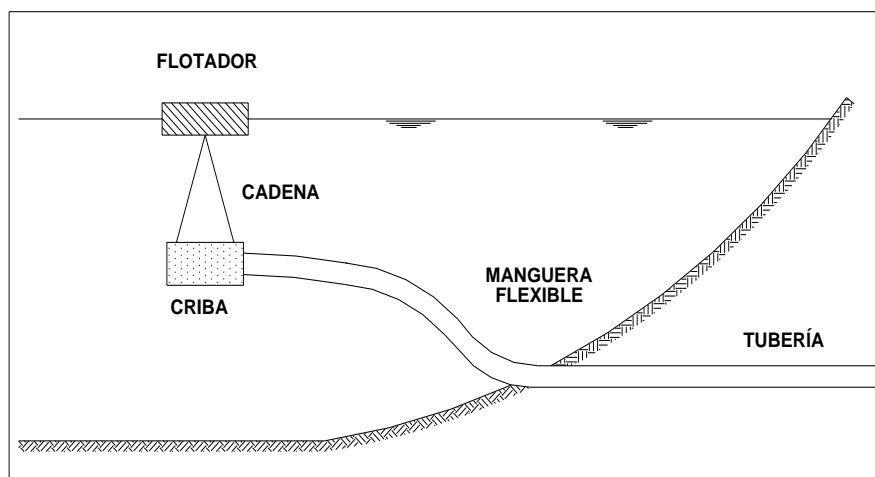


Fig. 2.4. Esquema de estructura simple de captación de agua superficial [1].

2.5.3. Fuente subterránea

Parte de la precipitación en la cuenca se infiltra en el suelo hasta la zona de saturación, formando así las aguas subterráneas. La calidad y cantidad del agua subterránea disponible varía de sitio a sitio. La explotación de éstas dependerá de las características hidrológicas y de la formación geológica del acuífero.

Los diferentes sistemas de captación de aguas subterráneas pueden dividirse en los siguientes grupos:

- a) Captaciones Horizontales: Correspondiente a zanjas, drenes y galerías.
- b) Captaciones Verticales: Pozos excavados o convencionales y pozos perforados o sondeos mecánicos.
- c) Captaciones Mixtas: Pozo con drenes radiales y galerías con pozos.

En las zonas rurales el agua subterránea constituye la mejor alternativa como fuente de abastecimiento por tener las siguientes ventajas:

- a) Exige pequeñas inversiones iniciales en comparación con las de plantas de filtros para tratamiento de aguas superficiales (gran importancia cuando los capitales son escasos).
- b) Captaciones próximas al consumo sin grandes obras de aducción ni de distribución interna.
- c) Por lo general, no necesita tratamiento especial: pequeña cloración antes de entregar al consumo.
- d) Soluciona problemas de abastecimiento en forma rápida, corto tiempo de construcción.
- e) Permite solucionar problemas locales de regadío sin tener que esperar para acogerse a las grandes soluciones propiciadas por el estado.
- f) Los recursos de agua subterránea se ven poco afectados por años secos individuales (gran capacidad de regulación).
- g) En muchas zonas constituye el único recurso económicamente disponible.

El agua subterránea es una fuente vital de agua para beber y para el riego agrícola. Sin embargo es fácil de agotarla o contaminarla porque se renueva muy lentamente. Si se usa racionalmente, puede sacarse de los acuíferos a través de pozos de gran diámetro o norias durante todo el año. Lógicamente para que sea factible el uso del agua subterránea, habrá que contar con agua en cantidad suficiente, a profundidad no excesiva y de calidad naturalmente potable o fácilmente transformable en agua potable.

El agua subterránea resulta ser de una calidad sanitaria superior. La mayoría de las aguas subterráneas no contiene materia en suspensión, ya que aparecen como naturalmente filtradas y prácticamente están libres de bacterias. Por lo general es clara y sin olor. Estas características contrastan con las del agua superficial, puesto que ésta última es corrientemente turbia y contiene considerable cantidad de bacterias. Su temperatura es relativamente constante, factor muy importante en algunos casos. Por esta razón las aguas subterráneas han sido utilizadas exitosamente como fuente de abastecimiento de agua potable en muchas zonas del país. Resultando de gran aplicación para el caso de las comunidades rurales que nos ocupa.

Es cierto que las fuentes subterráneas protegidas generalmente están libres de microorganismos patógenos y presentan una calidad compatible con los requisitos para

consumo humano. Sin embargo, previamente a su utilización es fundamental conocer las características del agua, para lo cual se tendrá que realizar los análisis físico-químicos y bacteriológicos correspondientes.

Las aguas freáticas o de primera napa pueden utilizarse cuando constituyan la única fuente económicamente utilizable. Su nivel oscila grandemente y está directamente influenciado por el régimen de lluvias; su calidad es variable y aunque física y químicamente sea aceptable, existe siempre el peligro de su contaminación microbiológica, sobre todo en zonas pobladas sin redes de desagüe cloacales. Por ello, de resolverse su empleo, habrá que hacerlo mediante pozos excavados o perforados, convenientemente protegidos y ubicados preferentemente fuera de la zona poblada, aguas arriba de la localidad. Se utilizarán equipos de bombeo y se desinfectará el agua, manteniendo estricto y permanente control bacteriológico del agua de consumo.

2.6. Consideraciones a seguir para la selección de la fuente de abastecimiento de agua

El proceso de selección de la fuente de agua más adecuada para su desarrollo en una fuente pública, depende grandemente de las condiciones locales. En lugares en donde se dispone de un manantial de capacidad suficiente, éste puede ser la fuente de abastecimiento más adecuada. En lugares donde no se dispone de manantiales, o en los que éstos no son aptos para su desarrollo, generalmente la mejor opción es explorar los recursos de aguas subterráneas.

Para abastecimientos pequeños, por lo general serán adecuados los simples métodos prospectivos de exploración. Para abastecimientos más grandes, es probable que se necesite investigaciones geohidrológicas más extensas, usando métodos y técnicas especiales.

Se puede considerar los drenes de filtración (o galerías filtrantes) para fuentes de agua subterránea de poca profundidad. Los pozos excavados pueden ser adecuados para llegar al agua subterránea que está a profundidad media. Los pozos entubados, por lo general, son más adecuados para extraer el agua de los estratos más profundos. Los pozos excavados a menudo están dentro de las capacidades locales de construcción, mientras que la perforación de pozos entubados requerirá equipo más sofisticado y experiencia considerable. En algunos casos, la única opción disponible puede que sea la perforación.

Si no se dispone de agua subterránea, o en lugares en donde los costos de excavación de un pozo o perforación de un pozo entubado son demasiado elevados, será necesario considerar el agua superficial de fuentes tales como ríos, arroyos o lagos. Casi siempre el agua superficial habrá de requerir algún tipo de tratamiento para hacerla segura para el consumo y el uso humano. Es preciso considerar cuidadosamente los costos y dificultades asociados con el tratamiento del agua, particularmente los problemas diarios de operación y mantenimiento involucrados en las plantas de tratamiento de agua.

En lugares en donde el patrón de lluvia permite la recolección del agua pluvial y donde se puede proveer el almacenamiento durante períodos de sequía, la recolección de agua pluvial puede servir perfectamente para abastecimientos a la comunidad de tipo casero o de pequeña escala. Con grandes áreas de captación se obtendrá cantidades considerables de

agua. Algunas veces se usa el agua pluvial en conjunción con otras fuentes para suplir otro abastecimiento, particularmente si éste tiene un mantenimiento pobre y sufre de desperfectos y paralizaciones.

Lo más importante al seleccionar la fuente de abastecimiento de agua potable para una población, es tener en cuenta factores como: rendimiento de la fuente, indispensable para garantizar que se cumpla con la demanda de agua requerida todos los meses del año; la calidad del agua que posee la fuente, para saber que tan contaminada puede estar; protección, para ver que tan expuesta puede estar a la contaminación; viabilidad, si es de costo razonable; y la posibilidad de tratamiento, referida a la factibilidad para tratar adecuadamente el agua de acuerdo a las condiciones vigentes en el lugar.

2.7. Conclusiones preliminares

- a) Para llevar a cabo un uso adecuado de los recursos hídricos, es necesario tener en cuenta que cuando la explotación del agua en una zona supera la tasa de renovación en ese punto, las reservas de agua disminuyen y pueden llegar a agotarse.
- b) Todos los requerimientos de agua mencionados deben ser usados en el planeamiento preliminar y para propósitos de diseño. Pueden servir como una guía aproximativa, ya que en el diseño final se requiere contar con criterios específicos para un área considerada.
- c) Los estudios de sistemas existentes de abastecimiento de agua para pequeñas comunidades rurales en la misma área pueden proporcionar datos muy útiles acerca del uso de agua, pero se deben tomar mediciones del uso del agua en el terreno cuando sea posible.
- d) La mala calidad del agua y el saneamiento irregular afectan gravemente el estado sanitario de la población.
- e) Independientemente del tipo de sistema de abastecimiento de agua adoptado, es importante seleccionar una fuente adecuada o una combinación de fuentes para abastecer de agua en cantidad suficiente a la población.
- f) Para los sistemas rurales de abastecimiento de agua, la fuente subterránea es la que generalmente proporciona mayor seguridad desde el punto de vista sanitario y de estabilidad de gasto, siempre que se hayan tomado todas las provisiones del caso que garanticen la calidad del agua.
- g) El estudio de la fuente de provisión de agua constituye una tarea básica, de responsabilidad directa del profesional interviniente, y su aceptada elección debe considerarse como el objetivo primordial de cualquier estudio de abastecimiento de agua.
- h) Si no existiera estudios de consumo, se considerará para sistemas de abastecimiento indirecto por piletas públicas, una dotación de 50 l/hab/d.

Capítulo 3

Criterios para el diseño de los elementos de un sistema rural de abastecimiento de agua potable

3.1. Sistema adecuado de captación en zonas rurales

El agua subterránea en condiciones naturales presenta en la mayoría de los casos, características sanitarias que la hacen apta para el consumo. Este hecho es particularmente cierto en los acuíferos constituidos por gravas y arenas en los que se verifica un proceso natural de filtración.

Las aguas subterráneas representan las formaciones más explotadas. Esto debido a que las fuentes de agua superficial tienen mayor probabilidad de estar contaminadas y están más sujetas a la fluctuación estacional. A menudo se puede continuar con las extracciones de agua subterránea mucho después de que las condiciones de sequía hayan agotado los ríos y arroyos.

Para proteger las características naturales del agua subterránea, que se traducen en una protección directa de la salud, se deberán tomar las medidas necesarias de preservación. Es evidente que los resultados serán positivos si el diseño de la captación cumple fielmente ciertos requisitos básicos basados en una serie de premisas de carácter técnico.

Se pueden utilizar las aguas subterráneas captándolas directamente de manantiales o perforando el suelo para construir pozos, que constituyen uno de los métodos más antiguos para la obtención de agua.

La construcción de un pozo deberá presentar una adecuada protección sanitaria, se perforará hasta la profundidad indicada por la ubicación del estrato seleccionado, y cuando sea necesario contará con revestimiento y filtro y se proveerá la bomba y demás accesorios para la conducción del agua hasta el lugar de distribución. El diseño también tomará en cuenta el rendimiento probable del pozo, tipo de formaciones geológicas a perforar, profundidad y espesor de los distintos estratos acuíferos y la cercanía a fuentes de contaminación existentes o probables.

En la zona rural se puede captar el agua subterránea a través de: manantiales, pozos de gran diámetro o norias y pozos tubulares.

Los manantiales son fuente natural de agua que brota de la tierra o entre las rocas. Estas surgencias suelen ser abundantes en relieves de las regiones andinas del país.

Los pozos tubulares, por lo general, son más adecuados para extraer el agua de los estratos más profundos, en cambio los pozos de gran diámetro a tajo abierto o norias se pueden usar ventajosamente para ubicar los estratos menos profundos de agua subterránea. La noria es un sistema que permite extraer el agua subterránea desde una profundidad inferior a los siete metros.

3.1.1. Manantiales

Un manantial, es un flujo natural de agua que surge del interior de la tierra o entre las rocas. Puede ser permanente o temporal. Se origina en la filtración de agua, de lluvia o de nieve, que penetra en un área y emerge en otra, de menor altitud, donde el agua no está confinada en un conducto impermeable. Más precisamente, se trata de puntos o zonas de un terreno en los que una cantidad apreciable de agua fluye a la superficie de modo natural, procedente de un acuífero o depósito subterráneo. Estas surgencias o brotes naturales de aguas subterráneas se encuentran principalmente en terrenos montañosos o empinados y suelen ser abundantes en relieves kársticos.

Los manantiales son las fuentes de agua natural de mejor calidad. Esto se debe al hecho de que el recurso, antes de surgir a la superficie terrestre, ha viajado por kilómetros de rocas, sedimentos y suelos que sirven como filtros naturales para remover de él todo tipo de contaminantes y, en muchos casos, lo han enriquecido con preciosos minerales y sustancias que los seres humanos necesitan.

3.1.1.1. Clasificación de los manantiales

Los manantiales se pueden clasificar de acuerdo con varios criterios:

- a) Según el tipo de surgimiento de las aguas, se denominan: rocosos, los que brotan entre rocas basales; y, de vertedero o "vertientes", cuando el lugar de la salida original de las aguas queda obturado por rocas de desprendimiento que la obligan a brotar en la superficie por un conducto situado generalmente en la parte inferior de la ladera.
- b) Según la dirección del curso que las aguas subterráneas siguen antes de su salida al exterior, se dividen en: descendentes o de derrame, cuando los valles están situados bajo el nivel de las aguas subterráneas; y ascendentes, cuando las aguas manan por presión hidrostática.
- c) Según su formación se dividen en: manantiales de estratos, los cuales se forman entre capas impermeables; de desborde, cuando se localizan en el borde de capas impermeables, formando una hondonada de la cual surgen las aguas; y de turbación o de falla, que es cuando las aguas se acumulan y ascienden por fallas o fracturas en que coinciden capas permeables con capas impermeables.

- d) De acuerdo con la periodicidad de salida de sus aguas se diferencian en: manantiales perennes, pues su flujo es continuo; y episódicos, periódicos o intermitentes, si es que fluyen normalmente en tiempos cortos, de manera más o menos regular, como lo hacen por ejemplo los géiseres.
- e) Por su modo de emerger a la superficie, tendríamos: manantiales de gravedad, en los que el agua no está confinada en un lecho impermeable; y pozos artesianos, que son manantiales artificiales, provocados por el hombre mediante una perforación a gran profundidad y en la que la presión del agua es tal que la hace emerger a la superficie. Los manantiales artesianos son por lo general continuos y no dependen de la época del año; mientras que los manantiales por gravedad suelen ser periódicos y relacionados con la época del año.

En la Fig. 3.1 se muestran distintas clases de manantiales.

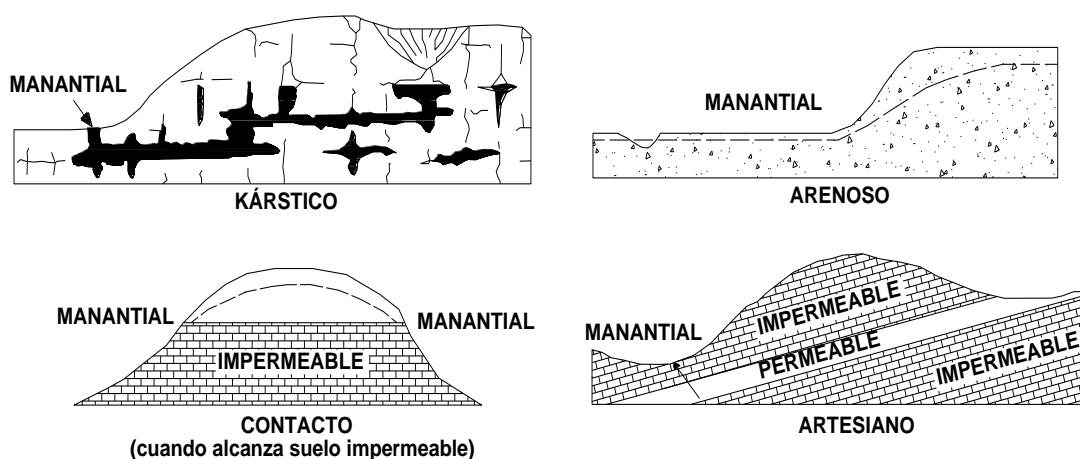


Fig. 3.1. Distintas clases de manantiales.

3.1.1.2. Captación de agua de manantiales

Para la captación de agua de manantiales se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- La composición del agua de los manantiales.- Varía según la naturaleza del suelo o la roca de su lecho; por ello, siempre debe controlarse la calidad físico química del agua para asegurar que ésta sea aceptable para el consumo humano.
- El caudal de los manantiales.- Depende de la estación del año y del volumen de las precipitaciones. Los manantiales de filtración se secan a menudo en periodos secos o de escasas precipitaciones; sin embargo, otros tienen un caudal copioso y constante que proporciona un importante suministro de agua local. El manantial deberá abastecer una cantidad mínima de agua durante todo el año.
- No debe haber ninguna fuente importante de contaminación aguas arriba del manantial y la distancia entre el manantial y la comunidad que lo aprovecha no debe ser muy grande.

Las principales condiciones que han de reunir las obras de captación de manantiales, sean de poca o gran importancia, son:

- a) Imposibilidad de alterar la calidad y cantidad del agua, ni por las disposiciones constructivas, ni por los materiales empleados.
- b) Imposibilidad de penetración de las aguas exteriores al manantial, así como de cualquier organismo extraño: insectos, animales, etc.
- c) Conservación de las condiciones físicas del agua captada, especialmente en cuanto a temperatura y gases.
- d) Regulación automática del caudal a conducir.
- e) Eliminación de arenas.

Elegida la fuente de agua e identificada como el primer punto del sistema de agua potable en el lugar del afloramiento, se construye una estructura de captación que permita recolectar el agua, para que luego pueda ser transportada mediante las tuberías de conducción hacia el reservorio de almacenamiento. La fuente en lo posible no debe ser vulnerable a desastres naturales, en todo caso debe contemplar las seguridades del caso [5].

El diseño hidráulico y dimensionamiento de la captación dependerán de la topografía de la zona, de la textura del suelo y de la clase del manantial; buscando no alterar la calidad y la temperatura del agua ni modificar la corriente y el caudal natural del manantial, ya que cualquier obstrucción puede tener consecuencias fatales; el agua crea otro cauce y el manantial desaparece [5].

Es importante que se incorporen características de diseño que permitan desarrollar una estructura de captación que considere un control adecuado del agua, oportunidad de sedimentación y facilidad de inspección y operación [5].

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. 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 [5].

Si se considera como fuente de agua un manantial de fondo y concentrado, la estructura de captación podrá reducirse a una cámara sin fondo que rodee el punto donde el agua brota. Constará de dos partes: La primera, la cámara húmeda que sirve para almacenar el agua y regular el gasto a utilizarse; la segunda, una cámara seca que sirve para proteger las válvulas de control de salida y desagüe. La cámara húmeda estará provista de una canastilla de salida y tuberías de rebose y limpia [5]. Ver Fig. 3.2.

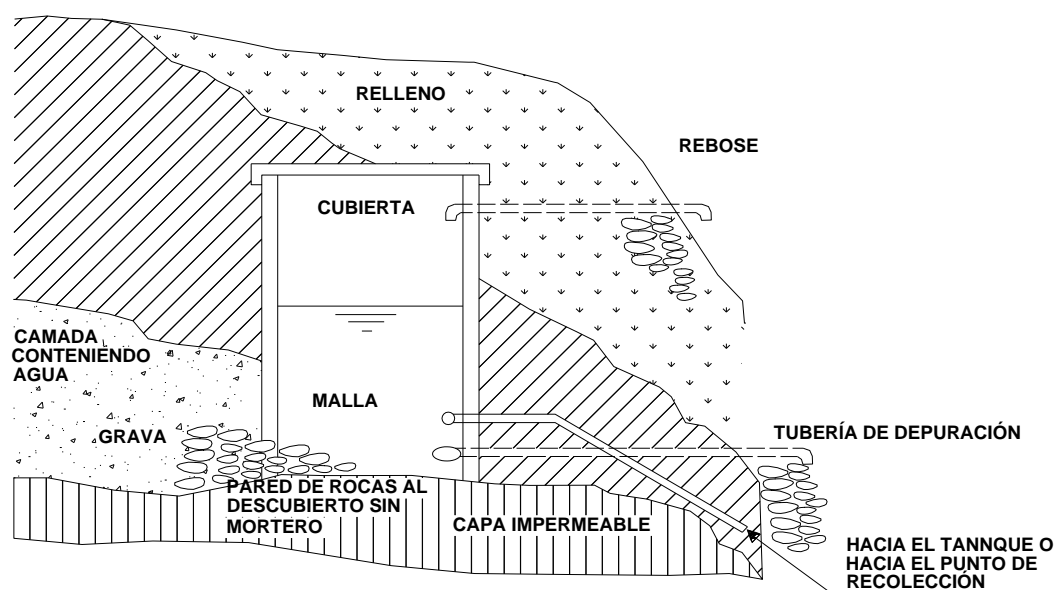


Fig. 3.2. Esquema de cámara de almacenamiento de agua de manantial.

3.1.2. Pozo excavado de gran diámetro o noria

Los pozos excavados se constituyen y explotan para la captación de aguas poco profundas. Se emplean generalmente para la captación de caudales apropiados para suministros pequeños, como en el caso de abastecimiento a comunidades rurales.

La estructura de un pozo excavado de gran diámetro o noria se puede dividir en tres partes:

- a) La excavación
- b) La obra de revestimiento
- c) La unidad de bombeo y sus accesorios

Los pozos excavados se hacen simplemente cavando un hoyo en el suelo. Por lo general, no se requiere equipo o habilidades especiales para su construcción. La ejecución del pozo puede hacerse con elementos tan simples como picos, palas y sistemas de cuerdas y poleas o tornos para la extracción del material removido. En algunos casos para la excavación se utiliza equipo mecánico como cucharas del tipo almeja.

Cuando por las características del terreno puedan producirse derrumbes o desmoronamientos durante la construcción, se deberán utilizar entibados. La entibación será reemplazada por un revestimiento permanente cuando se termine el pozo.

Los pozos deben ser revestidos y por tal motivo a la sección útil del pozo, fijada de acuerdo al diseño, se le sumará el espesor del revestimiento para obtener la sección de excavación. Los revestimientos pueden construirse de mampostería de ladrillos piedra, hormigón y en ciertos casos se han llegado a construir de metal. En la parte inferior del revestimiento, que estará en contacto con el agua, se deberán dejar orificios apropiados para facilitar la penetración del agua.

El revestimiento debe fundarse en terreno resistente. Si el terreno es muy desmoronable se recurre a pozos hincados. Se construyen por medio de anillos de hinca y el revestimiento se

va haciendo a medida que avanza la excavación. El descenso se consigue por el propio peso del anillo a medida que se va excavando. Ver Fig. 3.3.

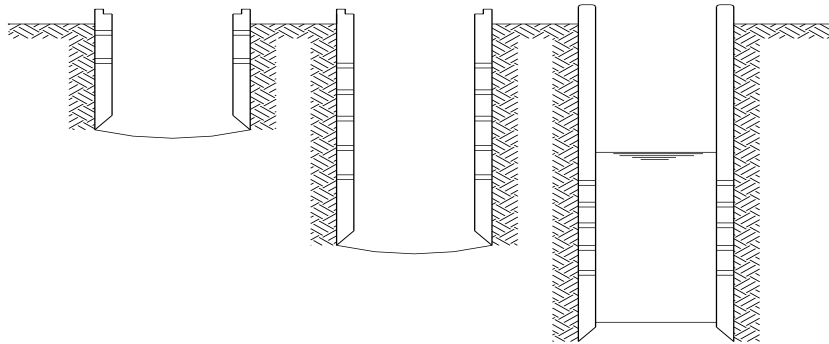


Fig. 3.3. Excavación de pozos mediante anillos de hinca.

La sección más conveniente es la circular, en razón de conseguirse una distribución más uniforme del empuje sobre las paredes del revestimiento y por las características de los esfuerzos a que estará sometido.

Se puede obtener una protección satisfactoria de la seguridad bacteriológica del agua de un pozo, únicamente si la parte superior de éste está completamente sellada con una losa hermética en la cual se monta una bomba para extraer el agua. Ver Fig. 3.4.

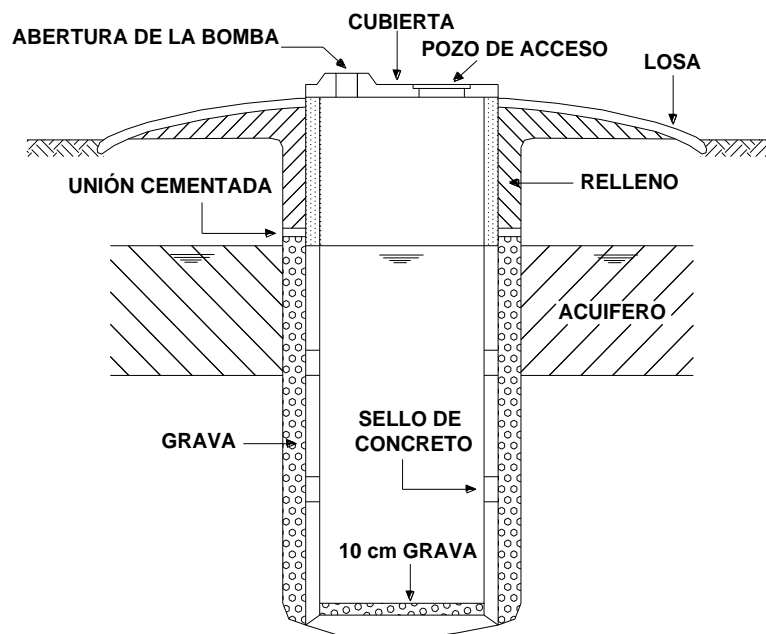


Fig. 3.4. Pozo excavado sellado herméticamente para protección sanitaria.

3.1.2.1. Consideraciones para el diseño de pozos excavados

Para el diseño de pozos excavados se debe tener en cuenta lo siguiente:

a) Ubicación

Asegurarse de que el pozo se localice corriente arriba de las potenciales fuentes de polución como letrinas de hoyo, gasolineras, basurales, recintos funerarios o que se encuentre lejos de cualquier filtración de aguas negras que podrían contaminar el acuífero de donde se surte la noria.

b) Profundidad

Se debe hacer ensayos de bomba en pozos de prueba para hallar el caudal que rinde el pozo para esa profundidad, es decir, cuando el descenso de la napa se ha estabilizado. De acuerdo a las necesidades el pozo de prueba puede profundizarse hasta obtener el caudal requerido. Este ensayo debe hacerse bajo las condiciones más desfavorables, es decir cuando se presume que la producción del acuífero es mínima.

La profundidad a la que se debe y puede cavar un pozo depende del tipo de material perforado y de la fluctuación de la napa freática. En abastecimiento a comunidades rurales la profundidad generalmente oscila entre 6 y 12 metros. Si la permeabilidad del terreno es grande se pueden construir captaciones más profundas que produzcan caudales significativos.

c) Diámetro

En general el diámetro del pozo tiene muy poca relación o influencia sobre el rendimiento del mismo. Si bien el caudal que se puede extraer de un pozo de diámetro pequeño es prácticamente igual a uno de mayor diámetro, el descenso de nivel en el más pequeño es mayor, y por lo tanto la velocidad de entrada al pozo es mayor (puede haber arrastre de arena) [6].

El diámetro de un pozo excavado debe ser de 2 - 3 m si se piensa abastecer a toda una comunidad. El diámetro interior no puede ser inferior a 1.2 m, debido a que la excavación se dificulta al llegar al acuífero, donde se deben emplear equipos de bombeo para su agotamiento.

d) Filtros en pozos excavados o norias

En el fondo del pozo se suele construir un filtro con capas de material de dimensión variable, colocándose el más grueso arriba y el más fino abajo. Este filtro conjuntamente con las perforaciones de la pared lateral, representa la superficie de entrada de agua al pozo.

3.1.2.2. Consideraciones para la construcción de pozos excavados

Para la construcción de pozos excavados se debe tener en cuenta lo siguiente:

a) Seguridad

La excavación de pozos puede ser peligrosa, tanto para los excavadores como para los observadores. Los peligros incluyen:

- Derrumbe de los costados (excavar dentro de anillos de concreto prefabricados si la tierra es inestable).
- Objetos o cubos que caen de la superficie.
- Gente o animales que se desploman en el pozo (usar cercos o tapas).
- Falta de oxígeno en el pozo.
- Los gases de escape tóxicos de un generador usado para bombear el agua.
- La entrada y salida descuidadas del pozo (usar un arnés y trípode de seguridad y por lo menos dos ayudantes en la superficie).
- Golpe eléctrico debido al aislamiento inadecuado de la bomba eléctrica o corte del cable de alimentación.
- Desmayo del trabajador debido a la fatiga.
- Condiciones antihigiénicas en el pozo (no permitir que se use el pozo como un retrete durante la excavación).

b) Sustentabilidad

- Asegurarse de que el pozo tenga una profundidad suficiente para proporcionar agua durante la estación seca.
- Usar anillos de concreto prefabricados instalados debajo del nivel de agua que permitan que entre el agua (permeables).
- Poner una capa de arena gruesa en el fondo del pozo para evitar el embancamiento.
- Usar la mezcla correcta de concreto y refuerzos y permitir que se ‘curen’ para asegurar una vida larga.
- Construir una tapa de inspección para permitir el acceso continuado al agua si la bomba se estropea.

3.1.3. Pozos tubulares

Un pozo tubular es una obra hidrogeológica de acceso a uno o más acuíferos para la captación de agua subterránea, ejecutada con sonda perforadora en forma vertical con diámetro mínimo de 101,6 mm (4”). En función de la necesidad de extracción y de la geología local podrá ser parcial o totalmente revestido.

Si se piensa en la construcción de un pozo tubular, en primer lugar, se requiere contar con un proyecto base elaborado mediante el estudio de mapas geológicos existentes, registro de datos de pozos perforados en el entorno, prospección geofísica de superficie, etc., y la restricción impuesta por el caudal requerido. En el proyecto estarán contemplados todos los datos posibles: geológicos, hidrogeológicos, características de los materiales para la perforación como también de los materiales para completar, equipamiento de bombeo, potencia a ser instalada, aducción al punto de distribución, control de la producción y

esquema de mantenimiento preventivo. Con todos estos datos reunidos se elabora el estudio de viabilidad económica del emprendimiento y se define su viabilidad/ejecutabilidad.

La ubicación, el proyecto y la selección del método de perforación son tres aspectos importantes que destacan en la perforación de un pozo; por lo cual, el proyectista debe estar atento y proveerse de todos los datos disponibles para definirlos con el mayor margen de seguridad posible. Cuando estén definidos el sitio y el proyecto del pozo, el proyectista deberá indicar el método de perforación a adoptarse. La elección del método envuelve factores de orden técnico y económico y depende también del tipo de pozo que se va a perforar y cuáles son sus finalidades.

Se deben usar los pozos tubulares cuando la napa de agua subterránea se encuentre a profundidad considerable por debajo de la superficie del terreno. Estos pozos serán efectivos en acuíferos de espesor suficiente.

La capacidad de los pozos tubulares varía en una gran escala, desde menos de 1 litro/seg para pozos superficiales de diámetro pequeño en acuíferos de arena fina, a más de 100 litros/seg para pozos profundos de diámetro más grande en arena gruesa o en depósitos de roca sedimentaria.

Los pozos entubados son muy adecuados para abastecimientos de agua potable, porque sólo serán necesarias precauciones simples para proteger de la contaminación al agua extraída de esta manera. Algunas veces, se puede usar un grupo de pozos tubulares colocados en serie y a los cuales se bombea como una unidad. Ver Fig. 3.5.

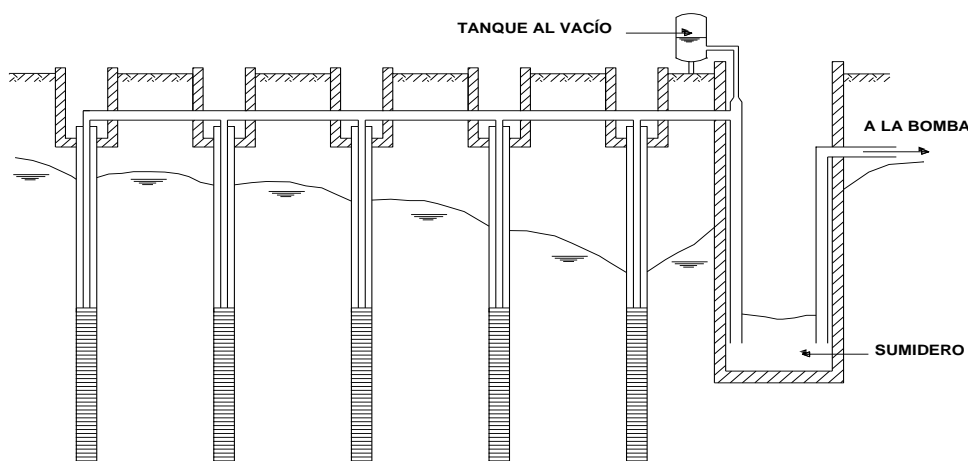


Fig. 3.5. Grupo de pozos tubulares colocados en serie.

Para abastecimiento a comunidades rurales son adecuados los pozos tubulares de poca profundidad y diámetro. La construcción de estos pozos tubulares se puede realizar mediante el clavado, el uso de chorros a presión, y el taladro. Estas técnicas nos permiten ejecutar los siguientes tipos de pozos tubulares:

3.1.3.1. Pozos clavados

Los pozos clavados (Ver Fig. 3.6) se hacen mediante la introducción de una punta de hincar con filtros (llamada “puntera”) en una formación que contenga agua. Para evitar daños a la puntera cuando se le clava a través de guijarros o capas delgadas de material duro, la punta en el extremo inferior de la criba es hecha de acero sólido, por lo general con diámetro ligeramente mayor que el de la propia criba. La mayoría de las punteras tienen un diámetro dentro de los 30-50 mm. Conforme se prosigue con el clavado y la puntera se hunde en el terreno, se enrosca secciones sucesivas de la tubería en la parte superior, de tal forma que el extremo superior de la envoltura siempre esté sobre la superficie del suelo. La puntera es “clavada” en el terreno usando un mecanismo simple para golpear la parte superior de la tubería. Se puede usar muchos arreglos (Ver Fig. 3.7).

Si luego de la terminación del pozo clavado se desinfecta completamente el interior, el agua de éste será bacteriológicamente segura y es probable que permanezca así. Sin embargo, el rendimiento de un pozo clavado es pequeño, entre 0.1 y 1 l/seg. Esto será suficiente sólo para uso domiciliario particular o de una comunidad pequeña. Para un abastecimiento mayor de agua, se puede interconectar un número de pozos clavados con una línea central de succión y se les puede bombear como una unidad, pero esta solución es algo cara. En las zonas rurales los pozos clavados tienen la ventaja de ser una instalación fácil y rápida, sin necesidad de equipo o conocimientos especializados.

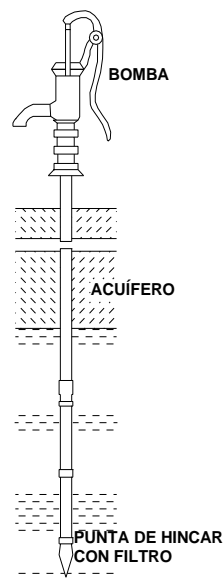


Fig. 3.6. Pozo clavado.

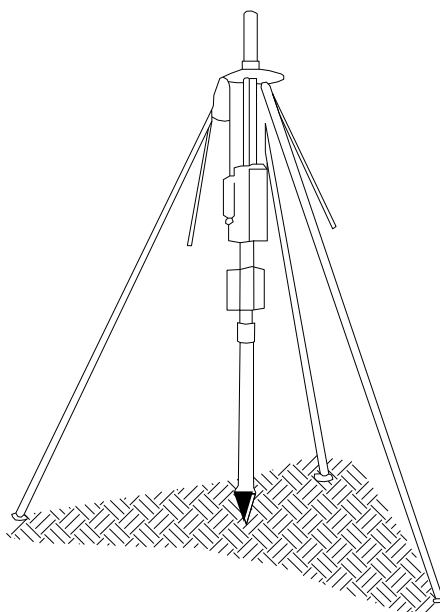


Fig. 3.7. Arreglo para clavado de pozo.

3.1.3.2. Pozos perforados a chorro

Los pozos perforados a chorro en apariencia no difieren en mucho de los pozos clavados, pero la punta en el extremo inferior de la sección filtrante es hueca en lugar de ser sólida, y el pozo se perfora a través de la acción erosiva de una corriente de agua lanzada desde la punta (Ver Fig. 3.8).

Comparada con el pozo clavado, la profundidad que se puede obtener es, en cierta forma, mayor para los mismos diámetros de aproximadamente 5-8 cm. Además la perforación de pozos con chorros es mucho más rápida. No se necesita fuerza mecánica, de tal forma que se puede usar plástico en vez de acero para la envoltura y la rejilla.

Obviamente, los pozos de chorro sólo se pueden hundir en formaciones no consolidadas. Los acuíferos arenosos son más adecuados para este método; puesto que, a menudo la arcilla y la tierra endurecida ofrecen demasiada resistencia al chorro de agua.

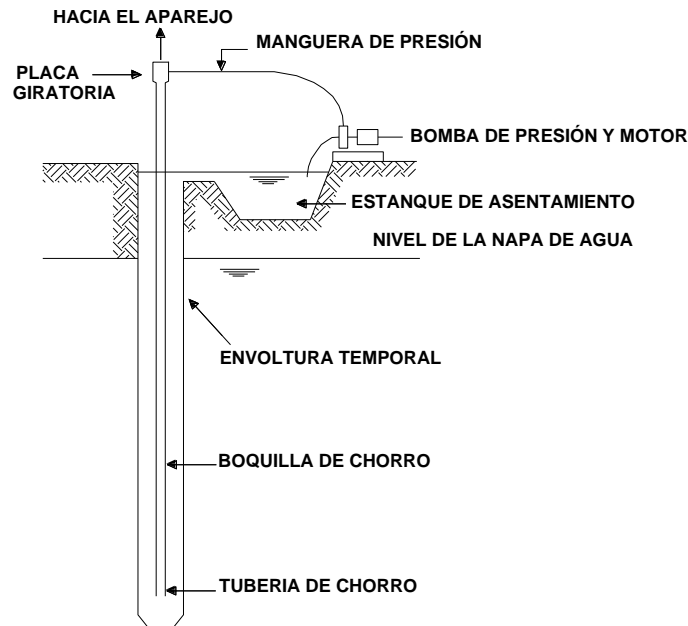


Fig. 3.8. Pozo perforado a chorro.

3.1.3.3. Pozos taladrados

La perforación de pozos “taladrados” es una técnica que se presta mejor para uso en terrenos blandos, tales como arena y caliza blanda.

Para profundidades superficiales, se emplea barrenos en espiral (Ver Fig. 3.9); para profundidades mayores se puede aplicar barrenos de tipo cubeta rotados nuevamente desde la superficie por medio de un eje de conducción. Este eje se construye de una sección de varilla de acero de 3-6 m de largo y se conecta mediante acoplamientos de acción rápida. La parte superior se llama vástago cuadrado de transmisión y tiene un corte transversal cuadrado para recibir la torsión necesaria de un tablero giratorio. En el fondo, el barreno está provisto de una cara cortante que penetra en el material del hueco y descarga en la cámara cilíndrica que se encuentra encima. Cuando se llena se saca el barreno a la superficie y se abre el fondo articulado. Cada vez que esto sea necesario, se debe desmontar el eje de conducción y acoplar nuevamente. Es una labor tediosa y que ocupa tiempo.

Por debajo de la napa de agua subterránea el barreno sí rompe las capas de tierra, pero no puede sacar a la superficie el material taladrado, ya que las cortaduras escapan del contenedor cuando se extrae el barreno del fondo del hueco. Se debe emplear un “achicador”, el cual se hace descender en el hueco usando un cable, para recolectar las cortaduras. Se mueve hacia arriba y hacia abajo el “achicador” cerca al fondo del hueco; durante el descenso, las cortaduras son atrapadas mediante una válvula de cierre. Toda la operación aumenta grandemente el tiempo requerido para la perforación de un pozo.

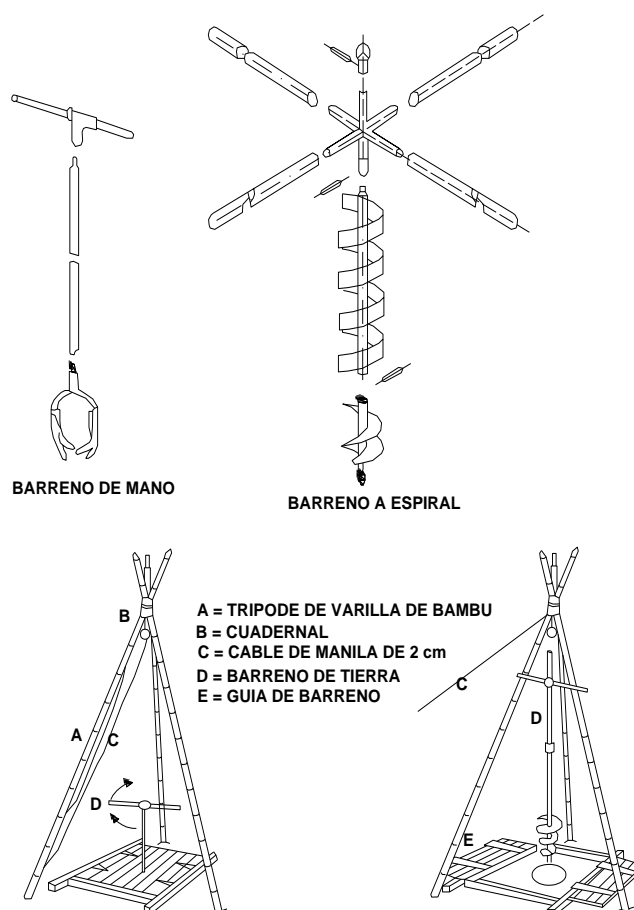


Fig. 3.9. Equipo de perforación de pozo.

Para la perforación de pozos tubulares profundos y de mayor diámetro se requiere métodos y tecnologías apropiadas, personal habilitado y equipamiento adecuado; puesto que, servirán para captar grandes cantidades de agua a profundidades mayores, o para captar acuíferos que estén cubiertos por capas de roca dura o formaciones similares de terreno.

En la perforación de los pozos el éxito de los trabajos depende de una serie de factores de orden técnico y geológico, encabezados por la elección del método de perforación adoptado. No debe olvidarse que un pozo es una obra de ingeniería hidrogeológica y geológica y no un hueco a través del cual se capta aguas subterráneas. Aceptado este principio, todas las precauciones deben ser tomadas para que el pozo sea técnicamente bien construido, convirtiéndose en una obra económicamente rentable.

3.1.4. Aspectos hidráulicos de las fuentes subterráneas

En la Fig. 3.10 se ilustra un pozo en una formación acuífera. En ella se detallan cada uno de los componentes definidos para el análisis del comportamiento hidráulico de una fuente subterránea.

a) Nivel estático

Es el nivel de agua presente en la formación acuífera antes de comenzar el bombeo. Este nivel se ve afectado por efectos meteorológicos (precipitación, infiltración) estacionales o por cargas adicionales (edificaciones), o por la descarga producida por pozos cercanos.

b) Nivel de dinámico

También llamado nivel de bombeo, porque es producido cuando comienza la descarga del acuífero por el pozo. Este nivel depende del caudal de bombeo, del tiempo de bombeo y de las características hidrogeológicas del acuífero. También se debe tener en cuenta la técnica desarrollada en el diseño de pozo.

c) Abatimiento

Bajo condiciones de extracción o inyección de un pozo, la carga hidráulica inicial en cualquier punto del acuífero cambia. En condiciones de extracción de un pozo, la distancia vertical entre la carga hidráulica inicial en un punto en el acuífero y la posición baja de la carga hidráulica para el mismo punto es llamado abatimiento. Para un acuífero libre el nivel del agua en el nivel freático está determinado por la distancia $s(x, y, z, t)$, la cual es el abatimiento. Para el caso del acuífero confinado, el abatimiento es definido con respecto a la superficie piezométrica. Este descenso de niveles, define la curva de abatimiento, por lo tanto es claro que el abatimiento presente su menor valor en lejanías del pozo y el mayor valor en el pozo. La dimensión del abatimiento es la longitud [L]. El abatimiento es generalmente expresado en metros de agua.

d) Cono de depresión

Al producirse el descenso del nivel estático del pozo, se establece un gradiente hidráulico entre cualquier punto de la formación y el pozo, originándose un movimiento radial desde todas las direcciones hacia el pozo en una forma simétrica y de tal manera que el caudal Q que se extrae del pozo es igual al caudal que pasa por cualquier sección del acuífero. A medida que la velocidad aumenta mayor será el gradiente hidráulico ya que aumenta la fricción existente entre el fluido y las partículas sólidas en contacto; es por eso que lo que se forma alrededor del pozo se le conoce como cono de depresión que sobre un plano vertical presenta una curva conocida con el nombre de curva de abatimiento. La forma, alcance y profundidad de este cono de depresión dependerá de las condiciones hidrogeológicas (transmisividad y coeficiente de almacenamiento del acuífero), del caudal y el tiempo de bombeo o inyección. En el acuífero confinado el cono de depresión es la representación de la variación de los niveles piezométricos en tanto que en el acuífero libre es además la forma real de la superficie piezométrica.

e) Capacidad específica

Es la relación que existe entre el caudal que se obtiene de un pozo y el abatimiento producido y se expresa en unidades de caudal por longitud, $[L^3/T/L]$. Este valor es contante para acuíferos confinados y variables para los acuíferos libres; es un término que representa el grado de eficiencia de un pozo ya que de dos pozos perforados en una misma formación acuífera, el de menor capacidad específica tendrá menos eficiencia. El grado de eficiencia de un pozo lo determinaremos con base en la transmisividad y el coeficiente de

almacenamiento de la formación acuífera, (con la cual podremos calcular un valor de la capacidad específica teórica) el valor de la capacidad específica real medida en el pozo.

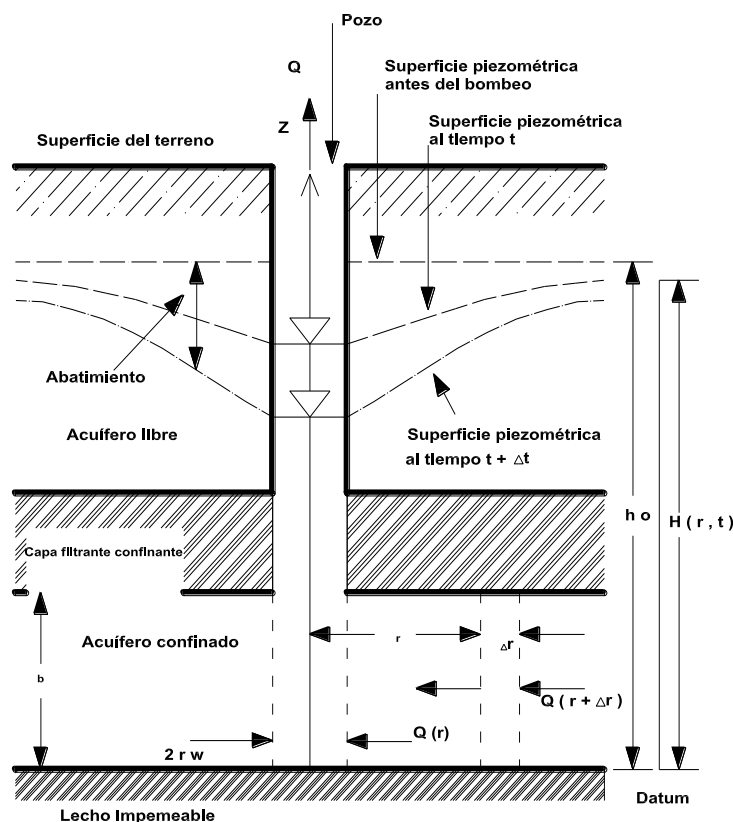


Fig. 3.10. Esquema representativo del bombeo de un pozo.

3.2. Línea de impulsión

La línea de impulsión en un sistema por bombeo, es el tramo de tubería que conduce el agua desde la estación de bombeo hasta el reservorio.

Para el diseño de la línea de impulsión se requiere de:

- Información de la población.
- Investigación de la fuente: Caudal y temporalidad.
- Plano topográfico de la ruta seleccionada.
- Estudio de suelos y si es el caso estudio geológico para determinar la estabilidad del terreno.
- Calidad fisicoquímica de la fuente.

Para el trazado de la línea de impulsión se tomará en cuenta lo siguiente:

- Evitar pendientes mayores del 30% para evitar velocidades excesivas.
- En lo posible buscar el menor recorrido siempre y cuando esto no conlleve a excavaciones excesivas u otros aspectos.
- Evitar cruzar por terrenos privados o comprometidos para evitar problemas durante la construcción y en la operación y mantenimiento del sistema.

- d) Mantener las distancias permisibles de vertederos sanitarios, márgenes de ríos, terrenos aluviales, nivel freático alto, cementerios y otros servicios.
- e) Utilizar zonas que sigan o mantengan distancias cortas a vías existentes o que por su topografía permita la creación de caminos para la ejecución, operación y mantenimiento.
- f) Evitar zonas vulnerables a efectos producidos por fenómenos naturales y antrópicos.
- g) Tener en cuenta la ubicación de las canteras para los préstamos y zonas para la disposición del material sobrante, producto de la excavación.
- h) Establecer los puntos donde se ubicarán instalaciones, válvulas y accesorios, u otros accesorios especiales que necesiten cuidados, vigilancia y operación.

3.2.1. Criterios y parámetros de diseño

Se debe tener en cuenta en el diseño ciertos criterios y parámetros que permitan dar seguridad y condiciones de servicio a un mínimo costo de inversión. Para la línea de impulsión se toma como base estos criterios y parámetros, partiendo de las condiciones a las que se encontrará sometida la tubería, como su entorno y el tipo de fluido que conducirá.

3.2.1.1. Caudal de diseño

El caudal de una línea de impulsión será el correspondiente al consumo máximo diario para el período de diseño. Tomando en cuenta que no resulta aconsejable ni práctico mantener períodos de bombeo de 24 horas diarias, habrá que incrementar el caudal de acuerdo a la relación de horas de bombeo, satisfaciendo así las necesidades de la población para el día completo. Ver expresión 3.1.

$$Q_b = Q_{md} \times \frac{24}{N} \quad (3.1)$$

Donde:

- Q_b Caudal de bombeo, l/s.
- N Número de horas de bombeo.
- Q_{md} Caudal máximo diario, l/s.

3.2.1.2. Diámetro de la tubería

Los criterios de elección del diámetro de la tubería se basan en un análisis técnico - económico.

a) Criterio Técnico

La elección de la dimensión del diámetro depende de la velocidad en el conducto, velocidades muy bajas permiten sedimentación de partículas y velocidades altas producen vibraciones en la tubería, así como pérdidas de carga importantes, lo que repercute en un costo elevado de operación.

b) Criterio Económico

El cálculo económico, está basado en:

- Datos de inversión inicial.
- Costo de la tubería instalada por metro lineal.
- Costo del equipo de bombeo instalado por cada HP o KW.
- Datos de inversión por explotación.
- Costo anual de operación.
- Valor presente de operación en 10 años.

Un procedimiento para la selección del diámetro más adecuado (económico), es usando la fórmula de Bresse, que se aplica mediante la expresión 3.2 siguiente:

$$d = K \sqrt{Q}, \quad (3.2)$$

Donde:

- d Diámetro económico de la tubería, m.
 K Coeficiente de Bresse, de 0.9 a 1.5.
 Q Caudal de flujo en m³/s.

Determinado d , se escogen dos diámetros comerciales en torno al valor de Bresse. El análisis de costos que involucra tuberías, equipo y costos de operación y mantenimiento permitirá seleccionar el diámetro de mínimo costo.

3.2.1.3. Velocidad y presión

Es muy importante calcular la velocidad y presión de agua en las tuberías. Cuando se trata de un sistema rural de abastecimiento de agua es aceptable tener velocidades menores a 0.6 m/s para minimizar las pérdidas por fricción y se deberá mantener una presión de por lo menos 5 m en los puntos críticos, tal como lo recomiendan las normas generales del Ministerio de Salud.

La velocidad del flujo a través de la tubería se obtiene mediante la expresión 3.3 siguiente:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{\pi d^2}{4}} \quad (3.3)$$

Donde:

- V Velocidad del flujo a través de la tubería, m/s.
 Q Caudal del flujo, m³/s.
 A Área de la sección transversal de la tubería, m².

3.2.1.4. Clase y material de tuberías

Habrá que determinar las clases de tubería capaces de soportar las presiones de servicio y contrarrestar el golpe de ariete.

El material de la tubería es escogido por factores económicos, así como de disponibilidad de accesorios, y características de resistencia, ante esfuerzos que se producirán en el momento de su operación.

La presión estática máxima estará en función de las especificaciones técnicas de la clase de tubería a utilizarse.

Se evaluará el material de tubería a utilizar cuando la corrosividad sea especialmente agresiva, es decir para cuando el contenido de sales solubles, ion sulfatos y ion cloruros del terreno sean superiores a 1000 ppm y el pH del subsuelo esté fuera de los límites comprendidos entre 6 y 8.

3.2.1.5. Pendientes mínimas

Se recomienda pendientes mínimas de:

2 a 3 mm/m en las partes ascendentes.

4 a 6 mm/m en las partes descendentes.

Estando sujeto esto a la configuración de la topografía.

3.2.2. Pérdida de carga en las tuberías

La pérdida de carga en una tubería es la pérdida de energía dinámica del fluido debida a la fricción de las partículas del fluido entre sí y contra las paredes de la tubería que las contiene. Pueden ser continuas, a lo largo de conductos regulares, accidental o localizada, debido a circunstancias particulares, como un estrechamiento, un cambio de dirección, la presencia de una válvula, etc.

Se calculará las pérdidas por fricción mediante la expresión 3.4 (fórmula de Hazen-Williams) siguiente:

$$S_f = 0.54 \sqrt{\frac{Q}{0.2788 C_H d^{2.63}}} = 0.54 \frac{0.84}{0.2788 \times 140 \times 0.05^{2.63}} \frac{1000}{(3.4)} = 0.004$$

Donde:

- S_f Pendiente de fricción, m/m.
- Q Caudal, (m³/s).
- C_H Coeficiente de Hazen -Williams.
- d Diámetro de la tubería, m.

En la Tabla 3.1 se muestran los valores del coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams para diferentes materiales.

Tabla 3.1. Coeficiente de Hazen-Williams para algunos materiales.

Material	C
Asbesto cemento	140
Latón	130-140
Ladrillo de saneamiento	100
Hierro fundido, nuevo	130
Hierro fundido, 10 años de edad	107-113
Hierro fundido, 20 años de edad	89-100
Hierro fundido, 30 años de edad	75-90
Hierro fundido, 40 años de edad	64-83
Concreto	120-140
Cobre	130-140
Hierro dúctil	120
Hierro galvanizado	120
Vidrio	140
Plomo	130-140
Plástico (PE, PVC)	140-150
Tubería lisa nueva	140
Acero nuevo	140-150
Acero	130
Acero rolado	110
Lata	130
Madera	120
Hormigón	120-140

La pérdida de carga en una tubería se calcula mediante la expresión 3.5 siguiente:

$$h_f = s_f L \quad (3.5)$$

Se puede considerar que las pérdidas locales en los accesorios equivalen a un 10 % de las pérdidas por fricción.

La pérdida de carga total en la tubería será la suma de las pérdidas por fricción y las pérdidas locales. Ver expresión 3.6.

$$H_f \text{ total} = h_f + h_{local} \quad (3.6)$$

La altura geométrica, esto es la diferencia de nivel entre captación-reservorio (altura estática total). Se calcula mediante la expresión 3.7 siguiente:

$$H_g = H_s + H_d \quad (3.7)$$

Donde:

H_g Altura geométrica, m.

H_s Altura de aspiración o succión, esto es, altura del eje de la bomba sobre el nivel inferior, m.

H_d Altura de descarga, o sea, la altura del nivel superior con relación al eje de la bomba, m.

El conjunto elevador deberá vencer la diferencia de nivel entre captación-reservorio, más las pérdidas de carga en todo el trayecto (pérdida por fricción a lo largo de la tubería, pérdidas locales debidas a las piezas y accesorios) y adicionarle la presión de llegada. Ver Fig. 3.11.

La altura dinámica total (HDT) se calcula mediante la expresión 3.8 siguiente:

$$HDT = H_g + H_{f\text{total}} + H_{\text{escurr}} \quad (3.8)$$

Donde:

HDT Altura dinámica total, m.

H_g Diferencia de niveles entre captación y reservorio, m.

$H_{f\text{total}}$ Pérdidas de cargas totales, m.

H_{escurr} Altura libre de escurrimiento, m.

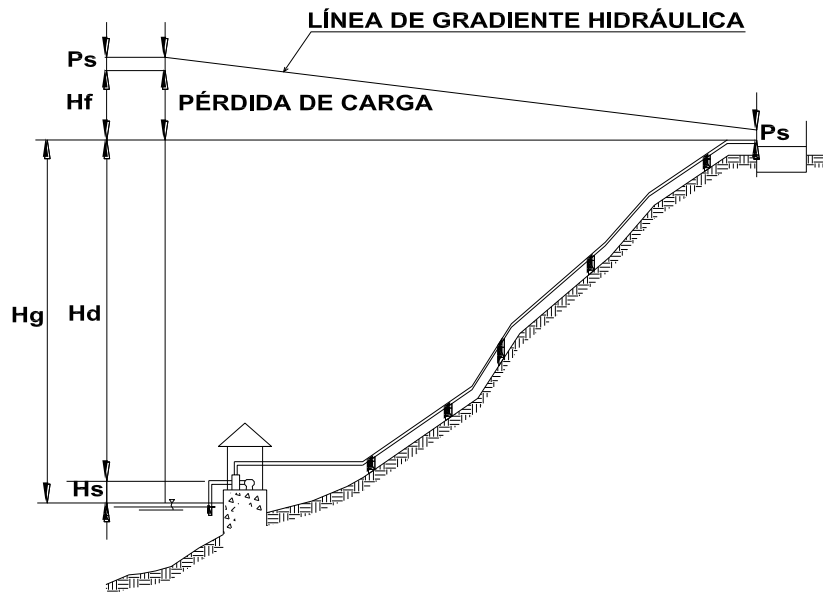


Fig. 3.11. Línea de gradiente hidráulica de la línea de impulsión.

3.2.3. Golpe de ariete

Cuando se cierra bruscamente una válvula o un grifo instalado en el extremo de una tubería de cierta longitud, las partículas de fluido que se han detenido son empujadas por las que vienen inmediatamente detrás y que siguen aún en movimiento. Esto origina una sobrepresión que se desplaza por la tubería a una velocidad que puede superar la velocidad del sonido en el fluido. Esta sobrepresión tiene dos efectos: comprime ligeramente el fluido, reduciendo su volumen, y dilata ligeramente la tubería. Cuando todo el fluido que circulaba en la tubería se ha detenido, cesa el impulso que la comprimía y, por tanto, ésta tiende a expandirse. Por otro lado, la tubería que se había ensanchado ligeramente tiende a retomar su dimensión normal. Conjuntamente, estos efectos provocan otra onda de presión en el sentido contrario. El fluido se desplaza en dirección contraria pero, al estar la válvula cerrada, se produce una depresión con respecto a la presión normal de la tubería. Al reducirse la presión, el fluido puede pasar a estado gaseoso formando una burbuja mientras que la tubería se contrae. Al alcanzar el otro extremo de la tubería, si la onda no se ve disipada, por ejemplo, en un depósito a presión atmosférica, se reflejará siendo mitigada progresivamente por la propia resistencia a la compresión del fluido y a la dilatación de la tubería.

El fenómeno del golpe de ariete, también denominado transitorio, se puede resumir como la alternancia de depresiones y sobrepresiones debido al movimiento oscilatorio del agua en el interior de la tubería, es decir, básicamente es una variación de presión, y se puede producir tanto en impulsiones como en abastecimientos por gravedad.

3.2.3.1. Valor de la celeridad

La celeridad (a) es la velocidad de propagación de la onda de presión a través del agua contenida en la tubería. La expresión 3.9 propuesta por Allievi, permite una evaluación rápida del valor de la celeridad cuando el fluido circulante es agua.

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48.3 + K \frac{D}{e}}}, \quad \left(K = \frac{10^6}{E} \right) \quad (3.9)$$

Donde:

- a Celeridad en la conducción de agua a presión, m/s.
- E Módulo de elasticidad del material, Kg/cm².
- K Factor adimensional.
- D Diámetro interior de la tubería, mm.
- e Espesor de la tubería, mm.

En la Tabla 3.2 se presentan distintos valores de K para hallar la celeridad, dependiendo del material de la tubería.

Tabla 3.2. Valores de K para hallar la celeridad.

Material de la tubería	E (Kg/m^2)	K
Palastros de hierro y acero	2×10^{10}	0.5
Fundición	10^{10}	1
Hormigón (sin armar)	2×10^9	5
Fibro cemento	1.85×10^9	5.5 (5-6)
PVC	3×10^8	33.3 (20-50)
PE baja densidad	2×10^7	500
PE alta densidad	9×10^7	111.11

En el caso de que la conducción esté constituida por tramos de tubos de diferentes características (diámetro, espesor, timbraje, material, etc.), la celeridad media se calculará como la media ponderada de la celeridad de cada tramo. Si L_1, L_2, L_3, \dots , son las longitudes de los tramos de distintas características y a_1, a_2, a_3, \dots , las celeridades respectivas, el tiempo total L/a que tarda la onda en recorrer la tubería será la suma de los tiempos parciales: $L/a = L_1/a_1 + L_2/a_2 + L_3/a_3 + \dots$

Luego, para calcular la celeridad media, se utilizará la expresión 3.10 siguiente:

$$a = \frac{L}{\sum \frac{L_i}{a_i}} \quad (3.10)$$

3.2.3.2. Tiempo de cierre de la válvula y tiempo de parada de bombas. Cierre lento y cierre rápido

Se define el tiempo (T) como el intervalo entre el inicio y el término de la maniobra, sea cierre o apertura, total o parcial, ya que durante este tiempo se produce la modificación del régimen de movimiento del fluido. Este concepto es aplicable tanto a conducciones por gravedad como a impulsiones, conociéndose en el primer caso como tiempo de cierre de la válvula y como tiempo de parada en el segundo.

El tiempo de cierre de una válvula puede medirse con un cronómetro, es un tiempo físico y real; por el contrario, en el caso de las bombas, el tiempo de parada no puede medirse de forma directa y es más difícil de controlar.

La expresión 3.11 es propuesta por Mendiluce para el cálculo del tiempo de parada:

$$T = C + \frac{K \cdot L \cdot V}{g \cdot H_m} \quad (3.11)$$

Donde:

- T Tiempo de parada, s.
- C y K Coeficientes de ajuste empíricos.
- L Longitud de la tubería, m.
- V Velocidad del fluido en la tubería, m/s.

g Aceleración de la gravedad, m/s^2 .

H_m Altura manométrica proporcionada por el grupo de bombeo, m.

La altura manométrica puede obtenerse mediante la expresión 3.12 siguiente:

$$H_m = H_g + hf_T \quad (3.12)$$

Donde:

H_m Altura manométrica, m.

H_g Altura geométrica o presión estática, m.

hf_T Pérdidas totales, m.

La altura geométrica o presión estática (H_g) se mide siempre inmediatamente aguas arriba de la bomba, por lo que la profundidad del agua en el pozo debe tenerse en cuenta en el caso de bombas sumergidas.

El coeficiente C es función de la pendiente hidráulica (m), siendo $m = H_m/L$. Ver Fig. 3.12.

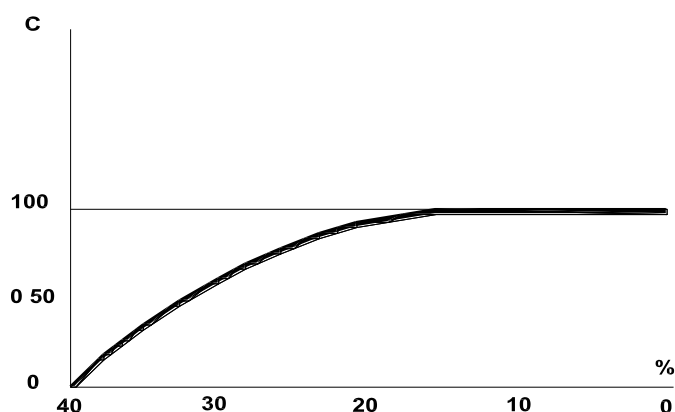


Fig. 3.12. Valores del coeficiente C en función de la pendiente hidráulica (m).

En la Tabla 3.3 se presenta los valores del coeficiente C según Mendiluce para diferentes pendientes.

Tabla 3.3. Valores del coeficiente C según Mendiluce.

Pendiente ($m = H_m/L$)	Coficiente C
$H_m/L < 0.20$	$C = 1$
$H_m/L \geq 0.40$	$C = 0$
$H_m/L \approx 0.30$	$C = 0.60$

El coeficiente K depende de la longitud de la tubería y puede obtenerse a partir de la Tabla 3.4, propuesta por Mendiluce. Este autor recomienda la utilización de los valores de K redondeados siempre del lado de la seguridad y por ser de más sencillo manejo.

Tabla 3.4. Valores del coeficiente K según Mendiluce.

L	K
$L < 500$	2
$L \approx 500$	1.75
$500 < L < 1500$	1.5
$L \approx 1500$	1.25
$L > 1500$	1

3.2.3.3. Método práctico para el cálculo del golpe de ariete

Se necesita calcular previamente la velocidad del agua y, en impulsiones, la altura manométrica del grupo de bombeo.

Se obtiene el tiempo de parada con la ecuación de Mendiluce (ver expresión 3.10). En el caso de abastecimientos por gravedad, el tiempo de cierre de la válvula será conocido.

Se calcula la celeridad “a” mediante la fórmula de Allievi indicada anteriormente (ver expresión 3.8).

Se calcula la longitud crítica “ L_c ”, que es la distancia que separa el final de la impulsión del punto crítico o de coincidencia de las fórmulas de Michaud y Allievi. En la L_c rige la expresión 3.13 siguiente, propuesta por Michaud:

$$L_c = \frac{a \cdot T}{2} \quad (3.13)$$

Donde:

L_c Longitud crítica, m.

a Celeridad en la conducción de agua a presión, m/s.

T Tiempo calculado según Mendiluce, s.

Para hallar la sobrepresión por golpe de ariete (ΔH), se comparan las longitudes L y L_c según Tabla 3.5.

Tabla 3.5. Indicadores para hallar la sobrepresión por golpe de ariete.

$L < L_c$	Impulsión corta	$T > \frac{2L}{a}$	Cierre lento	Michaud	$\Delta H = \frac{2LV}{gT}$
$L > L_c$	Impulsión larga	$T < \frac{2L}{a}$	Cierre rápido	Allieve	$\Delta H = \frac{aV}{g}$

El tipo de cierre, lento o rápido, también puede conocerse comparando el tiempo de parada de la bomba, con el tiempo que tarda la onda de presión en dar una oscilación completa, es decir, con $2L/a$.

En régimen permanente, el proceso para cálculo de las tuberías de impulsión es similar al caso de las tuberías de conducción y se basa también en dos situaciones: Cierre rápido y Cierre lento.

a) Cierre rápido

Si el cierre o apertura de la válvula es brusco, es decir, si el tiempo de cierre es menor que el tiempo que tarda la onda en recorrer la tubería ida y vuelta, el golpe de ariete máximo se calcula mediante la expresión 3.14 siguiente:

$$P_g = a \cdot \frac{V}{g}, \quad \left(\text{si } T < \frac{2L}{a} \right) \quad (3.14)$$

Donde:

- P_g Golpe de ariete máximo.
- a Celeridad en la conducción de agua a presión, m/s.
- V Velocidad del fluido, m/s.
- g Aceleración de la gravedad, m/s².
- T Tiempo de cierre, s.
- L Longitud de la tubería, m.

b) Cierre lento

Si el cierre o apertura de la válvula es lento, es decir, si el tiempo de cierre es mayor que el tiempo que tarda la onda en recorrer la tubería ida y vuelta, el golpe de ariete máximo se calcula mediante la expresión 3.15 siguiente:

$$P_g = \frac{2LV}{g\tau}, \quad \left(\text{si } T > \frac{2L}{a} \right) \quad (3.15)$$

Donde:

- P_g Golpe de ariete máximo.
- L Longitud de la tubería, m.
- V Velocidad del fluido, m/s.
- g Aceleración de la gravedad, m/s².
- τ Tiempo de maniobras, s.
- T Tiempo de cierre, s.
- L Longitud de la tubería, m.
- a Celeridad en la conducción de agua a presión, m/s.

En impulsiones, se colocan las válvulas de retención necesarias para mantener la línea de sobrepresión debida al golpe de ariete por debajo de la línea piezométrica. Con las válvulas de retención se desplaza la línea de máximas presiones del golpe de ariete.

Las medidas para evitar el golpe de ariete son:

- a) Limitación de la velocidad en las tuberías.
- b) Cierre lento de válvulas y registros, construcción de piezas que no permitan la obstrucción muy rápida.
- c) Empleo de válvulas y dispositivos mecánicos especiales, válvulas de alivio.
- d) Utilización de tuberías que puedan soportar sobrepresiones ocasionadas por el golpe de ariete.
- e) Construcción de pozos de oscilación capaces de absorber los golpes, permitiendo la oscilación de agua. Esta solución es adoptada siempre que las condiciones topográficas sean favorables y las alturas geométricas pequeñas. Los pozos de oscilación deben ser localizados tan próximos como sea posible de la casa de máquinas.
- f) Instalación de cámaras de aire comprimidas que proporcionen el amortiguamiento de los golpes. El mantenimiento de estos dispositivos requiere ciertos cuidados, para que se mantenga el aire comprimido en las cámaras.

3.2.4. Accesorios y válvulas

La elección de las válvulas se realizará, de acuerdo con la función que desempeñan y las condiciones extremas de funcionamiento (presión y temperatura).

Las piezas de empalme, derivación y demás accesorios serán del mismo material que los tubos (PVC), o de polipropileno aptas para soportar una presión igual o mayor que las de las tuberías. Según los casos se podrán usar accesorios para roscar, soldar o pegar.

Las válvulas podrán ser de bronce, los accesorios de PVC y de F°G°.

En la instalación se deben utilizar niples de diferentes dimensiones a fin de garantizar un buen acoplamiento. Para todo caso, las válvulas deben ser de fácil desmontaje y totalmente herméticas.

a) Válvulas de aire – ventosas (evacuación y admisión de aire)

Se elegirá de manera clásica la ubicación y dimensionamiento de estas válvulas debido a las condiciones de funcionamiento, cantidad y emplazamiento de las mismas.

Algunas consideraciones a tener en cuenta para la colocación de estas válvulas son las siguientes:

- En todos los puntos altos, cuando la topografía es accidentada. Si el relieve es regular o plano se ubicarán cada 2.5 km como máximo.
- Cambio de pendiente ascendente a descendente.
- En puntos donde la tubería sale sobre el suelo (Ejemplos: Casetas, cámaras, etc.).
- El diámetro de las válvulas de aire se determinará en función del diámetro de la tubería.

b) Válvulas de purga

Las válvulas de purga se ubicarán en los puntos bajos de la tubería. La elección se realizará teniendo en cuenta la velocidad de drenaje.

c) Válvulas de Seccionamiento

Las válvulas de seccionamiento serán ubicadas teniendo en cuenta la operatividad del sistema. Éstas pueden ser:

- Válvulas Compuerta hasta tuberías de 250 mm.
- Válvulas Mariposa desde tuberías de 300 mm.

3.3. Tecnologías apropiadas a sistemas rurales de abastecimiento de agua

En la Región Piura, alrededor del 40 % de la población rural alejada de las zonas urbanas, no cuentan con los servicios básicos de agua y electricidad, por ser zonas de difícil acceso en su mayoría y casi siempre con recursos económicos limitados. Además el abastecimiento de agua se ve impedido muchas veces debido a la imposibilidad del gobierno de suministrar agua, en cantidad y calidad suficiente y a la no disponibilidad de fuentes de energía o tecnologías aplicables y acordes a la realidad socioeconómica de los poblados.

La extracción del agua subterránea requiere de una cantidad importante de energía. Con frecuencia para el funcionamiento de equipos para elevación de agua se utilizaba la energía de combustibles hidrocarburos. Con la aparición de la electricidad se dispuso de una fuente de energía abundante y de una serie de avances técnicos como la bomba hidráulica eléctrica que hizo accesible el empleo del agua subterránea a muchas más personas.

Sin embargo, en las zonas rurales, la utilización de fuentes de energía como los combustibles hidrocarburos y la electricidad no resultan ser opciones adecuadas ya que generan problemas de almacenamiento, transporte y distribución de combustibles, además de generación de desechos que contaminan el ambiente. Esto no garantiza un funcionamiento continuo y confiable de los equipos del sistema de abastecimiento de agua potable y genera elevados costos.

Es fundamental encontrar otras fuentes de energía, a la vez económicas e inocuas para el medio ambiente, con el fin de incrementar la productividad agrícola y mejorar la calidad de vida de las comunidades rurales. La búsqueda de soluciones ha llevado a las Organizaciones locales a proponer sistemas básicos de agua y luz, accionados por celdas fotovoltaicas, por ser una solución técnicamente viable para suministrar la energía necesaria a las comunidades rurales aisladas.

La energía solar puede convertirse directamente a electricidad usando generadores fotovoltaicos. El proceso involucrado en la transformación de energía puede considerarse como una tecnología madura, de alta confiabilidad, larga vida y que en algunos casos, resulta ser económicamente competitiva si se compara con los costos de adquisición, operación y mantenimiento de otras opciones de generación de electricidad.

Los sistemas FV ofrecen ventajas comparadas con tecnologías convencionales de bombeo como lo son un generador a diesel o una turbina eólica. Se ha encontrado una adecuada aceptación por parte de la población, debido a las ventajas de: bajo mantenimiento de los sistemas, costos aceptables respecto al sistema tradicional de mecheros y velas y alta calidad y confiabilidad del servicio.

La desventaja mayor del sistema FV es el costo inicial del mismo, pero con el desarrollo de las tecnologías comercialmente disponibles, se siguen abatiendo los costos de las instalaciones necesarias. El costo de la instalación es el único desembolso importante que se hará, ya que el mantenimiento que requiere este tipo de sistemas es mínimo y su funcionamiento, al emplear la energía del Sol, es gratuito.

Debido al gran potencial de empleo que tiene la energía solar en las zonas rurales de la costa norte del Perú; por presentar dichas zonas, condiciones adecuadas de radiación solar, y, analizando las ventajas que ofrece esta energía frente a otros tipos de energía, se enfoca este estudio a mejorar el servicio de agua en localidades rurales en donde no existe sistema de abastecimiento establecido y en donde se requiere efectuar el bombeo del líquido para la obtención de agua para consumo humano.

3.3.1. Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es una de las energías renovables que se presentan como una alternativa a las fuentes tradicionales como los combustibles fósiles, especialmente desde que instituciones públicas como el Estado Español o diversas comunidades autónomas y municipios ofrezcan subvenciones para facilitar su instalación.

Las placas o módulos solares fotovoltaicos captan los fotones contenidos en los rayos solares, y los materiales semiconductores que los forman los transforman en una corriente continua de electrones, es decir, en electricidad. Posteriormente, de acuerdo al tipo de motor eléctrico de la bomba (sea de corriente continua CC o de corriente alterna CA), se necesitará o no convertir la energía eléctrica. Es decir, si el motor es de CC podrá conectarse directamente con los arreglos fotovoltaicos; mientras que, si es de CA se necesitará incorporar un inversor CC-CA.

El principal uso de las placas o módulos solares fotovoltaicos es la producción de electricidad en zonas rurales aisladas de la red eléctrica. Las necesidades básicas pueden ser cubiertas de esta manera: televisión, una herramienta indispensable para la obtención de información en lugares de difícil acceso por carretera; bombillas y pequeños electrodomésticos; y para el funcionamiento de equipos de bombeo en sistemas de abastecimiento de agua potable.

Hasta la fecha, no se ha aprovechado del todo el potencial de la energía solar para incrementar la productividad agrícola ni para el desarrollo rural en general. Con un medio económico e institucional propicio, los sistemas de energía solar podrían mejorar considerablemente la atención médica y los servicios escolares, el suministro de agua para consumo humano, servicios veterinarios, comunicaciones y turismo, además serían de gran utilidad en irrigación y abrevaderos, así como para la preparación de alimentos y su refrigeración.

Las ventajas de la energía solar fotovoltaica son numerosas. En primer lugar, son sistemas silenciosos, limpios y respetuosos con el medio ambiente, y suponen un gran ahorro en el traslado de energía, puesto que se encuentran cerca del punto de consumo. En definitiva, su uso ofrece un suministro de energía continuo y fiable sin tener que depender de las fuentes de energía convencional.

3.3.2. Bombeo solar

El bombeo solar, respecto a los sistemas convencionales de bombeo, se muestra como una solución efectiva para el abastecimiento de agua en zonas rurales que no disponen de la red eléctrica.

Existen diferentes métodos para proveer agua en lugares apartados, tales como los papalotes y bombas a diesel o gasolina; sin embargo, las bombas solares ofrecen la mejor opción en costo beneficio a largo plazo y a la hora de reducir la necesidad de un operador, además de que los equipos cuentan con la ventaja de ser modulables, adaptándose a las más diversas necesidades y condiciones de instalación.

El sistema de bombeo solar es un sistema de bajo mantenimiento, autónomo y automático. Su fuente de energía es el sol, no consume combustible, arranca y para en función de la radiación solar y el nivel de agua en el pozo y en el tanque de acumulación de agua. Se evita así la necesidad de acarrear con combustibles, como el gasóleo, o el costoso y engorroso mantenimiento del motor.

En el diseño de un sistema de bombeo, la bomba representa la componente más importante. La bomba solar tiene el mismo principio de funcionamiento que las bombas tradicionales, salvo la posibilidad de trabajar a condiciones eléctricas (voltaje y corriente) variables, de acuerdo a la disponibilidad de energía radiante solar. Esto da como consecuencia velocidades de rotación (rpm) variables, y la necesidad de cierto grado de robustez del motor eléctrico.

En los días más largos de verano el sistema bombea más agua debido a que la temporada de más demanda de agua, suele coincidir con la de mayor radiación solar. Las variaciones de la intensidad de la radiación solar se manifiestan en el comportamiento de la bomba que trabaja con diferentes tasas de caudal, siendo éstas mayores cuando mayor es la radiación. Por este motivo las características de la bomba se especifican por la cantidad diaria de agua que puede acumular en un día ($m^3/día$), para un cierto valor promedio de radiación diaria.

Las bombas a corriente continua o bombas solares están diseñadas para trabajar con la electricidad proporcionada por un arreglo fotovoltaico. Debido a la naturaleza de la energía solar este tipo de sistemas tienen que aprovechar al máximo la energía solar, necesitan maximizar los litros de agua bombeados por watt eléctrico consumido. También deben de ser capaces de bombear agua durante periodos de baja insolación.

3.3.2.1. Componentes de una instalación típica de bombeo solar

Los componentes de una instalación típica de bombeo solar (directamente acoplada) son:

- a) Arreglo Solar: Es el conjunto de generadores FV para un sistema de bombeo, y que generalmente se interconectan varios módulos FV. Están montados en instalaciones sobre el terreno; usan marcos simples que sostienen los módulos a un ángulo de inclinación fijo hacia el sol, (generalmente, el ángulo de latitud geográfica del sitio).

- b) Controlador de la bomba: Dispositivo usado para que los sistemas operen a potencia óptima, mientras que va mejorando las características eléctricas del arreglo.
- c) Inversor: Sólo requerido para las bombas en corriente alterna. Es el dispositivo que convierte la corriente directa proveniente de la batería a corriente alterna. Un inversor puede escogerse para una gran variedad de voltajes, 220 y 110, de una o 3 fases para cargas muy grandes.
- d) Cable de la bomba y cables de conexión a tierra: Se usan para conectar la bomba al arreglo solar. Debe dimensionarse apropiadamente para minimizar las pérdidas en la línea. Deben conectarse a tierra todos los equipos ya que las bombas de agua atraen rayos debido a la conexión a tierra que proporcionan.
- e) Tanque del almacenamiento: Las bombas directamente acopladas sólo entregan agua cuando hay radiación solar. Esto puede requerir algún tipo de almacenamiento de agua para satisfacer la necesidad cuando el sol no esté disponible.
- f) Bomba: Normalmente se usan motores a corriente directa con sistemas FV de bombeo para evitar la pérdida de eficiencia y la complejidad de convertir voltaje de corriente directa a alterna. Estos motores trabajan bien a voltaje variante y velocidad, lo que resulta ideal para operar con una fuente de energía constantemente cambiante como lo es la energía solar.

Los componentes de una instalación típica de un sistema fotovoltaico de bombeo de agua se pueden apreciar en la Fig. 3.13.

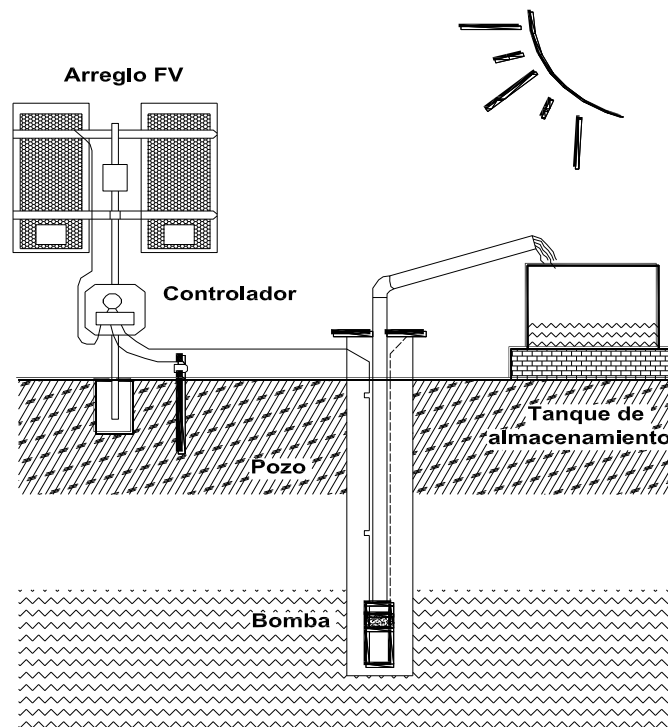


Fig. 3.13. Esquema de una instalación típica de un sistema FV de bombeo de agua.

3.3.2.2. Tipos de bomba solar

Las bombas comunes disponibles en el mercado han sido desarrolladas pensando en que hay una fuente de potencia constante. Por otro lado, la potencia que producen los módulos FV es directamente proporcional a la disponibilidad de la radiación solar. Es decir, a medida que el sol cambia su posición durante el día y al variar la disponibilidad de potencia también cambia la disponibilidad de potencia para la bomba. Por esta razón se han creado algunas bombas especiales para la electricidad fotovoltaica las cuales se dividen desde el punto de vista mecánico en centrífugas y volumétricas.

a) Bombas centrífugas

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 agua a 60 metros 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.

Las bombas de succión superficial (Ver Fig. 3.14) 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.

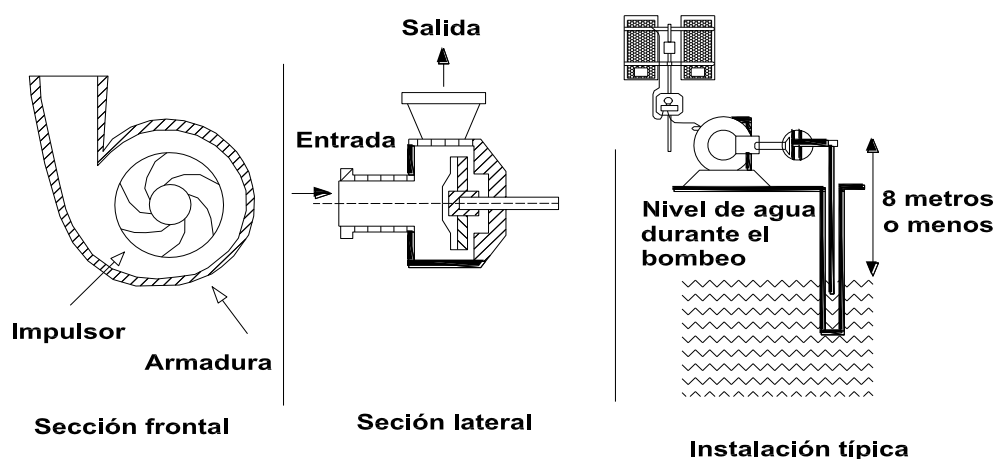


Fig. 3.14. Esquema de una bomba centrífuga superficial.

Hay una gran variedad de bombas centrífugas sumergibles (Ver Fig. 3.15). 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.

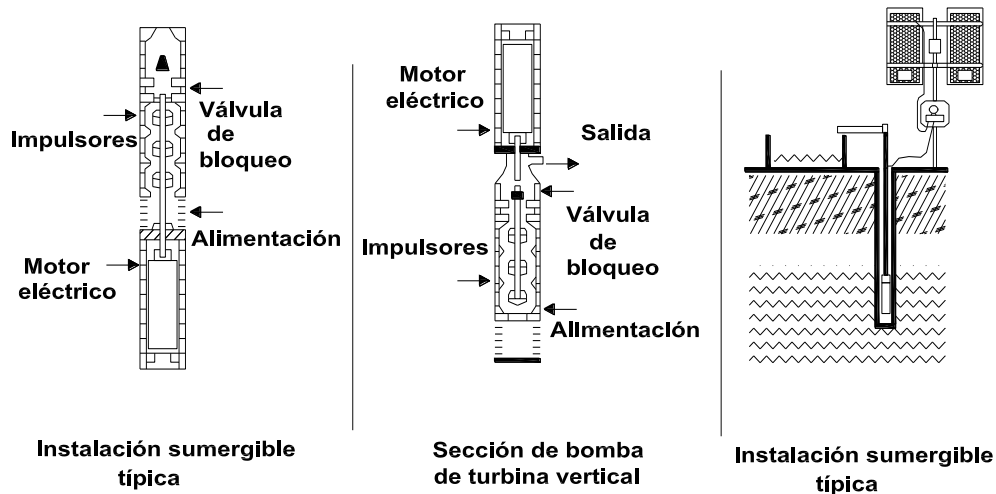


Fig. 3.15. Esquema de una bomba centrífuga sumergible.

b) Bombas volumétricas

Las bombas volumétricas o de desplazamiento positivo (Ver Fig. 3.16), son adecuadas para el bombeo de bajos caudales y/o donde la profundidad es grande. Algunas de estas bombas usan un cilindro y un pistón para mover paquetes de agua a través de una cámara sellada. Otras utilizan un pistón con diafragmas. Cada ciclo mueve una pequeña cantidad de líquido hacia arriba. El caudal es proporcional al volumen de agua. Esto se traduce a un funcionamiento eficiente en un amplio intervalo de cargas dinámicas. Cuando la radiación solar aumenta también aumenta la velocidad del motor y por lo tanto el flujo de agua bombeada es mayor.

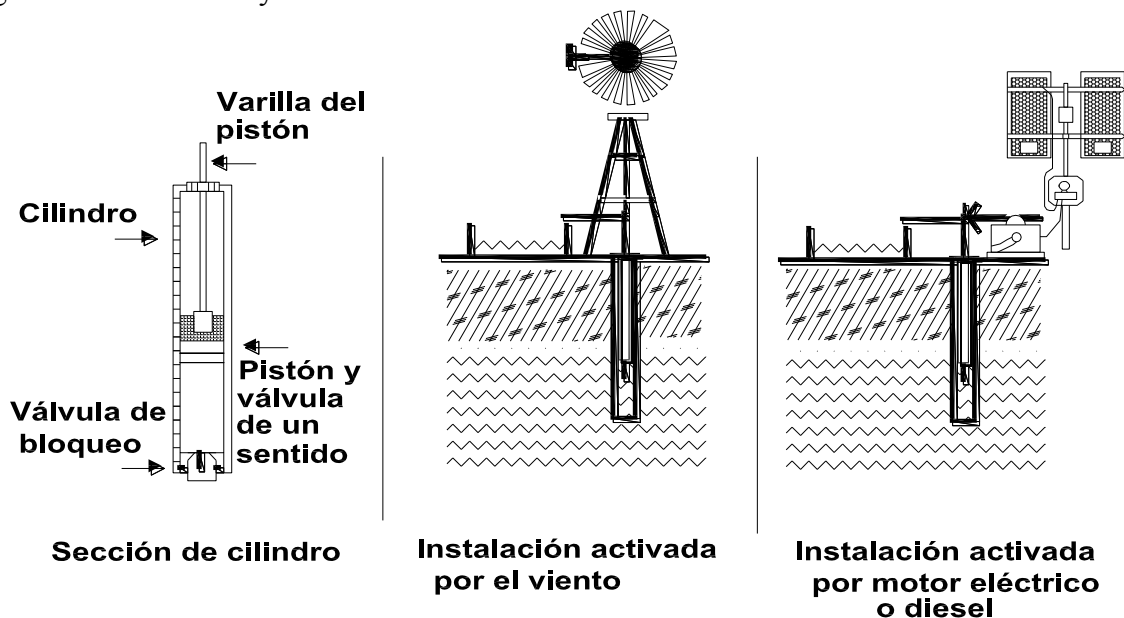


Fig. 3.16. Esquema de una bomba volumétrica de cilindro.

- Bombas de cilindro: 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 otorgada por el arreglo fotovoltaico.

- Bombas de diafragma: Las bombas de diafragma desplazan el agua por medio de diafragmas de un material flexible y resistente. Existen modelos sumergibles y no sumergibles. Las bombas de diafragma son económicas. La vida útil de este tipo de bomba es aproximadamente 5 años del uso.

Como se ha visto, las bombas centrífugas y volumétricas ofrecen diferentes alternativas para diferentes rangos de aplicación. El proceso de selección de la bomba para un proyecto es de suma importancia. Todas las bombas tienen que usar la energía eficientemente ya que en un sistema FV, la energía cuesta dinero. En general, el proyectista debe tener una idea clara de qué tipo de bomba es la más adecuada para su proyecto. Este proceso de selección de la bomba se complica debido a la multitud de marcas y características de cada bomba. Un sólo fabricante puede ofrecer más de 20 modelos de bombas y cada una tiene un rango óptimo de operación.

Las bombas más eficientes son las de desplazamiento positivo de pistón, pero no son recomendables para gastos medianos y grandes a baja carga dinámica total. Por ejemplo, una bomba de palanca puede llegar a tener una eficiencia de más de 40%, mientras que una bomba centrífuga puede tener una eficiencia tan baja como 15%. La Fig. 3.17 indica el tipo de bomba adecuada que se recomienda en general según la carga dinámica total del sistema de bombeo.

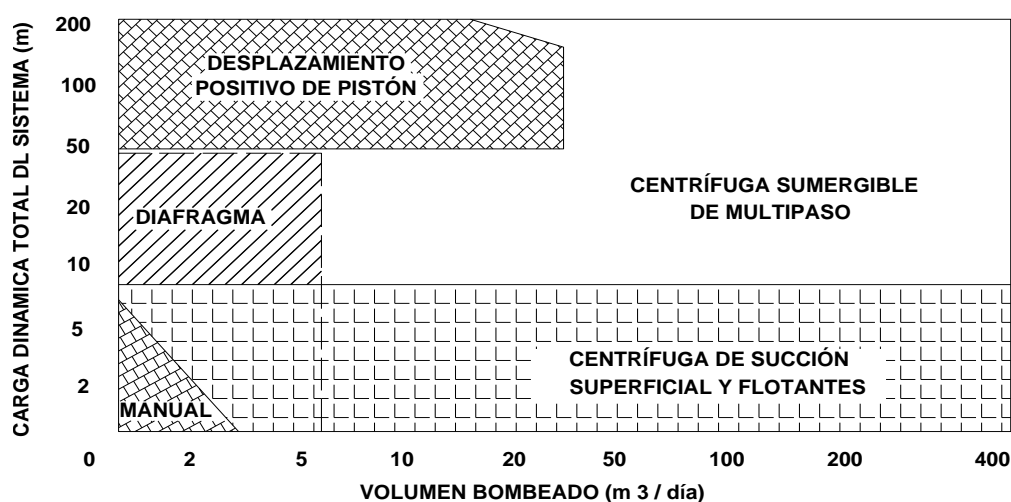


Fig. 3.17. Intervalos comunes donde se aplica los diferentes tipos de bombas solares.

3.3.2.3. Funcionamiento de un sistema de bombeo solar

El funcionamiento de un sistema de bombeo solar fotovoltaico es en sí sencillo. Los paneles solares puestos al Sol transforman la luz en electricidad que sirve para alimentar la bomba que extrae el agua del subsuelo.

Cuando los paneles alimentan directamente a la bomba se produce una fluctuación del flujo del agua bombeada en función de la variación de la intensidad de la radiación solar a lo largo del día. Así en las primeras horas el flujo de agua será pequeño e irá aumentando

conforme nos acercamos a las horas centrales del día cuando es máxima la radiación. A partir de este momento vuelve a descender hasta que se hace nulo en el momento de anochecer. Ver Fig. 3.18 y 3.19.

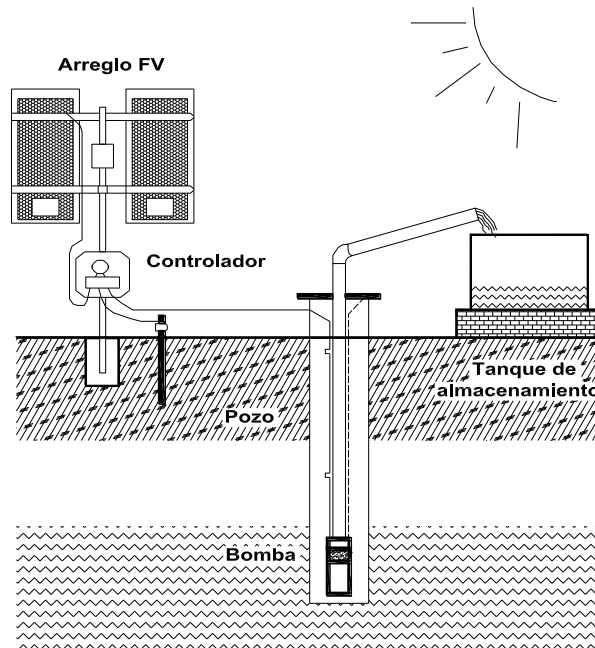


Fig. 3.18. Con radiación solar débil el panel proporciona poca potencia y la bomba extrae poco caudal.

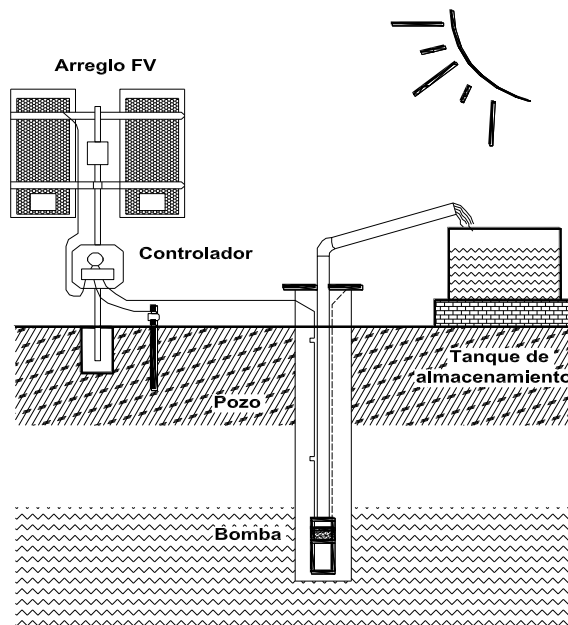


Fig. 3.19. Con radiación solar fuerte el panel proporciona mucha potencia y la bomba extrae mucho caudal.

3.3.2.4. Requerimientos previos para la instalación de un sistema de bombeo solar

Para poder llevar a cabo con éxito la ejecución y explotación de un sistema de bombeo solar es preciso tener en cuenta determinados aspectos:

a) Conocer la cantidad de agua necesaria

En primer lugar es importante tener un conocimiento lo más preciso posible del volumen de agua real que es necesario bombear. Es habitual que hasta los propios usuarios desconozcan la cantidad precisa que utilizan. Una mala estimación puede llevar a diseñar una instalación solar para un volumen que puede llegar a resultar insuficiente. Es recomendable contar con un especialista en la materia que ayude a determinar la cantidad de agua adecuada.

Este tipo de instalaciones se dimensionan en función del volumen de agua que se requiere y de la radiación solar disponible. Si el volumen de agua es insuficiente será imposible dejar la bomba más tiempo funcionando ya que no habrá más radiación solar que las horas de Sol que tiene el día.

También puede ser interesante calcular un volumen extra de agua de reserva para los días en los que no pueda haber Sol. Para esto habrá que realizar un dimensionado en función de las estadísticas de días consecutivos sin Sol de la zona donde esté la instalación.

b) Determinar adecuadamente la profundidad del pozo en todas las estaciones

Es importante conocer el nivel del agua en el interior del pozo en los momentos de abundancia (etapas lluviosas) y en los de escasez (sequías). Si no se tiene en cuenta este aspecto puede ocurrir que en los momentos de sequía, con el nivel del agua bajo, la bomba carezca de potencia suficiente para bombear o que se haga en cantidad insuficiente. Es por ello por lo que se debe contar con un experto que determine correctamente las fluctuaciones de la capa freática a lo largo del año y analice también en función de los datos climáticos de la región en los ciclos de sequía de varios años.

c) Conocer la capacidad de recarga de los acuíferos

Es muy importante cerciorarse antes de ejecutar una instalación, de que el acuífero tenga la suficiente capacidad de recarga para obtener de él regularmente la cantidad de agua que se precisa. De no ser así, el acuífero terminará por agotarse y la instalación podría ser totalmente inútil. De nuevo el experto en la materia será el que pueda precisar este punto.

3.3.2.5. Aplicaciones del bombeo solar

El bombeo solar ha probado ser una solución económica, confiable y duradera en situaciones donde el agua se encuentra a grandes distancias, las líneas eléctricas son nulas y ó muy alejadas, y los costos de combustible y mantenimiento de los sistemas de bombeo por medio de motor de combustión interna son altos.

Con el tiempo su uso se ha incrementando hasta el punto que actualmente los sistemas de bombeo solar son una alternativa que está siendo muy utilizada, sobre todo en las zonas rurales, por las ventajas que ofrece frente a otras técnicas para el bombeo de agua.

Las aplicaciones típicas y costeables del bombeo solar son aquellas de relativamente baja demanda como: abrevaderos para ganado, riego de huertos familiares y consumo humano. El riego de parcelas de cultivo por lo general no es costeable debido a su gran demanda de agua y bajo valor de las cosechas obtenidas. La excepción es cuando se trata de parcelas e invernaderos con sistemas de riego eficientes y para activar mecanismos de sistemas de abastecimiento de agua potable.

3.3.2.6. Ventajas del sistema de bombeo solar

El bombeo solar fotovoltaico ha evolucionado vertiginosamente en los últimos cinco años. Los sistemas solares fotovoltaicos para el bombeo de agua han tomado del mercado la ya probada solidez y confiabilidad de los variadores de velocidad por frecuencia, los cuales combinados con las bombas tradicionales han abierto una posibilidad incalculable. En la actualidad se puede trabajar con sistemas de bombeo solares usando bombas convencionales de cualquier potencia alimentada a 220, 380 o 440 VAC trifásico sin necesidad de usar bancos de baterías ni inversores convencionales.

Entre las ventajas que ofrece este sistema frente a otras tecnologías tradicionales de bombeo (manual, eólico y diesel) están:

- a) Descentralización de la red eléctrica: Centrales eléctricas descentralizadas a pequeña escala reducen la posibilidad de cortes de energía, que a menudo son frecuentes en la red eléctrica.
- b) Fiabilidad: Aun en las más duras condiciones, los sistemas fotovoltaicos mantienen el suministro de energía eléctrica; mientras que, las tecnologías convencionales suelen suspender el suministro de energía en situaciones críticas.
- c) Durabilidad: Tiempo de vida de la instalación largo (los paneles solares duran aproximadamente 30 años). Mediante un buen dimensionado, la instalación está garantizada en cuanto al rendimiento y al funcionamiento.
- d) Seguridad: Los sistemas fotovoltaicos son muy seguros cuando estén diseñados e instalados correctamente. El suministro de agua es seguro y adaptado a las condiciones locales de los poblados a abastecer.
- e) Rendimiento a alturas elevadas: Cuando se utiliza la energía solar, la potencia de salida se optimiza en zonas elevadas. Esto es muy ventajoso para comunidades aisladas en la alta montaña donde generadores Diesel pierden eficacia y potencia de salida.
- f) Resistencia: Resiste condiciones climáticas extremas: granizo, viento, temperatura, humedad.
- g) Modularidad fotovoltaica: A diferencia de los sistemas convencionales, más módulos pueden añadirse a los sistemas fotovoltaicos para aumentar la potencia disponible. Se

puede producir pequeñas cantidades de energía con un panel o grandes fuentes de energía con cientos de paneles, esto significa que los sistemas pueden ser diseñados para satisfacer las necesidades energéticas inmediatas y luego ser expandidos a medida que los requerimientos energéticos se incrementen.

- h) **Mínimos componentes:** En cuanto a los pocos componentes de los que se compone una instalación de este tipo. El generador fotovoltaico, un cuadro eléctrico de control, la bomba y protecciones son todos los elementos necesarios para una instalación de bombeo solar.
- i) **Minimiza posibles averías de la bomba:** Evita el golpe de ariete. Arranque y parada suave.
- j) **Fácil instalación:** Una vez realizado el dimensionado, en un mínimo periodo de tiempo, la instalación estará funcionando a pleno rendimiento. Puede ser operado por personal no calificado. A partir de unas directrices el equipo de bombeo puede funcionar sin la necesidad de personal cualificado. Instalación en zonas rurales → desarrollo tecnologías propias.
- k) **Comodidad:** Fácilmente transportable debido a su bajo peso y volumen. Ya no es necesario trasladarse hasta el proveedor, transportar y almacenar el combustible.
- l) **Bajo costo de mantenimiento:** Los sistemas fotovoltaicos no requieren frecuentes inspecciones o mantenimiento. Un checking del equipo cada cierto tiempo bastará para un adecuado mantenimiento.
- m) **Sin costo de combustible:** Puesto que no emplean ningún combustible, no es necesario invertir en la compra, almacenamiento o transporte de combustible.
- n) **Económicamente rentable:** Por la recuperación de la inversión a medio plazo y por la ausencia de averías del sistema y larga vida de la bomba.
- o) **Energía no contaminante, energía limpia:** La energía fotovoltaica tiene un gran potencial para la generación de energía. No contamina el aire ni el agua; es ecológico, no produce emisiones de CO₂ ni de otros gases contaminantes a la atmósfera. Los sistemas fotovoltaicos operan en silencio y con el mínimo movimiento por lo que no producen contaminación acústica.
- p) **Es renovable:** Renovables no es equivalente a ecológico, aunque suele estar íntimamente relacionado. Renovables quiere decir que ese recurso no se consume por mucho que lo usemos. Al sol le da igual que utilicemos la energía que llegue a la tierra o no; no se consume. Los combustibles fósiles, sin embargo, sí se agotan.

3.3.2.7. Bombeo solar en sistemas rurales de abastecimiento de agua

El potencial de aplicación de estas tecnologías en el medio rural es muy grande ya que nuestro país cuenta con amplios recursos renovables; por lo que, en sitios en donde no se tiene la red eléctrica convencional, estos sistemas son la alternativa para generar electricidad in situ y obtener los beneficios de ésta.

Desde ya hace algunos años se ha dotado a varios caseríos rurales del servicio de agua potable con sistemas de bombeo accionados con energía fotovoltaica. Un caso específico es el presentado en el presente proyecto de tesis, en el que se ha implementado un sistema de agua potable en los caseríos: Charancito, El Naranjo, Charán Grande y El Alumbre, en el distrito de Lancones, Provincia de Sullana, departamento de Piura.

Este sistema emplea una bomba eléctrica que es alimentada por un arreglo fotovoltaico (paneles solares), desde las primeras horas de la mañana hasta el atardecer. El volumen diario bombeado depende de la cantidad de luz (directa y difusa) incidente sobre éstos a lo largo del día. A efectos prácticos, el sistema se pone en marcha en promedio de 9 a.m. hasta las 3 pm (incluso en días constantemente nublados pero con menor producción). El tamaño y costo del sistema dependerá de la cantidad de agua requerida por día.

El tiempo de funcionamiento de los sistemas de bombeo solar dependerá de la cantidad de radiación solar promedio del día (número de horas efectivas de sol h_{sol}) que se presenta en la zona de influencia del proyecto de abastecimiento de agua. Lo importante será que valor de irradiación se tiene en ese intervalo de horas (irradiancia = radiación solar). A manera de ejemplo se presenta un gráfico donde se reflejan valores de radiación solar promedio en Sullana, en el año 2003, para los meses de noviembre a febrero. Esto con el fin de analizar el comportamiento de la irradiación solar durante el día, que muestra mayores valores de radiación solar en un rango de 5.5 - 6 KWh/m² en horas cercanas al medio día (11am – 3pm). El comportamiento es similar para los años siguientes llegándose a tener valores promedios de radiación de 6.5 - 7 KWh/m² en los meses de verano.

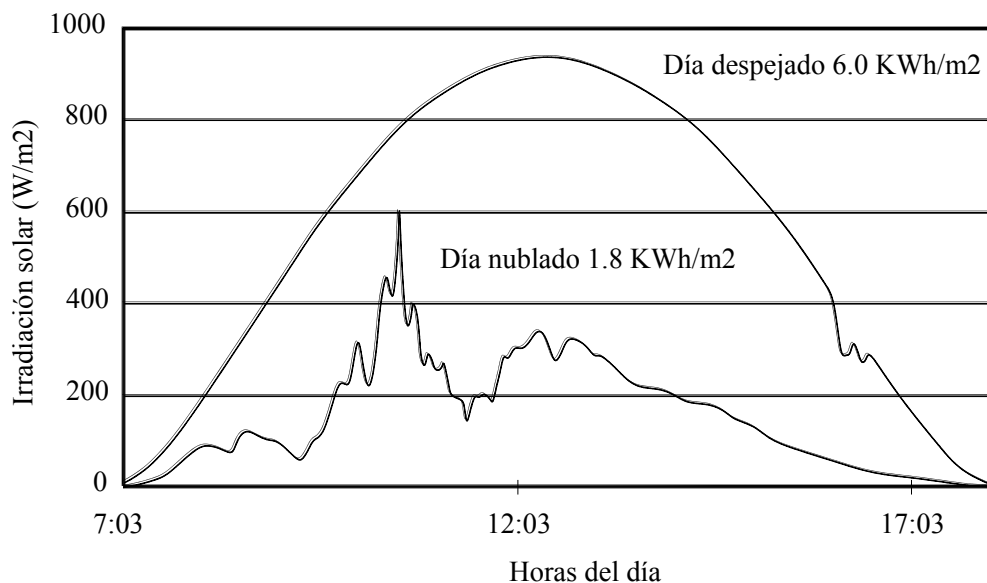


Fig. 3.20. Comportamiento de la irradiación solar durante el día [13].

3.4. Almacenamiento y regulación del agua

Los sistemas de almacenamiento tienen como función suministrar agua para consumo humano a las redes de distribución, con las presiones de servicio adecuadas y en cantidad necesaria que permita compensar las variaciones de la demanda. Asimismo deberán contar con un volumen adicional para suministro en casos de emergencia como incendio, suspensión temporal de la fuente de abastecimiento y/o paralización parcial de la planta de tratamiento.

Los reservorios de almacenamiento pueden ser elevados, apoyados y enterrados. Los elevados, que pueden tomar la forma esférica, cilíndrica, y de paralelepípedo, son construidos sobre torres, columnas, pilotes, etc.; los apoyados, que principalmente tienen forma rectangular y circular, son construidos directamente sobre la superficie del suelo; y los enterrados, de forma rectangular y circular, son construidos por debajo de la superficie del suelo (cisternas). Cada uno de éstos dotado de dosificador o hipoclorador para darle tratamiento al agua y volverla apta para el consumo humano.

Para capacidades medianas y pequeñas, como es el caso de los proyectos de abastecimiento de agua potable en poblaciones rurales, resulta tradicional y económica la construcción de un reservorio apoyado (Ver Fig. 3.21) de forma cuadrada o circular cuando el terreno presenta zonas altas y seguras. Este es el caso de las comunidades rurales en estudio.

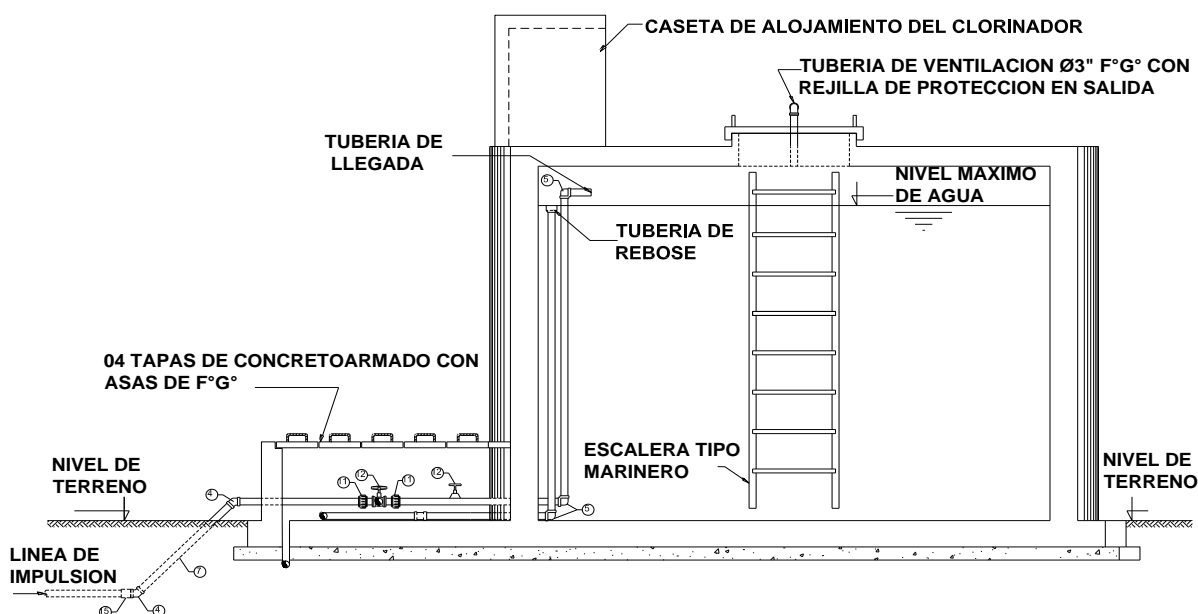


Fig. 3.21. Esquema de reservorio apoyado.

3.4.1. Consideraciones para el diseño de reservorios de almacenamiento

Para el diseño de reservorios de almacenamiento se debe contar con información de la zona elegida, como fotografías aéreas, estudios de topografía, mecánica de suelos, variaciones de niveles freáticos, características químicas del suelo y otros que se considere necesario.

Además se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- a) El volumen deberá determinarse con las curvas de variación de la demanda horaria de las zonas de abastecimiento o de una población de características similares.
- b) Los reservorios deberán ubicarse lo más cerca posible y a una elevación mayor al centro poblado que permita mantener la presión en la red dentro de los límites de servicio garantizando presiones mínimas en las viviendas más elevadas y presiones máximas en las viviendas más bajas.
- c) Debe priorizarse el criterio de ubicación tomando en cuenta la ocurrencia de desastres naturales. Los reservorios no deberán estar ubicados en terrenos sujetos a inundación, deslizamientos u otros riesgos que afecten su seguridad.
- d) Los reservorios deben estar alejados de focos de contaminación, como pozas de percolación, letrinas, botaderos; o protegidos de los mismos.
- e) Los reservorios se deben ubicar en áreas libres. El proyecto deberá incluir un cerco que impida el libre acceso a las instalaciones.
- f) Las válvulas, accesorios y los dispositivos de medición y control, deberán ir alojados en casetas que permitan realizar las labores de operación y mantenimiento con facilidad.
- g) Se debe prever que las labores de mantenimiento sean efectuadas sin causar interrupciones prolongadas del servicio. La instalación debe contar con un sistema de "by pass" entre la tubería de entrada y salida o doble cámara de almacenamiento.
- h) Los reservorios elevados en zonas cercanas a pistas de aterrizaje deberán cumplir las indicaciones sobre luces de señalización impartidas por la autoridad competente.
- i) Los reservorios de agua deberán estar dotados de tuberías de entrada, salida, rebose y desagüe.
- j) En las tuberías de entrada, salida y desagüe se instalará una válvula de interrupción ubicada convenientemente para su fácil operación y mantenimiento. Cualquier otra válvula especial requerida se instalará para las mismas condiciones.
- k) Las bocas de las tuberías de entrada y salida deberán estar ubicadas en posición opuesta, para permitir la renovación permanente del agua en el reservorio.
- l) La tubería de salida deberá tener como mínimo el diámetro correspondiente al caudal máximo horario de diseño.

- m) La tubería de rebose deberá tener capacidad mayor al caudal máximo de entrada, debidamente sustentada y deberá descargar libremente sobre una plancha de concreto para evitar la erosión del suelo.
- n) El diámetro de la tubería de desagüe deberá permitir un tiempo de vaciado menor a 8 horas. Se deberá verificar que la red de alcantarillado receptora tenga la capacidad hidráulica para recibir este caudal.
- o) El piso del reservorio deberá tener una pendiente hacia el punto de desagüe que permita evacuarlo completamente.
- p) El sistema de ventilación deberá permitir la circulación del aire en el reservorio con una capacidad mayor que el caudal máximo de entrada o salida de agua. Estará provisto de los dispositivos que eviten el ingreso de partículas, insectos y luz directa del sol.
- q) Todo reservorio deberá contar con los dispositivos que permitan conocer los caudales de ingreso y de salida, y el nivel del agua en cualquier instante.
- r) Los reservorios enterrados deberán contar con una cubierta impermeabilizante, con la pendiente necesaria que facilite el escurrimiento.
- s) Las paredes y fondos del reservorio deberán estar impermeabilizadas para evitar el ingreso de la napa y agua de riego de jardines.
- t) La superficie interna de los reservorios será lisa y resistente a la corrosión.
- u) Los reservorios deberán estar provistos de tapa sanitaria, escaleras de acero inoxidable y cualquier otro dispositivo que contribuya a un mejor control y funcionamiento.

3.4.2. Capacidad mínima de almacenamiento y regulación del agua

Para determinar la capacidad del reservorio, es necesario considerar la compensación de las variaciones horarias de consumo, emergencia para incendios, previsión de reservas para cubrir daños e interrupciones en la línea de conducción y que el reservorio funcione como parte del sistema [7].

El reservorio debe permitir que la demanda máxima que se produce en el consumo sea satisfecha a cabalidad, al igual que cualquier variación en el consumo registrado en las 24 horas del día. Ante la eventualidad que en la línea de conducción pueda ocurrir daños que mantengan una situación de déficit en el suministro de agua, mientras se hagan las reparaciones pertinentes, es aconsejable un volumen adicional para dar oportunidad de restablecer la conducción de agua hasta el reservorio [7].

Para el cálculo del volumen de almacenamiento se utilizan métodos gráficos y analíticos. Los primeros se basan en la determinación de la “curva de masa” o de “consumo integral”, considerando los consumos acumulados; para los métodos analíticos, se debe disponer de los datos de consumo por horas y del caudal disponible de la fuente, que por lo general es equivalente al consumo promedio diario [7].

En las zonas rurales, las normas recomiendan para los proyectos de agua potable mediante sistemas de bombeo, una capacidad de regulación del reservorio del 30% del consumo promedio diario anual (Q_m); mientras que, para sistemas por gravedad 25%.

Con el valor del volumen (V) se define un reservorio de sección circular cuyas dimensiones se calculan teniendo en cuenta la relación del diámetro con la altura de agua (d/h), la misma que varía entre 0,50 y 3,00. En el caso de un reservorio de sección rectangular, para este mismo rango de valores, se considera la relación del ancho de la base y la altura (b/h).

3.4.3. Volumen de almacenamiento y regulación de agua con sistemas de bombeo accionados por energía solar fotovoltaica

Los sistemas de bombeo de agua con energía solar están diseñados para proporcionar una cierta cantidad de agua por día. El agua es bombeada durante las horas de sol y almacenada en un tanque. El requerimiento diario es simplemente el total de toda el agua requerida durante un período de 24 horas. Esta cantidad es expresada en l/día o gal/día.

Los tanques son usados para guardar el agua para uso durante la noche o durante períodos de tiempo nublado. Generalmente son lo suficientemente grandes para contener de 3 a 5 días el agua requerida por día. Si su aplicación requiere grandes cantidades de agua periódicamente, como regar una plantación una vez a la semana, divide el requerimiento semanal entre 7 para obtener un requerimiento diario promedio. Un sistema como este debería tener un tanque suficientemente grande para almacenar al menos 1.5 veces el requerimiento semanal.

El volumen total de almacenamiento estará conformado por el volumen de regulación, volumen contra incendio y volumen de reserva. El volumen de regulación será calculado con el diagrama masa correspondiente a las variaciones horarias de la demanda. Cuando se comprueba la no disponibilidad de esta información, se deberá adoptar como mínimo el 25% del promedio anual de la demanda como capacidad de regulación, siempre que el suministro de la fuente de abastecimiento sea calculado para 24 horas de funcionamiento. En caso contrario deberá ser determinado en función al horario del suministro. En los casos que se considere demanda contra incendio, deberá asignarse un volumen mínimo adicional de acuerdo al siguiente criterio:

- a) 50 m³ para áreas destinadas netamente a vivienda.

3.5. Redes de distribución

Se le llama sistema de distribución al conjunto de tuberías destinadas al suministro de agua a los usuarios. Para el diseño de la red de distribución es imprescindible definir la fuente de abastecimiento y la ubicación tentativa del tanque de almacenamiento. La importancia en esta determinación radica en el poder asegurar a la población el suministro eficiente y continuo de agua en cantidad y presión adecuadas durante todo el periodo de diseño.

Las cantidades de agua estarán definidas por los consumos estimados en base a las dotaciones de agua. Sin embargo, el análisis de la red debe contemplar las condiciones más

desfavorables, para las condiciones de consumo máximo horario y las estimaciones de la demanda de incendio, dependiendo de la zona en estudio.

Las presiones en la red deben satisfacer ciertas condiciones mínimas y máximas para las diferentes situaciones de análisis que pueden ocurrir. En tal sentido la red debe mantener presiones de servicio mínimas y presiones máximas, tales que no provoquen daños en las conexiones y que permitan el servicio sin mayores inconvenientes de uso.

La Norma nos presenta los parámetros para el diseño de redes de distribución o sistemas de distribución, que se desarrolla a continuación.

3.5.1. Consideraciones de diseño

Para el diseño de redes de distribución se deben considerar los siguientes criterios [8]:

- a) La red de distribución se deberá diseñar para el caudal máximo horario.
- b) Identificar las zonas a servir y de expansión de la población.
- c) Realizar el levantamiento topográfico incluyendo detalles sobre la ubicación de construcciones domiciliarias, públicas, comerciales e industriales; así también, áreas de inestabilidad geológica y otros peligros potenciales.
- d) Para el análisis hidráulico del sistema de distribución se podrá utilizar el método de Hardy Cross, seccionamiento o cualquier otro método racional.
- e) Para el cálculo hidráulico de las tuberías se utilizará fórmulas racionales. En el caso de aplicarse la fórmula de Hazen William se utilizarán los coeficientes de fricción establecidos a continuación: Fierro galvanizado 100, PVC 140.
- f) El diámetro a utilizarse será aquel que asegure el caudal y presión adecuada en cualquier punto de la red. Los diámetros nominales mínimos serán: 25mm en redes principales, 20mm en ramales y 15mm en conexiones domiciliarias.
- g) En cuanto a la presión del agua, debe ser suficiente para que el agua pueda llegar a todas las instalaciones de las viviendas más alejadas del sistema. La presión máxima será aquella que no origine consumos excesivos por parte de los usuarios y no produzca daños a los componentes del sistema, por lo que la presión dinámica en cualquier punto de la red no será menor de 5m y la presión estática no será mayor de 50m.
- h) La velocidad mínima en ningún caso será menor de 0,3 m/s y deberá garantizar la auto limpieza del sistema. En general se recomienda un rango de velocidad de 0,5 –1,00 m/s. Por otro lado, la velocidad máxima en la red de distribución no excederá los 2 m/s.
- i) El número de válvulas será el mínimo que permita una adecuada sectorización y garantice el buen funcionamiento de la red. Las válvulas permitirán realizar las maniobras de reparación del sistema de distribución de agua sin perjudicar el normal funcionamiento de otros sectores.

- j) Las tuberías de la red de distribución se colocarán a 0.50 m en área rural, medidas desde la rasante a la corona del tubo. Ver Fig. 3.22.

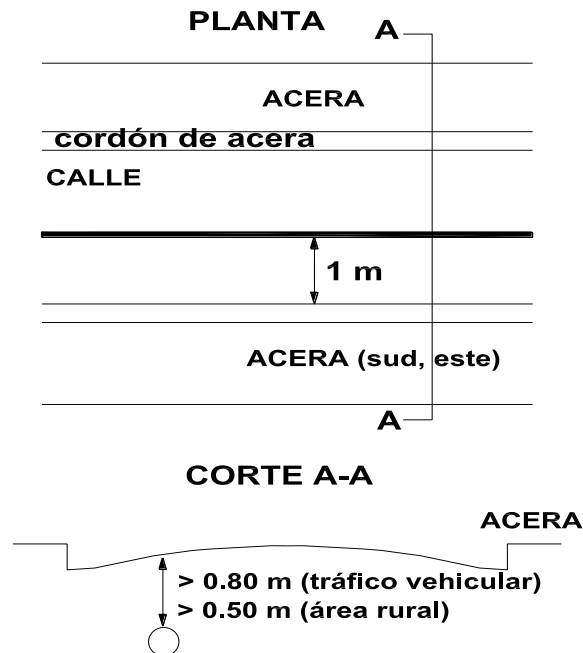


Fig. 3.22. Ubicación de la tubería.

- k) La separación entre las tuberías de agua potable y alcantarillado será de 3 m en planta. De no poder cumplirse con esta condición, se colocarán las tuberías en zanjas separadas a una distancia de 1.50 m, debiendo colocarse la tubería de agua potable a 0.30 m como mínimo por encima de la de alcantarillado.

3.5.2. Tipos de redes

Dependiendo de la topografía, de la viabilidad y de la ubicación de las fuentes de abastecimiento y del tanque de almacenamiento, puede determinarse el tipo de red de distribución. Los sistemas de distribución se clasifican generalmente como: redes ramificadas y redes malladas.

3.5.2.1. Redes ramificadas

Son redes de distribución (Ver Fig. 3.23) constituidas por un ramal troncal y una serie de ramificaciones o ramales que pueden constituir pequeñas mallas, o constituidos por ramales ciegos. Este tipo de red es utilizado cuando la topografía es tal que dificulta, o no permite la interconexión entre ramales.

El dimensionamiento de las redes abiertas o ramificadas se realizará de acuerdo con los siguientes criterios [8]:

- a) Se admitirá que la distribución del caudal sea uniforme a lo largo de la longitud de cada tramo.

- b) La pérdida de carga en el ramal será determinada para un caudal igual al que se verifica en su extremo.
- c) Cuando por las características de la población se produzca algún gasto significativo en la longitud de la tubería, éste deberá ser considerado como un nudo más.

Se recomienda el uso de un caudal mínimo de 0,10 l/s para el diseño de los ramales.

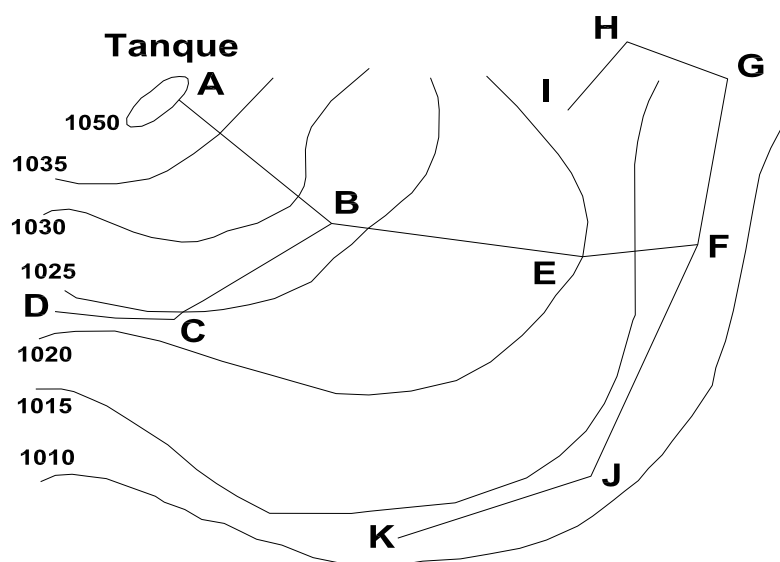


Fig. 3.23. Esquema de red ramificada.

3.5.2.2. Redes malladas

Son aquellas redes constituidas por tuberías interconectadas formando mallas. Este tipo de red de distribución es el más conveniente y tratará siempre de lograrse mediante la interconexión de las tuberías, a fin de crear un circuito cerrado que permita un servicio más eficiente y permanente. En el dimensionado de una red mallada se trata de encontrar los caudales de circulación de cada tramo. En la Fig. 3.24 se observa una red mallada.

El flujo de agua a través de ellas estará controlado por dos condiciones:

- a) El flujo total que llega a un nudo es igual al que sale.
- b) La pérdida de carga entre dos puntos a lo largo de cualquier camino, es siempre la misma.

En sistemas anillados se admitirán errores máximos de cierre:

- a) De 0,10 mca de pérdida de presión como máximo en cada malla y/o simultáneamente debe cumplirse en todas las mallas.
- b) De 0,01 l/s como máximo en cada malla y/o simultáneamente en todas las mallas

Se recomienda el uso de un caudal mínimo de 0,10 l/s para el diseño de los ramales. Las redes cerradas no tendrán anillos mayores a 1km por lado.

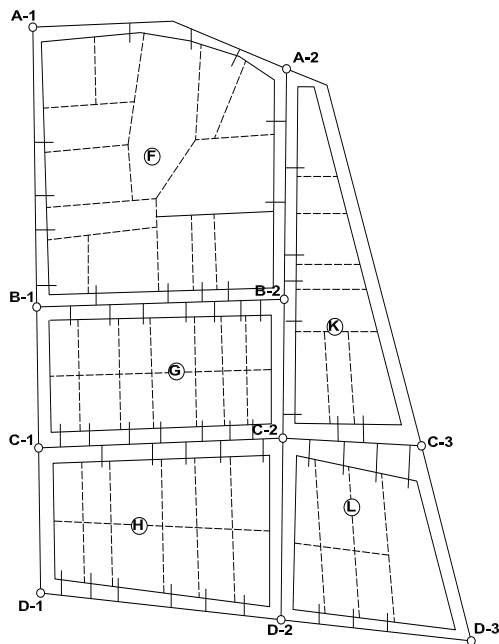


Fig. 3.24. Esquema de red mallada de una zona urbana.

3.5.3. Construcción de la red

La ejecución de la red incluye los trabajos de excavaciones, tendido de cañerías, colocación de accesorios, construcción de cámaras (de hormigón armado o mampostería) para válvulas, colocación de hidrantes, etc. Deberá considerarse también bajo este rubro los costos de anclajes, realización de pruebas, tapado de cañerías, retiro de los materiales sobrantes de las excavaciones y reparaciones de veredas y afirmados de ser necesario.

Se debe tener especial cuidado en que todos y cada uno de los integrantes del sistema sea diseñado e instalado previendo que no se convierta en un punto oculto de contaminación del agua tratada.

3.6. Nivel de servicio de suministro de agua

Nivel de servicio es la forma como se brinda el servicio al usuario. Los niveles de servicio pueden ser: público o por conexión domiciliaria.

El nivel de servicio debe ser de acuerdo a las necesidades de las familias, pero se ve influenciado por la capacidad de la fuente, el monto de la inversión disponible, los costos de operación y mantenimiento y la capacidad técnica y económica de los usuarios.

3.6.1. Nivel de servicio público o multifamiliar

Reciben el servicio a través del acceso a pequeñas fuentes de abastecimiento de agua de uso exclusivo, o a partir de piletas públicas abastecidas por una red.

Las familias deben transportar el agua hasta su domicilio.

3.6.2. Nivel de servicio por conexión domiciliaria o familiar

Reciben el servicio individualmente en sus viviendas, por medio de conexiones domiciliarias conectadas a una red pública. Ésta puede estar ubicada fuera de la vivienda (un punto de agua al exterior de la vivienda) o dentro de la vivienda (conexión con módulos sanitarios).

El nivel de servicio con conexión domiciliaria dentro de la vivienda es el que proporciona mayor garantía sanitaria al usuario, ya que disminuye el requerimiento de almacenamiento intra domiciliario del agua y los riesgos de contaminación asociados a esa práctica. Sin embargo, las fuentes públicas resultan ser apropiadas en zonas rurales donde las conexiones domiciliarias se tornan excesivamente costosas debido a la distancia que existe entre las viviendas, a la ubicación y al tamaño de la población, a las condiciones geográficas y a la disponibilidad de fuentes de agua.

3.7. Piletas públicas

Una pileta pública (Ver Fig. 3.25) es una estructura que soporta una tubería de agua conectada a una línea o red de distribución de agua, y que termina en una llave o grifo, ubicada en un lugar público, de la cual se obtiene agua para uso doméstico y otros usos.

Estas tomas de agua se implantan particularmente en el sector rural.

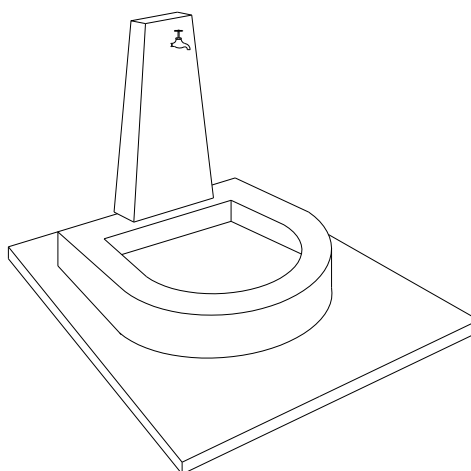


Fig. 3.25. Pileta pública de distribución de agua.

Algunas consideraciones para la ubicación de piletas públicas son:

- a) La distancia de acceso a los usuarios, será en promedio de 200 m. y en poblaciones dispersas hasta 300 m.
- b) Se considerará como máximo 75 usuarios por grifo (equivalente a 15 familias).
- c) Deberán instalarse en terrenos públicos o comunales.
- d) El número de puntos de abastecimiento o piletas públicas a instalarse dependerá de la cantidad de viviendas, el número de personas y la ubicación de las viviendas.

- e) Se deberán ubicar puntos de abastecimiento en establecimientos públicos como Escuelas, Centros de Salud, Centros Infantiles, etc.
- f) El punto de abastecimiento se ubicará centralizado a las viviendas a servir.

3.8. Implementación de la infraestructura del proyecto y esquema general del sistema de abastecimiento de agua potable

Los caseríos beneficiados con la implementación de un adecuado sistema de abastecimiento de agua potable son: Charancito, El Naranjo, Charán Grande y El Alumbre.

Antes de la ejecución del Proyecto los cuatro caseríos no contaban con el servicio de agua potable, sus habitantes se abastecían de agua de quebradas, emanaciones temporales y pozos artesanales, que les originaba enfermedades parasitarias y de origen hídrico, poniendo en riesgo su salud.

En la etapa de diseño se propuso la implementación de un sistema de abastecimiento de agua potable utilizando energía solar fotovoltaica, por ser ésta confiable, económica y respetuosa con el medio ambiente, además de ser una alternativa viable en estas zonas de características tan particulares. En este sentido, se elaboró un expediente técnico, a cargo del Instituto de Hidráulica, Hidrología e Ingeniería Sanitaria de la Universidad de Piura, en el que se plasmaron las consideraciones técnicas, procesos constructivos y montos referenciales de las obras civiles necesarias.

En la elaboración del expediente técnico, específicamente en los trabajos de identificación de fuentes de abastecimiento y levantamientos topográficos, se contó con la participación activa de los pobladores beneficiados, quienes se organizaron en cuadrillas de trabajo y en turnos diarios, lo que posibilitó una labor más eficiente, dado su conocimiento natural de la zona.

Cabe mencionar que se realizaron los análisis físico-químicos y bacteriológicos de las muestras de agua extraídas de la fuente de agua propuesta para el sistema de abastecimiento, con la finalidad de garantizar la calidad final del agua.

A continuación se describe el sistema de abastecimiento de agua potable que se proyectó, diseñó y construyó durante la ejecución del proyecto.

El sistema de abastecimiento de agua potable capta el recurso hídrico del acuífero de la quebrada Charán Grande, en su margen izquierda, a través de una estructura de captación tipo Noria, de concreto armado de 7 metros de profundidad y 3 metros de diámetro interior. Desde esta estructura de captación, el agua es impulsada por dos bombas tipo sumergible, accionadas con energía fotovoltaica, las cuales elevan el agua a través de una línea de impulsión de 63 mm. de diámetro hasta el reservorio apoyado de almacenamiento y regulación, de sección circular y 30 m³ de capacidad.

Tanto al inicio de la línea de impulsión como en el reservorio se han construido cajas de válvulas donde están alojados los accesorios de control del flujo de agua (válvulas de control, válvula check, caudalímetro, manómetro etc.).

Posteriormente, desde el reservorio apoyado el agua es conducida por gravedad, a través de las redes de distribución, hasta las 39 conexiones públicas, ubicadas estratégicamente en los cuatro caseríos beneficiarios.

A lo largo de las líneas de distribución de agua se han implementado 8 válvulas de aire, 3 válvulas de purga y 2 válvulas de control, para la adecuada regulación y flujo del agua. Además, durante la fase de monitoreo del funcionamiento del sistema se instalaron 4 válvulas de liberación de aire con la participación de los operadores del sistema de agua potable, pobladores de la zona capacitados por el proyecto.

En el reservorio se ha instalado un equipo de cloración para realizar la desinfección del agua y garantizar su adecuada calidad física química.

El sistema de generación eléctrica y la caseta del operador están protegidos por un cerco perimétrico colocado alrededor de todos estos elementos en su conjunto; al igual que el reservorio apoyado.

Cabe resaltar que la población ha participado en la construcción del sistema, brindando su aporte con mano de obra no calificada, específicamente en la excavación de la noria, vaciados de concreto, limpieza y relleno de zanjas, donde se ha tendido la tubería para conformar las redes de conducción y de distribución de agua potable.

El esquema general del sistema de abastecimiento de agua propuesto se presenta en la Fig. 3.26.

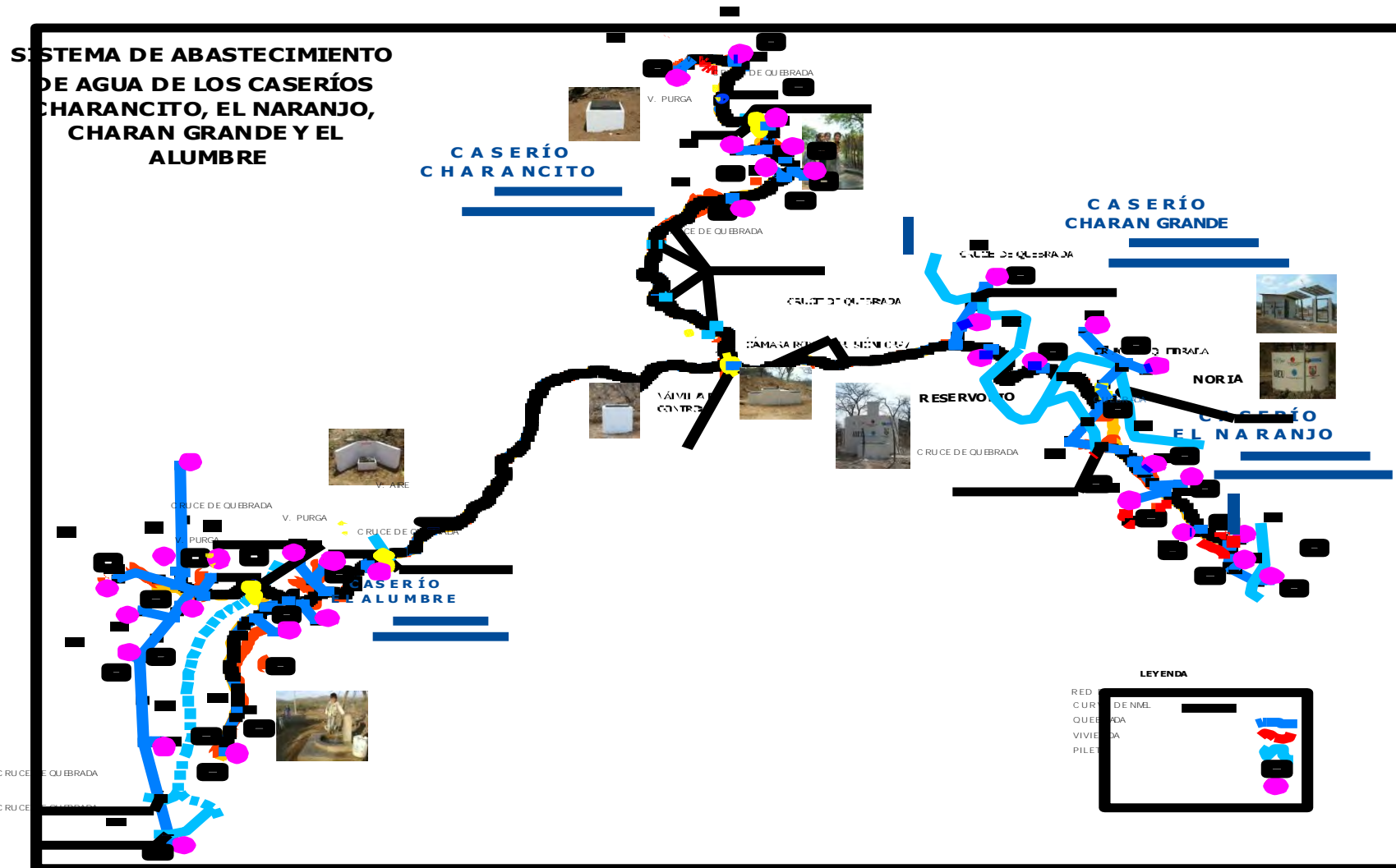


Fig. 3.26. Esquema general del sistema de abastecimiento de agua potable de los caseríos Charancito, El Naranjo, Charán Grande y El Alumbre.

3.9. Conclusiones preliminares

- a) Uno de los criterios básicos para lograr la sostenibilidad de los sistemas de abastecimiento de agua, es que la opción tecnológica y el nivel de servicio estén basados en las condiciones físicas, económicas, sociales y culturales de la comunidad a ser atendida, conjuntamente con la aspiración de disponer del servicio de abastecimiento de agua.
- b) Muchas veces los costos de perforación de pozos tubulares son demasiado elevados para ser empleados en zonas rurales, por lo que se busca como primera opción la construcción de pozos excavados de gran diámetro o norias.
- c) Las ventajas más importantes de los pozos excavados o norias son su baja complejidad técnica, menor inversión económica, equipamiento hidráulico más sencillo, menor consumo de energía eléctrica y su nula o baja mantención, en comparación con los pozos profundos que sí requieren de niveles de inversión superiores, mayor costo de limpiezas y mantenciones, sobre todo aquellos de alto caudal o que producto de su mal diseño constructivo o de un mal desarrollo se deben desarenar y limpiar frecuentemente.
- d) En abastecimiento a comunidades rurales la profundidad a la que se debe y puede cavar un pozo oscila entre 6 y 12 metros y el diámetro debe ser de 2 a 3 metros si se piensa abastecer a toda una comunidad.
- e) En las zonas rurales la utilización de fuentes de energía como los combustibles hidrocarburos y la electricidad no resultan ser opciones adecuadas ya que generan problemas de almacenamiento, transporte y distribución de combustibles, además de generación de desechos que contaminan el ambiente. Esto no garantiza un funcionamiento continuo y confiable de los equipos del sistema de abastecimiento de agua potable y genera elevados costos.
- f) Con el empleo de paneles solares fotovoltaicos para el bombeo de agua subterránea se combinan los avances técnicos asociados a la electricidad (bombas eléctricas) junto con lo atractivo de contar con una fuente de energía autóctona y renovable.
- g) El correcto estudio del golpe de ariete es fundamental en el dimensionamiento de las tuberías, ya que un cálculo erróneo puede conducir a un sobredimensionamiento de las conducciones, con lo que la instalación se encarece de forma innecesaria; y que la tubería sea calculada por defecto, con el consiguiente riesgo de que se produzca una rotura.
- h) La presión dinámica en cualquier punto de la red no será menor de 5 m y la presión estática no será mayor de 50 m.
- i) La velocidad mínima en ningún caso será menor de 0.3 m/s y deberá garantizar la auto limpieza del sistema. En general se recomienda un rango de velocidad de 0.5 a 1 m/s.
- j) Si se trata de capacidades medianas y pequeñas, como es el caso de los proyectos de abastecimiento de agua potable en poblaciones rurales, resultará tradicional y económica la construcción de un reservorio apoyado de forma cuadrada o circular.

- k) En las zonas rurales, las normas recomiendan para los proyectos de agua potable mediante sistemas de bombeo, una capacidad de regulación del reservorio del 30% del consumo promedio diario anual (Q_m); mientras que, para sistemas por gravedad 25%.
- l) La importancia del reservorio radica en garantizar el funcionamiento hidráulico del sistema y el mantenimiento de un servicio eficiente, en función a las necesidades de agua proyectadas y el rendimiento admisible de la fuente.
- m) El sistema de abastecimiento contará con una estructura de captación tipo noria, de concreto armado de 7 m de profundidad y 3 m de diámetro interior. Desde esta estructura de captación, el agua será impulsada por 2 bombas tipo sumergible, accionadas con energía fotovoltaica, las cuales elevarán el agua a través de una línea de impulsión de 63 mm de diámetro hasta el reservorio apoyado de almacenamiento y regulación, de sección circular y 30 m³ de capacidad. El agua será conducida por gravedad, a través de las redes de distribución, hasta las 39 conexiones públicas ubicadas estratégicamente en los cuatro caseríos beneficiarios.
- n) A lo largo de las líneas de distribución de agua se han implementado 8 válvulas de aire, 3 válvulas de purga y 2 válvulas de control, para la adecuada regulación y flujo del agua.
- o) La operación eficiente del sistema de agua potable por bombeo requiere de acciones efectivas en el manejo cotidiano, además de trabajos de mantenimiento de carácter preventivo y correctivo a los equipos.

Capítulo 4

Diseños de ingeniería del sistema de abastecimiento de agua potable para los caseríos de Charancito, El Naranjo, Charán Grande y El Alumbre

4.1. Aspectos poblacionales

4.1.1. Análisis del crecimiento poblacional

El tamaño del proyecto está íntimamente ligado al crecimiento poblacional y al período de diseño que se analice. Debido a factores imprevisibles, una población no puede ser extrapolada con seguridad a más de 20 años, pues durante períodos más largos, podrían ocurrir fenómenos de crecimiento que distorsionen en alto grado la magnitud del proyecto que se vaya a adoptar.

La tasa de crecimiento poblacional es el aumento (o disminución) de la población por año en un determinado período debido al aumento natural y a la migración neta, expresado como porcentaje de la población del año inicial o base.

Para proyectar la población, la elección final del método depende de la experiencia del diseñador y del conocimiento que se tenga acerca de las condiciones socioeconómicas y características de salud de la población. De esta manera se puede tomar una tasa de crecimiento con diferentes hipótesis, las cuales pueden ser altas, medias y bajas según los datos que se tengan ya sea de la INE, de la alcaldía de la región, etc.

En la Fig. 4.1 se observa el crecimiento de una población considerando diferentes hipótesis de diseño.

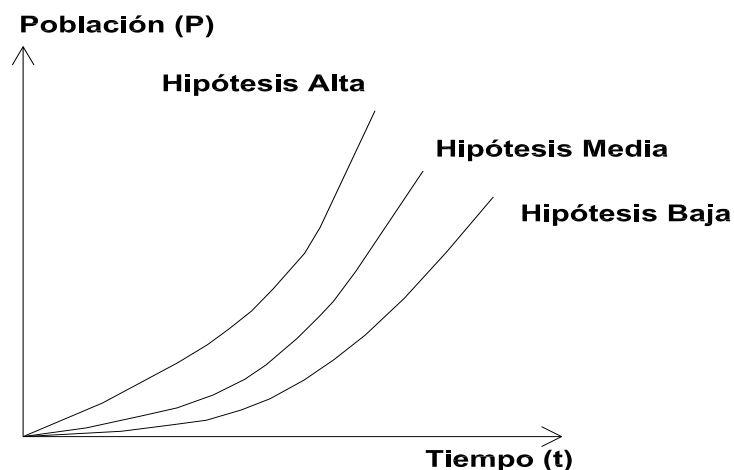


Fig. 4.1. Crecimiento poblacional según diferentes hipótesis.

4.1.2. Período de diseño

Definimos como período de diseño, el lapso que transcurrirá entre la puesta en servicio de un sistema o parte del mismo y el momento en que por su uso o por falta de capacidad para prestar eficiente servicio, se sobrepasan las condiciones establecidas en el proyecto.

El período de diseño estará influenciado por diversos factores entre los cuales se pueden mencionar los siguientes:

- Vida útil de los equipos electromecánicos.
- Duración probable de las instalaciones civiles e hidromecánicas.
- Monto de la inversión que requiere la ejecución de las obras.
- Población futura a servir.

En la Tabla 4.1 se muestran algunos valores estimados del período de diseño de los diversos elementos de los sistemas rurales de abastecimiento de agua.

Tabla 4.1. Períodos de diseño de elementos de los sistemas rurales de abastecimiento de agua [9].

Elementos del sistema	Período de diseño
Obras de captación	20 a 30 años
Pozos	20 a 30 años
Plantas de tratamiento, reservorios	20 a 30 años
Tuberías de conducción y distribución	20 a 30 años
Equipos de bombeo	5 a 10 años

No todos los elementos del sistema consideran un mismo período de diseño, por lo que es preferible asumir un único período para el cálculo de todo el sistema. Dicho período estará en función de la duración de los materiales y equipos.

Según la experiencia del Instituto de Hidráulica, Saneamiento e Hidrología de la UDEP en la elaboración y evaluación de sistemas de abastecimiento de agua potable en zonas

rurales, se recomienda asumir un período de diseño de 15 años para todos los elementos del sistema. El período recomendado es el adecuado ya que conjuga la duración de las estructuras de concreto y los equipos de bombeo. Además no es recomendable elegir largos períodos porque hay que considerar la presencia de eventos climáticos de extraordinaria magnitud que podrían hacer colapsar la infraestructura construida.

4.1.3. Poblacional actual

En todo proyecto de abastecimiento de agua potable, uno de los parámetros más importantes de evaluación es la población actual, por lo que es necesario hacer un estudio de la misma. Se pueden usar los datos de los censos, si son recientes y confiables, de lo contrario es mejor tomar los datos en campo [10].

La población a servir de los caseríos: Charancito, El Naranjo, Charán Grande y El Alumbre, está distribuida tal como se muestra en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2. Población actual a servir.

Caserío	Población Actual
Charancito	79
El Naranjo	89
Charán Grande	62
El Alumbre	232
Total	462

Los datos de la Tabla 4.2 se han tomado en base a los datos proporcionados por los tenientes gobernadores de los caseríos, que dan una población conformada por 84 familias con un densidad poblacional de 5.5 habitantes por vivienda, resultando una población total de 462 habitantes al año 2008.

4.1.4. Cálculo de la población de diseño

Una de las dificultades más importantes que puede enfrentar el proyectista para estimar la población futura es que en muchos casos no contará con datos precisos de la evolución demográfica ni del desarrollo económico de la localidad. En esta situación no podrá hacer un cálculo sistemático y deberá proceder con suma prudencia, basándose en su experiencia personal y en la evolución de localidades de similares características para establecer la población futura.

Dada la magnitud de las poblaciones que se encuentran en las comunidades rurales, se utilizará procedimientos simples para la estimación de la población futura, tratando siempre de trabajar con valores razonables enunciados acordes a las realidades de las zonas en estudio.

Los procedimientos más corrientemente utilizados son:

- a) Extrapolación lineal considerando un crecimiento aritmético de la población.
- b) Crecimiento geométrico partiendo de la hipótesis de que la población crece cada año de acuerdo a un coeficiente fijo de aumento.

El Ministerio de Salud del Perú (MINSA) recomienda el cálculo de la población de diseño mediante la fórmula del crecimiento lineal, dado que en el medio rural es posible efectuar un censo local de la población actual [9]. Este método se utiliza para el cálculo de poblaciones bajo la consideración de que éstas van cambiando en la forma de una progresión aritmética y que se encuentran cerca del límite de saturación [11].

La ecuación de crecimiento aritmético, se escribe mediante la expresión 4.1 siguiente:

$$P_f = P_a \cdot (1 + r \cdot t) \quad (4.1)$$

Donde:

- P_f Población futura o población de diseño, hab.
 P_a Población actual, hab.
 r Tasa de crecimiento, %.
 t Período de diseño, años.

Se asume una tasa de crecimiento anual de 2.00 % (según INEI), por ser este valor compatible con lo establecido en las normas de diseño para proyectos de agua potable en zonas rurales.

Para disminuir el riesgo de un error en la estimación de la población futura y la posibilidad de que la capacidad de las instalaciones sea superada rápidamente en un lapso muy corto, se adoptará como período de diseño 15 años (establecido según lo descrito en el acápite 4.1.2.), contados a partir del año 2009.

El resultado de la estimación de la población futura, para un período de diseño de 15 años y una tasa de crecimiento de 2%, se presenta en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3. Estimación de la población futura al año 2024.

Caserío	Población Futura Año 2009 (hab.)	Población Futura Año 2024 (hab.)
Charancito	81	106
El Naranjo	91	118
Charán Grande	63	82
El Alumbre	237	308
Total	472	614

Según la Tabla 4.3, El Alumbre es el caserío con mayor población representando el 50.2% de la población futura total, al año 2024.

4.2. Criterios de diseño del sistema rural de abastecimiento de agua

El dimensionamiento de cada una de las estructuras que integran un sistema de abastecimiento de agua potable, nos exige calcular los volúmenes de agua que la instalación debe tratar, elevar, almacenar o distribuir, según se trate de planta de tratamiento, equipos de bombeo, tanques o cisterna y redes.

Para la determinación de dichos volúmenes debemos calcular la población a servir y la dotación a suministrar. En el caso especial de la red, que es una de las partes del sistema de difícil ampliación, el cálculo ha de hacerse considerando la población y dotación futura, para el período de diseño que se haya estimado; para garantizar así un servicio eficiente para un determinado número de años durante los cuales crecerán paulatinamente la población servida y los consumos unitarios.

4.2.1. Dotaciones

El consumo diario “per cápita” o dotación es la cantidad media de agua utilizada diariamente por un habitante, que generalmente se expresa en litros. Este consumo sólo puede determinarse en base a estadísticas permanentes.

Considerando la experiencia del Instituto de Hidráulica, Hidrología e Ingeniería Sanitaria de la Universidad de Piura, en estudios y proyectos de abastecimiento de agua para diversos poblados de la región, y según las evaluaciones de consumo de agua realizadas en los poblados de la costa norte del país, se ha llegado a estimar que para estas condiciones el consumo promedio de agua de 50 l/hab/día, es razonable como criterio de diseño para sistemas de abastecimiento de agua, a nivel de piletas públicas.

Para los poblados en estudio, Charancito, El Naranjo, Charán Grande y El Alumbre, se ha adoptado una dotación de 50 lt/hab/día. Esta dotación adoptada permitirá el dimensionamiento de los diferentes elementos que forman parte del sistema de abastecimiento de agua acorde con las realidades socioeconómicas de los poblados. Finalmente la dotación asumida permitirá un eficiente servicio, siempre y cuando el sistema opere sobre la base de mantener el servicio en buen estado de funcionamiento.

Muchos son los factores que afectan el consumo de agua de las comunidades, unos de orden general y otros específicos, es decir relacionados con el propio abastecimiento de agua.

4.2.1.1. Factores genéricos que afectan el consumo de agua

Entre los factores genéricos que afectan el consumo de agua, se destacan:

- a) Tamaño y nivel de vida de la población.- El consumo por habitante será mucho mayor en ciudades grandes donde se disfruta de un nivel de vida elevado, requiriendo el uso del agua para diversos fines; mientras que, en pequeñas localidades, el uso del agua se limita a atender las necesidades primarias de uso doméstico.

- b) Características culturales, económicas y sociales de la población.- No cabe duda de que será diferente el consumo “per cápita” en ciudades que en pequeñas comunidades rurales, debido a que el consumo es grandemente afectado por el desarrollo social, cultural y de actividades económicas como la industria, comercio, entre otras.
- c) Clima de la zona.- Influye en el consumo de agua, elevándolo en aquellas comunidades situadas en regiones tórridas y secas, y reduciendo su valor en las regiones templadas o frías.
- d) Hábitos de higiene de la población.- Es evidente que en una población sanitariamente educada el consumo será mayor, ya que el agua es un elemento fundamental para la higiene individual y del medio ambiente.

4.2.1.2. Factores específicos que afectan el consumo de agua

Entre los factores específicos que afectan el consumo de agua, se destacan:

- a) Modalidad del abastecimiento.- Es evidente que el consumo de agua en comunidades servidas por un sistema público de abastecimiento es mayor que en aquellas donde se cuenta con un sistema rudimentario. En el primer caso se tratará de agua potable, sanitariamente segura, disponible en cantidades satisfactorias para atender las necesidades; mientras que, en los abastecimientos rudimentarios, el agua se obtiene con dificultad, en muchos casos a precio relativamente alto, generalmente de aspecto desagradable y peligrosa para la salud.
- b) Calidad del agua suministrada.- El agua potable tiene mucha mayor oportunidad de ser utilizada que otra turbia, dura, con olor o sabor desagradable. Cuando es mejorada la calidad del agua por medio de tratamientos, se observa un inmediato aumento del consumo.
- c) Presión en la red de distribución.- La presión en la red afecta grandemente el consumo a través de los derroches y las pérdidas.
- d) Control de consumo.- Cuando el uso del agua es controlado por medio de medidores o de reguladores de gasto, siendo la tarifa progresiva en función del propio consumo, el valor del mismo “per cápita” es inferior al registrado en localidades con servicio “por canilla libre”.

4.2.2. Variaciones de consumo

Los consumos de agua de un poblado muestran variaciones mensuales, diarias y horarias. Durante un período (semana, mes, etc.) se puede observar que ocurren días de máximo y mínimo consumo [11].

Para el dimensionamiento de sistemas rurales de abastecimiento de agua con distribución final a nivel de piletas públicas, existen pocas referencias relacionadas con las variaciones diarias de consumo. Para tal efecto, en base de investigaciones realizadas en poblaciones rurales de la costa norte del Perú, relacionadas con el análisis de variaciones horarias de

consumo, se ha determinado un patrón de consumo de agua, el cual se muestra en la Fig. 4.2 [11].

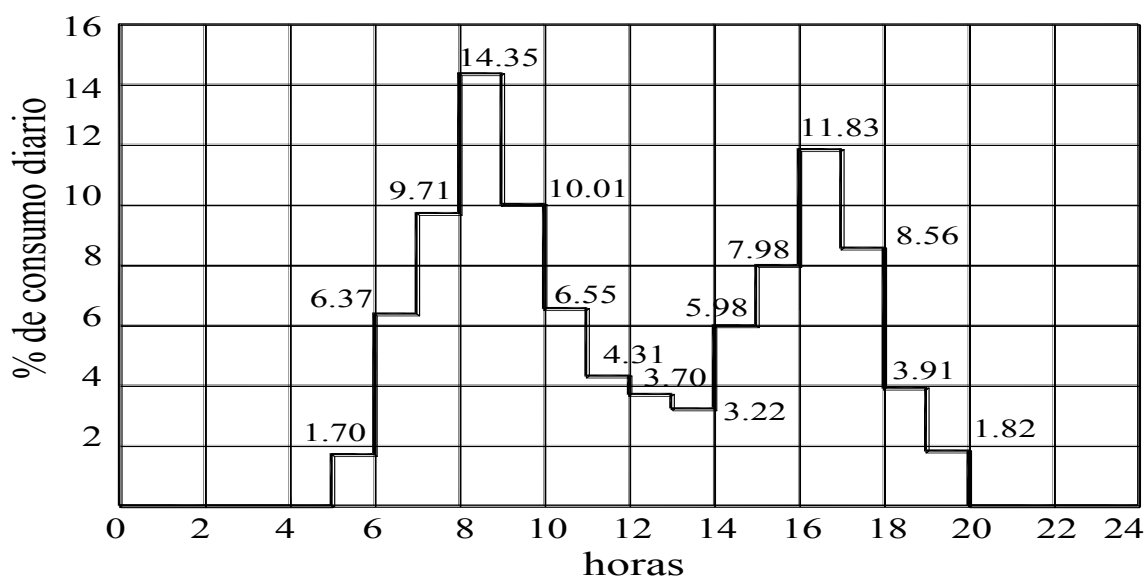


Fig. 4.2. Variaciones horarias estimadas de consumo para poblaciones rurales de la costa norte del Perú (poblaciones menores de 1000 habitantes) [11].

En el patrón de consumo horario de agua estimado (presentado en la Fig. 4.2), se ve que las horas de máximo consumo se presentan en la mañana (de 8 am a 9 am) y en la tarde (de 4 pm a 5 pm), con un porcentaje de consumo de 14.35 % y 11.83 % respectivamente. Adicionalmente, esta distribución es acorde con la propuesta del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) para zonas rurales [11].

Los coeficientes de variaciones de consumo son: el coeficiente de variación diaria (K_1) y el coeficiente de variación horaria (K_2).

4.2.2.1. Coeficiente de variación diaria (K_1)

El coeficiente de variación diaria (K_1), es la relación entre el consumo máximo diario y el consumo promedio diario anual [11], que se puede escribir mediante la expresión 4.2 siguiente:

$$K_1 = \frac{Q_{m.d.}}{Q_p} \quad (4.2)$$

Donde:

K_1 Coeficiente de variación diaria.

$Q_{m.d.}$ Consumo máximo diario, l/s.

Q_p Consumo promedio diario anual, l/s.

La Tabla 4.4 presenta los valores de coeficientes de variación diaria (K_1), aplicables a sistemas de abastecimiento de agua potable para zonas rurales.

Tabla 4.4. Valores de K_1 aplicables a sistemas de abastecimiento de agua potable para zonas rurales [11].

Normas del MINSA	K_1
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Normas 1964 ▪ Normas 1982 <ul style="list-style-type: none"> - Convencionales - No convencionales ▪ Investigación MINSA 	<p style="text-align: center;">1.20 del Q_p</p> <p style="text-align: center;">1.20 a 1.50, recomendable 1.30 Asumir caudal promedio diario anual (Q_p) o caudal de rendimiento de la fuente (Q_r)</p> <p style="text-align: center;">1.17 del Q_p</p>

4.2.2.2. Coeficiente de variación horaria (K_2)

El coeficiente de variación horaria (K_2), es la relación entre el consumo máximo horario y el consumo promedio diario anual [11], que se puede escribir mediante la expresión 4.3 siguiente:

$$K_2 = \frac{Q_{m.h.}}{Q_p} \quad (4.3)$$

Donde:

K_2 Coeficiente de variación horaria.

$Q_{m.h.}$ Consumo máximo horario, l/s.

Q_p Consumo promedio diario anual, l/s.

La Tabla 4.5 presenta los valores de coeficientes de variación horaria (K_2), aplicables a sistemas de abastecimiento de agua potable para zonas rurales.

Tabla 4.5. Valores de K_2 aplicables a sistemas de abastecimiento de agua potable para zonas rurales [11].

Normas del MINSA	K_2
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Normas 1964 <ul style="list-style-type: none"> Poblaciones: - < 1000 hab. 4.00 - 1000 a 2000 hab. 3.00 ▪ Normas 1982 <ul style="list-style-type: none"> - Convencionales 1.30 poblaciones dispersas y 1.50 poblaciones concentradas - No convencionales Asumir caudal promedio (Q_p) ▪ Investigación MINSA 1.70 para S.A.P. por gravedad 	

Teniendo en cuenta las limitaciones para determinar las variaciones de consumo en las condiciones actuales, se adoptarán las siguientes variaciones diarias y horarias para el cálculo de las demandas futuras:

- a) Máximo anual de la demanda diaria (K_1) = 1.3
- b) Máximo anual de la demanda horaria (K_2) = 2.0

Los coeficientes de variación, para infraestructura rural, han sido tomados de las Normas de Diseño OS-100 y del Ministerio de Salud, entidad encargada de la vigilancia y control de los servicios de saneamiento básico.

4.2.3. Caudal de diseño

El caudal promedio diario anual (Q_p) es la cantidad de agua requerida para satisfacer las necesidades de una población en un día de consumo promedio. Este caudal estará en función de la población de diseño y la dotación [11], tal como se indica en la expresión 4.4 siguiente:

$$Q_p = \frac{P * \text{Dot.}}{86400} \quad (4.4)$$

Donde:

Q_p Caudal promedio diario anual, l/s.
 P Población de diseño, hab.
 Dot. Dotación, l/hab/día.

Las variaciones de consumo pueden expresarse en función del consumo promedio diario (Q_p) y sirven de base para el dimensionamiento de la capacidad de: obras de captación, línea de conducción, red de distribución, etc.

El consumo máximo diario ($Q_{m.d.}$) es un factor importante utilizado en el diseño de captaciones, líneas de conducción e impulsión y reservorios de los sistemas de abastecimiento de agua potable. La ecuación del consumo máximo diario se indica en la expresión 4.5 siguiente:

$$Q_{m.d.} = K_1 \cdot Q_p \quad (4.5)$$

El consumo máximo horario ($Q_{m.h.}$) se utiliza para el diseño de líneas de aducción y redes de distribución de los sistemas de abastecimiento de agua potable. La ecuación del consumo máximo horario se indica en la expresión 4.6 siguiente:

$$Q_{m.h.} = K_2 \cdot Q_p \quad (4.6)$$

La Tabla 4.6 presenta los caudales de la población a servir; es decir, las demandas futuras de agua, tomándose en cuenta la población futura a 15 años (2024), contados a partir del año 2009. Además, para el cálculo de estas demandas futuras de agua, dependiendo si son diarias o, horarias, se considerará los coeficientes K_1 y K_2 respectivamente.

Tabla 4.6. Resultados de cálculo de las demandas futuras de agua.

Caserío	Dotación (l/hab/día)	Población Futura (hab.)	Q. Prom. Diario (l/s)	Q. Máx. Diario (l/s)	Q Máx. Horario (l/s)
Charancito	50	106	0.06	0.08	0.12
El Naranjo	50	118	0.07	0.09	0.14
Charán Grande	50	82	0.05	0.06	0.09
El Alumbre	50	308	0.18	0.23	0.36
Total		614	0.36	0.46	0.71

Como se aprecia en la Tabla 4.6, los caudales serán mayores para abastecer al caserío El Alumbre, por tener mayor población de diseño.

4.2.4. Tratamiento del agua

En los abastecimientos de agua hay que tener la seguridad de que el agua que se suministra es en todo instante potable, es decir que no sólo presenta buenas condiciones físicas y químicas, sino también que no contiene bacterias patógenas.

No basta que un agua sea perfectamente límpida para considerarla como pura. Puede muy bien encontrarse, a pesar de ello, contaminada con bacterias patógenas, es decir peligrosas para la salud humana; por ello, es necesario desinfectar el agua mediante un tratamiento químico que garantice su buena calidad.

El cloro es el material más usado como desinfectante del agua. Además de su capacidad destructora de gérmenes, su capacidad oxidante es muy grande y su acción también es muy beneficiosa en la eliminación del hierro, manganeso, sulfhídricos, sulfuros y otras sustancias reductoras del agua.

La hipótesis más aceptada de cómo actúa y destruye el cloro estos microorganismos patógenos es que produce alteraciones físicas, químicas y bioquímicas en la membrana o pared protectora de las células ocasionando el fin de sus funciones vitales.

El cloro se presenta puro en forma líquida (hipoclorito de sodio) o compuesto como hipoclorito de calcio y es la sustancia química que más económicamente y con mejor control y seguridad se puede aplicar al agua para obtener su desinfección.

El cloro puede resultar irritante para las mucosas y la piel; por ello, su utilización está estrictamente vigilada. La dosis de cloro a emplear debe regularse de manera que no llegue el agua al consumidor con excesivo gusto a cloro o sus compuestos, que harían que aquél la rechazara.

El tratamiento debe hacerse de modo que el cloro se encuentre en contacto con toda la masa de agua por lo menos por unos 30 minutos. Por lo general la dosis se regula de manera que el agua llegue al consumidor con 0.05 a 0.10 mg/l de cloro libre residual.

Toda instalación que ha de ser puesta en funcionamiento por primera vez cualquiera sea su sistema: pozos, galerías, cisternas o tanques, cañerías de distribución y aún las mismas

bombas de impulsión o elevación del agua, deben someterse a un proceso intenso de desinfección con cloro.

Se recomienda, además, para mayor seguridad, realizar siempre algunas pruebas bacteriológicas, siembras de muestras de agua extraída después de la desinfección, teniendo presente que la dosis de cloro a aplicar dependerá principalmente de la materia orgánica presente.

4.3. Diseño de los elementos del sistema de abastecimiento de agua potable

El sistema de abastecimiento de agua proyectado para los caseríos de Charancito, El Naranjo, Charán Grande y El Alumbre, requiere la construcción de la infraestructura que a continuación se detalla:

- a) Estructura de captación tipo noria.
- b) Línea de impulsión: noria de captación - reservorio apoyado de almacenamiento y regulación.
- c) Sistema de bombeo con utilización de la energía solar fotovoltaica.
- d) Reservorio apoyado de almacenamiento y regulación.
- e) Redes de distribución de agua potable.
- f) Cámara rompe presión.
- g) Fuentes de suministro de agua.

4.3.1. Diseño de la estructura de captación tipo noria

Con las evaluaciones realizadas al acuífero subterráneo durante la etapa de exploración, se determinó la ubicación de la estructura de captación tipo noria para el sistema de abastecimiento de agua, a inmediaciones de la margen izquierda de la rivera de la quebrada Charán Grande en el caserío del mismo nombre.

El acuífero fluye a través de un subsuelo compuesto de arcillas sobre consolidadas y rocas fracturadas de baja permeabilidad, que hacen que el caudal de flujo sea reducido, por lo que se justifica la construcción de un sistema de captación tipo noria, por ser la estructura más apropiada debido a su gran diámetro y volumen, sirviendo para la captación y el almacenamiento de agua subterránea.

Gracias a la capacidad de almacenamiento que tiene este tipo de estructura, se puede extraer agua en una proporción mayor al flujo de recarga del acuífero, siendo muy importante en horas de máxima demanda de agua, donde los usuarios extraen agua a un mayor ritmo al que se recarga el acuífero.

Para el diseño de la noria se ha tenido en cuenta aspectos como: capacidad del acuífero, demanda de agua de las localidades beneficiadas y posibles problemas de inundación que pudieran darse como consecuencia de las lluvias que se presentan en la zona norte del país.

Durante la fase de exploración de campo, se realizaron pruebas en los pozos de sondeo, resultando un caudal de infiltración de ingreso al acuífero subterráneo de 0.80 l/s. Con este

caudal de infiltración el volumen de agua que se puede almacenar durante un día se obtiene mediante la expresión 4.7 siguiente:

$$V_{almac.} = \frac{Q_i * 86400}{1000} \quad (4.7)$$

Donde:

$V_{almac.}$ Volumen de almacenamiento diario, m^3 .

Q_i Caudal de infiltración de ingreso del acuífero subterráneo, l/s.

Reemplazando los datos de Q_i en la expresión 4.7 se obtiene:

$$V_{almac.} = \frac{0.8 * 86400}{1000} = 69.12 \text{ m}^3$$

El volumen de demanda de agua por día para las localidades beneficiadas se obtiene mediante la expresión 4.8 siguiente:

$$V_{dem/día.} = \frac{Q_p * 86400}{1000} \quad (4.8)$$

Donde:

$V_{dem/día.}$ Volumen de demanda de agua por día, m^3 .

Q_p Caudal promedio diario, l/s.

Reemplazando en la expresión 4.8, el valor de Q_p total hallado en la Tabla 4.6 para los cuatro caseríos, se obtiene:

$$V_{dem/día.} = \frac{0.36 * 86400}{1000} = 31.10 \text{ m}^3$$

El volumen de demanda de agua por día para las localidades de Charancito, El Naranjo, Charán Grande y el Alumbre resulta de 31.10 m^3 , por lo que se concluye que el acuífero subterráneo es capaz de abastecer suficientemente de agua a dichas localidades por haberse determinado un volumen de almacenamiento superior a lo requerido.

Considerando el diámetro de la noria igual a 3.00 m y un espesor de 0.20 m, la altura de columna de agua para la obtención del volumen de demanda diario será 4.40 m.

Se debe tener en cuenta los siguientes aspectos para determinar las dimensiones de la noria:

- a) El nivel de succión de las bombas debe estar 0.50 m por encima del fondo efectivo de almacenamiento de la noria.
- b) La separación entre el nivel estático y el nivel del terreno determinada durante la fase exploratoria es de 0.50m.

- c) Se considera una altura libre de 3.0 m por encima del nivel del terreno con el fin de proteger la noria contra eventuales inundaciones.

Considerando la altura de columna de agua para la obtención del volumen de demanda diario, más los aspectos anteriormente descritos, se tendrá una altura total de la noria de 7.80 m.

A continuación se presenta un resumen de cotas determinadas:

a) Cota de techo de noria	191.24 msnm
b) Cota de terreno	188.24 msnm
c) Cota del nivel freático	187.74 msnm
d) Cota de nivel de succión de las bombas	184.59 msnm
e) Cota de fondo de noria	183.44 msnm

Los detalles de la estructura de captación tipo noria se presentan en los Planos N-1 y N-2, Anexo J.

4.3.2. Diseño de la línea de impulsión: estructura de captación- reservorio apoyado de regulación y almacenamiento

El tiempo de bombeo de agua en un sistema basado en la utilización de la energía solar fotovoltaica es de 6.0 hrs. por día, según estimaciones realizadas en base a pruebas de bombeo con equipos solares instalados en zonas aledañas a la zona del proyecto.

El caudal de bombeo que será conducido a través de la línea de impulsión se calcula mediante la expresión 3.1, escrita en el ítem 3.2.1. Por consiguiente introduciendo los datos del caudal promedio diario (Q_p) total hallado en la Tabla 4.6 para los cuatro caseríos y número de horas de bombeo (N), se obtiene:

$$Q_b = \frac{0.36 * 24}{6} = 1.44 \text{ l/s}$$

La línea de impulsión, desde la estación de bombeo hasta el reservorio apoyado de regulación y almacenamiento, tiene una longitud de 461.54 m. La línea parte desde la bomba sumergible dentro de la estructura de captación hasta la caja de válvulas que se ubicará en la superficie, a 40 m. de distancia, desde allí la línea continua su recorrido de 421.54 m hasta llegar al reservorio apoyado de regulación y almacenamiento. Ver plano LI-1, anexo J.

Para satisfacer el total de la demanda de agua de las poblaciones beneficiadas, es necesaria la utilización de 2 bombas sumergibles, puesto que, en el mercado local no se encuentran bombas sumergibles de capacidad de succión e impulsión mayores a 15 m³/día.

4.3.2.1. Cálculo del diámetro y velocidad en la tubería

El diámetro económico de la tubería se calcula mediante la fórmula de Bresse (Ver expresión 3.2, escrita en el ítem 3.2.1). Por consiguiente reemplazando el valor de Q_b obtenido anteriormente y considerando un valor para el coeficiente de Bresse de 1.3, se obtiene:

$$d = 1.3 \sqrt[3]{\frac{1.44}{1000}} = 0.049 \text{ m} = 49.33 \text{ mm}$$

El diámetro de la línea de impulsión asumido será de 63 mm.

La velocidad del flujo a través de la tubería se obtiene mediante la expresión 3.3 escrita en el ítem 3.2.1. Por consiguiente, reemplazando los valores obtenidos de Q_b y d , se obtiene:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{\frac{1.44}{1000}}{\pi \frac{0.063^2}{4}} = 0.46 \text{ m/s}$$

Con este diámetro verificamos la pérdida de carga en el recorrido de la tubería, que va desde la estructura la captación hasta el reservorio apoyado de almacenamiento y regulación.

4.3.2.2. Cálculo de las pérdidas

La pendiente de fricción en la tubería de PVC se obtiene mediante la expresión 3.4 escrita en el ítem 3.2.2. Se utilizan los siguientes datos: $Q= 1.44$ l/s, $C_H= 140$ (ver Tabla 3.1), $d= 0,063$ m y $L=461.54$ m.

$$S_f = 0.54 \sqrt[3]{\frac{1.44/1000}{0.2788 \times 140 \times 0.063^{2.63}}} = 0.00435 \text{ m/m}$$

Con la expresión 3.5 escrita en el ítem 3.2.2 y los valores de L y S_f , resulta una pérdida de carga en la tubería de PVC de:

$$h_f = 0.00435 \times 461.54 = 2.01 \text{ m}$$

Se ha considerado que las pérdidas locales en los accesorios equivalen a un 10% de las pérdidas por fricción, es decir $h_{local}=0.2$.

La pérdida de carga total en la tubería como ya se vio en la expresión 3.6, escrita en el ítem 3.2.2, será la suma de las pérdidas por fricción y pérdidas locales:

$$H_{f \text{ total}} = 2.01 + 0.2 = 2.21 \text{ m}$$

Luego la altura dinámica total (HDT) se calculará reemplazando los valores de $H_f total = 2.21$, $H_g = 51.19$ y $H_{esc} = 3$ en la expresión 3.8 escrita en el ítem 3.2.2.

$$HDT = 2.21 + 51.19 + 3 = 56.40 \text{ m}$$

4.3.2.3. Cálculo del golpe de ariete

Como ya se mencionó en el ítem 3.2.3, la apertura o cierre de válvulas en la línea de impulsión origina una modificación brusca en la velocidad de circulación del agua, produciendo el golpe de ariete, que se conoce como el aumento anormal de la presión sobre las paredes de la tubería que conduce agua.

Para la selección de la clase de tubería se debe considerar como criterio importante las máximas presiones que ocurren en la tubería, es decir, la tubería deberá resistir la presión más elevada que pueda producirse. La presión máxima no ocurre bajo condiciones de operación, sino cuando se presenta la presión estática, al cerrar las válvulas de control en las tuberías.

En la Tabla 4.7, se presenta las clases comerciales de tuberías PVC con sus respectivas cargas de presión.

Tabla 4.7. Clase de tubería PVC y máxima presión de trabajo.

Clase	Presión máxima de Prueba (m)	Presión máxima de trabajo (m)
A – 5	50	35
A – 7.5	75	50
A – 10	105	70
A – 15	150	100

Se puede partir de válvula abierta en la realización de la maniobra, pero ello no es obligatoriamente necesario. Hay determinadas circunstancias en que se puede realizar maniobras de cierre partiendo de válvula parcialmente cerrada que son las que producen el golpe de ariete máximo.

Para continuar con el diseño de la línea de impulsión se tiene los siguientes datos:

Longitud: 461.54 m

Desnivel: 51.19 m.

Tiempo de cierre de la válvula: 10.00 s.

Para encontrar el tiempo de recorrido de la onda de presión por la tubería se calcula primero la celeridad (a).

Para tuberías de PVC, tenemos: $E = 30000 \text{ Kg/cm}^2$, $D = 50.80 \text{ mm.}$, $e = 0.20 \text{ cm.}$, reemplazando estos valores en la expresión 3.9 del ítem 3.2.3 resulta:

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48.3 + 33.33 \times \frac{6.3}{0.2}}} = 298.73$$

Luego, el tiempo de recorrido de la onda de presión por la tubería será:

$$T = \frac{2L}{a} = \frac{2 \times 461.54}{298.73} = 3.09 \text{ s}$$

El tiempo de cierre (10 s.) es mayor que el empleado por la onda de presión en el recorrido de ida y vuelta (3.09s.); por lo tanto, se trata de un cierre lento.

El golpe de ariete máximo se produce cuando la maniobra de la válvula se inicia a partir de la apertura total y se puede calcular según expresión 3.15 del ítem 3.2.3. Por lo tanto:

$$P_g = \frac{2 \times 461.54 \times 0.46}{9.81 \times 10} = 4.35 \text{ m}$$

La presión total de golpe de ariete se obtiene mediante la expresión 4.9 siguiente:

$$P_t = \Delta niveles + P_g \tag{4.9}$$

Teniendo $\Delta niveles = 56.40$ y $P_g = 4.35$ se obtiene:

$$P_t = 56.40 + 4.35 = 60.75 \text{ m}$$

Por lo tanto, según la tabla 4.7, la tubería para contrarrestar el efecto del golpe de ariete será de clase A – 10.

En conclusión, según los cálculos efectuados, la línea de impulsión será de tubería PVC-UF_SAP de 63 mm, con una longitud aproximada de 462 m, de clase A-10. Ver plano LI-1, Anexo J.

4.3.3. Diseño del sistema de bombeo con utilización de la energía solar fotovoltaica.

4.3.3.1. Requerimientos del sistema de bombeo

Los requerimientos de agua para abastecer a las localidades de Charancito, El Naranjo, Charán Grande y El Alumbre, en el distrito de Lancones, provincia de Sullana son:

- a) Altura dinámica total = 65m.
- b) Volumen diario de bombeo de agua = $31.10 \text{ m}^3/\text{día} \approx 32.00 \text{ m}^3/\text{día}$.

Las condiciones de bombeo que se requieren en el presente proyecto, no pueden ser satisfechas por una sola bomba accionada por un sistema de potencia fotovoltaica. Por tanto se sugiere utilizar dos bombas, cada una con la capacidad de bombear la mitad del volumen diario y con la misma altura dinámica total. Entonces, los requerimientos para cada bomba serán:

- a) Altura dinámica total = 65m.
- b) Volumen diario de bombeo de agua = $16 \text{ m}^3/\text{día}$.

4.3.3.2. Componentes del sistema de bombeo solar

a) Bomba

Se ha elegido la marca de bombas solares Grundfos, porque poseen una tecnología confiable y consolidada en el tiempo, además de ser una marca muy conocida en nuestro medio.

Para satisfacer una altura dinámica total de 65 m y un volumen diario de bombeo de agua de $16 \text{ m}^3/\text{día}$ se ha seleccionado la bomba centrífuga sumergible modelo SQF 3A-10. El suministro de energía de esta bomba puede ser dado por paneles solares, una turbina eólica o un generador eléctrico. Los datos técnicos de dicha bomba se encuentran en el Anexo D.

El número de horas solares pico (h_{sol}) en la zona de estudio es de 5.0 h/día, por ello el cálculo del caudal promedio de diseño o caudal de bombeo instantáneo (Q_i) será calculado mediante la expresión 4.10 siguiente:

$$Q_i = \frac{V_b}{h_{sol}} \quad (4.10)$$

Donde:

- Q Caudal promedio de diseño o caudal de bombeo instantáneo, m^3/h .
- V_b Volumen diario de bombeo de agua, $\text{m}^3/\text{día}$.
- h_{sol} Número de horas solares pico al día, h/día.

Reemplazando los datos de V_b y h_{sol} en la expresión 4.10 se obtiene:

$$Q_i = \frac{16}{5} = 3.20 \text{ m}^3 / h$$

De la curva característica de la bomba solar Grundfos modelo SQF 3A-10 (Ver Anexo D), con un caudal de bombeo instantáneo de 3.20 m³/h y una altura dinámica de 65 m, se puede deducir que se necesita una potencia aproximada de 1380 W para accionar cada una de las bombas.

b) Módulos fotovoltaicos

Para el diseño del sistema de generación de energía eléctrica fotovoltaica se tienen los siguientes datos. Ver Tabla 4.8.

Tabla 4.8. Datos para el diseño del sistema de generación de energía eléctrica fotovoltaica.

Magnitud	Valor y/o unidad
V_b	16 m ³ /día
h_{sol}	5 h/día
H	65 m
Q_i	3.20 m ³ /h
P_{bs}	1.380 kW
f_{se}	0.95
f_{mf}	0.95
f_{mT}	0.87

Para el cálculo de la potencia del sistema de generación de energía (P_{ss}), se utilizará la expresión 4.11 siguiente:

$$P_{ss} = \frac{P_{bs}}{f_{se} \cdot f_{mf} \cdot f_{mT}} \quad (4.11)$$

Donde:

- P_{ss} Potencia del sistema de generación de energía, kW.
- P_{bs} Potencia requerida por cada bomba solar, kW.
- f_{se} Factor de pérdidas en el sistema eléctrico.
- f_{mf} Factor de reducción de potencia del módulo fotovoltaico.
- f_{mT} Factor de reducción de potencia por temperatura.

Reemplazando los datos de f_{se} , f_{mf} , f_{mT} y P_{bs} en la expresión 4.11 se obtiene:

$$P_{ss} = \frac{1.380}{0.95 \cdot 0.95 \cdot 0.87} = 1.758 \text{ kW}$$

La potencia de salida del generador fotovoltaico debe ajustarse a las ofertas comerciales disponibles. Para el presente proyecto se consideran los módulos fotovoltaicos de la firma ISOFOTON modelo IS – 150/12 de 150 Wp cada uno, cuyas características eléctricas (1000 W/m², 25°C célula, AM 1.5) se muestran en la Tabla 4.9.

Tabla 4.9. Características eléctricas de los módulos fotovoltaicos.

Magnitud	Valor y/o unidad
Potencia máxima (P _{MAX})	150 Wp +/- 5%
Corriente de máxima potencia (I _{MAX})	8.7 A
Tensión de máxima potencia (V _{MAX})	17.3 V
Corriente de corto circuito (I _{SC})	9.3 A
Tensión de circuito abierto (V _{OC})	21.6 V

El número de módulos fotovoltaicos requeridos para satisfacer la demanda de potencia se calculará mediante la expresión 4.12 siguiente:

$$N_m = \frac{P_{ss}}{P_{mf}} \quad (4.12)$$

Donde:

N_m Número de módulos fotovoltaicos.

P_{ss} Potencia del sistema de generación de energía, W.

P_{mf} Potencia de los módulos fotovoltaicos, W.

Reemplazando los datos de P_{ss} y P_{mf} en la expresión 4.12 se obtiene:

$$N_m = \frac{1758}{150} = 11.72 \approx 12 \text{ módulos}$$

La potencia disponible del generador fotovoltaico se obtiene mediante la expresión 4.13 siguiente:

$$P_g = P_{mf} \cdot N_m \quad (4.13)$$

Reemplazando los datos de P_{mf} y N_m en la expresión 4.13 se obtiene:

$$P_g = 150 * 12 = 1800 \text{ W}_p$$

Para la bomba sumergible SQF 3A-10 su motor eléctrico puede operar a un voltaje comprendido entre 30 y 300 Vcc y con una corriente máxima de 8.4 A. Entonces, tomando en cuenta las características eléctricas del módulo solar IS – 150/12, la corriente de máxima potencia es 8.7 A. Por lo tanto, los módulos fotovoltaicos sólo podrán conectarse en serie.

El voltaje de operación vendrá dado por la expresión 4.14 siguiente:

$$V_{oper} = T_{MAX} \cdot N_m \quad (4.14)$$

Reemplazando los datos de T_{MAX} y N_m en la expresión 4.14 se obtiene:

$$V_{oper} = 17.3 * 12 = 207.6 \text{ V}$$

Por lo tanto, el voltaje de operación se encuentra dentro del rango de voltaje aceptado por el motor eléctrico de la bomba.

Para el cálculo de la corriente máxima potencia del sistema de bombeo solar se utilizará la expresión 4.15 siguiente:

$$I_s = \frac{P_g}{V_{oper}} \quad (4.15)$$

Reemplazando los datos de P_g y V_{oper} en la expresión 4.15 se obtiene:

$$I_s = \frac{1800}{207.6} = 8.67 \text{ A}$$

Para calcular el número de grupos en paralelo se utilizará la expresión 4.16 siguiente:

$$N^{\circ} \text{ mod. paralelo} = \frac{I_s}{I_{MAX}} \quad (4.16)$$

Reemplazando los datos de I_s y I_{MAX} en la expresión 4.16 se obtiene:

$$N^{\circ} \text{ mod. paralelo} = \frac{8.67}{8.7} = 0.997 \approx 1 \text{ grupo}$$

En conclusión, el generador fotovoltaico estará constituido por 12 módulos solares conectados eléctricamente en serie. El voltaje de operación (V_{oper}) será de 207.6 V y la corriente máxima potencia del sistema será de 8.67 A.

En la Fig. 4.3 se ilustra la conexión eléctrica en serie de los módulos.

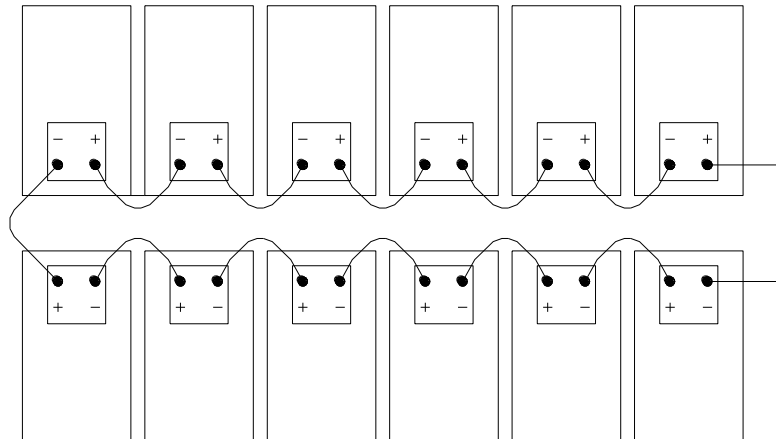
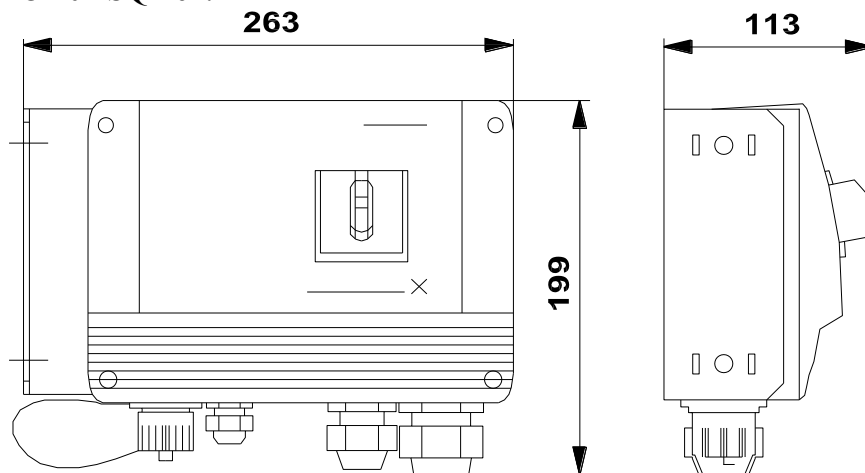


Fig. 4.3. Conexión eléctrica en serie de los módulos fotovoltaicos.

c) Caja de conexiones IO 101 SQFlex

IO 101 SQFlex es un interruptor on/off (arranque/parada) para conectar y desconectar la tensión de alimentación del sistema manualmente, por ejemplo cuando no se necesita agua o hay que reparar el sistema.

La caja de conexiones IO 101 está diseñada especialmente para los sistemas solares SQFlex, de la firma Grundfos. Permite la conexión de un suministro de reserva con generador en el caso de irradiación solar insuficiente. Hay que hacer el cambio entre la energía solar y el generador manualmente. Los datos técnicos del controlador IO 101 SQFlex se encuentran en el Anexo D. En la Fig. 4.4 se muestran las dimensiones del controlador IO 101 SQFlex.



Dimensiones indicadas en mm.

Fig. 4.4. Dimensiones del controlador IO 101 SQFlex.

d) Cable de alimentación sumergible

La sección del cable se define mediante la expresión 4.17 siguiente:

$$S = \frac{2\rho \cdot L \cdot I}{\Delta V} \times 10^6 \quad [mm^2] \quad (4.17)$$

Donde:

- S Sección del conductor eléctrico, mm^2 .
- ρ Resistividad del cobre, $\Omega \cdot m$.
- L Longitud del conductor, m.
- I Intensidad de corriente, A.
- ΔV Caída de tensión, V.

Los datos utilizados para hallar la sección del conductor eléctrico se muestran en la Tabla 4.10.

Tabla 4.10. Datos para hallar la sección del conductor eléctrico.

Magnitud	Valor y/o unidad
Resistividad del cobre ρ	$1.7 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$
Longitud del conductor L	65 m
Intensidad de corriente I	8.67 A
Caída de Tensión (3% V_{oper})	6.23 V

Reemplazando los datos en la expresión 4.17 se obtiene:

$$S = \frac{2(1.7 \times 10^{-8}) \cdot (65) \cdot (8.67)}{6.23} \times 10^6 = 3.076 \text{ mm}^2$$

Debido a las condiciones de trabajo se recomienda utilizar un cable de alimentación de mayor calibre para satisfacer el requerimiento de resistencia mecánica del conductor eléctrico. Se sugiere un conductor tipo TTRF-70 (NMT) 3x10 AWG 300/500V.

e) Conductor eléctrico del generador fotovoltaico a la caja de conexión

El conductor eléctrico deberá soportar las condiciones de intemperie como humedad, ozono, luz solar y calor.

Los datos utilizados para determinar la sección del conductor se muestran en la Tabla 4.11.

Tabla 4.11. Datos para hallar la sección del conductor eléctrico del generador fotovoltaico a la caja de conexión.

Magnitud	Valor y/o unidad
Resistividad del cobre ρ	$1.7 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$
Longitud del conductor L	20 m
Intensidad de corriente I	8.67 A
Caída de Tensión (3% V_{oper})	6.23 V

Reemplazando los datos de la Tabla 4.11 en la expresión 4.17 se obtendrá la sección del conductor eléctrico.

$$S = \frac{2(1.7 \times 10^{-8}) \cdot (20) \cdot (8.67)}{6.23} \times 10^6 = 0.946 \text{ mm}^2$$

Debido a las condiciones de trabajo anteriormente mencionadas se recomienda utilizar un conductor eléctrico de mayor calibre para satisfacer el requerimiento de resistencia mecánica del mismo. Se sugiere un conductor tipo TTRF-70 (NMT) 3x10 AWG 300/500V.

f) Estructura de montaje

Se deberá montar 24 paneles solares en tres estructuras metálicas de hierro galvanizado ancladas al terreno en dados de concreto. Cada estructura albergará 8 módulos solares colocados en una configuración de 4x2. Por lo tanto, las dimensiones de cada estructura serán aproximadamente de 3936 mm de largo x 3030 mm de ancho. El arreglo se colocará con un ángulo de inclinación de 15° viendo hacia el Norte como se muestra en la Fig. 4.5.

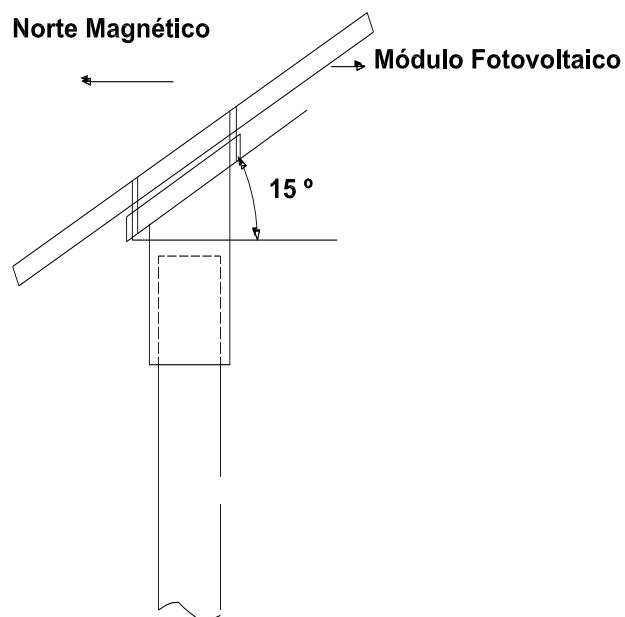


Fig. 4.5. Ángulo de inclinación del arreglo y su orientación.

g) Sistema de puesta a tierra

Los marcos de aluminio de los paneles solares, las carcasas de las dos bombas, las tres estructuras de montaje, así como los gabinetes; si son metálicos, deberán conectarse a tierra. El electrodo y el conductor de tierra deberán soportar la corrosión y tener una adecuada resistencia mecánica. Se recomienda que el electrodo sea una varilla de cobre de 2.4 m de longitud y el conductor de tierra sea de tipo THW-90 6 AWG 450/750V. Para disminuir la resistividad del terreno se puede utilizar un producto como tierra gel. En la Fig. 4.6 se presenta un esquema del sistema de puesta a tierra de la instalación.

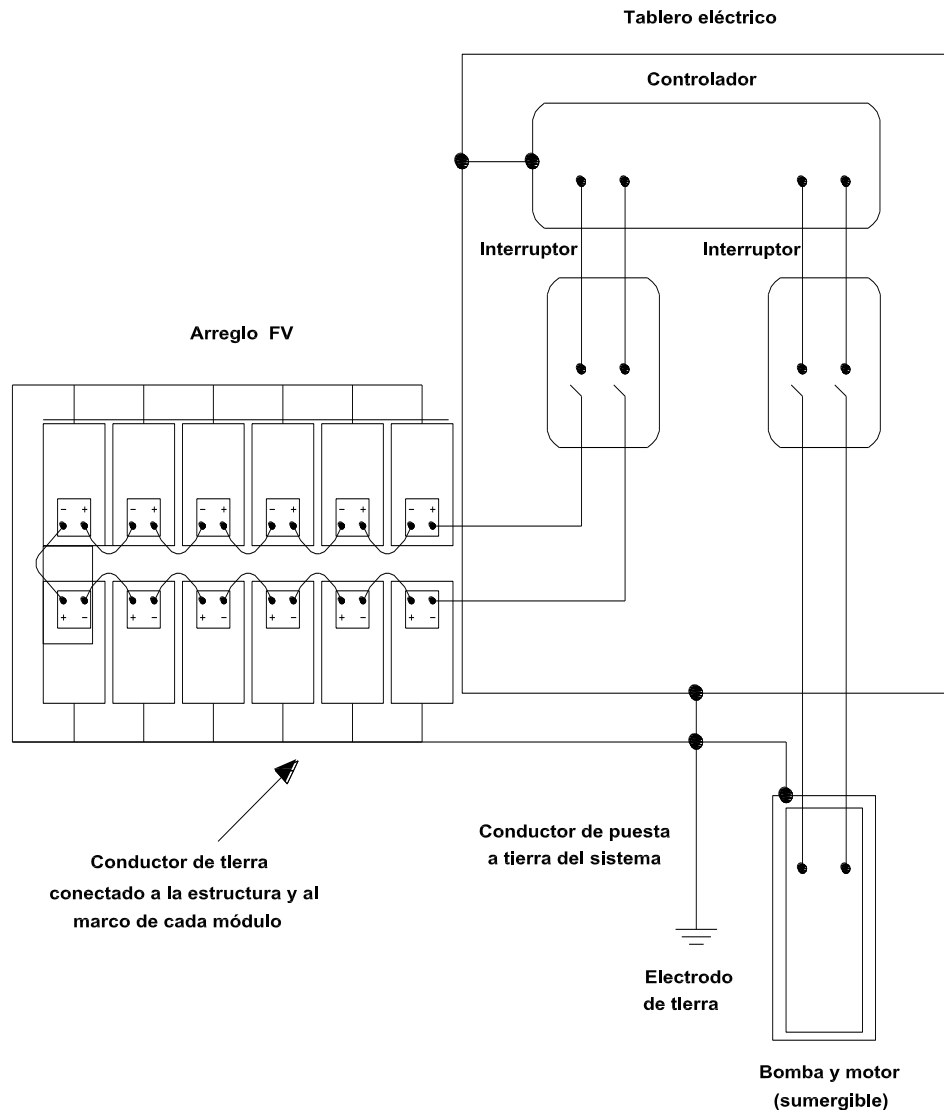


Fig. 4.6. Sistema de puesta a tierra.

h) Interruptores

Debido al tipo de cajas de conexiones, IO 101 SQFlex, se deberá proporcionar tres interruptores termo magnéticos de 40 A por cada tablero eléctrico. Uno para el generador fotovoltaico, otro para la bomba y el tercero para el grupo electrógeno en caso se desee conectar.

i) Pararrayos

Se deberá proteger las tres estructuras de montaje contra descargas. Por lo tanto, se recomienda instalar dos pararrayos tetra puntuales en cada una de las estructuras de soporte de los extremos. Cada pararrayos se conectará a una varilla de cobre de 2.4 m de longitud en su propio pozo de tierra a través de un conductor de cobre desnudo de 25 mm².

4.3.4. Diseño del reservorio apoyado de almacenamiento y regulación

La construcción de un reservorio apoyado de almacenamiento y regulación de agua compensa la tasa de bombeo frente a la demanda de agua de la población de las localidades beneficiarias del proyecto.

Para el cálculo del volumen del reservorio se debe tener en cuenta la variación porcentual de consumo de la localidad beneficiada; sin embargo, para este proyecto se desconoce dicha variación, por lo cual se adoptará un volumen de regulación equivalente al 75% de volumen máximo diario de agua durante el periodo de diseño, valor que ha sido tomado en base a estudios y proyectos ejecutados en la zona rural de la parte norte del país en donde se utiliza un sistema de bombeo accionado por energía solar fotovoltaica. De este modo tenemos:

- a) Población de diseño : 614 hab.
- b) Caudal Máximo Diario : 0.46 l/s (39.74 m³/día)
- c) Volumen del Reservorio : 29.81 m³

Siguiendo este análisis, tomaremos como volumen del reservorio apoyado de regulación y almacenamiento 30 m³. El reservorio será de tipo circular, de diámetro y altura de nivel máximo de agua de 4 m y 2.85 m respectivamente. Las paredes tendrán un espesor de 0.20 m. Ver planos RE-1 y RE-2, Anexo J.

Según los cálculos hidráulicos realizados, las cotas aproximadas para el reservorio serán las siguientes:

- a) Cota del terreno natural : 239.43 m.s.n.m.
- b) Cota de fondo de cuba del reservorio : 239.43 m.s.n.m.
- c) Nivel Máximo de agua : 241.83 m.s.n.m.
- d) Cota de llegada de Línea de Impulsión : 241.93 m.s.n.m.
- e) Cota de techo de reservorio : 242.28 m.s.n.m.

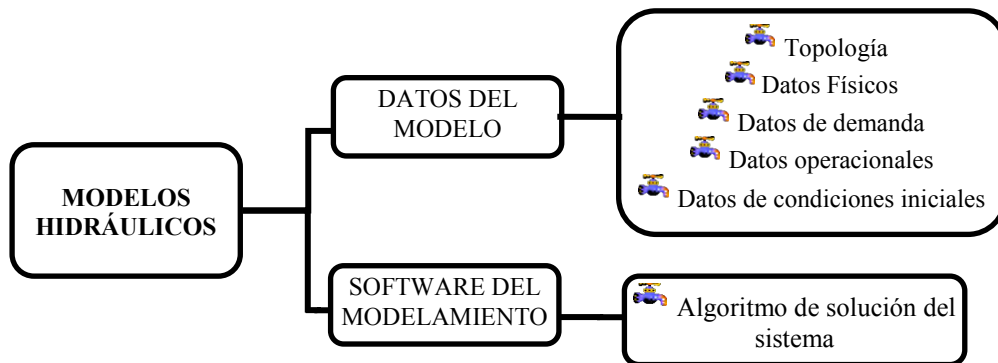
Para garantizar la calidad sanitaria del agua a ser distribuida, se ha dispuesto la construcción de una caseta para el alojamiento de un hipoclorador de flujo difuso, el cual estará ubicado en el reservorio apoyado de regulación y almacenamiento y servirá para la desinfección del agua. Se utilizará este sistema por ser relativamente sencillo y de fácil operación y mantenimiento en zonas rurales.

4.3.5. Diseño de las redes de distribución de agua potable

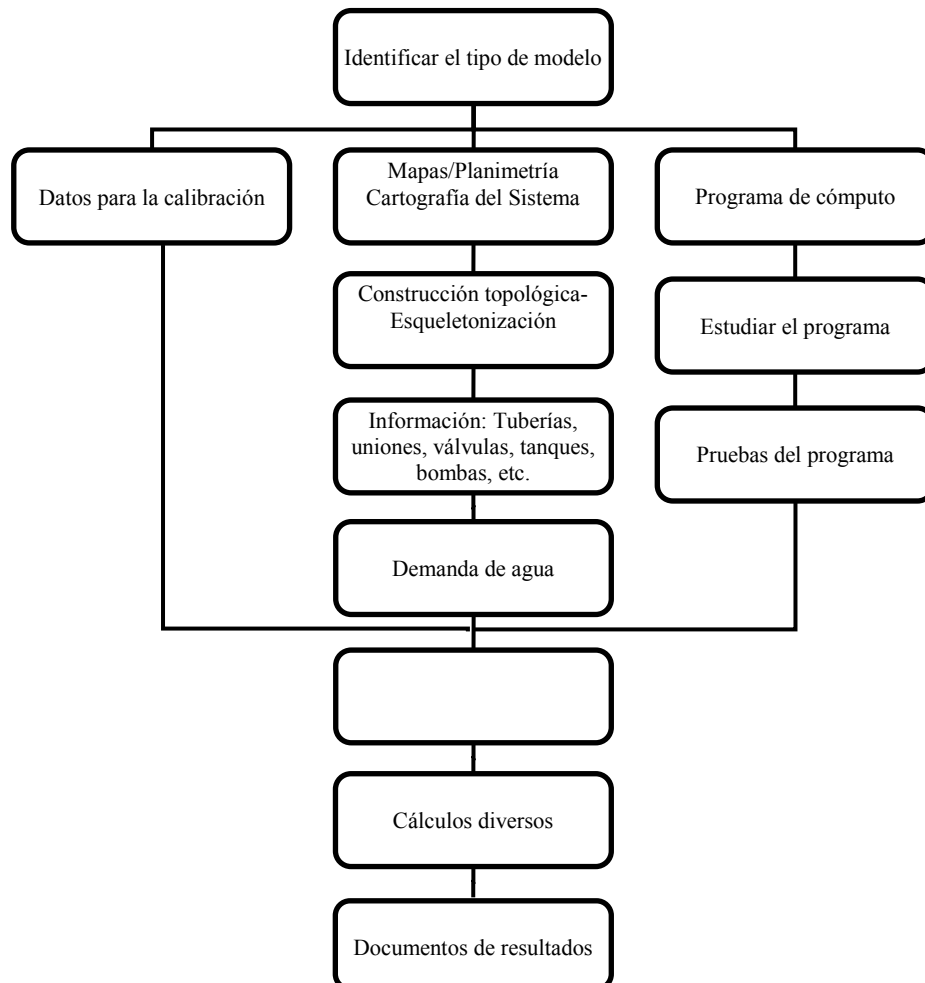
4.3.5.1. Generalidades sobre modelación hidráulica con software WaterCAD

Las partes de un modelo hidráulico y las etapas del modelamiento hidráulico se pueden explicar mediante los esquemas 4.1 y 4.2 respectivamente.

Esquema 4.1. Partes de un modelo hidráulico.



Esquema 4.2. Etapas del modelamiento hidráulico.



No existe una única forma de crear un modelo de simulación hidráulica con WaterCAD, sin embargo los siguientes pasos resumen de manera general las etapas en el modelamiento hidráulico.

a) Construcción o dibujo

Si se está diseñando un sistema totalmente nuevo y se desea dibujar un modelo desde cero, puede hacerse con las herramientas de dibujo que WaterCAD proporciona, haciendo clic en cada uno de los botones para crear:

- Nodos → Uniones, tanques y reservorios. Coordenadas (x,y).
- Conexiones → Tuberías. Del nodo al nodo.
- Elementos híbridos → Bombas y válvulas.

Para facilitar el dibujo del modelo se puede agregar fondos a escala en formato DXF (propios de AutoCAD o Microstation) y/o Shapefiles propios de GIS.

En la Fig. 4.7 y Fig.4.8 se muestra un esquema simple nodo-conexión-nodo y un modelo esqueletonizado en base a nodos y conexiones, respectivamente.

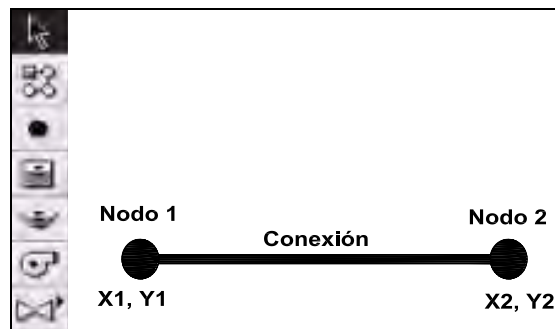


Fig. 4.7. Esquema simple nodo-conexión-nodo.

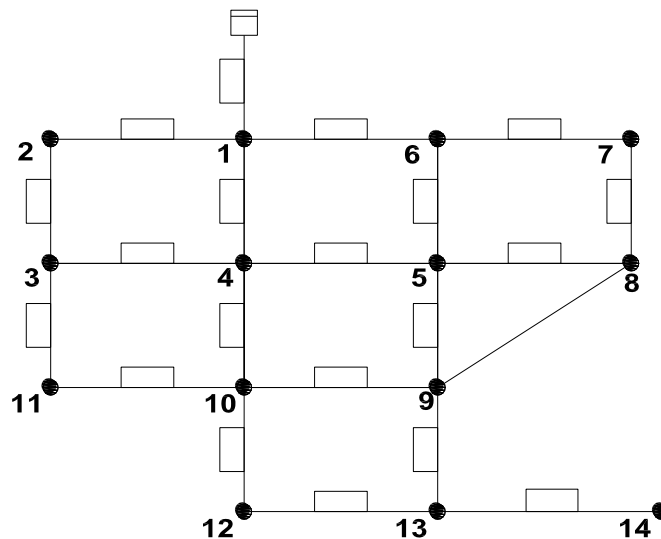


Fig. 4.8. Modelo esqueletonizado en base a nodos y conexiones.

b) Tipos de información de ingreso

Una vez dibujado el modelo, el siguiente paso es alimentar los elementos del mismo con la información requerida para las simulaciones. A continuación se describen grupos de información que se debe suministrar al modelo estrictamente para el análisis hidráulico.

Hay que tener presente que de una adecuada estimación de información depende en gran parte la confiabilidad de los resultados.

- Información física: El usuario deberá suministrar elevaciones, rugosidades, diámetros, longitudes y materiales de tubería, coeficientes de pérdida menor, niveles de tanques y reservorios, coeficientes de emisor y curvas características de bomba.
- Consumo de agua: El usuario debe hacer estimaciones del consumo de agua y las pérdidas del sistema de distribución de agua.
- Información operacional: Esta información es especialmente importante en simulaciones en período extendido. Se debe expresar la forma como opera el sistema de distribución, mediante controles simples y lógicos para bombas, válvulas y tuberías.
- Condiciones de frontera e iniciales: Las condiciones de frontera le permiten al modelo inicializar el cálculo hidráulico basándose en valores de gradiente hidráulico conocido, y las condiciones iniciales indican el estado de ciertos elementos en el momento de la simulación.

c) Creación de escenarios y alternativas

Los Escenarios y Alternativas permiten modelar un número infinito de soluciones de una manera rápida y organizada dentro de un solo modelo.

Ahora, un escenario es tan solo un repositorio de información, si está vacío no significa nada para el modelo. De esta forma, cada escenario lleva dentro un número determinado de carpetas que representan tipos de alternativas.

- Topología
- Física
- Demanda
- Condición inicial
- Operacional
- Edad
- Constituyente
- Traza
- Flujo de incendio
- Costo capital
- Costo de energía
- Datos de usuario

Para cada tipo de alternativa, se tiene la libertad de seleccionar qué información utilizar. Estas diferentes opciones para alimentar cada carpeta (tipo de alternativa), son en sí las alternativas del modelo. Se puede crear y almacenar infinitas versiones de estas

alternativas, con las cuales es posible crear nuevos escenarios usando alternativas de escenarios ya creados, reutilizando algunas de ellas, o cambiando tan solo una para generar sutiles variaciones entre escenarios.

d) Ejecución de simulaciones / Tipos de análisis

Una vez creados los escenarios el siguiente paso es ejecutar simulaciones para obtener resultados. Aquí se deberá seleccionar que tipo de análisis ejecutar.

- Estado estático: Provee resultados para un momento específico.
- Simulación de período extendido: Ofrece resultados para diferentes pasos de tiempo, durante una duración de análisis especificada.

e) Aplicaciones del modelamiento de la red

Las aplicaciones generales de los modelamientos matemáticos:

- Permiten determinar las presiones en los nudos y los caudales reales que circulan por las tuberías, para unas condiciones de trabajo dadas.
- Ayudan a diagnosticar el estado de la red y detectar sus problemas.
- Apoyan en estimar la eficiencia hidráulica del sistema y evaluar las fugas.
- Permiten planificar las mejoras a efectuar en la red de una forma efectiva, aprovechando así mejor las inversiones.
- Permiten mejorar las condiciones de operación de la red para garantizar las presiones, ahorrar energía, etc.
- Permiten determinar y controlar la calidad del agua que le llega a los abonados, tras viajar por la red.

f) Presentación de resultados

Una propiedad importante en todos los programas para la modelación de sistemas de distribución de agua es la habilidad de presentar los resultados claramente, incluyendo:

- Reportes: los cuales muestran e imprimen información de cualquiera de los elementos del sistema.
- Reportes tabulares (FlexTables): para visualización, edición, y presentación de datos seleccionados y elementos en forma tabular.
- Perfiles: muestra gráficamente en una vista perfil, como un atributo seleccionado, como el gradiente hidráulico, varía a través de una serie de tuberías interconectadas.
- Anotaciones en elementos, para presentación dinámica de los valores de variables seleccionados por el usuario en una vista general.
- Codificación de colores, la cual asigna colores basados en rangos de valores para los elementos de visualización. Esta herramienta es muy útil para diagnósticos rápidos en la red.

4.3.5.2. Cálculo y simulación de las redes de distribución del sistema propuesto mediante WaterCAD

La entrega de agua potable a los consumidores finales se realizará a través de piletas públicas debido al alto grado de dispersión de las viviendas en el área de estudio. Según la topografía, la vialidad y la ubicación de las fuentes de abastecimiento y del reservorio apoyado de regulación y almacenamiento se ha considerado el tipo de distribución mediante redes abiertas.

Para realizar el diseño de las redes de distribución se ha utilizado el software WaterCAD, por ser una herramienta extremadamente eficiente para tender una red de distribución de agua. Es fácil preparar un modelo esquemático o a escala y dejar a WaterCAD encargarse de la conexión de los nudos. Para construir una red de distribución, no se necesita preocuparse por la asignación de etiquetas a las tuberías y nudos, porque WaterCAD asignará las etiquetas automáticamente.

Cuando se crea un dibujo esquemático, las longitudes de las tuberías son ingresadas manualmente. En un dibujo a escala, las longitudes de las tuberías son calculadas automáticamente de la posición de los recodos de las tuberías y de los nudos de inicio y fin en el panel de dibujo.

A continuación, se mostrará la modelación en WaterCAD del sistema de abastecimiento de agua propuesto para los caseríos de Charancito, El Naranjo, Charán Grande y El Alumbre.

a) Trazo de la red de distribución

Para facilitar el trazo de la red de distribución se agregó un fondo a escala en formato DXF (propio de AutoCAD) de la red de distribución, para realizar el trazo con las herramientas de dibujo que WaterCAD proporciona para crear las uniones, tuberías, válvulas y reservorio que se puede ubicar sobre la base del plano agregado que sirve de guía.

Con el plano a escala agregado (Ver Fig. 4.9) no será necesario ingresar las longitudes de las tuberías, pues el trazo irá adoptando las mismas dimensiones del plano base para cada tramo de la red.

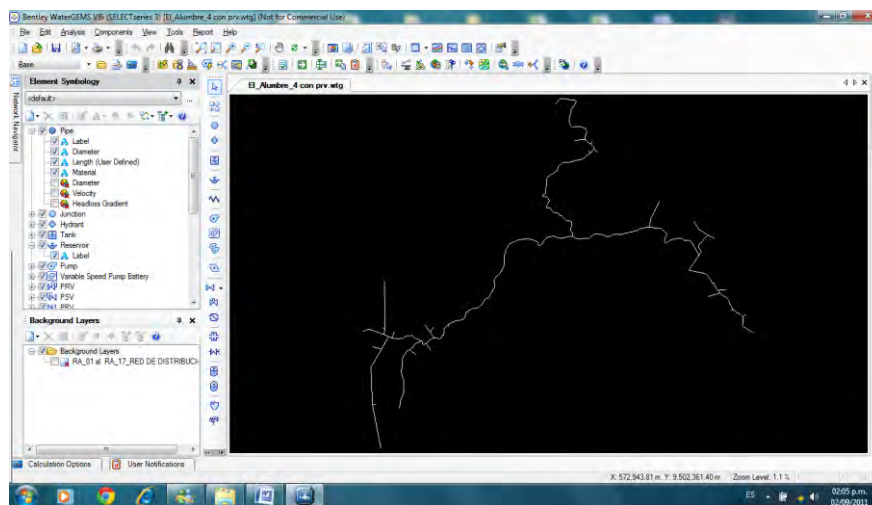


Fig. 4.9. Fondo agregado para el trazado de la red de distribución.

La Fig. 4.10 muestra el trazo de la red de distribución realizado sobre el plano base agregado, donde se ha creado todos los elementos a lo largo de la red como: uniones, tuberías, piletas, reservorio y válvula reductora de presión.

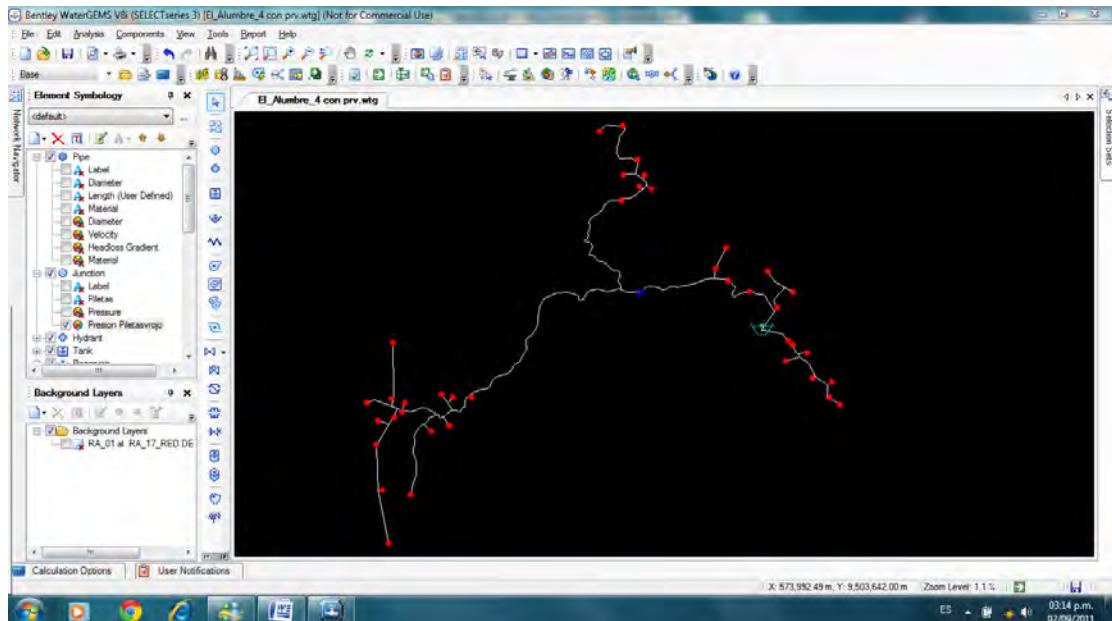


Fig. 4.10. Trazo de la red de distribución.

En la Fig. 4.11 y Fig. 4.12 se puede ver en una vista más amplia algunos elementos colocados en la red de distribución como: uniones, tuberías, piletas, reservorio y la válvula reductora de presión, con sus respectivas nomenclaturas.

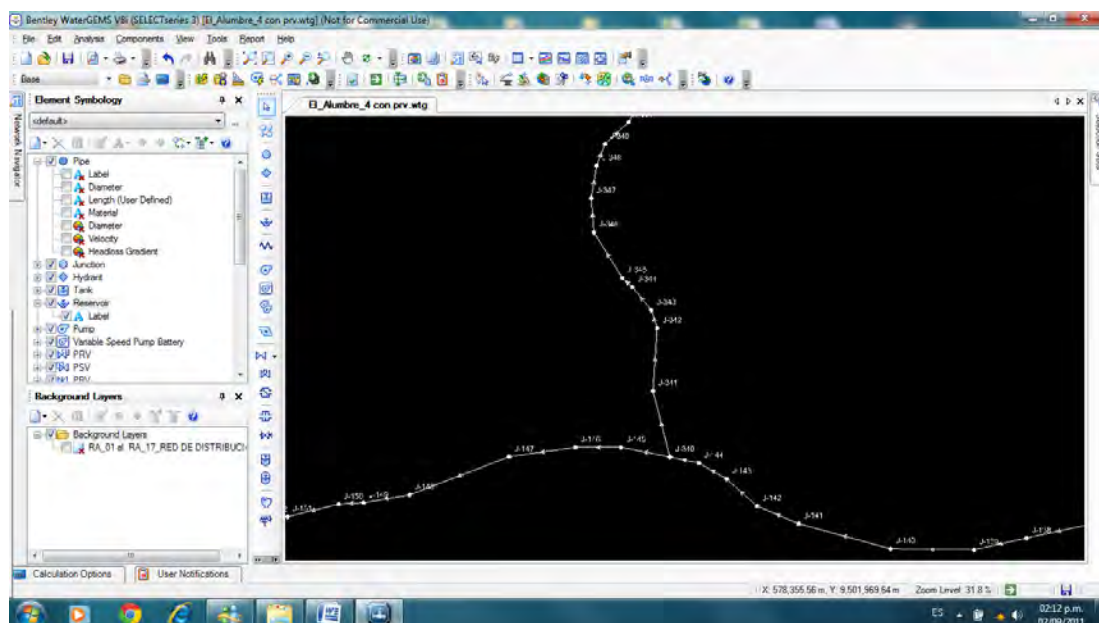


Fig. 4.11. Vista de nodos y tramos de la red de distribución.

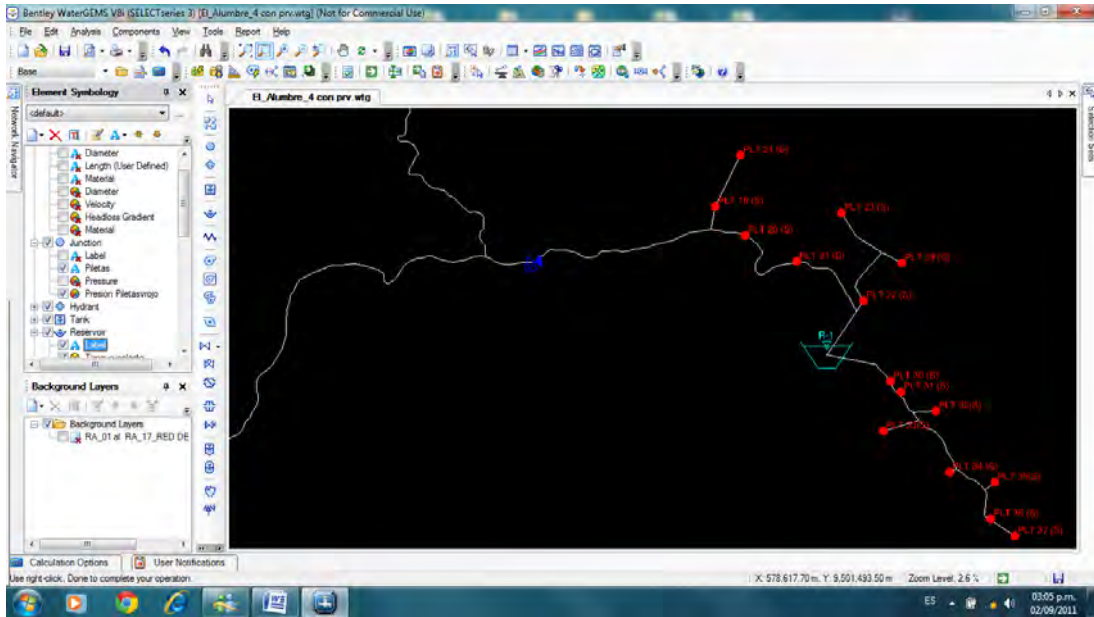


Fig. 4.12. Vista de piletas, reservorio y válvula reductora de presión.

b) Ingreso de información

Los reportes tabulares (Flex Tables), no sólo son de buena presentación, son también muy útiles en la entrada y análisis de datos. Cuando los datos deben ser ingresados para un gran número de elementos, ingresar los datos en elementos uno por uno puede ser tedioso y consumir tiempo. Usando reportes tabulares, los elementos pueden ser cambiados usando la herramienta de edición global o filtrar para mostrar solo los elementos deseados. Valores que sean ingresados en la tabla serán automáticamente actualizados en el modelo. Las tablas también pueden ser personalizadas para contener solamente los datos deseados. Columnas pueden ser añadidas o removidas, o se puede mostrar duplicados de la misma columna con diferentes unidades. Ver Fig. 4.13.

	Nodo	Demanda (L/s)	Elevación (m)	Cota Piezométrica (m)	Pressure Head (m)
60: J-1	J-1	0.000	193.60	238.68	45.08
61: J-2	J-2	0.000	196.75	238.11	41.36
62: J-3	J-3	0.000	196.40	238.03	41.63
63: J-4	J-4	0.000	196.00	237.89	41.89
64: J-5	J-5	0.000	196.30	237.77	41.47
65: J-6	J-6	0.000	196.45	237.71	41.26
66: J-7	J-7	0.000	197.10	237.55	40.45
67: J-8	J-8	0.000	197.60	237.49	39.89
68: J-9	J-9	0.000	197.80	237.39	39.59
69: J-10	J-10	0.000	198.00	237.33	39.33
70: J-11	J-11	0.000	198.10	237.30	39.20
71: J-12	J-12	0.000	198.70	237.13	38.43
72: J-13	J-13	0.000	199.45	236.97	37.52
73: J-14	J-14	0.000	200.20	236.88	36.68
74: J-15	J-15	0.000	201.45	236.77	35.32

Fig. 4.13. Flex Table del análisis de nodos.

En la Flex Table se puede mostrar las columnas deseadas y retirar el resto. En este caso se ha dejado que se muestre para el análisis de nodos las columnas de: Nodo, Demanda, Elevación, Cota Piezométrica y Presión. El valor de cada celda de la columna Elevación ha sido ingresado para mayor facilidad en dicha tabla pues automáticamente se actualizará en el modelo. También puede ingresarse en cada nodo del modelo pero resultaría tedioso y generaría una gran pérdida de tiempo. Si es que hubiera algún error en el ingreso de datos, las Flex Tables nos dan la opción de cambiar el valor de cada celda, así como agregar nuevas columnas de información adecuando los nombres según nuestro criterio.

De la misma forma se obtuvo una Flex Table para el análisis de tramos, en donde se dejó las columnas de Tramo, Longitud, Diámetro, Material, Hazen-Williams C, Velocidad, Hf y Caudal y al igual que la Flex Table de la Fig. 4.14 se puede realizar modificaciones para los valores de cada celda.

	Tramo	Longitud (m)	Diámetro (in)	Material	Hazen-Williams	Velocidad (m/s)	Hf (m/km)	Caudal (L/s)
645: P-1	P-1	155.0	1.0	PVC	140.0	0.28	4.85	0.140
646: P-2	P-2	117.5	1.0	PVC	140.0	0.28	4.85	0.140
647: P-3	P-3	15.5	1.0	PVC	140.0	0.28	4.85	0.140
648: P-4	P-4	30.0	1.0	PVC	140.0	0.28	4.85	0.140
649: P-5	P-5	24.0	1.0	PVC	140.0	0.28	4.85	0.140
650: P-6	P-6	11.5	1.0	PVC	140.0	0.28	4.85	0.140
651: P-7	P-7	33.0	1.0	PVC	140.0	0.28	4.85	0.140
652: P-8	P-8	16.5	1.0	PVC	140.0	0.24	3.79	0.123
653: P-9	P-9	26.0	1.0	PVC	140.0	0.24	3.79	0.123
654: P-10	P-10	16.5	1.0	PVC	140.0	0.24	3.79	0.123
655: P-11	P-11	7.5	1.0	PVC	140.0	0.24	3.79	0.123
656: P-12	P-12	60.0	1.0	PVC	140.0	0.21	2.85	0.105
657: P-13	P-13	55.5	1.0	PVC	140.0	0.21	2.85	0.105
658: P-14	P-14	32.5	1.0	PVC	140.0	0.21	2.85	0.105
659: P-15	P-15	56.0	1.0	PVC	140.0	0.17	2.03	0.088
660: P-16	P-16	48.0	1.0	PVC	140.0	0.14	1.34	0.070
661: P-17	P-17	22.5	1.0	PVC	140.0	0.14	1.34	0.070
662: P-18	P-18	10.0	1.0	PVC	140.0	0.14	1.35	0.070
663: P-19	P-19	34.0	1.0	PVC	140.0	0.14	1.34	0.070
664: P-20	P-20	20.0	1.0	PVC	140.0	0.14	1.34	0.070
665: P-21	P-21	31.5	1.0	PVC	140.0	0.14	1.34	0.070

Fig. 4.14. Flex Table del análisis de tramos.

c) Creación de escenario

Se ha creado un solo escenario en donde se ha modelado la red de distribución considerando un reservorio, válvula reductora de presión y piletas. De esta forma, el escenario creado lleva dentro un número determinado de carpetas que representan tipos de alternativas para los datos ingresados de elevaciones, longitudes, diámetros, demandas, etc.

d) Ejecución de simulaciones / Tipo de análisis

El análisis se ha realizado considerando un Estado Estático.

Para el cálculo de las pérdidas de carga en cada tramo de la tubería se ha utilizado la fórmula de Hazen - Williams, incluyendo adicionalmente en el total de las pérdidas, un 10% de pérdidas locales.

Los resultados del cálculo hidráulico de las redes de distribución de agua potable para los caseríos beneficiarios se muestran en el Anexo E.

e) Presentación de resultados

Los reportes tabulares (Flex Tables) presentados en la Fig. 4.13 y Fig. 4.14, no sólo facilitan el ingreso y edición de información, sino también nos permiten visualizar y presentar la información de datos seleccionados y elementos en forma ordenada.

Para el análisis y presentación de los resultados se ha utilizado la codificación de colores. En la Fig. 4.15 se ha asignado a todos los tramos de la red de distribución, cuatro colores basados en rangos de valores escogidos según nuestro criterio para una mejor visualización e interpretación. Como ya reflejan los reportes tabulares, se tiene diámetros de 1", 1.5" y 2" a lo largo de toda la red de distribución. Mediante la codificación de colores se puede hacer un diagnóstico rápido diferenciando los tramos según el diámetro.

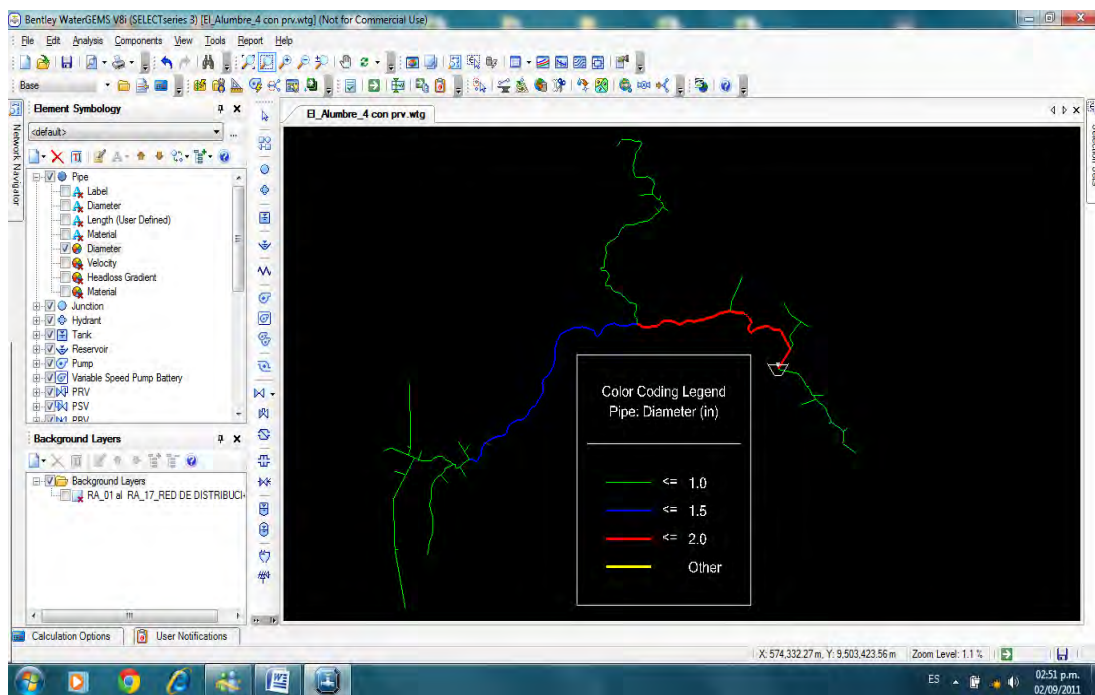


Fig. 4.15. Codificación de colores en la red distribución según distintos diámetros de tubería.

De la misma forma se ha utilizado la codificación de colores para realizar el análisis y presentación de resultados de los distintos rangos de velocidades en los tramos de tubería a lo largo de toda la red de distribución. En la Fig. 4.16 se puede apreciar cinco colores asignados a cinco rangos de valores dados para las velocidades, de los cuales se puede deducir que la mayor parte de la red distribución consta de tramos de tubería con velocidades menores a 0.30 m/s, lo cual verifica de manera gráfica y rápida las velocidades mostradas en los reportes tabulares arrojados del análisis para toda la red de distribución.

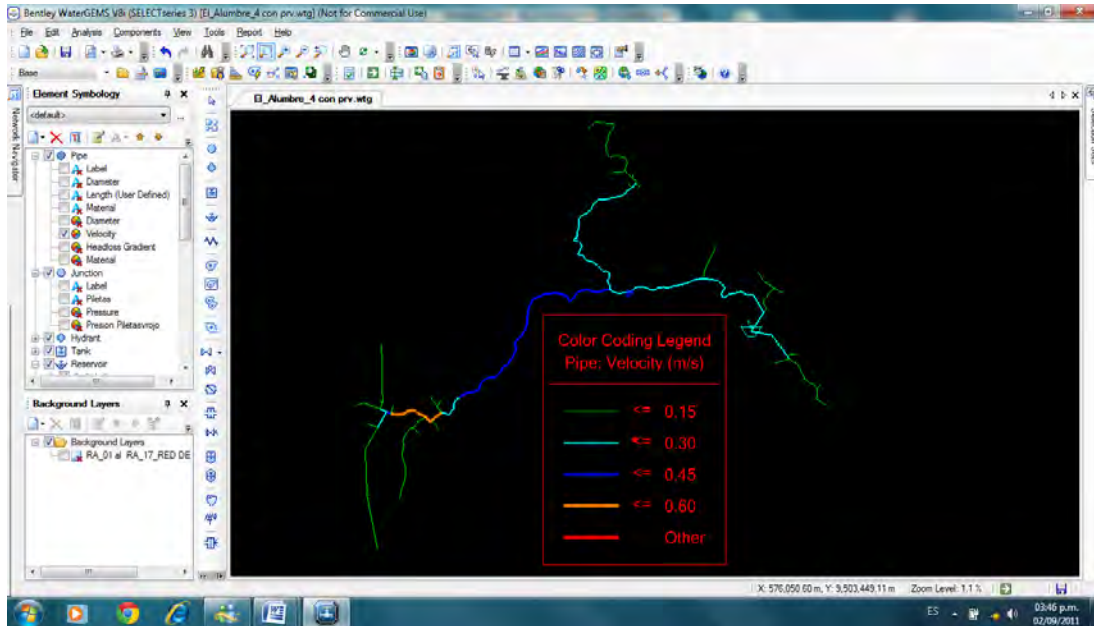


Fig. 4.16. Codificación de colores en la red distribución según distintos rangos de velocidades en los tramos de tubería.

Con el análisis estático se ha podido generar diagramas de presiones en la red de distribución de agua. Estos diagramas también se han podido codificar con colores con el propósito de identificar puntos de mínima y máxima presión, los cuales han permitido determinar la ubicación de válvulas de control, de purga y de aire. La Fig. 4.17 muestra el modelo de la red de distribución con cinco colores asignados a cinco rangos de presiones, de los cuales se puede deducir que, el mayor rango de presiones se encuentra en las zonas donde hay puntos de suministro de agua, mientras que en la Fig. 4.18 se muestra que las presiones son cada vez menores en la zona cercana a la válvula reductora de presión.

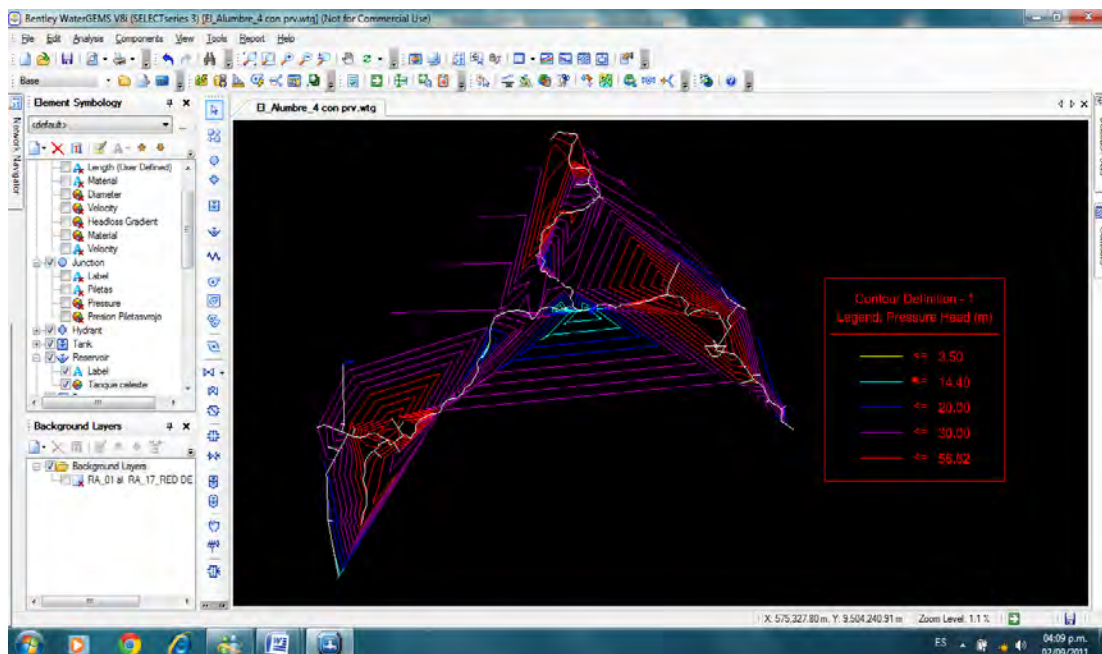


Fig. 4.17. Codificación de colores en la red distribución según distintos rangos de presiones en los tramos de tubería.

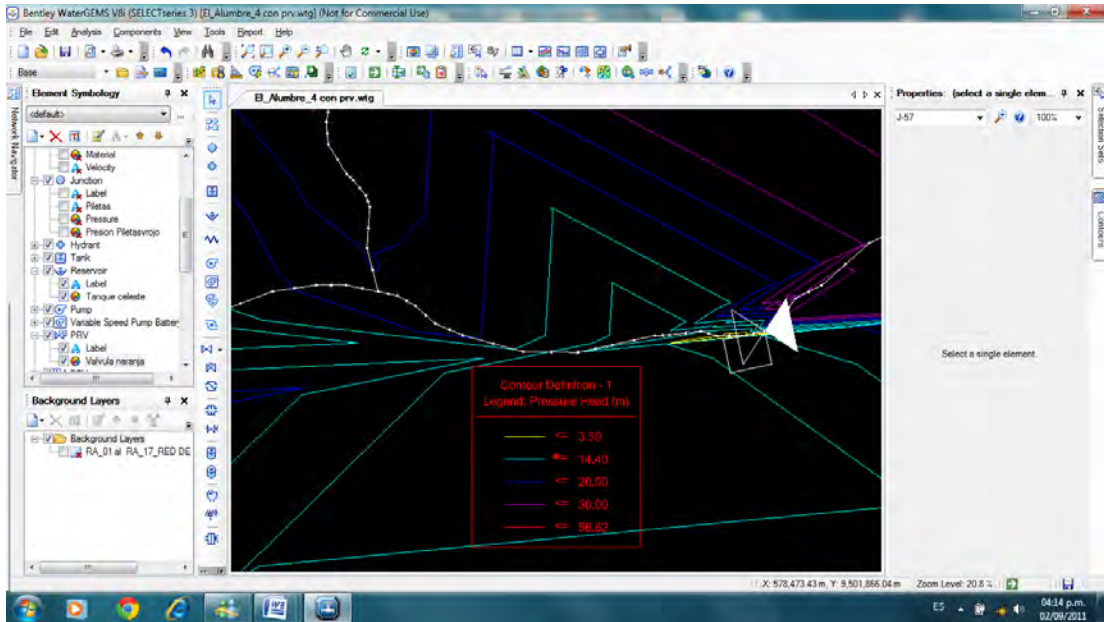


Fig. 4.18. Vista de la codificación de colores en zona de mínimas presiones.

Además, con el análisis estático se pudieron generar gráficamente en una vista perfil, como las elevaciones y el gradiente hidráulico, varían a través de una serie de tuberías interconectadas. Ver Fig. 4.19, 4.20 y 4.21.



Fig. 4.19. Perfil de un tramo de la línea de distribución que va del reservorio al nodo J-35.

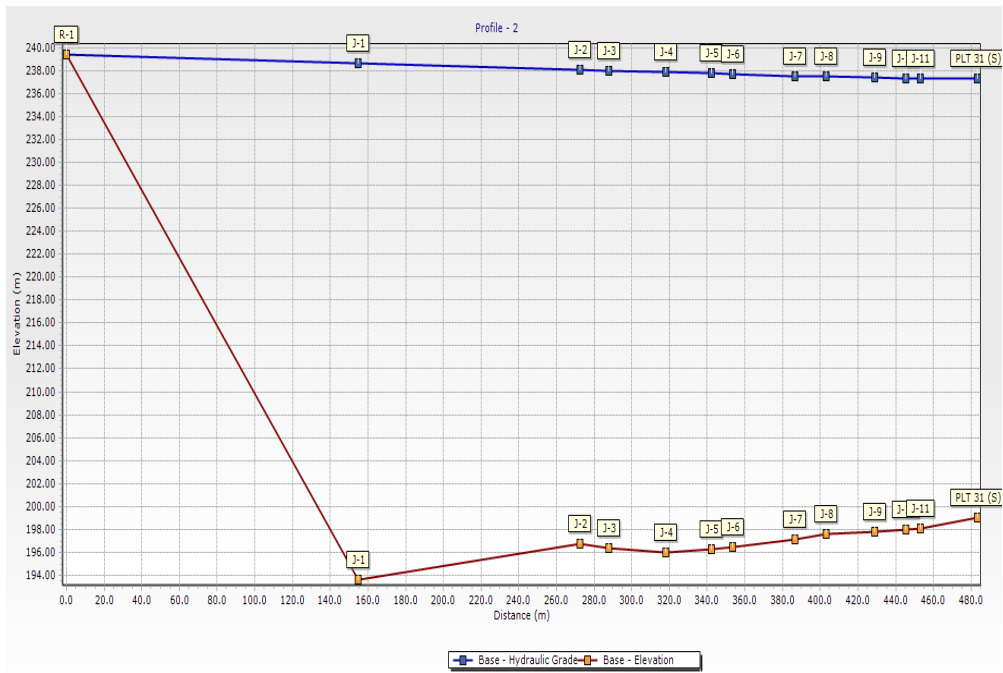


Fig. 4.20. Perfil de un tramo de la línea de distribución que va del reservorio a la pileta 31.



Fig. 4.21. Perfil de un tramo de la línea de distribución que va del reservorio a la válvula reductora de presión.

En la Fig. 4.21 se aprecia una caída de la línea de gradiente hidráulico en el punto de ubicación de la válvula reductora de presión debido a que la presión se reduce a cero en ese punto.

4.3.6. Diseño de cámara rompe presión

La cámara rompe presión consiste en un depósito o estructura con superficie libre de agua y volumen relativamente pequeño, que se ubica en puntos intermedios de una tubería separándola en partes. Su función es reducir la presión hidrostática a cero y establecer un nuevo nivel estático aguas abajo.

La estructura de la cámara rompe presión es de concreto armado $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ y consta de una cámara húmeda de $1.00\text{m} \times 0.60\text{m} \times 0.90\text{m}$ de altura, de medidas interiores con muros de 0.15m de espesor y tapa metálica de $0.80\text{m} \times 0.80\text{m}$; una cámara seca y una caja de rebose de $0.40\text{m} \times 0.50\text{m} \times 0.50\text{m}$ de altura de medidas interiores con muros de 0.10m de espesor y tapas metálicas de $0.50\text{m} \times 0.60\text{m}$; en la cámara seca se ubican las válvulas y en la caja de rebose el sello hidráulico.

El presente proyecto contempla solamente la construcción de una sola cámara rompe presión en el tramo Charán Grande – El Alumbre, progresiva $2+453$ y cota 208.00 . Las tuberías de ingreso y salida de la cámara son de $\text{Ø } 2''$. En la instalación de la cámara rompe-presión se ha previsto de un flotador o regulador de nivel de aguas para el cierre automático una vez que se encuentre llena la cámara y para periodos de ausencia de flujo.

La Fig. 4.22 muestra un corte de la cámara rompe presión. El plano CR-1 Anexo J, muestra un mayor detalle de los elementos que la componen.

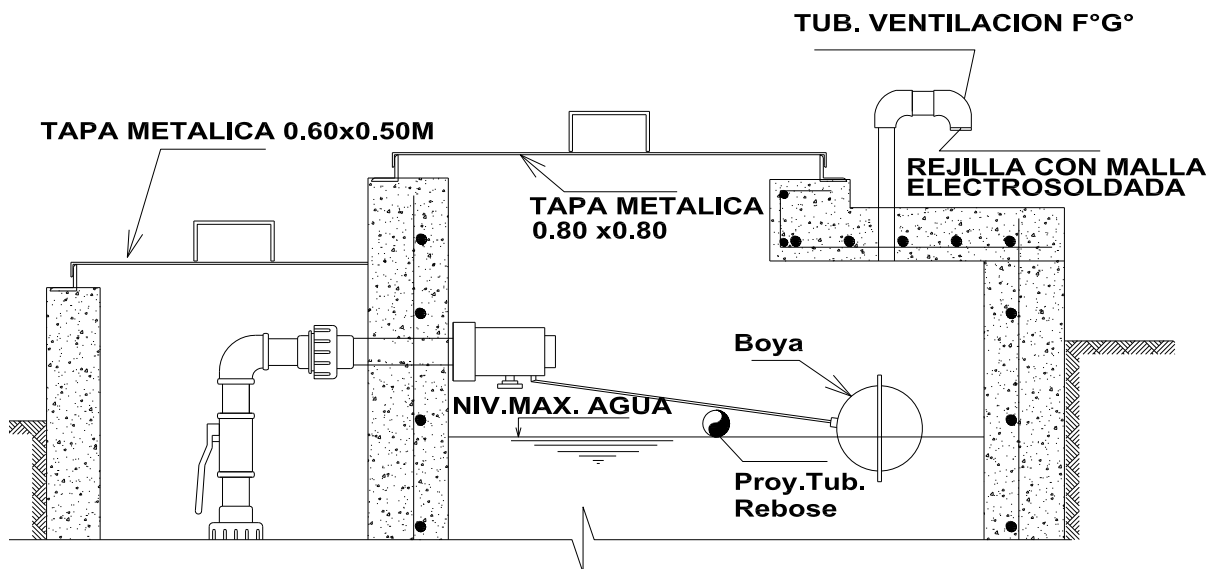


Fig. 4.22. Diseño de cámara rompe presión.

4.3.7. Diseño de piletas públicas

La pileta pública cuenta con los siguientes componentes:

- a) Tubería y accesorios de empalme de PVC Ø ½", a la red de distribución de agua.
- b) Caja prefabricada de concreto con válvula de control de Ø ½".
- c) Pedestal de servicio para una adecuada utilización de grifo, con una estructura sólida de soporte. Esta estructura es de concreto $f'_c = 175 \text{ kg/cm}^2$, de forma tronco-piramidal, con dimensiones de 0.40mx0.15m en la base inferior, 0.20mx0.15m en la base superior y 0.70m de altura, según se detalla en el plano F-1 y F-2, Anexo J. El punto de salida o grifo de Ø ½" estará ubicado a 0.10m de la parte superior del pedestal.
- d) Sistema de drenaje. La pileta tiene en la parte inferior del pedestal una poza de concreto de 0.60m x 0.70m de medidas interiores, con sardineles de 0.15m de ancho x 0.10m de altura. El agua servida se evacúa de dicha poza por un sumidero de Ø 2" a través de una tubería de PVC Ø 2" hacia una poza de percolación de 1.00m x 1.00m x 1.50m de profundidad, la cual es rellena en capas con piedra grande, piedra mediana, piedra de Ø 1", hormigón y tierra natural en espesores de 0.50m, 0.40m, 0.30m, 0.10m y 0.20m, respectivamente. El nivel de llegada de la tubería de evacuación es sobre la capa de hormigón.

Cada pileta pública abastece a un número determinado de viviendas y se encuentra separada de ellas a una distancia promedio de 200 m y en viviendas muy dispersas hasta 300 m.

Cada pileta pública tendrá un responsable de la administración y control de uso, con deberes y compromisos de los usuarios, todo lo cual estará incluido en la parte social y de capacitación respectiva.

Las piletas públicas pueden operar con una presión baja. Por lo tanto, los sistemas de distribución de agua, pueden usar tuberías de baja presión.

4.3.8. Esquema resumen del sistema de abastecimiento de agua potable proyectado

Después de realizarse el diseño de los elementos principales del sistema de abastecimiento de agua proyectado, se presenta a modo de resumen el esquema general del sistema de abastecimiento de agua potable para los caseríos de Charancito, el Naranjo, Charán Grande y El Alumbre. Ver Fig. 4.23.

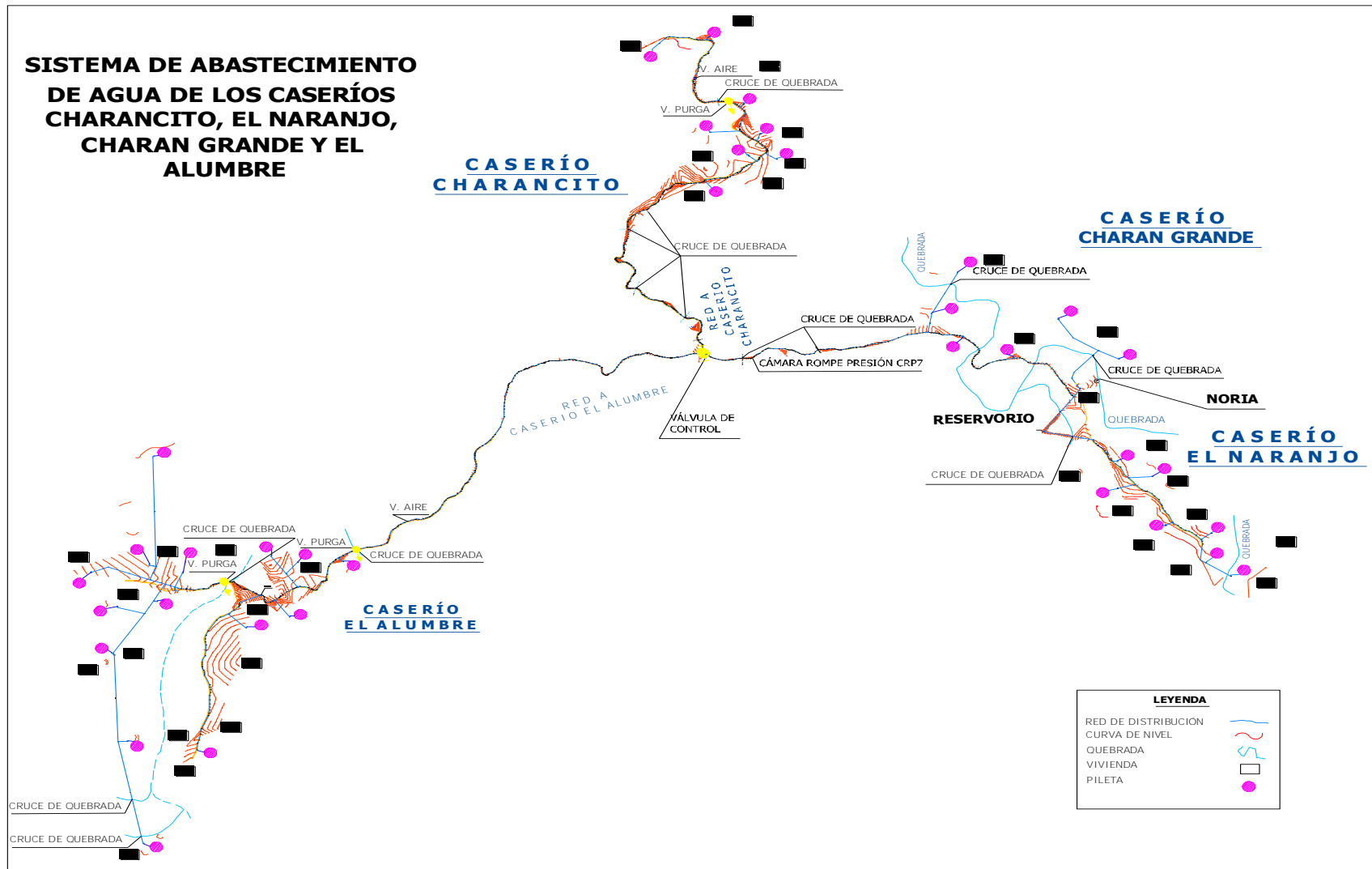


Fig. 4.23. Esquema resumen del sistema de abastecimiento de agua proyectado.

4.4. Conclusiones preliminares

- a) Cuánto más pequeña sea la población considerada más incierta será la previsión del período de diseño a considerar, puesto que cualquier cambio tendrá una incidencia marcada sobre los índices demográficos. Se recomienda asumir un período de diseño de 15 años para todos los elementos del sistema. El período recomendado es el adecuado ya que conjuga la duración de las estructuras de concreto y los equipos de bombeo.
- b) La tasa de crecimiento anual asumida es de 2% (según INEI), por ser este valor compatible con lo establecido en las normas de diseño para proyectos de agua potable en zonas rurales.
- c) Para los poblados en estudio se ha adoptado una dotación de 50 lt/hab/día, por ser un criterio de diseño razonable en sistemas de abastecimiento de agua a nivel de piletas públicas.
- d) La determinación y proyección de la demanda de agua están ligadas tanto al aumento de la población como al mejoramiento de las condiciones de vida, puesto que son factores que determinan un mayor o menor consumo de agua.
- e) Los coeficientes de las variaciones de consumo diarias y horarias adoptadas para el cálculo de las demandas futuras son:
Máximo anual de la demanda diaria (K_1)= 1.3
Máximo anual de la demanda horaria (K_2)= 2
- f) Los caudales totales máximo diario y máximo horario hallados tomándose en cuenta la población futura al año 2024 son 0.46 y 071 l/s respectivamente.
- g) El volumen de demanda de agua por día para las localidades de Charancito, El Naranjo, Charán Grande y El Alumbre resulta de 31.10 m³, por lo que se concluye que el acuífero subterráneo es capaz de abastecer suficientemente de agua a dichas localidades por haberse determinado un volumen de almacenamiento superior a lo requerido.
- h) La noria tendrá un diámetro de 3 m, un espesor de 0.20 m y una altura total de 7.80 m.
- i) La línea de impulsión será de tubería PVC-UF_SAP de 63 mm, con una longitud de 461.54 m, de clase A-10.
- j) El caudal de bombeo que será conducido a través de la línea de impulsión es de 1.44 l/s y la velocidad del flujo a través de la tubería es de 0.46 m/s.
- k) Para satisfacer el total de la demanda de agua de las poblaciones beneficiadas, es necesaria la utilización de 2 bombas sumergibles, puesto que, en el mercado local no se encuentran bombas sumergibles de capacidad de succión e impulsión mayores a 15 m³/día.

- l) La demanda de potencia del sistema de generación de energía será 1.758 *KW* y el número de módulos fotovoltaicos requeridos para satisfacer dicha demanda de potencia será 12 módulos.
- m) El reservorio será de tipo circular, de diámetro y altura de nivel máximo de agua de 4 m y 2.85 m respectivamente. Las paredes tendrán un espesor de 0.20 m.
- n) Es importante asegurar que exista cloro libre en todos los puntos de la red de distribución de agua: en adición a la acción bactericida del agua tratada en esta forma, el hecho de encontrar cloro en el agua demuestra que no se ha introducido materia orgánica que consumiera el cloro, y por tanto, probablemente tampoco microbios tras el tratamiento. Por el contrario, la ausencia anormal del desinfectante en la red, debe hacer que los responsables apliquen de inmediato medidas de emergencia.
- o) Los reportes tubulares (Flex Tables) son una herramienta extremadamente eficiente en WaterCad. Estos reportes no sólo son de buena presentación, son también muy útiles en la entrada y análisis de datos y pueden ahorrar una enorme cantidad de tiempo y esfuerzo.
- p) Como ya reflejan los reportes tabulares, se tienen diámetros de 1", 1.5" y 2" a lo largo de toda la red de distribución.
- q) Con el uso del programa WaterCAD se ha podido analizar las velocidades y presiones a lo largo de la red de distribución, de donde se dedujo que en la mayor parte de los tramos de la red se tiene velocidades menores a 0.4 m/s y presiones entre 30 y 40 m.
- r) Es recomendable el uso de un solo grifo de agua por no más de 40 personas. Las piletas públicas pueden tener uno o más grifos; en áreas rurales los tipos más comunes son las fuentes de un grifo. Para el sistema propuesto se ha considerado colocar 39 piletas, 38 simples y una doble.

Capítulo 5

Evaluación socioeconómica y ambiental del proyecto

5.1. Sostenibilidad del proyecto

Uno de los criterios básicos para lograr la sostenibilidad de los sistemas de abastecimiento de agua, es que la opción tecnológica y el nivel de servicio, estén basados en las condiciones físicas, económicas, sociales y culturales de la comunidad a ser atendida.

Además se requiere:

- a) Disponer de una buena fuente de agua.
- b) Contar con una infraestructura adecuada y en buenas condiciones para la provisión del servicio.
- c) Contar con una organización responsable, con capacidad y recursos económicos suficientes para realizar la gestión.
- d) Contar con el compromiso de pagar las cuotas familiares para sostener los servicios y participar activamente en las decisiones y actividades de la asociación.

5.1.1. Antecedentes

Los sistemas de abastecimiento de agua contribuyen significativamente al mejoramiento de las condiciones de salud de las poblaciones; sin embargo, en los últimos cincuenta años, las inversiones realizadas en el medio rural para ampliar la cobertura de dichos sistemas no siempre han tenido éxito. Algunas veces, los abastecimientos pequeños de agua demostraron no ser adecuados para las condiciones bajo las cuales tuvieron que funcionar, por lo que varios sistemas fueron completamente abandonados después de unos años de su construcción.

La falta de sostenibilidad de los pequeños sistemas de abastecimiento de agua, ha conducido a que los proyectistas y planificadores demanden nuevas herramientas que les faciliten identificar el esquema de abastecimiento de agua más adecuado para una determinada comunidad. Al efecto, se ha concluido que ello solo es posible a través del análisis secuencial de factores técnicos, económicos, sociales y culturales. Dichos factores inciden en la selección de una tecnología sostenible; y, la correlación de estos factores, es

la clave para identificar la opción tecnológica y el nivel de servicio más idóneos para una localidad determinada.

5.1.2. Caracterización del problema

Las causas de la falta de sostenibilidad de los sistemas de abastecimiento de agua son múltiples, siendo una de ellas la tecnología, que en la mayor parte de la veces excedió la capacidad de operación, mantenimiento y administración de la comunidad beneficiada, conduciendo al lento deterioro de las instalaciones y al abandono de las mismas en lapsos de tiempo muy por debajo de su horizonte de diseño o vida útil de sus componentes.

Los rezagos se incrementan de manera alarmante, ya que es imposible suministrar estos servicios a una velocidad mayor que la del crecimiento de la población rural, en virtud del alto costo que tienen los sistemas tradicionales en estas zonas de características tan difíciles para los proyectos.

Otras de las causas principales de que la cobertura de estos servicios en el medio rural sea muy baja son: la mala distribución en espacio y tiempo del vital líquido y la dispersión de las comunidades; originándose serios problemas de salud relacionados con la calidad del agua.

Las comunidades rurales para hacer frente a la pobreza han desarrollado distintos modos de supervivencia y por ende, distintos modos de organización. Esto implica que la administración de los sistemas debe considerar las particularidades de cada comunidad. Estas características hacen que la prestación de servicios básicos, como los de agua potable y saneamiento, presenten complicaciones técnicas, financieras, de organización, coordinación y concertación que hacen necesario definir una estrategia para abatir los rezagos y avanzar más en la prestación de estos servicios.

Es necesario aprender de los errores pasados y reconocer las causas de las fallas. Basándose en esto se puede desarrollar pautas para el planeamiento, construcción, operación y mantenimiento de sistemas pequeños de abastecimiento de agua.

5.1.3. Alternativas de solución

Ante el panorama existente en cuanto a las condiciones deficientes de servicios de abastecimiento de agua y saneamiento que imperan en el medio rural y como una alternativa para abatir los rezagos y alcanzar las coberturas necesarias, se mencionan algunas medidas que reorientarían las acciones futuras y contribuirían a la solución del problema expuesto. Éstas son:

- a) Debe reconocerse que la única forma de enfrentar el problema es ofreciendo soluciones ingeniosas e imaginativas que resulten de diseño sencillo, económicas, fáciles de construir, prácticas en su operación y adecuadas al entorno en que se erijan con total aceptación y apoyo de la comunidad usuaria. En estos sistemas debe aplicarse la tecnología rural en su máxima extensión, tan sólo apoyando las acciones con asesoramiento práctico de tecnología tradicional.

- b) Manejo integrado de recursos hídricos y del sector, tomando como base la disponibilidad del agua y el principio de "quien contamina paga". Los proyectos deben integrar abastecimiento de agua, saneamiento y educación.
- c) Para asegurar la participación de la comunidad en la operación y mantenimiento de los sistemas de abastecimiento de agua, como medida para garantizar la sostenibilidad de los mismos, se debe llevar a cabo asambleas en la que participen los miembros de las Juntas Administradoras de Servicios de Saneamiento (JASS). Las JASS representan espacios de diálogo para compartir sus opiniones constructivas y ayudar a resolver los problemas con el fin de tener el sistema de saneamiento más eficiente de la zona. En el Perú, las JASS formadas en las zonas rurales, han resultado ser un buen esquema de gestión.
- d) Ha probado su bondad la alternativa que se integra de una estrategia técnica y una de organización, con la decidida participación de las entidades gubernamentales, las agencias de cooperación y las ONGD, y sobre todo con la participación organizada de la población rural; formulando así, Programas de Obras Rurales que realmente logran las metas establecidas en tiempos relativamente cortos y con los cuales se permite dotar de servicios esenciales a las comunidades rurales.
- e) Es importante el apoyo y la supervisión por parte de entidades gubernamentales y responsables del proyecto para garantizar el buen funcionamiento de los sistemas de abastecimiento, ya que la falta de interés por el buen desenvolvimiento del proyecto es un factor que pondría en riesgo la sostenibilidad de los sistemas.

5.2. La participación comunal para un proyecto sostenible

La participación comunitaria va más allá de simplemente informarse acerca de los planes de desarrollo. Igualmente, va más allá de solo tomar en cuenta los conocimientos de la comunidad local y sus prioridades. Llevar a cabo una verdadera consulta comunitaria significa que la comunidad, los planificadores y el personal del organismo de crédito, celebran un diálogo donde las prioridades y las ideas de la comunidad ayudan a configurar los proyectos.

El diseño definitivo de un proyecto refleja las respuestas de la comunidad recibidas durante los diálogos consultivos. Este proceso puede dar lugar a una participación donde la comunidad comparte autoridad y verdadero poder en todo el ciclo de desarrollo, desde las decisiones normativas y la identificación de proyectos, hasta la evaluación final.

La participación comunitaria también supone que los sectores sociales que antes no tenían voz en el proceso, como por ejemplo las mujeres campesinas y los grupos indígenas, participen activamente en las conversaciones relativas a la identificación, la concepción, el análisis, la implementación, el control y la evaluación de los proyectos que los pueden afectar. La comunidad ya no es simplemente la meta o el objetivo del desarrollo, sino también un sujeto activo en el proceso.

En la participación comunitaria el concepto de desarrollo es un proceso basado en el hombre y no en los objetos, y considera a las comunidades como gestoras de su propio desarrollo.

Un análisis de los sistemas de abastecimiento de agua para pequeñas comunidades ha demostrado que la participación en las primeras etapas de diseño contribuye grandemente al éxito de un proyecto. La elección de la fuente de agua, el nivel de servicio y la localización de las instalaciones de abastecimiento de agua son, en particular, decisiones en las cuales la comunidad puede participar ventajosamente.

Con la finalidad que cada una de las familias beneficiarias del servicio de abastecimiento de agua potable conozca sus deberes y derechos, se ha establecido una serie de estatutos y reglamentos de la Junta Administradora de Servicios de Saneamiento (JASS), aprobados en Asamblea General de socios. La JASS del sistema de abastecimiento instalado en la zona de estudio está integrada por las familias beneficiarias de los caseríos: Charancito, El Naranjo, Charán Grande y el Alumbre y se ha constituido con el objetivo de velar por la operación, mantenimiento y sostenibilidad de los servicios instalados. Se trata de un modo de administración donde los usuarios tienen voz y voto en la administración de los servicios; de modo que la disponibilidad de un servicio de calidad dependerá directamente de la capacidad de compromiso que cada familia tenga para respetar y hacer cumplir los acuerdos.

5.2.1. Fases del proyecto

Para el presente proyecto, se ha visto reflejada la participación de la comunidad durante las tres fases del proyecto (propuesta, puesta en marcha y consolidación).

5.2.1.1. Fase de propuesta

El origen de la propuesta del presente proyecto partió directamente de los representantes de los poblados involucrados, quienes organizados a través de Juntas Vecinales de Desarrollo (JUVED), gestionaron las visitas del personal técnico de la Asociación para el Desarrollo de la Enseñanza Universitaria (ADEU) y la Universidad de Piura (UDEP) a sus localidades; solicitando la réplica de acciones exitosas puestas en práctica por aquéllos, en comunidades rurales de la zona norte del Perú, vecinas a las del presente proyecto. Así por ejemplo, para definir los marcos de referencia del proyecto, se contó con la participación activa de los beneficiarios, los cuales se manifestaron desde la etapa de identificación de los problemas y los objetivos.

5.2.1.2. Fase de puesta en marcha

El inicio de las actividades para la ejecución del sistema de abastecimiento de agua potable, estuvo marcado por los estudios definitivos realizados en el área de influencia del proyecto; esto, con el propósito de precisar los detalles de la infraestructura de abastecimiento de agua necesaria.

Una vez terminados los estudios prosiguió la etapa de construcción. Esta etapa se inició con la construcción de la estructura de captación tipo noria y la instalación de un sistema de bombeo accionado con energía solar, luego para conducir el agua impulsada por el sistema de bombeo se implementó la línea de impulsión que va desde la estructura de captación tipo noria hasta un reservorio de almacenamiento y regulación apoyado,

construido enteramente de concreto armado. Posteriormente se implementaron las redes de distribución y 39 piletas públicas que abastecen de agua a los cuatro caseríos beneficiados con el proyecto.

Para la puesta en marcha del proyecto, los beneficiarios se comprometieron a aportar la mano de obra local necesaria a fin de concluir satisfactoriamente el proceso de construcción del sistema de abastecimiento de agua potable. Dentro de los recursos que fueron necesarios para llevar cabo la construcción de las obras del sistema de abastecimiento de agua están:

a) Recursos humanos

- Mano de obra calificada para la construcción del sistema de agua potable.
- Mano de obra no calificada para la construcción del sistema de agua potable.
- Personal especializado.

b) Recursos técnicos

- Equipamiento, suministros y servicios para el diseño e instalación del sistema de agua potable.

c) Materiales

- Materiales, accesorios, herramientas y equipos para la construcción del sistema de agua potable.

5.2.1.3. Fase de consolidación

Antes de concluir el proyecto, se organizó a la población en juntas locales de administración, las cuales tenían como misión, asegurar la sostenibilidad del proyecto más allá del plazo de intervención de la cooperación externa. Para ello, los pobladores, docentes y directores se comprometieron a participar en las jornadas de capacitación que se organizaron para tal fin y se mostraron dispuestos a participar activamente en todo lo que estuvo a su alcance para que el proyecto lograra el impacto esperado.

También se programó la promoción y difusión tanto interna como externa del avance de las obras, como parte de las labores sociales de sensibilización e información que acompañan al proyecto. Se realizó un seguimiento constante a las obras de infraestructura del sistema de abastecimiento de agua potable durante todo el proyecto.

5.2.2. Gestión, administración, operación y mantenimiento de los servicios de abastecimiento de agua

La gestión y administración de los servicios de abastecimiento de agua son todas las acciones que realiza la organización para alcanzar el objetivo institucional de proveer el servicio de agua potable en forma continua, en cantidad suficiente y con calidad a todos sus asociados.

La operación y mantenimiento realizados en forma adecuada, garantizan que los elementos que conforman los sistemas de abastecimiento de agua, cumplan con la vida útil para la que fueron diseñados.

5.2.2.1. Gestión

La gestión del agua enseña el uso apropiado y promueve el inicio de actividades comunitarias continuas que priorizan la conservación y protección de los recursos hídricos. Para lograr una gestión exitosa es necesario:

a) Conocer y realizar las principales actividades de la asociación

Algunas de las principales actividades que se deben realizar están referidas a:

- Operar y mantener adecuadamente los servicios de agua.
- Registrar y controlar las operaciones de ingresos y gastos.
- Planificar y presupuestar las actividades.
- Informar permanentemente a los asociados sobre la condición de los servicios.
- Promover el uso correcto de los servicios.
- Solución inmediata de los problemas que se presenten.

b) Estar organizados

Una asociación bien organizada puede planificar, ejecutar y evaluar sus acciones más eficazmente que una asociación desorganizada. El propósito de organizarse es realizar un esfuerzo coordinado, dividiendo las tareas y las funciones entre los diferentes órganos de la asociación. Organizar significa determinar quién hace qué y quién informa a quién.

c) Realizar trabajo en equipo

Para que exista trabajo en conjunto es necesario cumplir con algunos requisitos:

- Reunirse con frecuencia.
- Lograr la participación de todos los directivos.
- Identificar en grupo problemas y soluciones.
- Conversar y resolver conflictos entre asociados.
- Definir cómo se debe trabajar y las funciones de cada cual.
- Celebrar los éxitos importantes.
- Evaluar los resultados de la gestión cada cierto tiempo.

- Contar con la participación y el compromiso de los asociados.

5.2.2.2. Administración

La administración significa brindar un buen servicio bajo la conducción o dirección de una persona o grupo de personas. La JAAS se convierte en un ente que asume la administración del sistema de abastecimiento de agua potable y vela por el cumplimiento de los compromisos de los usuarios, lo cual se refleja en la continuidad del abastecimiento y en el estado de conservación de los sistemas.

La asamblea general es la autoridad máxima de la JASS y está integrada por los usuarios inscritos en el padrón de asociados. Las decisiones de la asamblea general son de cumplimiento obligatorio para todos sus asociados. El presidente del consejo directivo preside las sesiones de la asamblea general y en ausencia de éste, cualquier asociado designado por la asamblea.

a) Funciones de la asamblea general

- Aprobar el plan operativo anual de trabajo, el presupuesto anual, la cuota familiar y el informe anual de la gestión del consejo directivo.
- Supervisar y evaluar las actividades realizadas por el consejo directivo.
- Designar el comité electoral.
- Confirmar o revocar las sanciones impuestas por el consejo directivo.
- Resolver y sancionar casos de denuncias por actos de disciplina graves cometidos por los miembros del consejo directivo y/o los asociados.
- Elegir a los miembros del consejo directivo.
- Aprobar el estatuto, reglamentos internos y sus modificaciones.

b) Obligaciones de los usuarios

- Pagar puntualmente la tarifa de agua y otros aportes aprobados por la asamblea general.
- Hacer de conocimiento de la JASS las averías que afecten al servicio, en un plazo no mayor de 24 horas; caso contrario, se hará merecedor de una sanción cuyo monto lo determinará la asamblea general.
- Asistir a las reuniones y permanecer en ellas hasta el final; caso contrario, será sancionado.
- Las familias entorno a una pileta pública están obligadas a cuidar la integridad y limpieza de dicho espacio.

5.2.2.3. Operación y mantenimiento

La operación y mantenimiento de un sistema no es sino la suma de las diversas tareas que deben cumplirse rutinariamente para asegurar la eficiencia del servicio prestado al usuario. Si estas tareas no son efectuadas o lo son de un modo negligente, indudablemente los resultados que se obtendrán serán pocos satisfactorios. La correcta realización de estas tareas es de primordial importancia por dos razones fundamentales:

- a) Es importante en sí mismo, ya que sin operación y mantenimiento adecuados no habrá servicio eficiente.
- b) Lo cuantioso de la inversión en instalaciones y equipos hace que ésta no pueda repetirse antes del tiempo pre-fijado para su amortización, sin causar grave perjuicio económico a la comunidad.

Cada sistema deberá tener su programa propio de operación y mantenimiento de acuerdo a sus necesidades, determinando que tipo de personal técnico y equipos se necesitan para realizar esta labor. Existen dos tipos de mantenimiento:

a) Mantenimiento preventivo

Es el conjunto de acciones y actividades que se planifican y realizan para que no aparezcan daños en el equipo e instalaciones del sistema de agua. Este se realizará con el propósito de disminuir la gravedad de las fallas que puedan presentarse.

b) Mantenimiento Correctivo

Es el conjunto de acciones que se ejecutan para reparar daños en el equipo e instalaciones, causados por accidente o deterioro a causa del uso. Dentro del mantenimiento correctivo se encuentra la reparación de tuberías.

5.3. Evaluación económica, transferencia del proyecto

5.3.1. Viabilidad económica

La sostenibilidad del sistema de abastecimiento de agua potable instalado, requiere un flujo de fondos continuo que permita cubrir los costos de operar, mantener y reemplazar las instalaciones, al igual que administrar todo el sistema. Parte importante de la gestión comunitaria es obtener una buena regulación de este flujo de fondos mediante recuperación de costos por la vía de tarifas de los servicios o aportes periódicos de la comunidad. Esto hace que el proyecto sea económicamente viable.

Debe tomarse en cuenta que el usuario está dispuesto a pagar por un servicio de calidad que le entregue beneficios mayores que sus costos. Estos beneficios recaen sobre una mejor calidad de vida, pero para que sean más fácilmente reconocibles, es posible llevar el nivel del servicio a un punto en donde además se obtengan beneficios relacionados con la comodidad, el prestigio, e incluso beneficios económicos tangibles, como la valoración de las viviendas.

El costo del servicio para cada usuario debe estar en proporción a su uso, en forma tal que exista un costo base para el consumo absolutamente necesario. Para consumos mayores los costos deben ser tales que castiguen este uso excesivo y permitan obtener excedentes que puedan cubrir costos de inversión en futuras expansiones de los servicios.

La cuota por el servicio de abastecimiento de agua instalado para los caseríos estudiados, ha sido estimada entre 8 y 10 soles (2.5 y 3.0 dólares), al mes por familia y representa la

cantidad mínima que los pobladores pueden aportar con recursos propios. Esta cuota se cobra de acuerdo a la modalidad aprobada por la asamblea general.

La cuota familiar puede ser revisada periódicamente de acuerdo a las variaciones que puedan presentarse en el plan operativo anual de trabajo o en el presupuesto anual. Los reajustes realizados a la cuota familiar se deben aplicar a partir del mes siguiente de su aprobación. Toda decisión que se tome en cuanto a costos debe ser concertada por la comunidad y de ninguna manera impuesta por un agente externo. Esto se facilita si la participación comunitaria se ha reconocido como fundamental y ha tenido presencia desde la planificación de los servicios.

La JASS será la encargada de administrar el fondo recaudado por el uso del sistema de agua potable y lo empleará en la operación y mantenimiento del mismo. El proyecto no promoverá entonces ningún tipo de procesos de privatización, quedando claro que el servicio de abastecimiento de agua estará administrado directamente por la población.

5.3.2. Presupuesto general de la construcción del sistema de abastecimiento de agua

Tabla 5.1. Presupuesto general de la construcción del sistema de abastecimiento de agua.

PRESUPUESTO DE OBRAS CIVILES				
PROYECTO: SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DE LOS CASERÍOS CHARANCITO, EL NARANJO, CHARÁN GRANDE Y EL ALUMBRE				
UBICACIÓN: DISTRITO DE LANCONES				
DETALLE	MANO DE OBRA (S/.)	MATERIALES (S/.)	EQUIPOS (S/.)	TOTAL (S/.)
Noria	8945.63	33489.03	5308.64	47744.09
Caja de válvulas	3265.51	4517.06	140.88	7923.52
Línea de impulsión	3295.94	5278.25	3184.71	11758.89
Reservorio de almacenamiento de agua	9455.38	23029.57	1215.59	33701.53
Línea principal de distribución	48077.59	48601.85	48660.66	145340.10
Líneas secundarias de distribución	97518.25	61718.47	100378.43	259614.99
Cámara rompe presión tipo 7	1224.72	3931.62	74.60	5231.05
Válvula de control N°1	279.77	738.43	17.26	1035.49
Válvula de control N°2	407.22	895.24	21.05	1323.53
Válvulas de aire tipo I	4373.36	11055.62	394.90	15824.42
Válvulas de aire tipo II	1032.77	2217.59	57.77	3308.18
Válvulas de purga	998.14	2201.89	47.79	3247.90
Cruces de quebrada	21911.61	65770.75	12126.20	99808.56
Piletas públicas	18983.18	18813.33	1672.85	39470.34
Caseta de operador	5118.29	8645.48	654.21	14417.61
Cerco perimétrico de reservorio apoyado	1678.02	2688.09	103.01	4469.08
COSTOS TOTALES	S/. 226,565.39	S/. 293,592.27	S/. 174,058.55	S/. 694,219.28

5.3.3. Cronograma de ejecución de obra

Tabla 5.2. Cronograma de ejecución de obras civiles.

CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES						
PROYECTO: SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DE LOS CASERÍOS CHARANCITO, EL NARANJO, CHARÁN GRANDE Y EL ALUMBRE						
UBICACIÓN: DISTRITO DE LANCONES						
DETALLE	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6
Noria						
Caja de válvulas						
Línea de impulsión						
Reservorio de almacenamiento de agua						
Línea principal de distribución						
Líneas secundarias de distribución						
Cámara rompe presión tipo 7						
Válvula de control N°1						
Válvula de control N°2						
Válvulas de aire tipo I						
Válvulas de aire tipo II						
Válvulas de purga						
Cruces de quebrada						
Piletas públicas						
Caseta de operador						
Cerco perimétrico de reservorio apoyado						

5.4. Estudio de Impacto Ambiental

5.4.1. Introducción

Como todo proyecto de construcción, las obras de abastecimiento de agua potable producen distintos efectos al medio ambiente, razón por la cual, siempre se debe realizar un Estudio de Impacto Ambiental.

Lo que se busca con este Estudio de Impacto Ambiental, es identificar y valorar los impactos potenciales que este tipo de obras podría generar al medio ambiente; y así, conocidas las posibles consecuencias, elaborar un plan de Manejo Ambiental que mitigue o elimine los impactos negativos, que se generarían por la ejecución del proyecto. A este proceso de identificación y evaluación de impactos sobre el ambiente se le denomina “Evaluación de Impacto Ambiental” (EIA).

El presente estudio identifica y describe los principales impactos ambientales que se generarían en las diferentes etapas de una obra de agua potable, aplicados al proyecto denominado: “Sistema de abastecimiento de agua potable de los caseríos Charancito, El Naranjo, Charán Grande y El Alumbre”. Además se realiza la valoración de los impactos negativos y positivos generados durante las diferentes fases del proyecto y se establece las correspondientes medidas de mitigación, con la finalidad de aportar una herramienta práctica y sencilla a todos aquellos dedicados a la planeación, proyecto, construcción, conservación y operación de sistemas de abastecimiento de agua potable.

5.4.2. Identificación de los impactos ambientales

A fin de identificar los impactos que se generarían por la ejecución del proyecto, se analiza la interacción entre las actividades del proyecto susceptibles de producir impacto sobre el medio ambiente y los factores ambientales potencialmente afectados. Para esto se ha dividido el proyecto en 3 etapas: etapa previa, etapa de construcción y etapa de operación y mantenimiento.

5.4.2.1. Actividades susceptibles de producir impacto sobre el medio ambiente

a) Actividades previas a la construcción de la obra

Comprende las actividades que son necesarias antes de iniciar la construcción de la obra. En esta fase se dan las actividades iniciales del proyecto y se presentan las primeras alteraciones del ambiente. Así se tiene:

- Estudios realizados en el área de influencia del proyecto.

b) Actividades durante la etapa de construcción

Comprende las actividades necesarias para la adecuada disposición de las obras.

La construcción de la obra: “Sistema de abastecimiento de agua potable de los caseríos Charancito, El Naranjo, Charán Grande y El Alumbre”, posee las siguientes actividades:

- Emplazamiento del obrador: Limpieza y preparación del terreno, desmontes y terraplenes, residuos, construcciones provisionarias, acopio de materiales y movimiento y mantenimiento de maquinarias.
- Limpieza de vegetación en zonas de obras.
- Desmontes y terraplenes.
- Excavación de zanjas.
- Acopio de materiales de rellenos y excavaciones.
- Acopio de tuberías y colocación.
- Llenado y compactación de zanjas.
- Construcción de estación de bombeo.
- Instalación de paneles solares.
- Construcción de obras de concreto armado.

c) Actividades en la etapa final de la obra o etapa de operación y mantenimiento

Para esta etapa se tienen las siguientes actividades:

- Funcionamiento de estación de bombeo.
- Suministro de agua potable.
- Trabajos de operación y mantenimiento del servicio instalado.

5.4.2.2. Factores ambientales a analizar

Los principales factores ambientales de los subsistemas susceptibles a las acciones antrópicas descritas para las tres etapas del proyecto de abastecimiento de agua potable, son los siguientes:

a) Factores ambientales del subsistema medio físico

- Factores ambientales - Medio físico inerte (Tabla 5.3).
- Factores ambientales - Medio físico biótico (Tabla 5.4).
- Factores ambientales - Medio físico perceptual (Tabla 5.5).

Tabla 5.3. Factores ambientales - Medio físico inerte.

Aire	Polvo
	Ruido
Suelos	Ocupación del suelo
	Características físico - químicas
	Cambio de la morfología
	Calidad del suelo
	Erosión del suelo
Agua	Calidad aguas subterráneas
	Cantidad y distribución del agua

Tabla 5.4. Factores ambientales - Medio físico biótico.

Flora	Especies silvestres de la zona
	Arbustos, herbáceas
	Microflora
	Nuevas especies
Fauna	Especies protegidas y animales en general
	Rutas de paso o migratorias
Procesos bióticos	Cadenas tróficas y reproductivas
	Movilidad de especies y comportamiento

Tabla 5.5. Factores ambientales - Medio físico perceptual.

Paisaje	Potencial de visitas
	Cualidades naturales y de espacio abierto
	Incidencia visual
	Rasgos físicos singulares

b) Factores ambientales del subsistema socioeconómico

- Factores ambientales - Población (Tabla 5.6).
- Factores ambientales - Economía (Tabla 5.7).
- Factores ambientales - Uso del suelo rústico (Tabla 5.8).

Tabla 5.6. Factores ambientales – Población.

Estructura poblacional	Empleo
	Ocupación laboral por sector de actividad
Características culturales	Ocupación laboral
	Estilo de vida
	Expectativas sociales ante el inicio de un proyecto
	Interacciones sociales
	Aceptación social del proyecto
	Salud y seguridad
Densidad poblacional	Cantidad de población

Tabla 5.7. Factores ambientales – Economía.

Actividades y relaciones económicas	Economía local
	Turismo
	Comercio

Tabla 5.8. Factores ambientales - Uso del suelo rústico.

Productivo	Suelo agrícola
	Suelo forestal
	Suelo ganadero
Vías Rurales	Caminos rurales
	Vías pecuarias (para ganado)

5.4.2.3. Matriz de identificación de impactos

En la matriz de Identificación de Impactos se muestran las interacciones entre los factores ambientales y las acciones del Proyecto. Ver Tabla 5.9.

Tabla 5.9. Matriz de identificación de impactos.

		ACTIVIDADES																
		FASE PREVIA	FASE DE CONSTRUCCIÓN											FASE DE OPERAC. Y MANTEN.				
		Estudios realizados en el área de influencia del proyecto	Emplazamiento del obrador	Limpieza de terreno	Remoción de capa vegetal	Eliminación de desmontes y terraplenes	Excavación de zanjas	Acopio de materiales de rellenos y excavaciones	Acopio de tuberías y colocación	Llenado y compactación de zanjas	Construcción de estación de bombeo	Instalación de paneles solares	Construcción de obras de concreto armado	Riego y mantenimiento de las áreas verdes	Funcionamiento de estación de bombeo	Suministro de agua potable	Trabajos de operación y mantenimiento del servicio instalado	
MEDIO FÍSICO INERTE	AIRE	Polvo	x	x	x	x	x	x		x								
		Ruido		x			x	x		x								
	SUELO	Ocupación del suelo		x					x	x		x	x					
		Características físico-químicas de los suelos			x	x	x	x						x				
		Cambio de la morfología del suelo					x	x										
		Calidad del suelo			x	x	x							x				
AGUA	Erosión				x		x											
	Calidad aguas subterráneas										x						x	
MEDIO FÍSICO BIÓTICO	FLORA	Cantidad y distribución del agua												x	x	x		
		Especies silvestres de la zona			x	x		x										
		Arbustos, herbáceas			x	x		x										
		Microflora												x				
	FAUNA	Nuevas especies de flora												x				
		Especies protegidas y animales en general		x	x	x	x	x	x	x	x		x	x				
	PROCESOS BIÓTICOS	Rutas de paso o migratorias		x	x	x	x	x	x	x	x		x					
		Cadenas tróficas y reproductivas				x							x	x		x		
	MEDIO FÍSICO PERCEPTUAL	PAISAJE	Movilidad de especies y comportamiento			x							x	x		x		
			Potencial de visitas				x											
Cualidades naturales y de espacio abierto					x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
Incidencia visual					x	x	x	x	x		x	x	x	x				
MEDIO SOCIAL	ESTRUCTURA POBLACIONAL	Rasgos físicos singulares				x							x					
		Empleo			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x
	CARACTERÍSTICAS CULTURALES	Ocupación laboral por sector de actividad												x				
		Ocupación laboral			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x
		Estilo de vida													x	x	x	x
		Expectativas sociales ante el inicio de un proyecto	x															
		Interacciones sociales						x			x		x	x				x
		Aceptación social del proyecto	x	x										x	x	x	x	x
DENSIDAD POBL.	Salud y seguridad												x	x	x	x		
ECONOMÍA	ACTIVIDADES Y RELACIONES ECON.	Cantidad de población														x		
		Economía local															x	
		Turismo															x	
USO DEL SUELO RÚSTICO	PRODUCTIVO	Comercio														x		
		Suelo agrícola		x		x		x	x				x					
		Suelo forestal		x		x		x	x				x					
	VÍAS RURALES	Suelo ganadero		x		x		x	x				x					
		Caminos rurales		x				x	x		x		x					
	Vías pecuarias (para ganado)		x		x		x	x		x		x						

5.4.3. Descripción de los impactos ambientales potenciales que se generarían en cada etapa del proyecto

Considerando que el proyecto se refiere a una obra de infraestructura sanitaria, donde no habrá cambios significativos en el medio físico, se estima que la ocurrencia de impactos ambientales estará asociada básicamente al manejo de las áreas de uso temporal (transporte de materiales de construcción, botaderos), y en los frentes de trabajo de la obra propiamente dicha, como en los movimientos de tierra (excavaciones y rellenos de zanjas para estructuras e instalación de tuberías) a lo largo de la red de agua potable a instalar.

La descripción de los impactos se ha realizado considerando las tres etapas del proyecto (etapa previa a la construcción, etapa de construcción y etapa de operación y mantenimiento).

5.4.3.1. Etapa previa a la construcción

En esta etapa se ha identificado impactos sobre el subsistema socioeconómico – factor población; los cuales se describen a continuación:

a) Expectativas sociales ante el inicio de un proyecto

Al igual que cualquier proyecto nuevo que se quiere implantar en una determinada zona, el sistema de abastecimiento de agua potable generará expectativas en la población por los cambios que pudieran generarse en los subsistemas físico y socioeconómico.

Conociéndose el tipo de proyecto y sabiendo que en todo trabajo de construcción existe una demanda de trabajadores, especialmente de mano de obra no calificada, se generarán expectativas de empleo especialmente en la población de las localidades de Charancito, El Naranjo, Charán Grande y El Alumbre.

b) Aceptación social del proyecto

La aceptación social que un determinado proyecto tenga dependerá de los beneficios notorios que traerá consigo la realización del proyecto, así como de los cambios que la población esté dispuesta a aceptar respecto a su entorno físico y social.

Es posible que ocurran algunos conflictos entre los pobladores de las localidades beneficiarias por la ubicación de las piletas de agua potable. Se colocará una pileta para un determinado número de casas o familias, lo que puede originar que cada familia exija que la pileta sea colocada lo más cercana a su vivienda.

5.4.3.2. Etapa de construcción

En esta etapa se ha identificado impactos sobre el subsistema medio físico y subsistema socioeconómico.

En el subsistema medio físico – factor medio físico inerte, se describe los siguientes impactos:

a) Afectación de la calidad del aire

El emplazamiento del obrador y la construcción misma de las estructuras del sistema de abastecimiento de agua potable tienen actividades de: limpieza y preparación del terreno, construcciones provisionales, remoción de vegetación en zona de obras, desmontes y terraplenes, disposición de material de desecho, extracción y acopio de materiales, excavaciones y rellenos de zanjas, construcción de obras de concreto armado y en general cualquier movimiento de maquinarias, las cuales generarán un aumento de los niveles de partículas en suspensión (polvo), afectando a las poblaciones aledañas principalmente a los propios trabajadores de la obra.

El concreto para la construcción de las obras será preparado en la zona del proyecto con utilización de mezcladora, lo que producirá contaminación del aire por el vertido de material particulado a la atmósfera y la carburación de la máquina mezcladora.

b) Generación de ruido

El empleo de maquinaria y/o equipos, transporte de material, carga y descarga de materiales, podría generar leves ruidos por pequeños períodos de tiempo; que no resultarían molestos para la población, por encontrarse sus viviendas dispersas en un ambiente libre; pero sí podría generar perturbación en la comunicación oral entre los mismos trabajadores, además del alejamiento temporal de algunas especies animales características de la zona. Los sitios más sensibles son las zonas donde se instalará la estación de bombeo y las redes de agua potable.

c) Ocupación temporal de suelos

Se ocupará temporalmente determinados espacios para la construcción de ambientes provisionales que servirán para el almacenamiento de materiales y herramientas u equipos durante la ejecución de las obras.

d) Cambio en las características físico-químicas de los suelos

Se producirá una modificación permanente en cantera y en áreas operativas y de influencia debido a extracción de suelos y movimientos de tierra. En caso de ser necesaria la apertura de desvíos o trazas provisionales se producirá una modificación en las características de los suelos en estas zonas.

e) Cambio de la morfología del suelo

Las actividades de corte y relleno de zanjas generarán cambios en la morfología del suelo a lo largo de toda la traza de la red de distribución del sistema de abastecimiento de agua.

f) Contaminación del suelo

Se generarán y acumularán residuos sólidos producidos por el personal obrero durante la ejecución de las actividades a lo largo de la traza. Asimismo se producirá desmonte producto de excavaciones, limpieza de terreno y eliminación de vegetación.

Durante los trabajos de mejoramiento y mantenimiento de herramientas es posible el derrame de lubricantes, combustibles y grasas de los vehículos, maquinarias y equipos por accidentes o manejo inadecuado de los mismos.

g) Erosión del suelo

Se podrá producir erosión en suelos en donde se ha ejecutado remoción de vegetales para efectuar excavaciones para las líneas de impulsión y distribución. Asimismo, en el caso de modificar cauces superficiales por acopio de materiales o excavaciones, se producirán erosiones en las zonas donde se produzcan las nuevas escorrentías.

h) Contaminación de las aguas subterráneas por la presencia de residuos líquidos o sólidos que penetran en el suelo

El derrame de líquidos y desperdicios durante los trabajos de construcción no sólo pueden contaminar el suelo, sino también las aguas subterráneas, especialmente las aguas de la zona de captación donde será construida la Noria.

En el subsistema medio físico – factor medio físico biótico, se describe los siguientes impactos:

a) Daño en la vegetación que recubre los suelos y pérdida de plantas silvestres propias de la zona

Las excavaciones realizadas a lo largo de la traza, la limpieza y preparación del terreno para la construcción de las obras y la eliminación de residuos sólidos y desmontes pueden ocasionar la remoción de vegetación que recubre los suelos y pérdida de plantas silvestres propias de la zona.

b) Aparición de nuevas especies de flora

Los trabajos de excavación, relleno de zanjas y cualquier movimiento de tierras para la construcción de las obras, bajo condiciones de lluvia, hacen que el suelo quede propicio para la aparición de nuevas especies de flora.

c) Migración de especies animales

Los trabajos de limpieza y desmonte realizados con maquinaria y la circulación de vehículos, producirán un impacto directo sobre la fauna local, ocasionado el ausentismo del ganado caprino y otras especies como: reptiles, aves silvestres, insectos, etc. Este impacto será de manera temporal mientras duren los trabajos de construcción.

d) Cambio Micro-climático

La presencia del concreto en un ambiente, inicialmente causa la atracción de muchas especies que van a causa de los insectos y ellos a causa de las radiaciones producidas por la liberación de energía acumulada durante el día. Este fenómeno se ha observado en sectores de la costa y selva, no produciéndose muy frecuentemente en la sierra.

En el subsistema medio físico – factor medio físico perceptual, se describe los siguientes impactos:

a) Alteración del paisaje

Se producirá una modificación del paisaje debido a la apertura de nuevos caminos, la instalación de obradores, campamentos o almacenes, el acopio de materiales, el estacionamiento de máquinas y la mayor cantidad de personas en la zona de construcción.

b) Incidencia visual

Se verá afectada por las actividades de excavaciones y rellenos, obras de concreto, presencia de maquinarias y/o equipos, así como de personal.

En el subsistema socioeconómico – factor población, se describe los siguientes impactos:

a) Generación de trabajo de manera directa e indirecta en la población

La ejecución de las obras será con el apoyo de los pobladores de la zonas que serán beneficiadas quienes aportarán con mano de obra no calificada. Para los trabajos que requieran mayor técnica será necesaria la incorporación de mano de obra calificada. Si fuera escasa la cantidad de personas idóneas en la zona del proyecto, esta necesidad repercutirá en la demanda de mano de obra para otras localidades.

b) Modificación de estilos de vida

La alteración de las modificaciones de los estilos de vida de parte de la población local durante la etapa de construcción serán el inicio de la modificación que los centros poblados van a experimentar de manera gradual pero constante en la etapa de operación de la infraestructura sanitaria. Esta modificación estará referida principalmente a cambios en los hábitos diarios como consecuencia del desarrollo de programas en educación sanitaria y concientización en el cuidado de la infraestructura instalada.

c) Interacciones sociales

La interacción social es un parámetro complejo de manejar. El programa de contingencias, sin embargo, establece medidas de solución a conflictos sociales y las Normas Ambientales de Comportamiento establecen la restricción de las incursiones del personal de obra hacia otros centros poblados.

Las labores de construcción exigirán que el personal se encuentre en constante interacción, manteniendo comunicación y buen trato, ya que el buen desenvolvimiento de los trabajos

dependerá del esfuerzo conjunto y la participación de la población en las distintas actividades y talleres que se realicen para beneficio del proyecto.

En el subsistema socioeconómico – factor uso del suelo rústico, se describe el siguiente impacto:

a) Alteración del tipo de suelo rústico

La apertura de la traza para las líneas de impulsión y distribución y la construcción de las obras de concreto armado puede ocasionar pérdidas de zonas de cultivo, de zonas forestales, zonas de pastoreo y alteración de las vías pecuarias y caminos rurales.

5.4.3.3. Etapa de operación y mantenimiento

Cuando opere totalmente el sistema de abastecimiento de agua potable incidirá en una mejor calidad de vida de la población beneficiaria. En general, los impactos directos e indirectos generados por el proyecto son los siguientes:

En el subsistema medio físico – factor medio físico inerte, se describe el siguiente impacto:

a) Cantidad y distribución del agua

La construcción del sistema de captación y almacenamiento de agua traerá cambios en cuanto a los parámetros de cantidad y distribución, pues la población podrá disponer de la cantidad necesaria de agua de acuerdo a sus necesidades en cualquier momento del día; además, gracias a la forma en que llegará el agua, será más accesible para ellos obtenerla en la cantidad y el momento deseado.

En el subsistema medio físico – factor medio físico biótico, se describe el siguiente impacto:

a) Retorno de las especies ahuyentadas durante la etapa de construcción

Con el término de la construcción de las obras regresarán las especies ahuyentadas y se dará la normal circulación del ganado caprino, aves, reptiles, etc. por las zonas anteriormente restringidas durante la etapa de construcción.

En el subsistema medio físico – factor medio físico perceptual, se describe el siguiente impacto:

a) Incidencia visual

Las únicas obras que producirán un impacto sobre el paisaje serán la captación, el sistema de bombeo y el reservorio apoyado de almacenamiento y regulación.

En el subsistema socioeconómico – factor población, se describe los siguientes impactos:

a) Ocupación laboral

El funcionamiento del sistema de abastecimiento instalado generará demanda de personal para efectuar el mantenimiento, la operación y la vigilancia de las obras ejecutadas.

b) Interacciones sociales

Las interacciones sociales continúan en esta etapa, pues la población continuará organizándose para el cuidado, vigilancia y control del sistema de abastecimiento de agua instalado.

c) Seguridad en el consumo del agua

La población sentirá bienestar y seguridad al momento de consumir el agua de las fuentes públicas, ya que con la implantación del sistema de abastecimiento de agua saben que el agua que será distribuida será agua subterránea de buena calidad que previamente ha sido desinfectada con cloro y que llegará a los puntos de distribución con los parámetros físicos, químicos y biológicos que aseguren que sea apta para el consumo humano.

d) Disminución de la morbilidad atribuida a enfermedades de origen hídrico

La dura tarea del acarreo a grandes distancias, de agua de riachuelos y quebradas, expuestas a todo tipo de contaminación; representaba un peligro para el consumo humano y la apertura a una diversidad de enfermedades de origen hídrico sobre todo en la población infantil.

La implantación del sistema de abastecimiento de agua potable garantizará que el agua que llegará a los puntos de suministro será potable y apta para el consumo humano y no estará expuesta a ningún tipo de contaminación, por lo que producirá una disminución considerable de las enfermedades de origen hídrico y por consiguiente la disminución de la morbilidad sobre todo en la población infantil.

e) Disminución de la contaminación ambiental

El proyecto no sólo busca la implementación de un sistema de abastecimiento de agua sino también busca concientizar a la población en el cuidado de los recursos y del medio ambiente con programas y talleres en educación sanitaria y medio ambiental que tendrán como objetivo que la población desarrolle buenos hábitos de higiene evitando la contaminación del medio ambiente.

f) Incremento de la población

El contar con un servicio básico como es el abastecimiento de agua potable, da mayor seguridad a la población para mantenerse estables en sus viviendas y buscar desarrollar cada vez más su medio. Además atrae el deseo de nuevos pobladores a querer asentarse en la zona y formar parte de los beneficiarios del sistema.

En el subsistema socioeconómico – factor economía, se describe el siguiente impacto:

a) Incremento de las actividades turísticas, el valor de la tierra y las actividades derivadas

El agua es una necesidad básica y un recurso indispensable que favorece el desarrollo de los pueblos. Con la implantación del sistema de abastecimiento de agua se podrán llevar a cabo actividades como el cultivo de vegetales en pequeños huertos necesarios para la alimentación diaria.

Además la existencia de un sistema de abastecimiento de agua potable trae una atracción adicional para la construcción de nuevas viviendas y pequeños negocios.

Las propiedades rurales adquieren mayor valor ante la comunidad y se preferirá visitar dichas zonas ante otras que aún no cuentan con ningún tipo de sistema.

5.4.4. Valoración de los impactos ambientales del sistema de abastecimiento de agua

El objetivo del presente estudio es determinar a través de un análisis, y con programados valores de Índice de Calidad Ambiental conocidos, las interacciones que se dan con todos los componentes ambientales del medio, evaluarlas en importancia, valorarlas y a partir de esta valoración poder definir si existen o no ventajas en cuanto al medio ambiente, comparando los resultados y a partir de esta comparación, agregar un componente más al estudio global de la conveniencia de la ejecución del presente proyecto.

5.4.4.1. Método de análisis y procedimiento de la valoración

Para el análisis de los impactos ambientales del proyecto, se ha indicado el Método Matricial, el cual posibilita la integración entre los componentes ambientales y las actividades del proyecto, facilitando así la comprensión de los resultados del estudio.

A efectos de realizar una valoración cualitativa y cuantitativa de los impactos, se aplicará la metodología propuesta por V. Conesa Fernández - Vitoria Ripoll en el año 1987 [18]. Esta metodología es una de las más extendidas, siendo una de sus características su alto nivel de detalle. El grado de manifestación cualitativo de un efecto se reflejará como la importancia del impacto mediante una cifra concreta. Estas cifras se trabajarán en una matriz de importancia.

La valoración de la importancia de los impactos se obtiene del cruce de información de la matriz Causa-Efecto, en donde mediante las celdas de cruce se calcula la importancia del impacto en base a la función de los 11 atributos descritos en la Tabla 5.10 y calculados según la expresión 5.1.

$$I = +/- (3I + 2E + MO + PE + RV + MC + SI + AC + EF + PR) \quad (5.1)$$

Tabla 5.10. Atributos de los Impactos.

<p>NATURALEZA O SIGNO (carácter de la acción)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Impacto beneficioso: + - Impacto perjudicial: - - Impacto difícil de predecir: x 	<p>INTENSIDAD (I) (grado de destrucción)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Baja: 1 - Media: 2 - Alta: 4 - Muy alta: 8 - Total: 12
<p>EXTENSIÓN (EX) (área de influencia)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Puntual: 1 - Parcial: 2 - Extensa: 4 - Total: 8 - Crítica: (+4) 	<p>MOMENTO (MO) (plazo de manifestación)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Largo plazo: 1 - Medio plazo: 2 - Inmediato: 4 - Crítico: (+4)
<p>PERSISTENCIA (PE) (permanencia del efecto)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fugaz: 1 - Temporal: 2 - Permanente: 4 	<p>REVERSIBILIDAD (RV) (reconstrucción por medios naturales)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Corto plazo: 1 - Medio plazo: 2 - Irreversible: 4
<p>RECUPERABILIDAD (MC) (reconstrucción por medios humanos)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Recuperable inmediato: 1 - Recuperable mediano plazo: 2 - Mitigable y/o compensable: 4 - Irrecuperable: 8 	<p>SINERGIA (SI) (potenciación de la manifestación)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sin sinergismo (simple): 1 - Sinérgico: 2 - Muy sinérgico: 4
<p>ACUMULACIÓN (AC) (incremento progresivo)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Simple: 1 - Acumulativo: 4 	<p>EFECTO (EF) (relación causa-efecto)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Indirecto (secundario): 1 - Directo: 4
<p>PERIODICIDAD (PR) (regularidad de la manifestación)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Irregular y discontinuo: 1 - Periódico: 2 - Continuo: 4 	<p>IMPORTANCIA DEL IMPACTO (I)</p>

Las sumatorias por filas y por columnas indicarán los factores más afectados por el proyecto y las acciones más agresivas del mismo, respectivamente.

Luego de haber examinado cada impacto de acuerdo a los criterios seleccionados, se procede a determinar la significación de los mismos, que viene a ser la importancia sobre el ambiente receptor. Su valor, que según la escala cualitativa puede ser Irrelevante, Moderado, Severo o Crítico (ver Tabla 5.11), depende de los valores asignados a los criterios anteriormente descritos.

Tabla 5.11. Importancia de los Impactos.

IMPACTO AMBIENTAL	
Importancia	Descripción
< 25	Irrelevante o compatible
25 < I < 50	Moderado
50 < I < 75	Severo
I > 75	Crítico

Para el sistema de abastecimiento de agua propuesto se elaborará una matriz de importancia, que reflejará según los rangos mostrados en la Tabla 5.11, si los impactos serán irrelevantes, moderados, severos o críticos.

5.4.4.2. Matriz de importancia

Una vez identificadas las acciones y los factores del medio que, presumiblemente, serán impactados por aquéllas, la matriz de importancia nos permitirá obtener una valoración cualitativa de los impactos. En esta matriz se situarán en las columnas las acciones antes descritas, mientras que las filas serán ocupadas por los factores del medio afectados, de tal forma que en las casillas de cruce podremos comprobar la Importancia del impacto de la acción sobre el factor correspondiente.

El término Importancia, hace referencia al ratio mediante el cual mediremos cualitativamente el impacto ambiental, en función, tanto del grado de incidencia o intensidad de la alteración producida, como de la caracterización del efecto, que responde a su vez a una serie de atributos de tipo cualitativo.

En la Tabla 5.12 se muestra la matriz de importancia de impactos ambientales que se producirían por la implantación del sistema de abastecimiento de agua potable.

Tabla 5.12. Matriz de importancia de impactos.

		ACTIVIDADES																
		FASE PREVIA	FASE DE CONSTRUCCIÓN											FASE DE OPERAC. Y MANTEN.				
			Estudios realizados en el área de influencia del proyecto	Emplazamiento del obrador	Limpieza de terreno	Remoción de capa vegetal	Eliminación de desmontes y terraplenes	Excavación de zanjas	Acopio de materiales de rellenos y excavaciones	Acopio de tuberías y colocación	Llenado y compactación de zanjas	Construcción de estación de bombeo	Instalación de paneles solares	Construcción de obras de concreto armado	Riego y mantenimiento de las áreas verdes	Funcionamiento de estación de bombeo	Suministro de agua potable	Trabajos de operación y mantenimiento del servicio instalado
MEDIO FÍSICO INERTE	AIRE	Polvo	-21	-25	-25	-51	-51	-51		-51								
		Ruido	-21				-31	-31	-31									
	SUELO	Ocupación del suelo	-26						-57	-39		-55	-55	-45				
		Características físico-químicas de los suelos		32	-51	-31	-31	-31							47			
		Cambio de la morfología del suelo					-55	-55				-55						
AGUA	Calidad del suelo		32	-51	-31									47				
	Erosión				-59		-51											
	Calidad aguas subterráneas										-59						69	
MEDIO FÍSICO BIÓTICO	FLORA	Cantidad y distribución del agua												69	69	69		
		Especies silvestres de la zona		-35	-63		-47											
		Arbustos, herbáceas		-35	-63		-47											
		Microflora												56				
	FAUNA	Nuevas especies de flora												56				
		Especies protegidas y animales en general	-22	-30	-49	-47	-47	-47	-30	-47	-43		-43	28				
		Rutas de paso o migratorias	-22	-32	-32	-32	-32	-32	-32	-32	-37		-37					
	PROCESOS BIÓTICOS	Cadenas tróficas y reproductivas			-41								-41	34		34		
		Movilidad de especies y comportamiento			-32								-32	34		34		
	MEDIO FÍSICO PERCEPTUAL	PAISAJE	Potencial de visitas			47												
Cualidades naturales y de espacio abierto				41	-36	-45	-41	-41	-32	41	-45	-45	-45	28				
Incidencia visual				53	-41	-45	-45	-45				-45	-45	48	34			
Rasgos físicos singulares					53									28				
MEDIO SOCIAL	ESTRUCTURA POBLACIONAL	Empleo		35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35			35	
		Ocupación laboral por sector de actividad													35			
	CARACTERÍSTICAS CULTURALES	Ocupación laboral		35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35				
		Estilo de vida													59	59	59	
		Expectativas sociales ante el inicio de un proyecto	35															
		Interacciones sociales					-42				-42	-42	-42	51			51	
	Aceptación social del proyecto	35	35										51	61	61	61		
Salud y seguridad													61	61	61			
DENSIDAD POBL.	Cantidad de población														59			
ECONOMÍA	ACTIVIDADES Y RELACIONES ECON.	Economía local														61		
		Turismo														49		
		Comercio														51		
USO DEL SUELO RÚSTICO	PRODUCTIVO	Suelo agrícola	-26		51		-55	-55					-55					
		Suelo forestal	-26		-63		-55	-55					-55					
		Suelo ganadero	-26		-63		-55	-55					-55					
	VÍAS RURALES	Caminos rurales	-26				-32	-32				-37	-37					
Vías pecuarias (para ganado)		-26		-32		-32	-32				-37	-37						
IMPORTANCIAS	Importancia Relativa		70	-207	71	-480	-298	-679	-494	-63	-147	-330	-75	-406	599	250	538	440
	Importancia Absoluta		70	-3108										1827				

5.4.4.3. Evaluación de la matriz de importancia de impactos

Analizando la matriz de importancia de impactos se puede deducir lo siguiente:

- a) La actividad que generará un mayor impacto negativo durante la etapa de construcción será la excavación de zanjas, principalmente por el polvo, erosión del suelo, afectación sobre el suelo agrícola, forestal y ganadero, caminos rurales y vías pecuarias. Esto será de manera temporal y no necesitará mayores medidas de mitigación y restauración.
- b) En la etapa de operación y mantenimiento, el suministro de agua potable generará un impacto positivo importante sobre la salud y seguridad de la población, pues habrá una disminución de la morbilidad atribuida a enfermedades de origen hídrico.
- c) Se puede determinar que las acciones que producen mayor impacto negativo por efecto de la construcción del sistema de abastecimiento se muestran en la Tabla 5.13.

Tabla 5.13. Acciones de mayor impacto negativo.

Actividad	Total de impacto
Excavación de zanjas	-679
Acopio de materiales de rellenos y excavaciones	-494
Remoción de capa vegetal	-480
Construcción de obras de concreto armado	-406

- d) Es necesario indicar que existen actividades que benefician al proyecto, generando impactos positivos importantes. Estas actividades se muestran en la Tabla 5.14.

Tabla 5.14. Acciones de mayor impacto positivo.

Actividad	Total de impacto
Riego y mantenimiento de las áreas verdes	599
Suministro de agua potable	538

- e) Respecto a los factores ambientales, es necesario incidir en los factores ambientales que mayormente se verían afectados por todas las actividades. Estos factores se muestran en la Tabla 5.15.

Tabla 5.15. Factores ambientales afectados.

Factor Ambiental	Total
Especies protegidas y animales en general	-405
Rutas de paso o migratorias	-320
Ocupación del suelo	-277
Polvo	-275

- f) Por otro lado, del análisis de esta matriz se han encontrado factores que se verán beneficiados durante la etapa de construcción del sistema de abastecimiento de agua potable. Estos se muestran en la Tabla 5.16.

Tabla 5.16. Factores ambientales beneficiados.

Factor Ambiental	Total
Empleo	350
Ocupación laboral	350

5.4.4.4. Evaluación global, integral y sintética de la incidencia ambiental de la obra ejecutada y su sostenibilidad ecológica

Se anticipa que el Proyecto: “Sistema de abastecimiento de agua potable de los caseríos Charancito, El Naranjo, Charán Grande y El Alumbre”, tendrá impactos ambientales positivos, a través del incremento de los niveles de salud y calidad de vida de la población beneficiada.

Al facilitar el acceso al servicio de suministro de agua potable y a la formación higiénico sanitaria y ambiental, se protege la salud, previniendo la proliferación de enfermedades generadas por condiciones ambientales inadecuadas (agua de río contaminada por los desagües de las ciudades fronterizas ecuatorianas y peruanas que desembocan en ellos y la contaminación producida por excretas y vectores los cuales, también, contaminan las fuentes de agua). De este modo, también, se afianza el cuidado de una parte de la cuenca Catamayo Chira, al evitar la contaminación de la principal fuente de agua de la zona, río Chira.

Al mismo tiempo, se prevé impactos ambientales positivos en el medio ambiente, ya que no se utilizarán grupos electrógenos como fuentes de suministro de energía de los sistemas de bombeo, que generan humos y contaminan el terreno con restos de combustibles y lubricantes. En cambio, los equipos de bombeo y de cómputo funcionarán con energía solar, y estarán equipados con accesorios que no afectan el medio ambiente.

La energía solar es una tecnología limpia, ya que no genera humos contaminantes ni hollines, en comparación con los sistemas tradicionales que utilizan motores de combustión interna. Asimismo, no hay generación de ruidos ni residuos; y por el contrario, proporcionan bienestar a la comunidad a través de una serie de beneficios: en salubridad, sanidad, alimentación, educación, etc.

Aunque el proyecto realizará algunas modificaciones en el uso del suelo por ocupación del espacio para la construcción de la infraestructura, no se generarán alteraciones o impactos negativos importantes, respetando en todo momento el entorno natural de la zona del proyecto.

Los impactos positivos detectados, de intensidad apreciable en la matriz, superan los impactos negativos detectados, principalmente, durante la etapa de construcción. Además, estos últimos pueden mitigarse en forma sencilla con la implementación de las medidas propuestas.

Se concluye que el impacto de la obra es positivo porque contribuye a mejorar la calidad de vida de los habitantes de la zona y a salvaguardar la calidad de los recursos naturales. La ejecución del Proyecto no afecta a ninguna población indígena ni requiere de reasentamiento de poblaciones.

5.4.5. Plan de mitigación y manejo ambiental

5.4.5.1. Introducción

El Plan de Manejo Ambiental considera los aspectos ambientales referentes a los componentes físicos y biológicos que serán afectados por las actividades del proyecto: “Sistema de abastecimiento de agua potable de los caseríos de Charancito, El Naranjo, Charán Grande y El Alumbre” del distrito de Lancones.

La obra proyectada comprende tres etapas: etapa previa a la construcción, etapa de construcción y etapa de operación y mantenimiento; las cuales originarán impactos ambientales directos e indirectos, positivos y negativos, dentro de su ámbito de influencia. Si bien, las acciones causantes de impacto serán variadas, las afectaciones más significativas corresponderán a las etapas de construcción y funcionamiento, estando asociadas principalmente a la construcción de las obras propiamente dichas, y a la propia operación del sistema.

El Plan de Manejo Ambiental constituye un documento técnico que contiene un conjunto estructurado de medidas destinadas a evitar, mitigar, restaurar o compensar los impactos ambientales negativos previsible durante las etapas de construcción, operación y cierre de las obras proyectadas. Las medidas técnicas de mitigación de impactos que se proponen, están conceptual y legalmente apoyadas en los instrumentos técnicos y normativos nacionales para la actividad, referidas a potenciar los impactos positivos, reducir o eliminar los negativos y compensar las pérdidas que se podrían ocasionar por la ejecución de las obras.

Los ejecutores del proyecto (empresa constructora ITD, asociación local ADEU-UDEP y pobladores de la zona) serán responsables de la protección y la conservación del entorno humano, físico y biológico de las áreas ubicadas en la zona del proyecto. Para el logro de este objetivo, los ejecutores deberán enterarse de las condiciones del medio ambiente, en aspectos originados por la construcción de la obra y relacionados con la prevención de accidentes.

Lo que se busca es diseñar el sistema para su administración ambiental, cumpliendo con el principio de sustentabilidad del proyecto y permitiendo un equilibrio con el desarrollo socioeconómico de los poblados influenciados por el mismo. La base para la planeación de las actividades requeridas para cumplir con estos objetivos está establecida en el presente Plan de Manejo Ambiental del proyecto.

5.4.5.2. Acciones preventivas y acciones correctivas

Las acciones preventivas tienen como objetivo plantear y establecer las medidas de carácter técnico, económico y social que eviten y/o mitiguen los impactos negativos previsible que las actividades de construcción del proyecto podrían generar sobre los factores físicos, biológicos o sociales del ambiente.

a) En relación con el medio físico inerte - recursos hídricos superficiales y subterráneos

- Se prohibirá el lavado de hormigoneras en zonas no autorizadas por la inspección de obra.
- Se evitará el acopio innecesario, o por prolongados períodos de tiempo, de áridos o suelo que produzca modificaciones en la normal circulación de aguas superficiales.
- Se prohibirá el lavado de vehículos, su mantenimiento o cambio de aceites y lubricantes en la zona de obra.
- Se prestará especial atención a la unión entre caños, ya sea de PVC o acero. La inspección de obra deberá exigir exhaustivamente las pruebas hidráulicas correspondientes.

b) En relación con el medio físico inerte - calidad del aire

- Se deberá mantener un estricto y permanente control del sistema de carburación de equipos y vehículos de carga, con la finalidad de que la combustión sea la óptima, no incompleta y por consiguiente reducir las emisiones atmosféricas.
- Se deberá limitar al máximo la utilización de explosivos, debiendo estar su uso completamente justificado y autorizado por la inspección de obra.
- Durante la carga y descarga de suelos se deberá mantener a éstos en condiciones húmedas mediante el aporte de agua en forma manual con mangueras o rociadores.
- Para evitar los efectos de polvo, los volquetes deberán contar con cobertores de lona para evitar el escape de polvo hacia la atmósfera cuando se estén transportando materiales.
- Durante el proceso de preparación y vaciado del concreto en las zonas de obras, escapan de las chimeneas de las mezcladoras, partículas que son fácilmente transportadas por el viento e inhaladas; por ello, las máquinas deberán estar en buen estado de carburación debiendo estar sujetas a un mantenimiento periódico de acuerdo a sus especificaciones.

c) En relación con el medio físico inerte - contaminación sonora

- Optimizar el tránsito de vehículos con la finalidad de disminuir el movimiento de éstos, evitando horas innecesarias de circulación.
- Mantener en perfecto estado de mantenimiento el sistema de bombas de la estación de impulsión.
- De ser necesario trabajos de voladura de roca, se deberá verificar en forma permanente la utilización de elementos de protección de auditiva por parte del personal de obra.
- Se deberá consensuar con la población un horario de trabajo que no perturbe la vida del entorno.

d) En relación con el medio físico inerte - suelo

- Controlar adecuadamente el acopio de residuos sólidos.
- Los ejecutores deberán disponer de contenedores cerrados para el almacenado de residuos sólidos hasta que la Municipalidad de Lancones efectúe su traslado.
- Se prohibirá el lavado de hormigoneras en zonas no autorizadas por la inspección de obra.
- Todas las partidas que involucran movimiento de tierras deberán considerar el factor ambiental en su ejecución tratando de evitar comprometer la estabilidad de los suelos aledaños a las estructuras pues conllevaría a la erosión de los mismos.
- En forma permanente se controlará la estabilidad de taludes y de excavaciones para evitar desmoronamientos. Los ejecutores deberán garantizar la estabilidad de los taludes ya sea en forma natural o mediante el empleo de sostenimientos temporarios.
- Se deberá extraer la cubierta vegetal solamente en los lugares en donde sea necesario. En caso de deterioro severo de grandes áreas, los ejecutores deberán efectuar la reposición correspondiente con especies nativas.
- Los materiales gruesos y escombros deberán cubrirse con suelos finos que permitan formar superficies parejas para poder recubrir con suelo orgánico y vegetación.

e) En relación con el medio físico biótico - flora

- En zonas críticas, se deberán restablecer las especies que han debido ser erradicadas para la ejecución de la obra.
- En lo posible, se tratará de evitar el corte de forestales. Caso contrario, deberá preverse un factor de reposición de dos por uno.
- Si se tiene la necesidad de realizar cortes y tala de árboles en la etapa de construcción. La tala y corte de vegetación arbórea deberá ser hecha en coordinación con las autoridades competentes del Ministerio de Agricultura, Ley Forestal y Fauna Silvestre (Decreto Ley N° 21147 del 13-05-75). Ésta señala que este Ministerio es el encargado de regular y controlar la conservación de las especies y el desbroce y limpieza en zonas no boscosas, además da pautas de cómo debe hacerse el trabajo en sectores donde no son los árboles la flora dominante. El Ministerio de Agricultura indicará el destino final de los restos de estas talas. No debe permitirse corte de vegetación mayor a la requerida.

f) En relación con el medio físico biótico - fauna

- Se deberán minimizar los trabajos que efectúen ruidos y vibraciones que impacten a la fauna local. Cabe destacar que el impacto negativo que pudiera llegar a causar la obra a la fauna del lugar será mitigado a través de la alta capacidad de adaptación que posee la fauna existente de la zona, al estar conviviendo con la población.

g) En relación con el medio físico perceptual - paisaje

- La mitigación del impacto ocasionado por alteración de la estructura paisajística producto de la construcción del sistema de agua potable y la disposición de materiales

- excedentes en los depósitos, implica tomar medidas que tiendan a no incrementar los cambios en el paisaje.
- Para mitigar los efectos del cambio de la estructura paisajística se deberá respetar lo dispuesto en las especificaciones técnicas referidas a la topografía, secciones transversales y límites de limpieza, así como los volúmenes de excavación y relleno y la adecuada disposición del material excedente en los depósitos señalados. Por ningún motivo se permitirá que los materiales de desecho se incorporen en los terraplenes y, mucho menos, disponerlos a la vista en las zonas reservadas para las estructuras, predios agrícolas, rurales, lechos de río, quebradas; debiendo ser transportados a los lugares asignados como depósitos de materiales excedentes.
- El sitio de ubicación de obrador y campamento, en lo posible, no deberá interferir con el paisaje de la zona.
- Las áreas utilizadas para el asentamiento de obradores y campamentos deberán recuperarse una vez finalizada la obra de tal forma de asemejarse lo más posible al estado previo. Para ello se recomienda el tomado de fotografías al momento de comenzar la obra con la finalidad de restituir todo a su estado inicial.
- Se deberán retirar todos los cierres e instalaciones implantadas restaurando el predio a las condiciones precedentes.

h) En relación con el factor población - salud y seguridad

- Implementar programas de educación sanitaria y participación comunitaria con el propósito de hacer un adecuado uso del sistema de abastecimiento de agua potable, evitando así tener problemas de contaminación del agua o fallas en la operación del sistema.

i) En relación con el factor población - ocupación laboral

- Formar una Junta para administrar el sistema de abastecimiento distribuyendo responsabilidades y ocupaciones en la operación y mantenimiento del sistema de agua.

j) En relación con el factor población - interacciones sociales

- Explicar a la población acerca de las actividades a desarrollarse y de la importancia de su cooperación en el desarrollo de las mismas.
- Organizarse en juntas con el propósito de manifestar sus opiniones y coordinar todos aquellos aspectos que ayuden al desarrollo y sostenibilidad del proyecto.
- Consultar con la población acerca de aspectos que puedan generar conflictos entre ellos mismos como la ubicación de los puntos de agua, cuidado y limpieza de piletas.

5.4.5.3. Plan de cierre

Un plan de cierre considera que después de terminada la obra, el área intervenida por el proyecto debe ser restaurada, como una forma de evitar cualquier impacto negativo después de concluida la vida útil del proyecto.

La restauración que contempla el plan de cierre es ecológica, morfológica y biológica sobre los recursos naturales afectados, tratando de devolverle la forma que tenía la zona antes de iniciarse el proyecto.

El objetivo central del Plan de Cierre es otorgar una condición segura en el largo plazo a las áreas del proyecto y a las obras remanentes, para proteger el medio ambiente y evitar accidentes después del término de las operaciones. Además se pretende otorgar al terreno una condición similar o mejor a la original siempre que ello sea factible, removiendo o retirando las estructuras e instalaciones de proceso. Se trata de mejorarla una vez concluida la vida útil del proyecto. Para lograr esto se tendrá que utilizar las tecnologías que se requieran para alcanzar la seguridad física y la protección ambiental a largo plazo teniendo en cuenta las condiciones climáticas y ambientales específicas del lugar.

Se debe informar oportunamente a las autoridades y miembros de las comunidades ubicadas en el área de influencia sobre el cierre de operaciones, y las consecuencias positivas o negativas que acarreará.

a) Abandono de obra

Uno de los principales problemas que se presentan al finalizar la ejecución de una obra, es el estado de deterioro ambiental y paisajístico de las áreas ocupadas y su entorno por las actividades constructivas y/o instalaciones provisionales de la obra.

Esta afectación se produce principalmente por la generación de residuos sólidos y/o líquidos, afectación de la cobertura vegetal, contaminación de suelos y cursos de agua, entre otros.

Por tal motivo, el Contratista debe realizar la limpieza general de las zonas utilizadas en la construcción de la obra; es decir, que por ningún motivo se permitirá que el Contratista deje en las zonas adyacentes a la infraestructura construida, material sobrante del mantenimiento de la obra.

b) Objetivos

Los objetivos fundamentales que se espera alcanzar con el plan de abandono o cierre de la obra: “Sistema de Abastecimiento de Agua Potable de los caseríos de Charancito, El Naranjo, Charán Grande y El Alumbre”, son los siguientes:

- Restaurar las zonas afectadas y/o alteradas por la ejecución del proyecto (objetivo principal). La restauración de dichas zonas deberá hacerse bajo la premisa que las características finales de cada una de las áreas ocupadas y/o alteradas, deben ser en lo posible iguales o superiores a las que tenía inicialmente.

- La protección de las áreas agrícolas que se encuentran en el entorno.
- Un uso beneficioso del sistema de abastecimiento de agua potable, teniendo un adecuado consumo sin riesgo de que la población usuaria pueda verse expuesta a contraer enfermedades de origen hídrico.

c) Consideraciones específicas.

El plan general de cierre de las operaciones de la obra: “Sistema de Abastecimiento de Agua Potable de los caseríos de Charancito, El Naranjo, Charán Grande y El Alumbre” tendrá en consideración las medidas que garanticen la salud de la población usuaria.

d) Elementos de diseño

Para el plan de restauración se tendrá en cuenta los siguientes elementos de diseño:

- Revegetación
- La demolición, remoción y desmontaje de estructuras provisionales
- El cercado y control de accesos

e) Criterios para el cierre

Los criterios adoptados para el cierre o abandono son los siguientes:

- Cumplir con los requerimientos legales y reglamentarios peruanos.
- Protección del ambiente, la salud y la seguridad pública, rehabilitando a una condición estable las superficies del terreno donde se han construido las obras.
- Reforestación: Habrá intervención sobre el suelo donde sea factible, a un estado de auto-sostenimiento, utilizando especies de plantas apropiadas combinado con un programa de bio-remediación de los suelos abandonados, mejorando la calidad del aire.

f) Análisis de las medidas prospectivas

- El agua de lluvias menores será absorbida por el terreno natural que es de naturaleza arenoso.
- Para el caso de las lluvias del Fenómeno El Niño se ha tomado en cuenta los niveles de cimentación de las estructuras para evitar colapsos por erosiones del suelo.
- Se incluye en el proyecto un Plan de Mantenimiento que contempla la limpieza diaria de las obras construidas.
- El diseño hidráulico y estructural de las obras que constituyen el proyecto ha sido realizado conforme a las Normas Técnicas para Obras de Agua Potable Rural y Reglamento Nacional de Edificaciones.

g) Actividades de cierre

Una vez terminadas las actividades en la etapa de construcción, se procede al cierre realizando las medidas establecidas en la Tabla 5.17.

Tabla 5.17. Factores ambientales beneficiados.

Detalle de la actividad	Medida a realizar
Infraestructura civil	- Demolición - Desmantelamiento
Infraestructura mecánica	- Desmontaje, traslado o retiro de equipos
Medidas de recuperación del suelo	- Recuperación de suelo

h) Planes de mantenimiento: rutinario y periódico

PROYECTO: “Sistema de Abastecimiento de Agua Potable de los caseríos de Charancito, El Naranjo, Charán Grande y El Alumbre” del distrito de Lancones.

Como mantenimiento rutinario se ejecutará:

- Limpieza diaria

Son las labores rutinarias que se realizan con la finalidad de recoger el polvo y otros desperdicios que se acumulan en las estructuras.

Como mantenimiento periódico se ejecutará:

- Limpieza de las estructuras hidráulicas

Es la limpieza que se realiza a las estructuras hidráulicas como el reservorio, piletas, etc. por la acumulación de sedimentos.

- Mantenimiento de tuberías, grifos, válvulas y accesorios

Comprende el mantenimiento que se le da a las tuberías, grifos o llaves, válvulas y accesorios que constituyen el sistema de abastecimiento de agua potable, con la finalidad de garantizar su normal funcionamiento.

5.4.5.4. Plan de contingencia

El Plan de Contingencia contiene los lineamientos que permitirán afrontar las situaciones de emergencia relacionadas con los riesgos ambientales y/o desastres naturales, que se puedan producir durante la etapa de construcción y operación del sistema de abastecimiento de agua potable, teniendo en cuenta las características geodinámicas que se presentan en la zona donde se emplaza el proyecto.

En tal sentido en dicho plan se detallan las acciones que deberán llevarse a cabo, durante la ocurrencia de posibles eventos como: incendios y accidentes laborales.

a) Por ocurrencia de incendios

La ocurrencia de incendios se considera básicamente, durante la etapa de construcción; en los almacenes y oficinas de obra, donde es probable la ocurrencia de estos accidentes, por inflamación de combustibles, accidentes operativos de equipos y unidades de transporte y accidentes fortuitos por quema de basura; en tal sentido, se deberán establecer procedimientos sobre las medidas a adoptar ante la ocurrencia de un incendio.

Los lineamientos generales en caso de incendios son:

- Todo personal deberá conocer los procedimientos para el control de incendios, distribuciones de equipo, accesorios para casos de emergencias, rutas de evacuación y un organigrama de conformación de brigadas.
- Dinamizar los programas de capacitación y entrenamiento de campo para todo el personal.
- Revisión frecuente de la operatividad de los equipos a ser utilizados, así como la difusión de su ubicación, manejo y estado de mantenimiento.

Los equipos de respuesta ante un incendio son:

- Radios portátiles, cisterna, mangueras, extintores, equipos de iluminación, gafas de seguridad, guantes de seguridad, botines de seguridad, equipos y materiales de primeros auxilios.

Los procedimientos para el control de incendios son:

- Para apagar un incendio de material común, se debe rociar con agua o usando extintores de tal forma que se sofoque de inmediato el fuego.
- Para apagar un incendio de líquidos o gases inflamables, se debe cortar el suministro del producto y sofocar el fuego utilizando extintores de polvo químico seco, o bien, emplear arena seca o tierra.

Las políticas para la reducción de los riesgos de incendios son:

- No fumar en la zona de mantenimiento de vehículos, oficinas y almacenes.
- Instruir al personal para que durante las horas de trabajo no lleve fósforos o encendedores en los bolsillos.
- Mantener todo lugar limpio y ordenado, libre de materiales inflamables y/o combustibles.

b) Por ocurrencia de accidentes laborales

Están referidos a la ocurrencia de accidentes laborales durante la operación de los vehículos y equipo utilizado para la ejecución de las obras, originado principalmente por deficiencias humanas o fallas mecánicas del equipo utilizado.

- Se deberá comunicar previamente a los centros asistenciales de las localidades cercanas, el inicio de las obras, para que éstos estén preparados frente a cualquier accidente que

- pudiera ocurrir. La elección del centro de asistencia médica respectiva, responderá a la cercanía y gravedad de los accidentes.
- El contratista deberá inmediatamente prestar el auxilio al personal accidentado y trasladarlo a los centros asistenciales más cercanos, valiéndose de una unidad de desplazamiento rápido.

c) Por ocurrencia de accidentes en el manejo y operación del sistema de agua potable

Durante la etapa operativa del proyecto, las emergencias que podrían originarse son debidas principalmente por la ocurrencia de accidentes en el manejo y operación del sistema de agua potable, con afectación de salud de los usuarios y con afectación de los recursos suelo, agua y aire; por vertimiento de sustancias tóxicas en las estructuras de almacenamiento de agua o en áreas adyacentes a ellas.

En tal sentido, la más eficaz medida de contingencia es el aviso oportuno por parte de los usuarios del sistema a las entidades asistenciales existentes en la zona del proyecto o cercanas a él, para llevar a cabo el pronto auxilio de las personas afectadas y/o realizar las medidas restauradoras y/o mitigadoras a algún recurso afectado.

Para cumplir, tales medidas es necesaria una política de concientización y educación ambiental a los pobladores y usuarios de la obra, que puede ser llevada a cabo mediante la difusión de cartillas informativas y programas radiales, a efectos de enseñar las acciones a tomar en caso de alguna contingencia. Dicha política educativa deberá ser implementada por el gobierno local, en coordinación estrecha con todas las entidades involucradas en la ejecución del proyecto.

5.4.5.5. Programa de monitoreo

El Programa de Monitoreo permitirá evaluar periódica, integrada y permanentemente el comportamiento de las variables ambientales (de orden físico, biológico y sociocultural) afectadas por el proyecto, con el fin de suministrar información que permita la toma de decisiones orientadas a proteger el entorno medio ambiental en el tiempo. Asimismo, permitirá la verificación del cumplimiento de las medidas de mitigación propuestas en el presente informe y emitirá periódicamente información a la entidad competente sobre los principales logros alcanzados o las dificultades en la implementación de las medidas correctivas correspondientes.

El Programa de Monitoreo será aplicado tanto en la etapa de construcción como en la de operación y mantenimiento.

Durante la etapa de construcción el monitoreo estará a cargo de la Supervisión de la Obra conjuntamente con los usuarios beneficiarios del proyecto, debiéndose realizar las siguientes acciones:

a) Monitoreo de la calidad del aire

Para determinar cualquier alteración o afectación de la calidad del aire en los diferentes frentes de trabajo se realizarán las siguientes pruebas:

- Pruebas de emisiones de material particulado. Se puede utilizar un muestreador de material particulado por sedimentación (MPS).
- La inspección del estado de carburación de los equipos y vehículos deberá realizarse con una frecuencia trimestral.

b) Monitoreo de la calidad del agua

Durante la actividad constructiva, si se produce afectación de la calidad del agua en las quebradas y puntos de abastecimiento de este recurso se debe realizar pruebas de laboratorio que incluyan los siguientes parámetros: pH, turbidez, temperatura, contenido de sólidos totales, oxígeno disuelto, nitratos y fosfatos, etc.

Las pruebas deberán efectuarse en corrientes de agua más cercanas a la zona de obra y en las fuentes de agua empleadas por el proyecto, con una frecuencia trimestral. Sin embargo, si la Supervisión considera que alguna actividad del proyecto pudiera estar afectando la calidad de las aguas se deberá elegir además, cualquier otro curso de agua para realizar las pruebas.

c) Monitoreo de los niveles sonoros

Las actividades de movimiento de tierras y/o excavaciones deberán realizarse en las horas del día, para evitar la perturbación del sueño en las poblaciones beneficiarias de la obra.

Antes del ingreso de los equipos y vehículos, se verificará que todos los equipos emisores de ruidos molestos cuenten con silenciadores en buen estado de funcionamiento, condición que será incluida en la revisión del estado operativo de los motores. Esta actividad deberá realizarse con una frecuencia mensual y/o menor de acuerdo con los resultados obtenidos de la primera prueba.

d) Monitoreo de las actividades de revegetación

El Supervisor deberá verificar que las acciones de revegetalización se inicien preferentemente al inicio de la estación lluviosa para asegurar el enraizamiento y crecimiento de las especies sembradas, de no ser posible se deberá asegurar el riego adecuado. Una vez realizada la actividad deberá ser monitoreada con una frecuencia mensual, a fin de verificar y establecer si su implantación está dando los resultados esperados.

e) Monitoreo de manejo social

Está referido a la atención de cualquier eventualidad originada por acciones resultantes de la ejecución del proyecto sobre la población de la zona, como por ejemplo, problemas relacionados con la seguridad externa del campamento y/o frentes de trabajo sujetos al eventual caso de hurtos o robos del mobiliario y/o equipos del contratista que pueden afectar el normal desenvolvimiento de la obra.

Durante la etapa de operación y mantenimiento el monitoreo estará a cargo de los usuarios beneficiarios del proyecto, debiéndose realizar las siguientes acciones:

a) Monitoreo del recurso agua

El monitoreo del recurso agua está referido al buen uso que la población beneficiaria haga del recurso suministrado. Los integrantes de la JAAS serán responsables de velar por el cumplimiento de lo establecido en cuanto al cuidado del recurso, utilizándolo sólo en la cantidad necesaria para así evitar derroches. Además, revisarán periódicamente las estructuras instaladas para evitar pérdidas por fugas de agua en el sistema.

Se deberá monitorear también el curso que siga el agua después del cierre de la obra en período de lluvias, sobre todo cuando sean intensas, para asegurar el buen funcionamiento del sistema.

b) Monitoreo de mantenimiento de la obra

Para la etapa de operación y mantenimiento, la JAAS cumple un papel importante como ente que asume la administración del sistema de abastecimiento de agua potable y vela por el cumplimiento de los compromisos de los usuarios en la realización de:

- Limpieza periódica del sistema de abastecimiento de agua.
- Vigilancia a lo largo de toda la infraestructura sanitaria.
- Otros trabajos compatibles con la normal operatividad de la obra.

En este proceso, se debe contemplar la organización, charlas y talleres que sensibilicen a la población beneficiaria sobre las bondades y la importancia de mantener operativo el sistema en el tiempo.

c) Monitoreo de manejo social

Está referido a la atención de cualquier eventualidad originada por acciones resultantes de la operación y mantenimiento del sistema de abastecimiento de agua potable sobre la población de la zona, como por ejemplo, conflictos sociales por el uso y cuidado de las fuentes de agua.

5.4.5.6. Indicadores del grado de consecución de los resultados

Se describirán indicadores concretos, de proceso y de impacto, en datos de cantidad o cualidad, tiempo y población sujeto que permitan contrastar si efectivamente se ha contribuido o no a lograr los resultados previstos. Indicadores que midan el impacto de género del proyecto, tanto en la situación específica de las mujeres, como en las relaciones de desigualdad entre ambos sexos.

Los indicadores propuestos para medir el grado de consecución de los resultados son los siguientes:

- a) Al menos el 50% de las 77 familias capacitadas aplican buenas prácticas higiénico-sanitarias en el ambiente familiar, al final del proyecto.
- b) Al término del proyecto 15 docentes han sido capacitados en educación sanitaria, familiar y medioambiental.
- c) Al finalizar el proyecto, al menos el 70% de los Agentes Comunitarios de Salud capacitados en Educación Sanitaria (10 promotores de salud) brindan adecuadamente atención de la salud, en su comunidad.
- d) Al término del proyecto, está formada, organizada y capacitada una Junta Administradora de los Servicios de Saneamiento como responsable del futuro mantenimiento de la infraestructura.
- e) Al término del proyecto se ha creado una red de 5 JASS del distrito de Lancones, coordinadas por la Unidad Técnica de Medioambiente y Saneamiento de la Municipalidad Distrital de Lancones.
- f) 20 pobladores capacitados apoyan las labores de construcción, quienes han formado un núcleo ejecutor de obra, al cabo del primer año del proyecto.
- g) Al menos el 50% de las mujeres participan en las actividades de capacitación y sensibilización en temas higiénico-sanitarios, cívico-familiares y medioambientales, técnicas constructivas, de formación de JASS y demás actividades del proyecto y comunales.
- h) Al finalizar el proyecto, se dispone de agua potable cerca de las viviendas, liberando en al menos 3 horas diarias a las mujeres, realizando actividades comunales.
- i) Por lo menos el 20% de los miembros que conforman el consejo directivo de las organizaciones comunales formadas durante el proyecto son mujeres.
- j) Al menos el 85% de los pobladores conocen la propuesta de desarrollo ejecutada en la zona.

El cumplimiento de los indicadores se verificará a través de fuentes de verificación como: encuestas, observación directa, publicaciones, etc.

Algunas de las fuentes que servirán para verificar el grado de cumplimiento de los indicadores propuestos anteriormente son:

- a) Expedientes técnicos de los sistemas de saneamiento.
- b) Informes y visitas de seguimiento para el uso adecuado de la infraestructura instalada en la zona.
- c) Informe final del proyecto.
- d) Compromisos de pagos de los beneficiarios con las JASS.
- e) Documentación filmica y fotográfica.
- f) Informes de seguimiento e informes de evaluación de las capacitaciones.
- g) Registro de asistencia y participación de los miembros de las cuatro comunidades en las capacitaciones.
- h) Informes de seguimiento e informes de evaluación de las capacitaciones.
- i) Registro de asistencia y participación de los Agentes Comunitarios de Salud en las capacitaciones.

5.5. Conclusiones preliminares

- a) Formulando programas de obras en zonas rurales y construyendo obras adecuadas al entorno del medio rural, económicas, sencillas y prácticas de operar y conservar, en las cuales se aplique en su mayor parte la tecnología rural, se puede asegurar que el nivel en el suministro de agua potable a las comunidades rurales será el que en justicia les corresponde.
- b) El compromiso de los asociados se manifiesta fundamentalmente en la voluntad de pago, en su participación en las asambleas para tomar decisiones, en el uso correcto de los servicios, cumpliendo con sus deberes estipulados en el estatuto y haciendo valer sus derechos conscientemente.
- c) La cuota por el servicio de abastecimiento de agua instalado ha sido estimada en 2.5 a 3 dólares por familia al mes, considerando que el ingreso mensual promedio por familia no pasa de 20 dólares.
- d) El costo total de las obras civiles del sistema de abastecimiento de agua potable de los caseríos Charancito, El Naranja, Charán Grande y El Alumbre, considerando mano de obra, materiales y equipos es S/. 694219.28. Las líneas de distribución representan el mayor costo de todas las obras civiles.
- e) El tiempo proyectado para la ejecución de las obras civiles del sistema de abastecimiento de agua potable implantado fue de 6 meses, pero el tiempo que realmente se empleó, considerando los programas de capacitaciones en técnicas constructivas y talleres de sensibilización, fue de un año.
- f) Un buen proyecto y una buena construcción o instalación es tan importante como una correcta operación y un adecuado mantenimiento. La participación de la población beneficiaria en las diferentes etapas del proyecto es indispensable para la sostenibilidad del mismo.
- g) Es evidente que una población sanitariamente educada hará un buen uso del agua, evitando abusos en el consumo y derroches, pues serán conscientes que el agua es un elemento fundamental para la higiene individual y del medio ambiente.
- h) Según la matriz de importancia de impactos elaborada, se tienen importancias entre 25 y 50, por lo que se deduce que la mayor parte de los impactos que se pueden producir por la ejecución del sistema, serán impactos moderados.
- i) Los mayores efectos negativos que pudieran generarse sobre los factores ambientales, según la matriz de valoración de impactos, vienen dados por la actividad de excavación de zanjas, sin embargo, estos efectos son temporales, por lo que no se han considerado mayores medidas de mitigación.
- j) Las actividades de riego y mantenimiento de áreas verdes y suministro de agua potable genera importancias relativas positivas de 599 y 538 respectivamente, que en comparación con las importancias relativas negativas que se generan, se puede deducir que la construcción del sistema de abastecimiento de agua traerá mayores beneficios.

- k) En la fase de operación y mantenimiento, el proyecto genera efectos positivos en la salud de la población, pues la población contará con agua potable de calidad que le permitirá realizar todas sus actividades en forma normal y sin ningún riesgo de contraer enfermedades.
- l) Una buena educación sobre la higiene transforma a los niños y las niñas en educadores sobre la salud dentro de sus familias, transmitiendo información vital y aptitudes que pueden reducir la vulnerabilidad de los hogares frente a enfermedades mortales que se transmiten por el agua.
- m) Se concluye que el impacto de la obra es positivo porque contribuye a mejorar la calidad de vida de los habitantes de la zona y salvaguardar la calidad de los recursos naturales. La ejecución del Proyecto no afecta a ninguna población indígena ni requiere de reasentamiento de poblaciones.
- n) La cobertura final y funcionamiento adecuado de las obras realizadas en condiciones estables, así como el monitoreo del área, permitirá visualizar las obras y proceder a algún ajuste si se diera el caso.

Capítulo 6

Conclusiones y recomendaciones finales

- 6.1. En el presente trabajo de tesis se ha desarrollado una metodología para el diseño de los elementos principales de los sistemas de abastecimiento de agua potable en las zonas rurales de la costa norte del Perú, empleándose una tecnología apropiada para las condiciones climatológicas locales, de mantenimiento sencillo y consecuente con el medio ambiente, articulada a un programa de educación sanitaria, fortaleciendo la capacidad de organización de la población y revalorando el papel de la mujer en el desarrollo de la comunidad.
- 6.2. La promoción y desarrollo adecuados de cualquier programa encaminado a mejorar las condiciones de vida de una comunidad, como los sistemas de abastecimiento de agua potable, por ejemplo, depende no sólo del concurso de conocimientos y prácticas de orden científico y técnico, más la capacidad económica de los usuarios o entidades de cooperación, sino también del robustecimiento de las relaciones interpersonales y, particularmente, de la disposición de sus gentes para aceptar la modificación de sus conceptos y prácticas tradicionales.
- 6.3. La participación comunitaria va más allá de simplemente informarse acerca de los planes de desarrollo. Igualmente, va más allá de solamente tomar en cuenta los conocimientos de la comunidad local y sus prioridades. Llevar a cabo una verdadera consulta comunitaria significa que la comunidad, los planificadores y el personal del organismo de crédito, celebran un diálogo donde las prioridades y las ideas de la comunidad ayudan a configurar los proyectos. El diseño definitivo de un proyecto refleja las respuestas de la comunidad recibidas durante los diálogos consultivos. Este proceso puede dar lugar a una participación donde la comunidad comparte autoridad y verdadero poder en todo el ciclo de desarrollo, desde las decisiones normativas y la identificación de proyectos, hasta la evaluación final.
- 6.4. En el proyecto se decidió emplear una tecnología apropiada para las condiciones climatológicas locales, de mantenimiento sencillo y consecuente con el medio ambiente. Se utilizó para ello la energía solar en la generación de energía eléctrica, necesaria para el funcionamiento de los equipos de bombeo del sistema de abastecimiento de agua, ya que es una tecnología limpia y muy sencilla de manejar. A través de sesiones muy prácticas, los usuarios adquirieron los conocimientos necesarios para el correcto funcionamiento y mantenimiento de los mismos.

6.5. Para la determinación de la fuente de abastecimiento de agua potable de los caseríos Charancito, El Naranjo, Charán Grande y El Alumbre, se ha efectuado un inventario de las fuentes de abastecimiento de agua disponibles en la zona. En base a ello, y a criterios sanitarios, económicos y técnicos acordes con la tecnología solar a utilizarse, se pudo determinar de manera general que la fuente subterránea del acuífero del río Chira, en el caserío El Naranjo, fue la más confiable y segura como fuente de captación de agua del proyecto.

6.6. Para efectos del diseño del sistema proyectado se cuenta con:

- Datos de cantidad de población, tomados en base a datos proporcionados por los tenientes gobernadores de los caseríos, que dan una población conformada por 84 familias, con un densidad poblacional de 5.5 habitantes por vivienda, resultando una población total de 462 habitantes al año 2008.
- Una tasa de crecimiento anual asumida de 2% (según INEI), por ser este valor compatible con lo establecido en las normas de diseño para proyectos de agua potable en zonas rurales.
- Un período de diseño asumido de 15 años, recomendado por ser el más adecuado, ya que conjuga la duración de las estructuras de concreto y los equipos de bombeo.

Con estos datos se ha calculado una población futura de diseño al año 2024, de 614 habitantes.

6.7. Para los poblados en estudio se ha adoptado una dotación de 50 lt/hab/día, por ser un criterio de diseño razonable en sistemas de abastecimiento de agua a nivel de piletas públicas.

En relación a las variaciones de demanda de agua potable, se han utilizado los siguientes factores o coeficientes de variación diaria y horaria:

- Coeficiente de variación diaria (K_1) : 1.3
- Coeficiente de variación horaria (K_2) : 2.0

Con estos coeficientes, se han obtenido los siguientes caudales de diseño para el sistema de abastecimiento de agua potable:

- Caudal promedio diario : 0.36 l/s
- Caudal máximo diario : 0.46 l/s
- Caudal máximo horario : 0.71 l/s.

6.8. El volumen de demanda de agua por día para las localidades de Charancito, El Naranjo, Charán Grande y El Alumbre resulta de 31.10 m³, por lo que se concluye que el acuífero subterráneo es capaz de abastecer suficientemente de agua a dichas localidades por haberse determinado un volumen de almacenamiento superior a lo requerido.

6.9. Las principales estructuras con las que contará el sistema de abastecimiento de agua proyectado serán:

- Noria de 3 m de diámetro, 0.20 m de espesor y una altura total de 7.80 m.
- Línea de impulsión de tubería PVC-UF_SAP de 63 mm, con una longitud de 461.54 m, de clase A-10.
- Reservorio de tipo circular, de diámetro y altura de nivel máximo de agua de 4 m y 2.85 m respectivamente. Las paredes tendrán un espesor de 0.20 m.
- Redes de distribución que suman una longitud de 19.6 km, que abastecen a 39 piletas.
- Cámara rompe presión.

Además, a lo largo de las líneas de distribución de agua se han implementado 8 válvulas de aire, 3 válvulas de purga y 2 válvulas de control, para la adecuada regulación y flujo del agua.

6.10. El caudal de bombeo que será conducido a través de la línea de impulsión es de 1.44 l/s y la velocidad del flujo a través de la tubería es de 0.46 m/s.

6.11. Para satisfacer el total de la demanda de agua de las poblaciones beneficiadas, es necesaria la utilización de 2 bombas sumergibles, puesto que, en el mercado local no se encuentran bombas sumergibles de capacidad de succión e impulsión mayores a 15 m³/día.

6.12. Es recomendable el uso de un solo grifo de agua por no más de 40 personas. Las piletas públicas pueden tener uno o más grifos; en áreas rurales los tipos más comunes son las fuentes de un grifo. Para el sistema propuesto se ha considerado colocar 39 piletas, 38 simples y una doble.

6.13. WaterCAD es una solución para modelación hidráulica y análisis de calidad de agua para sistemas de distribución de agua. Organismos operadores, municipios y firmas de ingeniería confían en WaterCAD como una herramienta que les permite ahorrar recursos y soportar la toma de decisiones con respecto a su infraestructura hidráulica. Por ello, ha sido utilizado como software de diseño y modelación de la red de distribución del sistema de abastecimiento de agua implantado.

Con el uso del programa WaterCAD se ha podido analizar las velocidades y presiones a lo largo de la red de distribución, de donde se dedujo que en la mayor parte de los tramos de la red se tiene velocidades menores a 0.4 m/s y presiones entre 30 y 40 m.

6.14. El costo total de las obras civiles del sistema de abastecimiento de agua potable de los caseríos Charancito, El Naranjo, Charán Grande y El Alumbre, considerando mano de obra, materiales y equipos es S/. 694219.28. Las líneas de distribución representan el mayor costo de todas las obras civiles.

Si comparamos el costo de implementación del sistema de abastecimiento de agua que opera con energía solar, con respecto a sistemas tradicionales que operan con combustible, resulta más económico y ecológico a lo largo de su vida útil, el primer

sistema, pues los costos de operación son tan bajos que pueden cubrirse con la cuota familiar; sustentándose así, la inversión inicial realizada en la compra del equipo fotovoltaico. Esto no sucede con los sistemas tradicionales, pues si bien no se tiene gastos costosos en la compra de equipos fotovoltaicos, los gastos que se generan de la compra, transporte y almacenamiento del combustible, además de los gastos de operación y mantenimiento, se agravan con el paso de los años y resultan no ser sostenibles en el tiempo.

- 6.15. Aunque el proyecto realizará algunas modificaciones en el uso del suelo por ocupación del espacio para la construcción de la infraestructura, no se generarán alteraciones o impactos negativos importantes, respetando en todo momento el entorno natural de la zona del proyecto. En cambio sí se anticipa que la ejecución del proyecto tiene impactos ambientales positivos, a través del incremento de los niveles de salud y calidad de vida de la población beneficiada.
- 6.16. Con la puesta en marcha del proyecto: Sistema de abastecimiento de agua potable en los poblados Charancito, El Naranjo, Charán Grande y El Alumbre, se ha evitado el consumo de agua desde fuentes superficiales contaminadas, lo que ha depuesto el peligro de contraer enfermedades gastrointestinales. Además ha promovido de manera general la permanencia de los habitantes en sus localidades, y ha contribuido a la reducción de la pobreza; propiciando el acceso de poblaciones vulnerables de la zona rural fronteriza del distrito de Lancones, a un servicio de abastecimiento de agua potable adecuado y a la formación higiénico sanitaria.
- 6.17. Por la larga experiencia del socio local en proyectos anteriores, todos los sistemas instalados funcionan bajo el cuidado de sus pobladores y necesitan poco mantenimiento y el coste de ajuste es muy bajo. La actitud responsable de los pobladores para afrontar el mantenimiento de los equipos se fortalece mediante el programa de educación sanitaria y sensibilización, que con especial énfasis se hace con las madres y líderes de la localidad, ya que la mujer será la encargada de hacer un efecto multiplicador de la información impartida. Además, su participación también será útil para verificar la transmisión de buenas prácticas de salud e higiene a su familia y comunidad.
- 6.18. La información y la educación son claves para la creación de una nueva cultura en el manejo del agua. Mientras la comunidad no entienda su rol respecto al uso del agua, los proyectos que se emprendan hacia su conservación tienden a no ser sostenibles y las inversiones de capital económico y de trabajo se pueden perder.
- 6.19. Las investigaciones y evaluaciones realizadas en zonas aledañas al proyecto ayudaron a determinar parámetros de diseño tales como caudales, dotaciones, tasa de crecimiento, entre otros, que permitieron diseñar un sistema técnicamente eficiente y sostenible en el tiempo, manejado por las mismas comunidades beneficiarias.

Se recomienda mayores estudios y evaluaciones de sistemas de abastecimiento de agua potable en zonas rurales con el fin de obtener otros parámetros (variaciones de consumo) y particularidades técnicas, que permitan el diseño más realista de futuros sistemas en estas zonas.

Bibliografía

1. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). *Sistemas de abastecimiento de agua para pequeñas comunidades*. La Haya, 1983.
2. Normas oficiales de la calidad de agua (Perú). *Reglamento de calidad de agua de consumo humano*. Perú, 1995.
3. Instituto de Investigación Tecnológica Industrial y de Normas Técnicas (ITINTEC). *Agua Potable – Requisitos*. Norma Técnica. Perú, 1987.
4. Dirección Regional de Salud Ambiental (DIGESA). *Consideraciones básicas de diseño de infraestructura sanitaria*. Norma OS.100. 7 p.
5. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS/OPS). *Guía para el diseño y construcción de captación de manantiales*. OPS/CEPIS/04.107. Lima, 2004. 25 p.
6. Simon Arocha R, *Abastecimientos de Agua Teoría y Diseño*. Venezuela, 1990.
7. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS/OPS). *Guía para el diseño y construcción de reservorios apoyados*. OPS/CEPIS/04.108. Lima, 2004. 35 p.
8. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS/OPS). *Guía para el diseño de redes de distribución en sistemas rurales de abastecimiento de agua*. OPS/CEPIS/05.145. Lima, 2005. 13 p.
9. Ministerio de Salud (Perú). *“Abastecimiento de Agua y Saneamiento para poblaciones Rurales y Urbano Marginales”*. Norma Técnica. Perú, 1994. 33p.
10. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ingeniería. *Abastecimiento de agua potable a comunidades rurales*. Buenos Aires, 1971.
11. Ezerskii, Nikolai; Meléndez, Gorki; Flores, Martín. *Sistemas de abastecimiento de agua para pequeñas comunidades rurales*. Piura: EDIGRAP S.R.L., 2005.
12. Agüero Pittman, Roger. *Agua potable para poblaciones rurales*. Lima: SER, 2006.

13. Alarcón Campos, Fernando Agustín. *Sistema de abastecimiento de agua potable en la localidad de Vice y anexos*. Tesis. Piura: Universidad de Piura, 1996.
14. Anayag, Ladys. *Recolección y sistematización de la información sobre las normas en los sistemas de saneamiento básico rural*. Lima, setiembre de 1997.
15. Bodero, María Elena. *Modelos de gestión del servicio de agua potable en el área rural del Perú*. Lima: SUM-Canadá, abril de 1997.
16. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). *Evaluación de los servicios de agua potable y saneamiento*. Perú, 2000.
17. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS/OPS). *Guías para el diseño de reservorios elevados de agua potable*. OPS/CEPIS/05.160. Lima, 2005. 26 p.
18. Esteban Bolea, María Teresa. *Prólogo*. En: Fernández Vítora, Vicente Conesa. *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental*. Madrid: Mundi Prensa, 1995.
19. Flores, Martín. *Aplicaciones de la energía solar en el norte del Perú* [diapositivas]. Perú: MIRHAS, 2008. 22 diapositivas.
20. Gómez Orea, Domingo. *Evaluación de impacto ambiental: un instrumento preventivo para la gestión*. Madrid: Mundi Prensa, 2002.
21. León, Roxana. *Diagnóstico del Subsector de Saneamiento Básico Rural: Informe Final*. Lima: COSUDE, julio de 1996.
22. Meléndez Talledo, Gorki Iván. *Estudio del sistema de abastecimiento de agua en dos zonas rurales de la costa norte del Perú*. Tesis. Piura: Universidad de Piura, 2000.
23. Ministerio de Salud, Dirección de Saneamiento Básico Rural (Perú). *De experiencias locales hacia una propuesta modelo: Gestión de los servicios de saneamiento rural*. Perú, 1999.
24. Osorio M, Carlos; Espinoza, Silvana. *Participación comunitaria en los problemas del agua*. Colombia: Universidad del Valle, 2008.
25. Pingo Mauriola, Pedro Alemnber. *Factibilidad técnico económica de la fuente de abastecimiento de agua de la localidad de El Alto*. Tesis. Piura: Universidad de Piura, 2004.
26. Timaná Álamo, Javier Antonio. *Diseño de un sistema de abastecimiento de agua potable y alcantarillado para la localidad rural de la Quemazón – Provincia de Morropón*. Tesis. Piura: Universidad de Piura, 1992.
27. Tipacti Gayo, Mónica. *Abastecimiento de agua en la localidad Las Playas y anexos – Experiencia de diseño y ejecución*. Tesis. Piura: Universidad de Piura, 2003.

28. Vice Ruiz, Manuel Benito. *Dimensionamiento del sistema de agua potable en la localidad de Las Lomas*. Tesis. Piura: Universidad de Piura, 1999.
29. Zecenarro Matheus, Edgar. *Consideraciones para el diseño de sistemas de agua potable por gravedad simple para el medio rural*. Programa de salud comunitaria en el trapecio andino (PSCTA). Perú, 1994. 108 p.