

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**MEJORAMIENTO Y AMPLIACIÓN DEL SISTEMA DE
ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA VÉGUETA: DISEÑO Y
PROCESO CONSTRUCTIVO DE LAS GALERÍAS FILTRANTES.**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

WILVER OMAR BARDALES VIDAL

Lima- Perú

2012

Agradecimiento.

Gracias a Dios por permitirme llegar hasta este momento tan importante de mi vida y lograr otra meta más en mi carrera.

Gracias a mis padres y demás familiares por su cariño, comprensión y apoyo sin condiciones ni medida. Gracias por guiarme sobre el camino de la educación; por brindarme la alegría y la fortaleza necesaria para seguir adelante.

Gracias a mis maestros, por su tiempo, su apoyo, así como por la sabiduría que me transmitieron en el desarrollo de mi formación profesional.

Dedicatoria.

Le dedico primeramente mi trabajo a Dios; con toda la humildad que de mi corazón puede emanar.

De igual forma, a mis padres, a quienes les debo toda mi vida, les agradezco el cariño y su comprensión, a ustedes quienes han sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores, lo cual me ha ayudado a salir adelante buscando siempre el mejor camino.

ÍNDICE

RESUMEN	3
LISTA DE CUADROS	4
LISTA DE FIGURAS	5
LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS	7
RELACIÓN DE PLANOS	7
INTRODUCCIÓN	8
CAPÍTULO I: ANTECEDENTES DE GALERÍAS FILTRANTES.	10
1.1 LAS GALERÍAS FILTRANTES EN EL MUNDO.....	10
1.2 LAS GALERÍAS FILTRANTES EN EL ANTIGUO PERÚ	11
1.3 LAS GALERÍAS FILTRANTES EN EL PERÚ, EN LA ACTUALIDAD.....	13
1.4 ALCANCE DEL PROYECTO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA.	14
1.5 DATOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO DE LA CAPTACIÓN.....	14
CAPÍTULO II: AGUA SUBTERRÁNEA, ACUÍFERO Y GALERÍAS FILTRANTES.	16
2.1 AGUA SUBTERRÁNEA	16
2.1.1 Generalidades.....	16
2.1.2 Distribución vertical de las aguas subterráneas	16
2.2 ACUÍFEROS	18
2.2.1 Clasificación de las formaciones geológicas según su comportamiento hidrogeológico.	18
2.2.2 Tipos de acuíferos.....	19
2.2.3 Propiedades de los acuíferos.....	20
2.2.4 La napa freática del acuífero en Végueta.	26
2.3 GALERÍAS FILTRANTES	28
2.3.1 Ventajas de las galerías construidas en materiales no consolidados.....	28
2.3.2 Clasificación de las galerías	30
2.4 CÁLCULO HIDRÁULICO DE GALERÍAS FILTRANTES.....	36
2.4.1 Galerías que comprometen la parte superior del acuífero.	38
2.5 SELECCIÓN DEL SITIO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA GALERÍA FILTRANTE.....	41
2.5.1 Consideraciones previas.....	41
2.5.2 Trabajos preliminares.	42
2.5.3 Ubicación de la galería.....	43

2.5.4	La calidad del agua subterránea en Végueta	45
CAPÍTULO III: DISEÑO HIDRÁULICO Y PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA GALERÍA FILTRANTE		
47		
3.1	DISEÑO DE LOS COMPONENTES DE LA GALERÍA FILTRANTE	47
3.1.1	Conducto colector	47
3.1.2	Relleno filtrante.....	55
3.1.3	Sello impermeable.....	57
3.1.4	Cámaras de inspección	58
3.2	PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA GALERÍA FILTRANTE.....	60
3.2.1	Movimiento de tierras.....	60
3.2.2	Entibado.....	61
3.2.3	Refine y nivelación	62
3.2.4	Materiales	62
3.2.5	Instalación.....	63
3.2.6	Cámaras de arranque y de inspección.	64
CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		
65		
4.1	CONCLUSIONES.....	65
4.2	RECOMENDACIONES	67
BIBLIOGRAFÍA.....		69

ANEXOS:

ANEXO A: Memoria de cálculo del periodo de diseño.

ANEXO B: Memoria de cálculo de los caudales de diseño.

ANEXOC: Memoria de cálculo de la galería filtrante.

ANEXOD: Metodologías para determinar la conductividad hidráulica mediante pruebas de bombeo.

ANEXO E: Planos.

RESUMEN

El tema desarrollado comprende el diseño y el proceso constructivo de las galerías filtrantes, las cuales formarán parte del sistema de captación del proyecto “Mejoramiento y ampliación del sistema de abastecimiento de agua potable para Végueta”; el alcance del proyecto comprende los centros poblados de Végueta Villa o Végueta Cercado, Bellavista, San Isidro y San Juan, donde el periodo de diseño fue determinado de 20 años; además el tipo de fuente es el agua subterránea, la cual es aprovechada en todo el distrito de Végueta-Huaura.

En el desarrollo del presente informe, el principal problema ha sido definir los valores de los parámetros hidráulicos del acuífero en la zona de Végueta, debido a que estas variables se determinan de manera más confiable mediante pruebas de bombeo, las cuales son costosas, sin embargo se tomó como referencia el estudio realizado por el Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA) “Inventario de fuentes de agua subterránea en el valle Huaura” en el año 2005, para obtener los parámetros hidráulicos del acuífero, del cual se tomaron los menores valores de los rangos obtenidos en el estudio (para la conductividad hidráulica, la transmisividad y la pendiente del acuífero), esto se hizo con fines de asegurar el caudal de diseño, es decir, se asumió la situación más crítica del comportamiento del acuífero existente en la zona de Végueta; de otro lado, el estudio del INRENA determinó que el acuífero es un acuífero libre y de buenas condiciones hidráulicas.

El nivel freático en la zona de emplazamiento de la galería se determinó mediante calicatas, verificándose también los valores establecidos en el estudio del INRENA; con el valor del nivel freático, se definió la profundidad mínima de la galería. Para definir el sentido de la galería, se consideró la dirección del flujo de las aguas subterráneas determinadas en el estudio del INRENA, estableciéndose para las galerías filtrantes un sentido perpendicular al flujo subterráneo. Las consideraciones para el proceso constructivo, son los mismos utilizados para la construcción de los sistemas de alcantarillado.

LISTA DE CUADROS

Cuadro N° 01: Horizonte de evaluación del proyecto.....	15
Cuadro N° 02: Caudales de diseño.....	15
Cuadro N° 03: Conductividad hidráulica de algunos materiales.....	23
Cuadro N° 04: Resultados del análisis físico-químico del agua en Végueta.....	45
Cuadro N° 05: Rango de calidad de las aguas según su dureza	46
Cuadro N° 06: Límites máximos permisibles de potabilidad según la OMS	46
Cuadro N° 07: Ecuaciones para el cálculo de las características geométricas de la sección circular del canal o conducto.....	48
Cuadro N° 08: Alternativas para el diseño del canal.	50
Cuadro N° 09: Afiere del tirante de flujo.....	51
Cuadro N° 10: Valores de Coeficiente de Rugosidad de Manning para tuberías de diferente material	52
Cuadro N° 11: Granulometría del relleno filtrante.....	56

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 01: Vista interior de la galería	10
Figura N° 02: Representación general de la construcción de la galería filtrante en el viejo mundo.	11
Figura N° 03: Sección y vista interior de una galería filtrante de Nazca.	12
Figura N° 04: Acceso a la galería filtrante de Cantayoc-Nazca.	13
Figura N° 05: Mapa de ubicación del distrito de Végueta.....	14
Figura N° 06: Distribución vertical del agua.	16
Figura N° 07: Esquema de recarga de acuífero.	17
Figura N° 08: Esquema de recarga de cuerpo de agua	18
Figura N° 09: Esquema de acuífero libre.	20
Figura N° 10: Esquema de acuífero confinado.....	20
Figura N° 11: Esquema de porosidad efectiva.	21
Figura N° 12: Esquema de permeabilidad.	22
Figura N° 13: Esquema de transmisividad.	23
Figura N° 14: Esquema de coeficiente de almacenamiento.	25
Figura N° 15: Presencia del nivel freático	27
Figura N° 16: Calicata en la zona de Las Lagunas	27
Figura N° 17: Perfil estratigráfico de la zona de Las Lagunas	29
Figura N° 18: Captación con líneas de flujo paralelas y equipotenciales casi verticales	32
Figura N° 19: Captación del tipo dren con líneas de flujo radiales y equipotenciales cilíndricas.	32
Figura N° 20: Galería que comprometen todo el espesor del acuífero y ubicada en acuífero con escurrimiento propio.	33
Figura N° 21: Galería que comprometen todo el espesor del acuífero y ubicada en acuífero con recarga superficial.	34
Figura N° 22: Galería que comprometen parte la superior del acuífero y ubicada en acuífero con escurrimiento propio.	34
Figura N° 23: Galería que comprometen la parte superior del acuífero y ubicada en acuífero con recarga superficial.	35
Figura N° 24: Galería en acuíferos con recarga superficial y ubicado en acuífero de gran espesor.....	35
Figura N° 25: Galería en acuíferos con recarga superficial y ubicado en acuífero de poco espesor.	36

Figura N° 26: Galería que compromete la parte superior del acuífero.....	38
Figura N° 27: Galería que compromete la parte superior del acuífero con escurrimiento propio.	40
Figura N° 28: Delimitación de la zona Las Lagunas.....	43
Figura N° 29: Ubicación y dirección de la galería.....	44
Figura N° 30: Vista panorámica de la zona de emplazamiento de la galería.....	45
Figura N° 31: Características geométricas de la sección circular del canal o conducto.....	48
Figura N° 32: Esquema de perforaciones del conducto colector.....	55
Figura N° 33: Distribución de capas en el relleno filtrante.....	57
Figura N° 34: Sello impermeable de la galería filtrante.....	58
Figura N° 35: Sección típica de las cámaras de inspección.....	59
Figura N° 36: Detalle de entibados de madera para evitar deslizamientos de la zanja.....	61

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

SIGLA	DESCRIPCIÓN
CEPIS	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente
EDAS	Enfermedades diarreicas agudas
EMAPA	Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado
EPS	Entidad Prestadora de Servicios
INRENA	Instituto Nacional de Recursos Naturales
OMS	Organización Mundial de la Salud
OPS	Organización Panamericana de la Salud
RNE	Reglamento Nacional de Edificaciones
SAGARPA	Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación-México
SEDAPAL	Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima
UNATSABAR	Unidad de Apoyo Técnico para el Saneamiento Básico del Área Rural

RELACIÓN DE PLANOS

SISTEMA DE CAPTACIÓN: GALERÍAS FILTRANTES

CÓDIGO	TÍTULO DEL PLANO	CANTIDAD
GF-PP-01	PLANTA Y PERFIL LONGITUDINAL	1
GF-ST-01	SECCIONES TÍPICAS Y DETALLES	1

INTRODUCCIÓN

Teniendo como propuesta el mejoramiento y ampliación del sistema de abastecimiento de agua potable para Végueta, se ha identificado la necesidad de desarrollar el diseño y proceso constructivo de la captación a través de galerías filtrantes. En el distrito de Végueta, la principal fuente de agua potable es el agua subterránea; por tanto, el agua se capta mayormente a través de pozos y galerías filtrantes; además, es importante mencionar que según el estudio del INRENA en el año 2005, "Inventario y monitoreo de las aguas subterráneas en el valle Huaura", donde el acuífero existente se dividió en tres zonas, siendo Végueta-Huaura la primera zona; según las pruebas de bombeo el acuífero en el primer sector tiene buenas condiciones hidráulicas. Los objetivos del presente informe se detallan a continuación:

Objetivo general:

Diseñar y proponer los procesos constructivos para la captación a través de galerías filtrantes del sistema de abastecimiento de agua potable para los centros poblados de Végueta Villa, San Isidro, Bellavista y San Juan.

Objetivos específicos:

- Proponer el esquema de captación a través de galerías filtrantes.
- Dimensionar los componentes de la galería (sección, tubería, materiales de relleno)
- Proponer el procedimiento constructivo para su correcta instalación.

Este informe consta de 4 capítulos, a continuación se menciona una breve descripción de cada uno.

Capítulo I; se mencionan las definiciones de las galerías filtrantes en tiempos antiguos y modernos; así mismo, se describe las galerías filtrantes desarrolladas en el Perú antiguo (cultura Nazca) y las que actualmente vienen funcionando, como son las captaciones del sistema de abastecimiento de agua potable en diferentes localidades del país. Además se establecen los criterios básicos para el diseño de la galería de filtración; por ejemplo el caudal de diseño.

Capítulo II; se describe el marco teórico con los conceptos fundamentales de hidrogeología, así como también, los parámetros hidráulicos más importantes del acuífero como la conductividad hidráulica y el coeficiente de almacenamiento, y los valores que toman estas variables en la zona de Végueta, los cuales serán considerados en el diseño de las galerías, así mismo, se desarrolló todo el cálculo hidráulico para la galería filtrante según el tipo de acuífero existente en la zona del estudio.

Capítulo III; se desarrolla el diseño hidráulico y se brindan las consideraciones planteadas para los componentes de la galería como son el diámetro, el tipo de material de la tubería y la distribución, las perforaciones, la geometría de la sección de la zanja, el tipo y tamaño de los materiales para el relleno filtrante, el tirante y la velocidad en el conducto colector, el tipo de sellado de la galería, se definirán las dimensiones y materiales de las cámaras de inspección; además se planteará el proceso constructivo de las galerías filtrantes.

En el capítulo IV se mencionan las conclusiones y recomendaciones del informe.

CAPÍTULO I: ANTECEDENTES DE GALERÍAS FILTRANTES.

1.1 LAS GALERÍAS FILTRANTES EN EL MUNDO

Las galerías filtrantes se conocieron con distintos nombres en diferentes partes del mundo: kiraz, kэрiz, kariz, en Afganistán y en Persia; qanats o foggaras en México; sabrig en Yemen; kriga en el sur de Túnez; foggara en el Sahara; khattara en el sur de Marruecos; falaz en Arabia; picos en Madrid; viaje o viaje de agua (una deformación del nombre latino *via aquae*) en el sureste de España. Actualmente en España y Francia, utilizan la terminología de galerías de drenaje, galerías de captación de agua por drenaje, y madjirat en regiones andaluzas. En distintas partes del Viejo Mundo también se conocen con el nombre de fuqara, hattara, karez, rhattara, réthara, khettara, falaj, mambo, alcavor, minas de agua, galerie filtrante, infiltration gallery, chain well, chain of wells, pozos horizontales, pozos encadena, galería filtrón, y underground aqueduct chain well. En la figura N° 01; se observa una vista interior de una galería filtrante del mundo antiguo.



Figura N° 01: Vista interior de la galería

Las galerías filtrantes eran conocidas por los asirio-babilonios y los persas de la antigüedad, las utilizaron los romanos en Siria, luego los turcos en Asia Menor. Las galerías filtrantes también existen en el Turquestán, el Turfán y el Sinkiang en China.

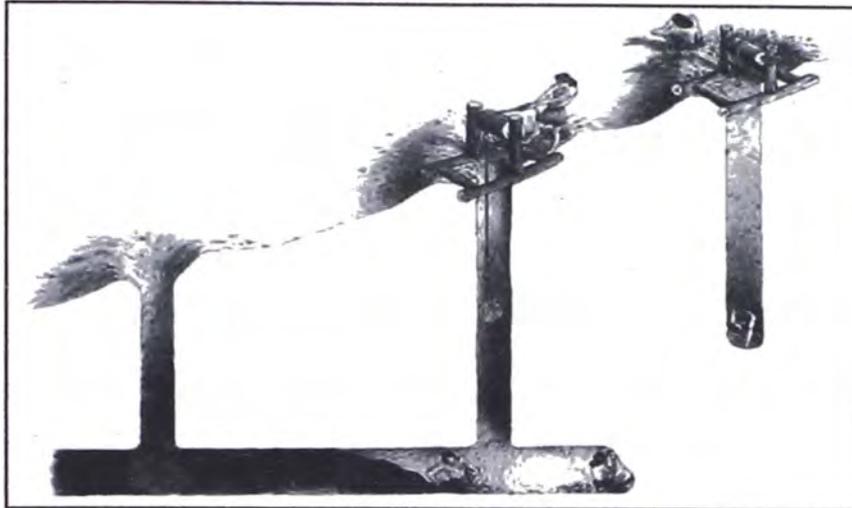


Figura N° 02: Representación general de la construcción de la galería filtrante en el viejo mundo.

En la figura N° 02; se aprecia como se construían las galerías filtrantes en el mundo antiguo. La tecnología de las galerías filtrantes se difundió primero a través del viejo mundo. Al oeste, se construyeron en Mesopotamia a orillas del Mediterráneo, así como en partes de Egipto; al este de la antigua Persia, y en parte del Sahara. Las galerías filtrantes también están presentes en Afganistán, en los arcaicos establecimientos de seda de los oasis de la ruta del Asia Central, así como del Turkistán chino (El Turpan). Durante la era romana-bizantina (64 A.C.), se construyeron muchas galerías filtrantes en Siria y Jordania. De ahí la tecnología se difunde al norte y oeste en Europa; la expansión del islam inició otra difusión importante de la tecnología de las galerías filtrantes; las invasiones árabes tempranas lo llevaron al oeste a través de África del Norte y en Chipre, Sicilia, España y las Islas Canarias. En España, los árabes construyeron un sistema de galerías filtrantes en Crevillente, muy probablemente para el uso agrícola, y otros en Madrid y Córdoba para el abastecimiento urbano de agua.

1.2 LAS GALERÍAS FILTRANTES EN EL ANTIGUO PERÚ

El sistema de captación de agua subterránea en nuestro país no ha sido ajeno a la cultura de nuestros antepasados, tal es el caso de la cultura Nazca, la cual poseía un alto conocimiento tecnológico en el desarrollo de la agricultura, entre los que se encuentran las galerías filtrantes, así como también los antiguos pobladores de Chicama buscaron la utilización del agua subterránea,

disminuyendo los niveles topográficos para generar “arroceras”, estas consisten en formar una especie de pantano donde se realizan las cosechas.

Las galerías filtrantes de Nazca, conforman un sistema de captación de aguas subterráneas que se ubican en la zona media-alta del valle del mismo nombre, aproximadamente entre los 1000 m.s.n.m. y los 500 m.s.n.m., ubicándose en zonas aledañas a los cauces de los ríos principales Aja y Tierras Blancas. Las galerías filtrantes de Nazca estaban formadas esencialmente por tres partes, captación, conducción y almacenamiento. La captación involucra la filtración del agua subterránea del valle a un canal que puede ser a tajo abierto y/o cerrado. En la figura N° 03; se aprecia una sección y una vista interior de las galerías filtrantes de Nazca, en donde las paredes presentan enrocado de cantos rodados sin mortero y el techo está conformado por lajas de piedra.



Figura N° 03: Sección y vista interior de una galería filtrante de Nazca.

Posterior a la captación es la conducción mediante canales a tajo abierto dirigidas a un almacenamiento en pozas hechas en terreno natural. Las captaciones a tajo cerrado generalmente poseen accesos como buzones de inspección. Según la información arqueológica, estas obras fueron construidas en el periodo intermedio temprano (600 A.C a 400 D.C). Las galerías filtrantes se han usado y se continúan usando para irrigación, e incluso uso doméstico para los pobladores del valle debido a la buena calidad del agua. En la figura N° 04; se observa un tipo de acceso a la galería filtrante; el cual tiene forma de cono invertido, además los laterales de este acceso están recubiertos con un enrocado de cantos rodados sin mortero.



Figura N° 04: Acceso a la galería filtrante de Cantayoc-Nazca.

1.3 LAS GALERÍAS FILTRANTES EN EL PERÚ, EN LA ACTUALIDAD

A continuación se muestra una relación de algunas localidades en las cuales se han implementado galerías filtrantes, como captación de su sistema de abastecimiento de agua potable.

- En Lima, SEDAPAL extrae agua mediante un sistema de galerías filtrantes, localizados a lo largo del río Rimac, en el área de la Planta de la Atarjea, con una producción de 120 lt/s continuos.
- En Cañete, en las localidades de:
 - San Vicente de Cañete
 - San Luis
 - Lunahuana
 - Imperial
 - Cerro Azul
 - Santa Cruz de Flores
- En Huacho, en las localidades de:
 - Végueta
 - Primavera
- En Ica, en las localidades de:
 - Ciudad de Nazca
 - Pueblo Nuevo
 - Palpa
 - Zona de Oca
- En Cusco, en las localidades de:
 - Cochapampa
 - Pumahuanca, Urubamba
 - Jaillo Huayco, Huarcondo

1.4 ALCANCE DEL PROYECTO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA.

El proyecto comprende el mejoramiento y ampliación del sistema de abastecimiento de agua potable para cuatro centros poblados del distrito de Végueta: Végueta Villa, San Isidro, Bellavista, y San Juan Bautista, en la provincia de Huaura, departamento de Lima, para satisfacer la demanda actual y futura de agua potable y disminuir el riesgo de deterioro de la salud de la población debido a enfermedades hídricas ó EDAS (enfermedades diarreicas agudas). Los trabajos que se realizarán en el proyecto de abastecimiento de agua potable son los siguientes: Aseguramiento de la fuente de agua, diseño de la estructura de captación, diseño de la cisterna enterrada para el almacenamiento del agua captada, tratamiento para la potabilización y equipamiento para el bombeo; diseño de la línea de impulsión; y diseño de la estructura de almacenamiento (reservorio apoyado), para abastecer por gravedad a los beneficiarios mencionados. En el presente informe, se desarrolló el diseño y procedimientos constructivos de la captación mediante galerías filtrantes. En la figura N° 05; se observa la ubicación del distrito de Végueta.

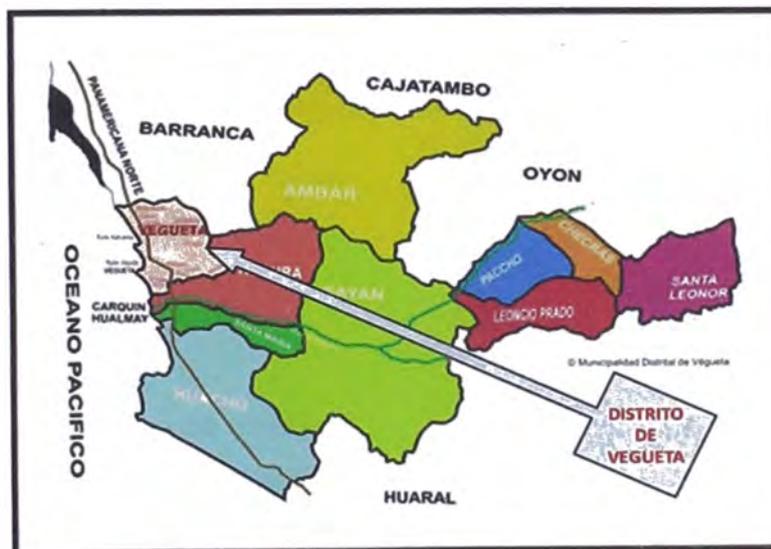


Figura N° 05: Mapa de ubicación del distrito de Végueta

1.5 DATOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO DE LA CAPTACIÓN

a) Periodo de diseño y horizonte del proyecto

Se ha determinado el periodo de diseño con déficit en 20 años (ver anexo A), tomando en cuenta las características socioeconómicas (factores de economía de escala), tamaño de la población, y el tipo de estructuras del proyecto. El

periodo de análisis se extiende hasta el año 2033, así mismo se tiene como inicio de la inversión el año 2013 (año 0 del proyecto), e inicio de la operación el año 2014; como se puede observar en el cuadro N° 01.

Cuadro N° 01: Horizonte de evaluación del proyecto

Inversión inicial	Año 0	2013
Inicio de la operación	Año 1	2014
Finalización de la evaluación	Año 20	2033

Fuente: Elaboración propia

b) Coeficientes de variación de consumo

Al no contar con una información estadística de los consumos de las localidades de Végueta Villa, Bellavista, San Isidro y San Juan Bautista, se considerará los siguientes coeficientes, según el reglamento nacional de edificaciones (RNE).

- Coeficiente de variación máx. diario : $K1 = 1.3$
- Coeficiente de variación máx. horario : $K2 = 1.8$

c) Caudales de diseño

Los caudales de diseño se han determinado tomando en cuenta las pérdidas en el sistema de abastecimiento de agua potable, el valor de estas pérdidas se fijará en 20% (ver anexo B).

- Caudal promedio anual : Q_p
- Caudal máximo diario : Q_{md}
- Caudal máximo horario : Q_{mh}

Cuadro N° 02: Caudales de diseño

Año	Q_p (lt/s)	Q_{md} (lt/s)	Q_{mh} (lt/s)
2033	10.45	13.59	18.81

Fuente: Elaboración propia

El caudal que se empleará para el diseño de las galerías filtrantes es el caudal máximo diario, el cual se ha determinado en función a la población futura según el periodo de diseño, a la dotación diaria, y a la proyección de la demanda de agua potable, el resultado es un caudal de 13.59 lt/s, como se observa en el cuadro N° 02.

CAPÍTULO II: AGUA SUBTERRÁNEA, ACUÍFERO Y GALERÍAS FILTRANTES.

2.1 AGUA SUBTERRÁNEA

2.1.1 Generalidades

La hidrogeología trata del movimiento del agua dulce en los acuíferos, los cuales son estratos porosos por donde discurre el agua. La base o el fondo del acuífero es un estrato impermeable, por lo que es posible que existan acuíferos de varios "pisos". Según sus características hidráulicas, existen dos tipos de acuíferos: acuíferos libres, donde de algún modo la napa freática está en contacto con el aire, y acuíferos confinados donde el espacio poroso está confinado por estratos impermeables.

2.1.2 Distribución vertical de las aguas subterráneas

A mayor o menor magnitud, todos los materiales de la corteza terrestre son porosos. Se acostumbra denominar a esta parte zona porosa o de fracturación, y los poros o fracturas pueden encontrarse parcial o totalmente saturados de agua. El estrato superior, en donde los poros y las fracturas están parcialmente ocupadas de agua, se denomina "zona de aeración" y el que se encuentra por debajo están completamente llenas de agua y se le conoce como "zona de saturación" (ver figura N° 06).

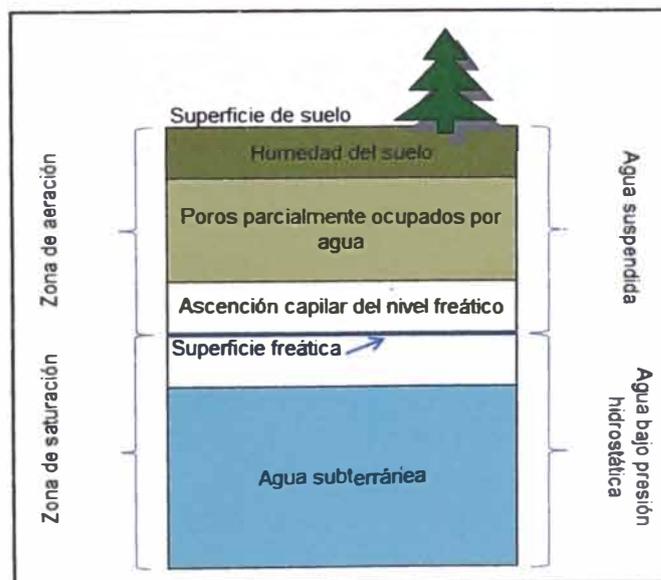


Figura N° 06: Distribución vertical del agua.

a) Zona de aeración

Esta zona presenta intersticios en donde los macroporos contienen aire y los microporos agua adherida por capilaridad. Luego de una lluvia intensa, esta zona puede saturarse o en su defecto, luego de una prolongada sequía, puede llegar a secarse por completo. Cuando llueve con posterioridad a un período de sequía, las primeras aguas que caen en la superficie del terreno son retenidas por capilaridad para remplazar a la extraída por las plantas y a la evaporada durante el período de sequía anterior a la lluvia. Después de llenados los poros, el resto del agua de lluvia percolará por gravedad hacia la zona de saturación. La zona de aeración se divide en tres franjas: a) húmeda; b) intermedia; y c) capilar. Estas franjas varían en profundidad y sus límites no pueden ser definidos a partir de las diferencias físicas de los materiales geológicos, sino del contenido de agua referida.

b) Zona de saturación

Esta zona está representada por el espacio que ocupa permanentemente el agua. El nivel de agua en la zona de saturación tiende a permanecer plana, aunque puntualmente puede presentar inflexiones debidas a la extracción del agua por bombeo, a la recarga artificial, o al drenaje desde o hacia los ríos, etc., llegando en algunos lugares a estar el nivel de agua por encima de la superficie terrestre, tal como sucede en ocasiones con lagos y ríos conectados directamente al acuífero (ver figuras N° 07 y N° 08). Cuando el nivel del agua tiene una posición bastante bien definida en un punto determinado se le define como nivel estático.

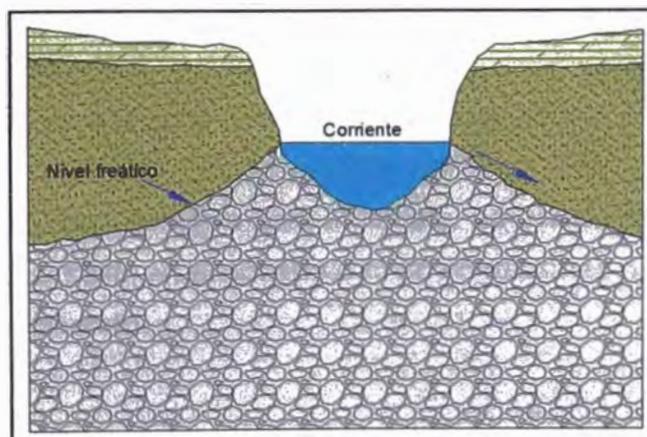


Figura N° 07: Esquema de recarga de acuífero.

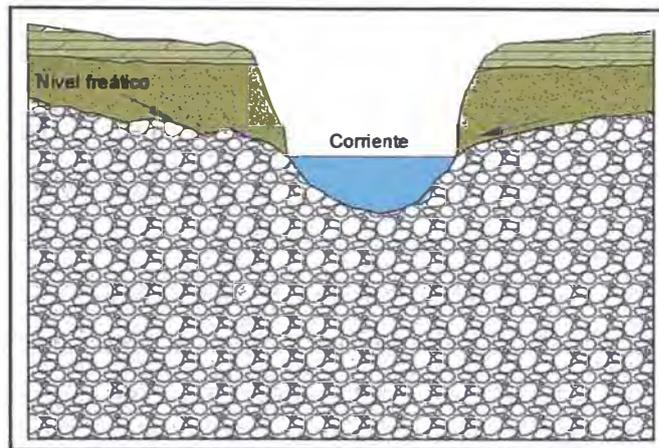


Figura N° 08: Esquema de recarga de cuerpo de agua

El agua contenida en la zona de saturación es la única que puede ser denominada con propiedad como agua subterránea. La zona de saturación podría asimilarse a un gran embalse natural cuya capacidad total es equivalente al volumen de los poros y aberturas que se encuentran llenos de agua. El espesor de la zona de saturación es muy variable y está definido por la geología local, el tamaño de los poros o intersticios, la recarga y la velocidad de desplazamiento del agua desde la zona de recarga hasta la zona de descarga.

2.2 ACUÍFEROS

2.2.1 Clasificación de las formaciones geológicas según su comportamiento hidrogeológico.

a) Acuífero (del latín fero, llevar): Formación que contiene agua en cantidad apreciable y que permite que circule a través de ella con facilidad.

b) Acuicludo (del latín cludo, encerrar): Formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable y que no permite que el agua circule a través de ella.

Ejemplo: limos, arcillas. Un m³ de arcillas contiene más agua que el mismo volumen de arenas, pero el agua está atrapada, no puede salir por gravedad, y por tanto no podrá circular en el subsuelo ni en condiciones naturales ni hacia un pozo que este bombeando.

c) Acuitardo (del latín tardo, retardar, impedir): Formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable pero que el agua circula a través de ella

con dificultad. Evidentemente se trata de un concepto intermedio entre los dos anteriores.

Ejemplo: arenas arcillosas, areniscas, rocas compactas con alteración y/o fracturación moderada.

d) Acuífugo (del latín fugo, rechazar, ahuyentar): Formación geológica que no contiene agua porque no permite que circule a través de ella.

Ejemplo: granito o esquisto inalterados y no fracturados. De estas cuatro denominaciones, es la menos utilizada.

2.2.2 Tipos de acuíferos

La palabra acuífero proviene del latín fero y significa que lleva agua. El acuífero está representado por formaciones geológicas de estructura permeable que se encuentran saturadas de agua, y con propiedades físicas que permiten el almacenamiento y el desplazamiento del agua a través de ella, y que es capaz de suministrar agua a pozos, galerías y manantiales, los que a su vez pueden ser empleados con algún fin beneficioso.

En ciertos acuíferos, el agua subterránea se manifiesta bajo condiciones freáticas, es decir, la zona saturada está expuesta a la presión atmosférica, como si estuviera contenida en un recipiente abierto, otro término aplicado a estos tipos de acuíferos es acuífero libre y cuando el agua se encuentra confinada por dos estratos impermeables, se le denomina acuífero confinado.

En los acuíferos libres el agua se encuentra rellenando los poros o fisuras por gravedad, igual que el agua de una piscina llena el recipiente que lo contiene. La superficie hasta donde llega el agua se denomina superficie freática, cuando esta superficie es cortada por un pozo se habla del nivel freático en ese punto.

El estudio realizado por el INRENA (Instituto Nacional de Recursos Naturales) en el año 2005: "Inventario de fuentes de agua subterránea en el valle Huaura", indica que el acuífero existente en la zona de Végueta-Huaura, corresponde a un acuífero libre (como se puede observar en la figura N° 09). Litológicamente; el acuífero está constituido de materiales detríticos sueltos de naturaleza variada (volcánica, intrusiva y sedimentaria) de granulometría variable y principalmente de origen fluvio-aluvial aunque hay clastos de origen marino.

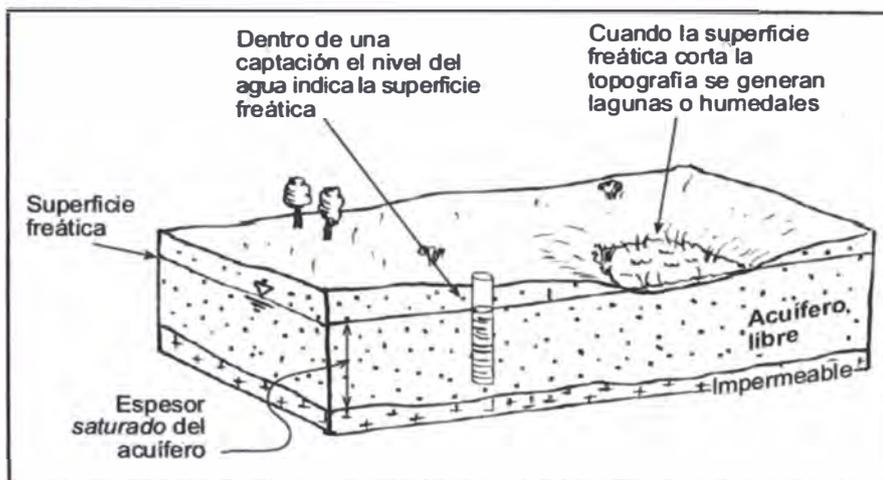


Figura N° 09: Esquema de acuífero libre.

En los acuíferos confinados (como se observa en la figura N° 10) el agua se encuentra a presión, de modo que si extraemos agua de él, ningún poro se vacía, la extracción procede de la descompresión del agua y en menor medida de la compresión de la matriz sólida. La superficie virtual formada por los puntos que alcanzaría el agua si se hicieran infinitas perforaciones en el acuífero, se denomina superficie piezométrica, y en un punto concreto, en un pozo se habla de nivel piezométrico.

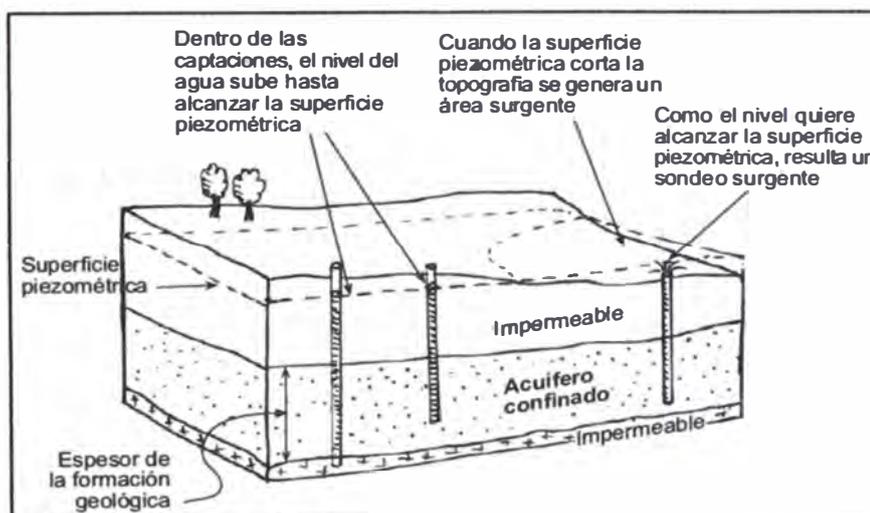


Figura N° 10: Esquema de acuífero confinado.

2.2.3 Propiedades de los acuíferos

Las dos propiedades más importantes de los mantos acuíferos son la porosidad y la permeabilidad o conductividad hidráulica. Sin embargo, se tiene que una formación puede ser porosa, pero no necesariamente permeable, por lo que el acuífero no puede ser catalogado como tal.

a) Porosidad (m)

Está vinculada con la cantidad de agua que puede ser almacenada en el material de la zona de saturación. La porosidad (m_t) está representada por el volumen de las aberturas o poros de un determinado volumen unitario de material, es decir es la proporción del volumen unitario de material no ocupado por el material sólido. La porosidad, normalmente se la expresa como porcentaje del volumen bruto del material. Aunque la porosidad representa la cantidad de agua que un acuífero puede almacenar, no indica cuánta de esa agua puede ceder. Cuando el material saturado drena agua por acción de la gravedad, solamente puede ceder una parte del volumen total almacenado en él. La cantidad de agua que un volumen unitario de material deja escapar cuando se le drena por gravedad, se denomina rendimiento específico, denominado también porosidad efectiva o eficaz (m_e), como se puede observar en la figura N° 11. Generalmente, este valor varía entre el 10 y el 30 por ciento. La parte de agua que no puede ser removida por acción de la gravedad es retenida por capilaridad y atracción molecular. La cantidad de agua que un volumen unitario de material retiene cuando se somete a la acción de la gravedad, se denomina retención específica y se determina como la diferencia de los dos parámetros anteriores (m_t y m_e).

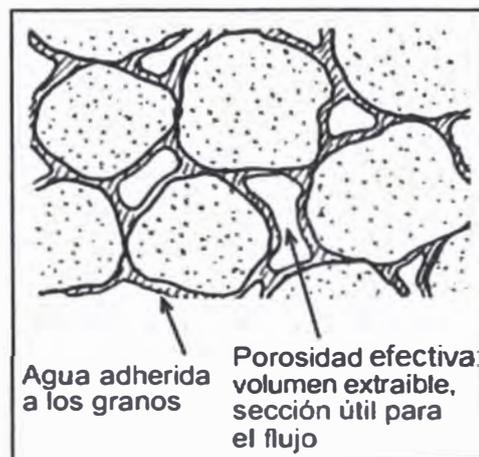


Figura N° 11: Esquema de porosidad efectiva.

b) Conductividad hidráulica o coeficiente de permeabilidad (k_f)

Es la facilidad con la que un material permite el paso del agua a través de él, y se define como el volumen de agua que escurre a través de un área unitaria de un acuífero bajo una gradiente unitaria y por unidad de tiempo; por lo tanto la conductividad hidráulica es la constante de proporcionalidad lineal entre el

caudal y el gradiente hidráulico. Generalmente; se considera la conductividad hidráulica horizontal, pero a veces se hace referencia a su componente vertical, la cual es varias veces menor, pues está afectada por la compactación de las diferentes capas. La conductividad hidráulica se expresa en el sistema internacional en m/s o en Darcy, en honor al investigador que definió su expresión matemática. En la figura N° 12; se puede observar un esquema de conductividad hidráulica o permeabilidad.

Caudal por unidad de sección = $k_f \cdot \text{Gradiente hidráulica}$

$$\text{Caudal (m}^3\text{/s)} / \text{Sección (m}^2\text{)} = k_f \cdot \Delta h / \Delta L \quad (1)$$

Del estudio realizado por el INRENA (Instituto Nacional de Recursos Naturales) en el año 2005: "Inventario de fuentes de agua subterránea en el valle Huaura", los valores obtenidos mediante pruebas de bombeo, para el coeficiente de permeabilidad en la zona de Végueta-Huaura, están en el siguiente rango:

Permeabilidad (K_f): 2.75 a 15.36×10^{-4} m/s

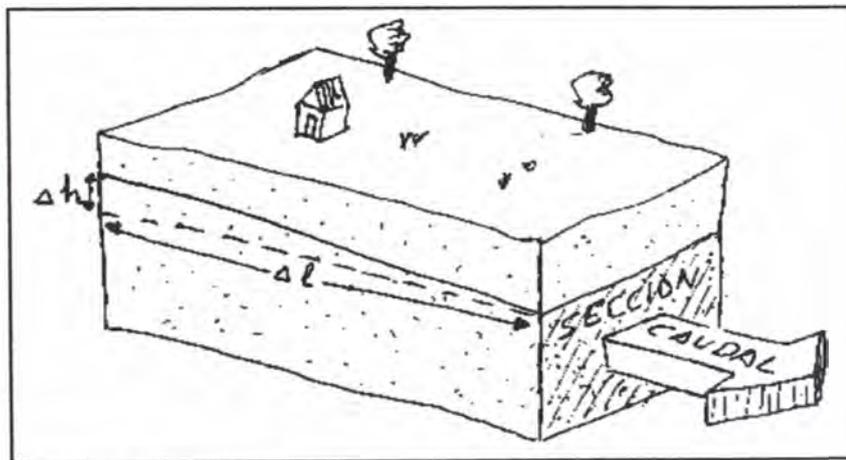


Figura N° 12: Esquema de permeabilidad.

Así mismo en el cuadro N° 03, se puede observar una clasificación de los acuíferos de acuerdo a los valores de conductividad hidráulica, además estos valores están relacionados con los tipos de materiales que constituyen el acuífero.

Cuadro N° 03: Conductividad hidráulica de algunos materiales.

Permeabilidad (mm/día)	Calificación	Calificación del acuífero	Tipo de material
10^{-6} a 10^{-4}	Impermeable	Acuicludo	Arcilla compacta, Pizarra, Granito.
10^{-4} a 10^{-2}	Poco Permeable	Acuitardo	Limo Arenosa, Limo, Arcilla Limosa.
10^{-2} a 1	Algo Permeable	Acuífero pobre	Arena Fina, Arena Limosa, Caliza Fracturada.
1 a $10^{2.5}$	Permeable	Acuífero de regular a bueno	Arena Limpia, Grava y arena, Arena Fina.
$10^{2.5}$ a 10^5	Muy Permeable	Acuífero excelente	Grava Limpia.

Fuente: SAGARPA

c) Transmisividad (T)

Es la capacidad de un medio poroso para transmitir el agua según el espesor del horizonte acuífero y su permeabilidad, y se define como la razón del caudal en m^3/s que fluye a través de una sección vertical del acuífero, cuya altura es igual a su espesor y cuyo ancho es de un metro y se expresa en m^2/s .

$$T = kf \times H \quad (2)$$

Donde:

T = transmisividad (m^2/s)

kf = permeabilidad (m/s)

H = espesor del acuífero (m)

Por ejemplo; si observamos la figura N° 13, intuimos que los dos estratos acuíferos deben proporcionar el mismo caudal, ya que uno tiene la mitad de permeabilidad, pero el doble de espesor que el otro. La transmisividad en ambos casos es de $1.735 \times 10^{-3} m^2/s$.

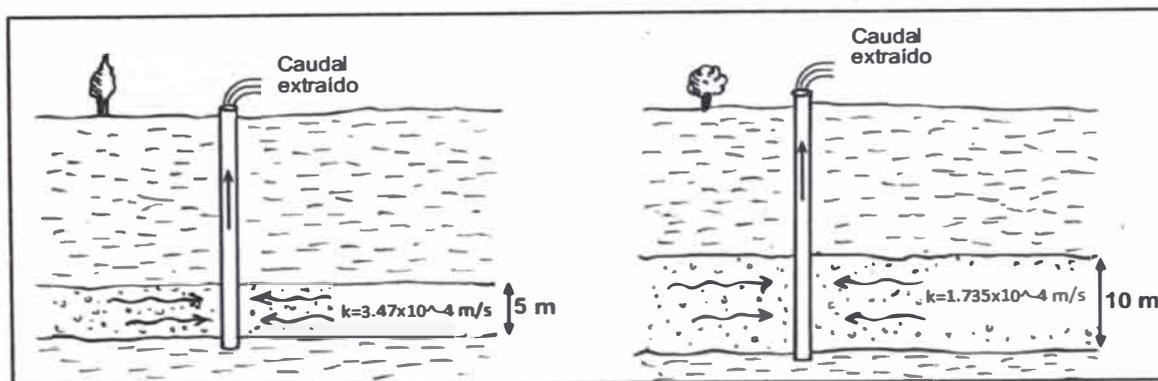


Figura N° 13: Esquema de transmisividad.

Del estudio realizado por el INRENA en el año 2005: "Inventario de fuentes de agua subterránea en el valle Huaura", los valores obtenidos mediante pruebas de bombeo, para la transmisividad en la zona de Végueta-Huaura, están en el siguiente rango:

Transmisividad (T): 0.41 a $2.29 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$

d) Coeficiente de almacenamiento (S)

El volumen de agua que proporciona un acuífero libre se puede calcular mediante la porosidad efectiva ($m_e = S_y$), su valor varía de 10^{-2} a 0.3 . Pero este parámetro no sirve para el caso de los acuíferos confinados: cuando proporcionan agua, todos sus poros continúan saturados, solo disminuye la presión, de modo que el dato de la porosidad efectiva no indica nada, se necesita un parámetro que indique el agua liberada al disminuir la presión en el acuífero, y este es el coeficiente de almacenamiento que se define como el volumen de agua liberado por la columna de un acuífero de altura igual a todo su espesor y de un metro de ancho, cuando la presión disminuye una unidad. Su valor varía de 10^{-5} a 0.3

$$S = \frac{\text{Vol. de agua liberado}}{\text{Vol. total que ha bajado la superficie piezométrica}} \quad (3)$$

Así por ejemplo, el valor de coeficiente de almacenamiento $S = 0,01$ indica que quedarían libres $0,01 \text{ m}^3$ de agua bajo un área de acuífero de 1 m^2 cuando la presión hidrostática desciende 1 m . En la figura N° 14; se puede observar un esquema del coeficiente de almacenamiento.

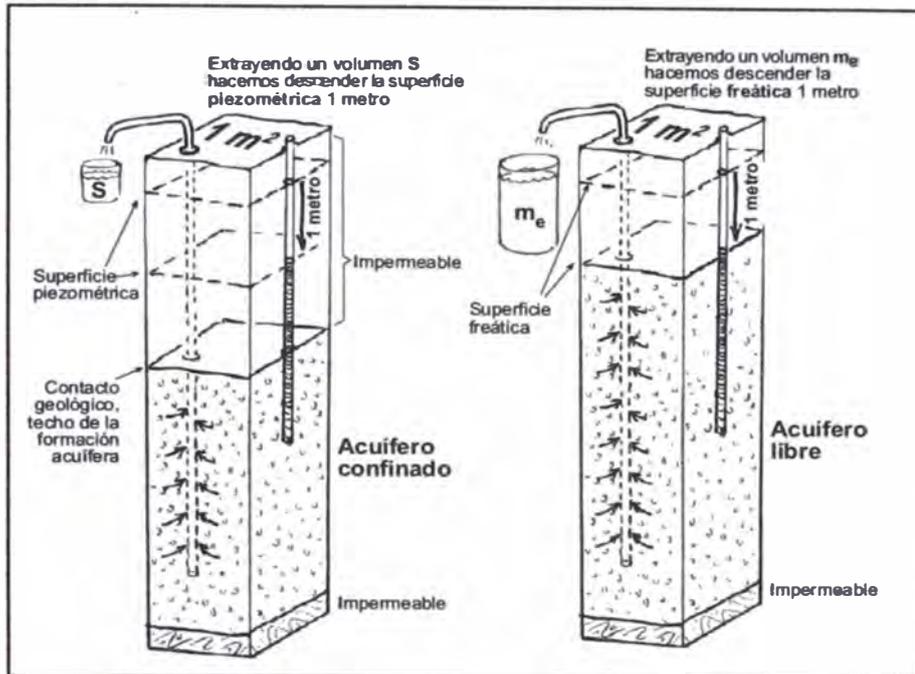


Figura N° 14: Esquema de coeficiente de almacenamiento.

Del estudio realizado por el INRENA en el año 2005: “Inventario de fuentes de agua subterránea en el valle Huaura”, el valor obtenido mediante pruebas de bombeo, para el coeficiente de almacenamiento en la zona de Végueta-Huaura es de 1.15%.

e) Caudal o gasto específico (q)

Es la relación que existe entre el caudal de bombeo de un pozo y el descenso en el nivel de las aguas subterráneas que esta extracción provoca. Usualmente el gasto específico se expresa en $\text{m}^3 / \text{s} \cdot \text{m}$ o en $\text{lt} / \text{s} \cdot \text{m}$.

$$q = Q / s \quad (4)$$

Donde:

q = Caudal específico ($\text{m}^3 / \text{s} \cdot \text{m}$)

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

s = Descenso del nivel de las aguas (m)

El caudal específico se determinará en el capítulo 2.4.1, utilizando la fórmula de Dupuit.

f) Gradiente hidráulica (i)

Es la pendiente de la superficie piezométrica en el acuífero y se determina por la relación de la diferencia de niveles entre dos puntos y la distancia entre ellos.

$$i = (h_1 - h_2) / L \quad (5)$$

Por lo tanto, la velocidad del flujo también puede ser expresada como:

$$V = kf \times i \quad (6)$$

En el estudio “Inventario de fuentes de agua subterránea en el valle Huaura” INRENA-2005, se determinó la morfología de la superficie freática en el valle Huaura, dando como resultado una gradiente hidráulica de 1.22% para la zona de Végueta-Huaura.

g) Radio de influencia (R)

Es la distancia alrededor de la obra de captación hasta donde llegan a ocurrir descensos en el nivel de agua cuando se realiza el bombeo.

Del estudio realizado por el Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA) en el año 2005: “Inventario de fuentes de agua subterránea en el valle Huaura”, el valor obtenido mediante pruebas de bombeo, para el radio de influencia en la zona de Végueta-Huaura fluctúa entre 311.00 y 622.00 m, además los abatimientos de la napa en esta zona, fluctúan entre 0.24 y 1.05 m.

2.2.4 La napa freática del acuífero en Végueta.

Del estudio realizado por el Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA) en el año 2005: “Inventario de fuentes de agua subterránea en el valle Huaura”, la napa freática contenida en el acuífero es libre y superficial, siendo su fuente de alimentación las aguas que se infiltran en la parte alta de la cuenca (zona húmeda), así como también las que se infiltran a través del lecho del río, de los canales de riego no revestidos y, en las áreas de cultivo bajo riego.

En la zona de Végueta-Huaura, el nivel freático se ubica entre 0.87 m y 24.54 m de profundidad, observándose los niveles más superficiales en el distrito de Végueta (0.87 m) y los más profundos (24.54 m) en el sector Pampa la Industria del distrito de Huaura. Para verificar los valores del estudio del INRENA se hicieron calicatas en la zona del emplazamiento de las galerías filtrantes, encontrando el nivel freático en promedio a 1.30 m de profundidad (como se puede ver en la figura N° 15).



Figura N° 15: Presencia del nivel freático

La figura N° 16 muestra la calicata realizada en la zona conocida como Las Lagunas, que viene a ser el lugar del emplazamiento de la galería filtrante proyectada.



Figura N° 16: Calicata en la zona de Las Lagunas

2.3 GALERÍAS FILTRANTES

En general, las galerías son obras destinadas a la captación y conducción del agua subterránea hasta un punto determinado, bien sea para riego o para consumo humano. Para efectos del presente informe, se consideran como galerías a los sistemas de captación de aguas subálveas o sub superficiales por medio de drenes o tuberías perforadas. La construcción de las galerías requiere de una cuidadosa planificación de los trabajos para asegurar el buen funcionamiento del mismo y a la vez evitar accidentes.

La organización de los trabajos y la concepción de su ejecución dependerán en todo caso del tipo de material a excavar, consolidación o dureza del suelo, profundidad a que se encuentran las aguas subterráneas, y entre otras.

La galería filtrante termina en una cámara de captación donde el agua acumulada puede ser bombeada o derivada directamente por gravedad. La galería filtrante se puede ubicar en dirección perpendicular al flujo de las aguas subterráneas, pero en caso de que exista una recarga constante de una fuente superficial, podrá optarse por una dirección paralela al mismo.

2.3.1 Ventajas de las galerías construidas en materiales no consolidados

El material no consolidado en donde comúnmente se construyen las galerías tiene una composición litológica muy variable, conformada por capas de arena, grava, guijarros y arcilla, siendo las principales ventajas de su construcción las siguientes:

- a) Fáciles de excavar e instalar.
- b) Posición favorable para recibir la recarga de los ríos y lagos al estar ubicados normalmente en el fondo de los valles que frecuentemente corresponden a zonas planas con niveles piezométricos muy próximos a la superficie.
- c) Suelos con alta porosidad efectiva, permiten disponer de mayor cantidad de agua subterránea.

d) Permeabilidad más elevada con respecto a otras formaciones, lo que facilita el desplazamiento del agua.

e) Disponibilidad de agua en períodos de escasas lluvias, cuando el caudal de los ríos es mínimo o nulo, al permitir que las aguas subterráneas circulen por el material aluvial que conforma el valle del río, mientras que en período lluvioso, el caudal superficial del río recarga el acuífero incrementando la disponibilidad de los recursos hídricos.

En la calicata excavada en la zona del emplazamiento de la galería filtrante, se pudo observar el perfil estratigráfico en este lugar, donde los primeros 0.50 m corresponden a un suelo orgánico, según la clasificación SUCS corresponde a un suelo OH: suelo orgánico, plasticidad media a alta, firme, húmeda a muy húmeda, marrón negruzco, estructura homogénea. De 0.50 m a mayor profundidad, continúa una arena limosa bien gradada, que corresponde a un suelo SW-SM (clasificación SUCS): Arena bien gradada con limo, plasticidad nula a baja, suelta a medianamente densa, muy húmeda a saturada, marrón, estructura homogénea.



Figura N° 17: Perfil estratigráfico de la zona de Las Lagunas

En la figura N° 17; se puede observar el perfil estratigráfico descrito, el suelo orgánico de un color marrón negruzco, seguido de una arena limosa de un color marrón.

2.3.2 Clasificación de las galerías

a) Según características constructivas

Las galerías pueden ser clasificadas como:

- **Galerías propiamente dichas:**

Son excavaciones horizontales que se inician con un emboquillado o boca de entrada, desde donde se procede a excavar la galería propiamente dicha. La parte inferior de la galería se encuentra ubicada por debajo del nivel de agua en la zona de saturación, y la parte superior en la zona húmeda. La sección transversal tiene dimensiones suficientes como para permitir el desplazamiento de los equipos y de las personas encargadas de su construcción. Usualmente las secciones son de 1,80 x 0,80 m, con pendientes del piso comprendidas entre uno y diez por mil. Para facilitar los trabajos, deben excavarse pozos de ventilación cada 40 o 100 m a fin de ventilar la galería y para retirar los materiales provenientes de la excavación.

- **Zanjas o trincheras:**

Están compuestas por excavaciones a cielo abierto, utilizadas fundamentalmente cuando el agua subterránea está muy próxima a la superficie del suelo y no se requieren provocar grandes descensos del nivel freático.

Normalmente, las profundidades no exceden los seis metros. Este tipo de obra está expuesta a problemas de crecimiento de algas, erosión, obstrucción por vegetación o contaminación superficial.

- **Drenes:**

Están compuestos por perforaciones horizontales o excavaciones de zanja en cuyo interior o fondo se instalan tuberías perforadas o ranuradas conocidas como drenes. Estos drenes se instalan en la zona húmeda del acuífero y se encuentran cubiertos con material seleccionado para garantizar un adecuado rendimiento. En el caso del tipo zanja, el relleno se efectúa con el material proveniente de la excavación y se concluye con el sellado de la superficie para minimizar la contaminación del agua por infiltración de las aguas superficiales. Normalmente, los diámetros de los drenes son mayores a 200 mm, con pendientes que fluctúan entre uno y cinco por mil. Dependiendo de la longitud de los drenes y del número de ellos, se instalan buzones o cámaras de reunión.

En el presente informe se desarrollará este tipo de galería filtrante, dado que se empleará una tubería perforada y se rellenará con material filtrante seleccionado y lavado.

- Captaciones mixtas:

Las galerías propiamente dichas y los drenes pueden combinarse con las captaciones verticales, dando como resultado captaciones del tipo mixto representadas por los pozos radiales, que se ejecutan cuando el nivel de las aguas subterráneas se encuentra a mucha profundidad y hace económicamente inviable la construcción de cualquier otro tipo de galería. La obra consiste en la construcción de un pozo vertical que se prolonga hasta llegar al nivel freático, desde donde se inicia la construcción de uno o más emboquillados o bocas de entrada, mayormente en sentido perpendicular a la dirección del flujo de las aguas subterráneas. En el caso de las galerías propiamente dichas, las secciones y pendientes son similares a las señaladas anteriormente y si la longitud de cada ramal es mayor a 50 m, es conveniente la construcción de pozos para ventilación y para la extracción del material de excavación cada 50m.

b) Según características del acuífero

A su vez, las galerías de filtración se clasifican de acuerdo a las principales características del acuífero: patrón de flujo y régimen de escurrimiento.

Los patrones de flujo pueden ser de dos tipos: líneas de flujo horizontales con equipotenciales verticales y líneas de flujo radiales con equipotenciales cilíndricos o semicilíndricos.

Las líneas de flujo horizontales es característico de las galerías que comprometen todo el espesor del acuífero y está representado por las galerías tipo trinchera, zanja o socavón en donde las líneas de flujo del escurrimiento se asemejan a líneas rectas inclinadas con respecto a la horizontal, y las equipotenciales quedan constituidas por superficies planas que casi coinciden con la vertical, excepto en las inmediaciones de la captación misma. Este tipo de flujo horizontal y líneas equipotenciales verticales se puede observar en la figura N° 18.

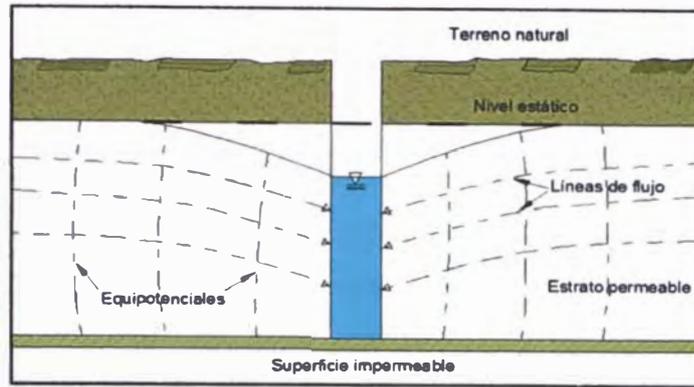


Figura N° 18: Captación con líneas de flujo paralelas y equipotenciales casi verticales

Las líneas de flujo radiales se presentan en acuíferos profundos con galerías superficiales del tipo dren y se caracteriza porque las líneas de flujo del escurrimiento representan curvas radiales dirigidas hacia la captación, y las equipotenciales quedan constituidas por superficies cilíndricas, con el centro en el punto de captación. Este tipo de flujo corresponde a la galería filtrante que se desarrollará en este informe. Este tipo de flujo radial y líneas equipotenciales cilíndricas se puede observar en la figura N° 19.

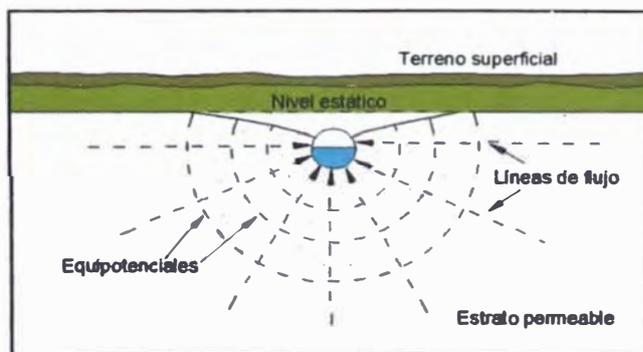


Figura N° 19: Captación del tipo dren con líneas de flujo radiales y equipotenciales cilíndricas.

En cuanto al tipo de régimen de escurrimiento hacia la captación pueden existir condiciones de equilibrio y desequilibrio. Las condiciones de equilibrio se presentan cuando, después de un cierto tiempo, se produce la estabilización de la velocidad de escurrimiento y del nivel de depresión de la napa de agua. Para que exista un estado de equilibrio, es indispensable que el caudal extraído por unidad de longitud de galería sea menor o igual al caudal suministrado por el

propio acuífero o que, en su defecto, exista una fuente superficial de alimentación de agua. Todo esto conduce a que el nivel de agua en el acuífero se deprima hasta un punto fijo que permite el escurrimiento del caudal que se extrae. Las condiciones de desequilibrio no permiten la estabilización del escurrimiento, conduciendo a que la depresión en el nivel de agua aumente con el tiempo y las velocidades de escurrimiento disminuyan también en este tiempo. Esto es normal cuando la fuente de suministro de agua proviene de terrenos saturados con baja capacidad de recarga. De la combinación de los factores: patrón de flujo y régimen de escurrimiento, se pueden definir galerías que comprometen todo el espesor del acuífero bajo condiciones de equilibrio o desequilibrio y galerías superficiales bajo condiciones de equilibrio o desequilibrio. Teniendo en cuenta que las galerías para abastecimiento de agua deben ser diseñadas para trabajar bajo condición de equilibrio, las formulaciones que más adelante se presentarán están referidas a este tipo de condición.

b.1) Galerías que comprometen todo el espesor del acuífero

Esta situación se da en acuíferos de poco espesor, en los que la galería de filtración se ubica en la parte inferior del acuífero, es decir en el estrato impermeable. Las galerías pueden ser de dos tipos:

- Galerías en acuífero con escurrimiento propio: Considera que la masa de agua se desplaza en un solo sentido a través del estrato permeable y es interceptada por la galería; como se observa en la figura N° 20.

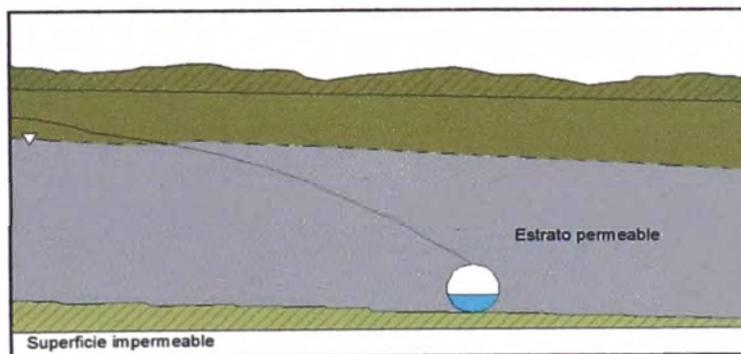


Figura N° 20: Galería que comprometen todo el espesor del acuífero y ubicada en acuífero con escurrimiento propio.

- Galerías en acuífero con recarga superficial: El concepto es similar al anterior, a excepción que el agua de recarga o de reposición es suministrada por un curso o cuerpo de agua superficial; según se puede observar en la figura N° 21.

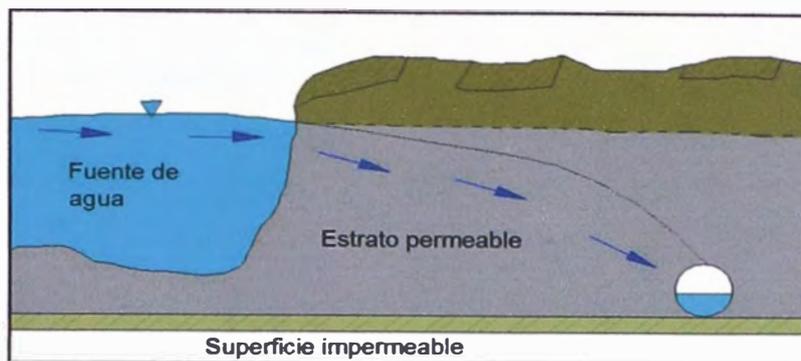


Figura N° 21: Galería que comprometen todo el espesor del acuífero y ubicada en acuífero con recarga superficial.

b.2) Galerías que comprometen la parte superior del acuífero

Está representado por acuíferos profundos y de gran potencia, en donde la obra de captación se ubica en la parte superior del acuífero y es abastecida por ambos lados. También se presentan dos posibilidades:

- Galerías en acuífero con escurrimiento propio: La galería recolecta los escurrimientos propios del acuífero por ambas caras del dren, como se observa en la figura N° 22.

Se considerará este tipo de acuífero para la determinación del caudal específico de la galería filtrante para Végueta, así mismo las formulaciones que más adelante se presentarán estarán referidas a este tipo de condición.

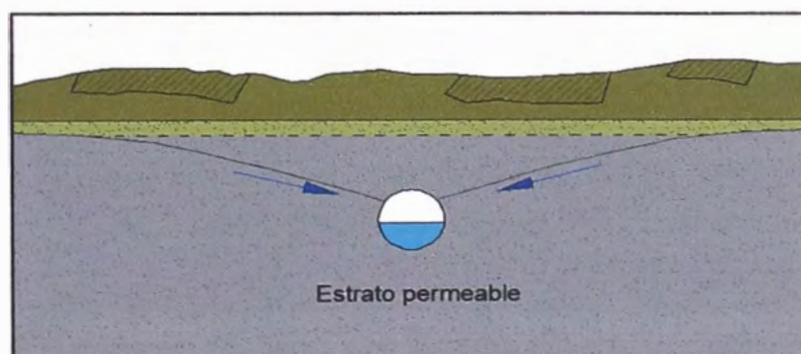


Figura N° 22: Galería que comprometen parte la superior del acuífero y ubicada en acuífero con escurrimiento propio.

- Galerías en acuífero con recarga superficial: La galería recolecta los escurrimientos tanto del acuífero propiamente dicho como del agua proveniente de un curso o cuerpo superficial; según se observa en la figura N° 23.

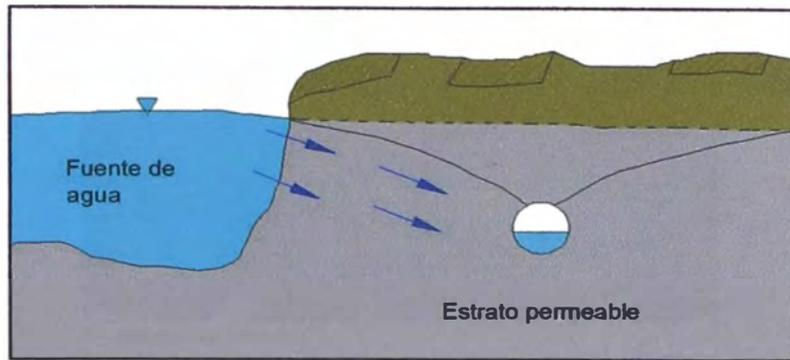


Figura N° 23: Galería que comprometen la parte superior del acuífero y ubicada en acuífero con recarga superficial.

b.3) Galerías en acuíferos con recarga superficial

La característica de estas obras es que la galería se encuentra en un acuífero ubicado por debajo de una fuente de agua, la misma que la recarga no produciéndose el abatimiento de la napa de agua. Estos tipos de captaciones se construyen en fondos de lagos, lagunas y ríos.

- Galerías en acuífero de gran espesor: El estrato impermeable se encuentra ubicado a gran profundidad con respecto al lugar donde se encuentra ubicada la galería; como se observa en la figura N° 24.

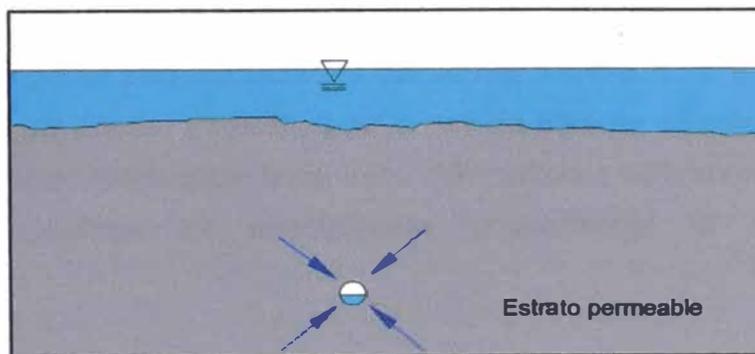


Figura N° 24: Galería en acuíferos con recarga superficial y ubicado en acuífero de gran espesor.

- Galerías en acuífero de poco espesor: El estrato impermeable se encuentra ubicado por debajo del dren; según se puede observar en la figura N° 25.

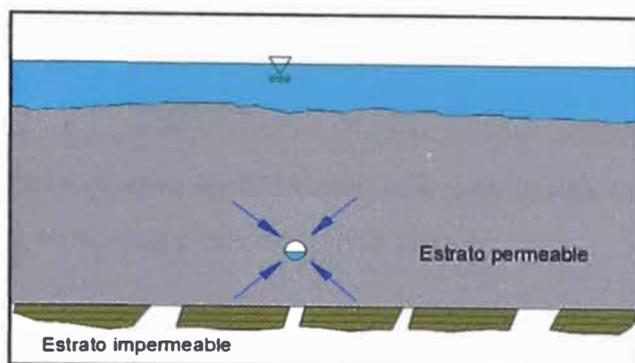


Figura N° 25: Galería en acuíferos con recarga superficial y ubicado en acuífero de poco espesor.

2.4 CÁLCULO HIDRÁULICO DE GALERÍAS FILTRANTES

Para el diseño de galerías de filtración se disponen de varios métodos de cálculo; unos deducidos a partir de la ecuación de Dupuit y otros identificados con el apellido del científico que lo desarrolló. Al efecto, en las formulaciones es necesario tener en cuenta las características del acuífero y las características del dren. Las principales características del acuífero se identificarán por los siguientes parámetros con sus respectivos símbolos y dimensiones:

- Conductividad hidráulica o coeficiente de permeabilidad: k_f [m/s]

Para la zona de Végueta-Huaura según el estudio del INRENA en el año 2005, tenemos un rango de permeabilidades del acuífero entre: 2.75 a 15.36×10^{-4} m/s; para el cálculo del caudal específico de la galería filtrante se consideró el menor valor de este rango, para estar en el caso más crítico ó conservador, puesto que el caudal específico es directamente proporcional al coeficiente de permeabilidad.

- Pendiente dinámica del acuífero: i [m/m]

La gradiente hidráulica o pendiente dinámica del acuífero en la zona de Végueta tiene un valor de 1.22%, lo cual fue determinado en el estudio del INRENA en el año 2005.

- Radio de influencia del abatimiento: R [m]

Según el estudio del INRENA en el año 2005: "Inventario de fuentes de agua subterránea en el valle Huaura", el valor obtenido mediante pruebas de bombeo,

para el radio de influencia en la zona de Végueta-Huaura fluctúa entre 311.00 y 622.00 m

En lo que respecta a la galería de filtración, sus principales características físicas con sus respectivos símbolos y dimensiones son:

- Radio del dren: r [m]

Para determinar el diámetro del dren, se está tomando como referencia las recomendaciones del "Manual de diseño de galerías filtrantes" del CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente), en donde se indica que en ningún caso el diámetro de la tubería deberá ser menor a 200mm (0.20 m), además el manual de diseño indica que el diámetro mínimo a utilizar es el que garantice el escurrimiento del caudal de diseño con un tirante no mayor al 50% del diámetro de la tubería. Para las galerías filtrantes en Végueta se tiene un caudal de diseño de 13.59 lt/s; y una pendiente de 0.003 m/m, con estos parámetros y con la condición de que el tirante sea menor al 50% del diámetro, se determina un diámetro del dren de 300 mm (0.30), o un radio del dren de 0.15 m.

- Abatimiento de la napa de agua a la altura de la galería: s [m]

El abatimiento de la napa será de 1.30 m, que viene a ser la distancia entre la napa freática y la parte superior del dren (clave de la tubería). Este parámetro físico se ha determinado a partir de la profundidad de la galería filtrante y de la ubicación del nivel freático en la zona de Végueta.

Adicionalmente, se tiene el caudal de explotación o caudal específico de la galería de filtración:

- Caudal unitario por longitud de dren: q [m³/s-m]

Con los principales parámetros hidráulicos del acuífero y las características físicas de la galería se determinara el caudal específico o caudal unitario por longitud de dren.

La fórmula presentada por Darcy en 1856 del movimiento del agua subterránea, hizo posible el tratamiento matemático de la hidráulica de pozos. Dupuit fue el primero en aplicar este tipo de análisis para lo cual asume la existencia de una

isla circular asentada en una formación de características homogéneas y en cuyo centro se ubica el pozo.

La fórmula de Dupuit representa el cálculo clásico de una galería de filtración, las consideraciones son las siguientes:

- a) Flujo simétrico hacia una zanja que llega hasta la napa impermeable, es decir, que corta el acuífero hasta el fondo del mismo.
- b) Las líneas de flujo son horizontales con equipotenciales verticales.
- c) La pendiente de la superficie impermeable, que define la parte inferior del acuífero, es pequeña en el área cercana a la galería.

2.4.1 Galerías que comprometen la parte superior del acuífero.

Las galerías que comprometen la parte superior del acuífero, consideran que la ubicación del dren o tubería perforada o ranurada (por debajo del nivel natural de la napa de agua), en relación con el espesor del acuífero, es pequeña. Es decir, la relación profundidad al estrato impermeable (b) contra la profundidad al dren (z) es mayor a 10 (como se puede apreciar en la figura N°26):

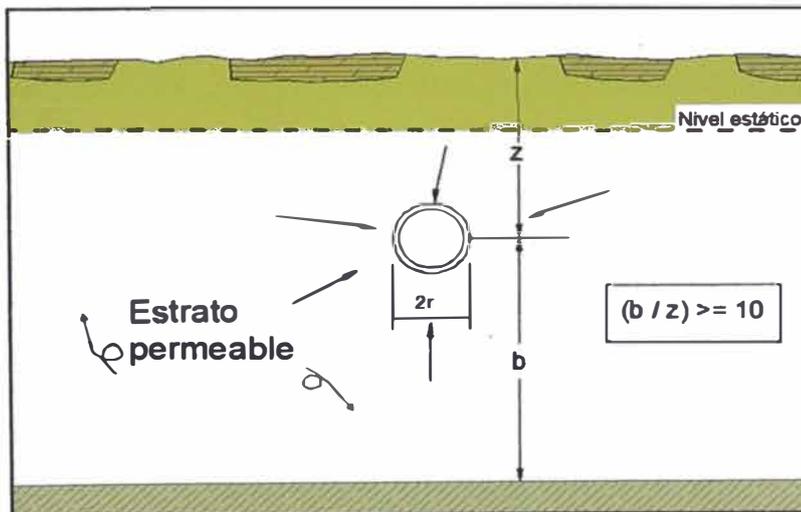


Figura N° 26: Galería que compromete la parte superior del acuífero

Las ecuaciones para los acuíferos con escurrimiento propio, aplicadas en el presente caso del acuífero en Végueta son las siguientes:

a) Acuífero con escurrimiento propio

La ecuación general para la obtención del gasto que gobierna este tipo de galería es la ecuación de Dupuit, que se menciona a continuación.

$$q = \frac{\pi \cdot k_f \cdot s}{\ln \frac{R}{r}} \quad (7)$$

$$R = \frac{q \cdot s^{0.5}}{\pi \cdot k_f \cdot i} \quad (8)$$

Donde:

q = Gasto específico o unitario (m³/s-m).

π = Constante pi (3.1416)

k_f = Conductividad hidráulica (m/s).

s = Abatimiento de la napa de agua a la altura de la galería (m)

R = Radio de influencia (m)

r = Radio del dren (m)

i = Gradiente hidráulica del acuífero (m/m)

Reemplazando R en la ecuación 7, se tiene:

$$q = \frac{\pi \cdot k_f \cdot s}{\ln \frac{q \cdot s^{0.5}}{\pi \cdot k_f \cdot i}} \quad (9)$$

En la figura N° 27; se puede observar las características físicas de una galería filtrante tipo dren en un acuífero con escurrimiento propio, el cual es el caso de Végueta.

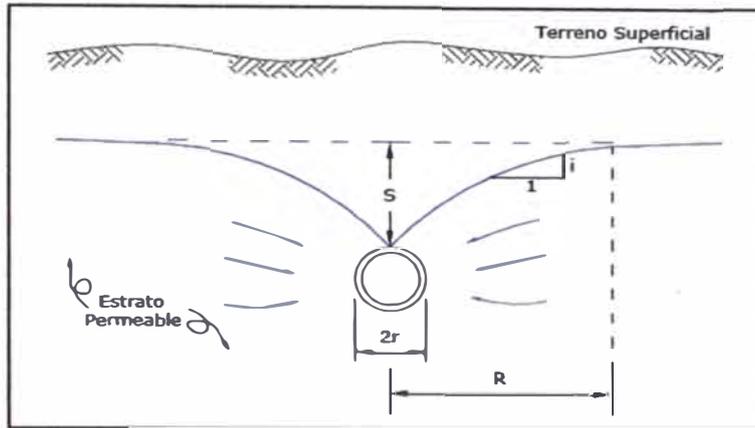


Figura N° 27: Galería que compromete la parte superior del acuífero con escurrimiento propio.

La ecuación 9 se resuelve por aproximaciones sucesivas. El caudal máximo, que puede ser extraído, se obtiene cuando el cono de abatimiento de la napa de agua (s), alcanza la parte superior del dren (clave de la tubería). Para resolver dicha ecuación se recomienda el siguiente procedimiento:

- La profundidad, la conductividad hidráulica (K_f), la pendiente del acuífero (i) y el abatimiento de la napa de agua a la altura de la galería (s), son valores conocidos.
- Al resolver por aproximaciones sucesivas, se va proponiendo " q " y se compara con el " q " calculado, hasta que la diferencia entre ambos sea mínima.

En el anexo C se puede observar la memoria de cálculo para determinar el caudal específico o unitario de la galería filtrante, para efectos de seguridad en el rendimiento de la galería filtrante, se consideró que el cono de abatimiento de la napa de agua (s) llega hasta la mitad de su máximo valor, es decir 0.65 m.

Con todas las consideraciones planteadas se obtendrá un rendimiento de la galería o caudal específico de:

$$q = 0.111 \text{ lt/s/m}$$

Una vez determinado el caudal específico, se procedió a determinar la longitud de la galería filtrante, dividiendo el caudal máximo diario (caudal de diseño de la captación) entre el caudal específico o caudal unitario.

La longitud de la galería será de: $L = 122.10 \text{ m}$

La conductividad hidráulica o coeficiente de permeabilidad es un parámetro hidráulico determinante en el cálculo del caudal específico o rendimiento de la galería de filtración, debido a esto en el anexo D, se presentan algunas metodologías para su determinación mediante pruebas en campo.

2.5 SELECCIÓN DEL SITIO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA GALERÍA FILTRANTE

2.5.1 Consideraciones previas.

Al proyectarse la construcción de una galería de filtración como parte de un sistema de abastecimiento de agua, es necesario considerar la prueba de conductividad hidráulica del acuífero mediante pruebas de bombeo para definir si el acuífero tiene la capacidad de proporcionar un caudal predeterminado de agua durante la vida útil del proyecto. En tal sentido, es indispensable encontrar un acuífero que, en el momento más crítico, tenga una recarga tal, ya sea subterránea o superficial, que satisfaga los requerimientos de agua. La galería filtrante de Végueta estará ubicada en un acuífero con escurrimiento propio, por lo cual se tiene que la calidad del agua tiene menor probabilidad de estar contaminada bacteriológicamente.

De otro lado, el material que forma el acuífero en la zona de captación debe tener una granulometría que le permita trabajar a la galería de filtración como filtro lento. Para minimizar la contaminación de las aguas captadas por la galería, es recomendable ubicarla lo más alejada posible de las fuentes de contaminación tales como: lagunas de estabilización, filtros percoladores, letrinas, descargas industriales, etc.

La selección entre una galería que comprometa todo el espesor de un acuífero o que sólo aproveche la parte superior del mismo, depende del espesor del acuífero, de la permeabilidad del suelo, del equipo disponible para hacer la excavación, de las condiciones naturales del área disponible y, sobre todo, de la demanda de agua. En el caso de un acuífero muy delgado, lo más acertado sería colocar el dren en el fondo, de manera tal que se pueda extraer todo el caudal que escurre por él. En el caso de acuíferos de mediano espesor, vale la

pena analizar si es más económico efectuar una excavación que comprometa todo el espesor del acuífero o solamente la parte superior, lo que conducirá a obtener un menor rendimiento por unidad de longitud de galería. En el caso de Végueta se tiene una galería filtrante que sólo compromete la parte superior del acuífero.

2.5.2 Trabajos preliminares.

Teniendo en cuenta que las galerías se construyen por debajo del nivel del suelo, será indispensable realizar estudios geotécnicos destinados a determinar las características geomorfológicas del lugar donde se tiene prevista la construcción de la galería. Una parte importante es el estudio de la geología de la zona para conocer la disposición del material no consolidado en profundidad, así como sus características hidrogeológicas, variaciones en el nivel de las aguas subterráneas a lo largo del año, entre otros.

a) Información básica

La información necesaria para elaborar el diseño de una galería filtrante es:

- Plano cartográfico de la zona.
- Plano geológico y perfiles transversales.
- Perfil estratigráfico.
- Mapa de niveles de las aguas subterráneas y su variación en el año hidrológico.
- Parámetros hidrogeológicos determinados por ensayos de bombeo.
- Análisis físico-químico y bacteriológico del agua.

b) Reconocimiento de campo

El reconocimiento de campo es un factor imprescindible que permite apreciar el relieve, el afloramiento de rocas, la proximidad de posibles focos de contaminación, etc.

c) Trabajos complementarios

De no ser suficiente la información disponible, será necesaria la ejecución de trabajos complementarios como perforaciones exploratorias, trabajos de topografía, ensayos de bombeo de pozos y análisis físico-químico y bacteriológico de muestras de agua, entre otros.

2.5.3 Ubicación de la galería.

Con la información disponible, se podrá contar con los siguientes elementos de análisis:

- Características de los horizontes del acuífero.
- Dirección y velocidad del movimiento de las aguas subterráneas.
- Profundidad del acuífero a captar.
- Propiedades del acuífero.
- Composición físico-química y bacteriológica de las aguas subterráneas.

Con esta información será posible decidir la ubicación más conveniente de la galería, así mismo se podrá determinar su dirección, profundidad, diámetro y pendiente. Frecuentemente, la dirección es perpendicular al flujo de las aguas subterráneas. La profundidad será definida en función de la variación del nivel de las aguas subterráneas, de manera que garantice su funcionamiento durante todo el año y bajo las condiciones de sequía más severas.

Del estudio realizado por el INRENA en el año 2005: "Inventario de fuentes de agua subterránea en el valle Huaura", el sentido del flujo subterráneo en la zona de Végueta-Huaura es de noreste a suroeste. En el reconocimiento de campo realizado en la zona de emplazamiento de la galería; se observó que el acuífero está delimitado por dos cerros, los cuales se localizan al norte y al sur de la zona conocida como Las Lagunas, tal como se puede apreciar en la figura N° 28. En el plano GF-PP-01 (ver anexo E); se puede observar la ubicación y dirección de las galerías filtrantes, así mismo, un perfil longitudinal del mismo.



Figura N° 28: Delimitación de la zona Las Lagunas

Conociendo la dirección del flujo del agua subterránea y habiendo realizado el reconocimiento de campo de la zona, se determinó la ubicación y orientación de la galería filtrante, la cual tendrá un sentido de noroeste a sureste, tal como se puede observar en la figura N° 29.



Figura N° 29: Ubicación y dirección de la galería

Para el presente informe se hicieron calicatas en la zona de emplazamiento de las galerías filtrantes; para determinar el nivel freático en esta zona, y se encontró que la napa de agua en promedio se ubica a 1.30 m de profundidad, además los niveles freáticos que se determinaron en el estudio del INRENA: “Inventario de fuentes de agua subterránea en el valle Huaura”, para la misma zona de Végueta, en la cual se encontraron los niveles más superficiales a 0.87 m, por lo tanto el nivel freático evaluado en campo es cercano a los valores determinados en el estudio del INRENA; teniendo en consideración esta información se estableció que la profundidad mínima de la galería filtrante será de 3.00 m. En la figura N° 30; se puede observar la zona de emplazamiento de las galerías filtrantes para Végueta, esta zona es conocida como “Las Lagunas”, la cual corresponde a zona agrícola y de pastoreo.



Figura N° 30: Vista panorámica de la zona de emplazamiento de la galería

2.5.4 La calidad del agua subterránea en Végueta

En general la contaminación es un suceso vinculado a la actividad humana en general, y al nivel de desarrollo del área en donde se ubica la galería en particular, esta afecta la calidad de las aguas, causando a mediano o largo plazo, la contaminación del agua subterránea. Por lo tanto es imprescindible el establecimiento de estrictas zonas de protección sanitaria de la fuente de agua subterránea. El estudio del INRENA, y la EPS Emapa Huacho S.A; han proporcionado información referida a ensayos de calidad del agua potable en la localidad de Végueta, de donde se obtuvieron los siguientes resultados, como se puede observar en el cuadro N° 04.

Cuadro N° 04: Resultados del análisis físico-químico del agua en Végueta

Tipo de análisis	Unidad	Galería filtrante Végueta
PH		7.2
Temperatura	°C	S/D
Conductividad	µmhos/cm	1650
Alcalinidad Total	mg/l	S/D
Dureza Total	mg/l	160
Cloruros	mg/l	230
Sulfatos	mg/l	250
Acidez	mg/l	S/D
Nitratos	mg/l	19.5
Sólidos Totales	mg/l	S/D

Fuente: Miguel Lipa Consultoría, Supervisión y Construcción

En el cuadro N° 05; se puede observar el rango de calidad del agua según su dureza, se debe considerar que este es un parámetro que afecta solamente la calidad estética del agua.

Cuadro N° 05: Rango de calidad de las aguas según su dureza

CLASIFICACIÓN	PPM DE CaCO ₃
Agua muy blanda	<30
Agua blanda	30-150
Agua dura	150-300
Agua muy dura	>300

Fuente: INRENA

En el cuadro N° 06; se puede observar los límites máximos permisibles para la calidad del agua potable o para consumo humano, para los cuales se ha tomado los valores guía que recomienda la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Cuadro N° 06: Límites máximos permisibles de potabilidad según la OMS

ELEMENTO	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
PH	7-8.50
Dureza (mg/l)	250 - 500
Ca (mg/l)	75 - 200
Mg (mg/l)	125
Na (mg/l)	120
Cl (mg/l)	250
SO ₄ (mg/l)	250

Fuente: OMS

De los resultados del cuadro N° 04 (pág.45); se tiene que la conductividad eléctrica tiene un valor de 1650 umhos/cm, que corresponde a aguas de mediana mineralización (agua dulce), la dureza total tiene un valor de 160 mg/l, por lo tanto es aceptable, ya que es menor al límite máximo permisible; en cuanto a los sulfatos son altos con 250 mg/l; pero se encuentra en el límite máximo permisible; además el agua del acuífero tiene un PH 7.20; es decir es alcalina, no presenta olor; y tiene un sabor aceptable. En resumen; el acuífero de Végueta es una fuente apropiada o apta para el consumo humano, pero se requiere controlar los elementos químicos (insecticidas) en los terrenos agrícolas adyacentes a la galería filtrante.

CAPÍTULO III: DISEÑO HIDRÁULICO Y PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA GALERÍA FILTRANTE

3.1 DISEÑO DE LOS COMPONENTES DE LA GALERÍA FILTRANTE

Una vez establecido la ubicación, dirección de la galería, profundidad mínima, el caudal específico y la longitud de la galería; se procede al diseño de los elementos que la componen, según lo que se describe a continuación.

3.1.1 Conducto colector

En el diseño del conducto colector de la galería, se deben considerar los siguientes aspectos:

- Sección con capacidad suficiente para que fluya el caudal de diseño.
- Mínimas pérdidas por fricción.
- Área de las aberturas del dren que faciliten el flujo de agua del acuífero hacia el conducto.

a) Diámetro

El diámetro mínimo a utilizar es el que garantiza el escurrimiento del caudal de diseño con un tirante (d) no mayor al 50% del diámetro, pero en ningún caso el diámetro de la tubería deberá tener menos de 200 mm; el diámetro facilita la limpieza y mantenimiento de los drenes. En casos de galerías muy largas, es posible usar distintos diámetros, teniendo en cuenta que en los tramos iniciales no es necesario una alta capacidad de conducción. Para el diseño del conducto colector de la galería filtrante se estableció un diámetro de 12" (300 mm).

En el diseño de este tipo de conductos, los requisitos a cumplir en la alternativa más eficiente de las secciones circulares, se sintetizan en los siguientes puntos: suponiendo un diámetro D ; ya sea en tamaños comerciales y/o para secciones preconstruidas, la relación $k = d/D$ debe ser menor o igual a 0.5, porque la tubería deberá conducir con un tirante no mayor al 50% del diámetro. Así mismo las consideraciones para el flujo en el conducto colector son las siguientes:

- El escurrimiento debe ser tranquilo; donde el tirante normal sea mayor al tirante crítico ($d > d_c$), para un régimen de la corriente de fácil control.

- La velocidad media (V) se debe encontrar entre una velocidad mínima de ($V_{\min}=0.6 \text{ m/s}$) y una máxima de ($V_{\max}=0.9 \text{ m/s}$).

En el cuadro N° 07; se puede observar las ecuaciones para calcular las características geométricas de la sección circular o conducto colector.

Cuadro N° 07: Ecuaciones para el cálculo de las características geométricas de la sección circular del canal o conducto.

Intervalo	$0 < \frac{d}{D} \leq 0.5$	(10)
Ángulo en radianes (θ)	$\theta = 2 * \arccos(1 - 2 * \frac{d}{D})$	(11)
Ancho de la superficie libre del agua (T)	$D * \text{sen} \frac{\theta}{2}$ ó $2 * \sqrt{d * (D - d)}$	(12)
Área hidráulica (A)	$\frac{D^2}{8} * (\theta - \text{sen} \theta)$	(13)
Perímetro mojado (P)	$\frac{D * \theta}{2}$	(14)

Fuente: Elaboración propia

En la figura N° 31; se aprecia las características geométricas de la sección circular de la galería filtrante tipo dren.

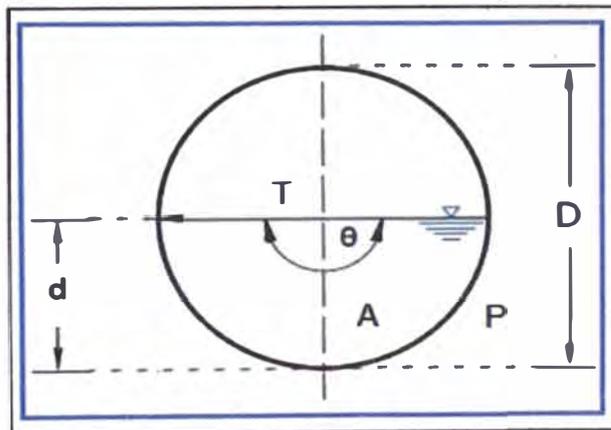


Figura N° 31: Características geométricas de la sección circular del canal o conducto

Generalmente; la metodología más utilizada en el diseño hidráulico de canales es la propuesta por Manning, la cual calcula la velocidad del agua y el gasto que pasas por el conducto con las siguientes ecuaciones:

$$V = \frac{r^{\frac{2}{3}} * s^{\frac{1}{2}}}{n} \quad (15)$$

Donde:

V= Velocidad media (m/s).

r= Radio medio hidráulico (m).

s= Pendiente del conducto (m/m).

n= Coeficiente de rugosidad de Manning (adimensional), ver cuadro 08.

$$Q = q * L \quad (16)$$

Donde:

Q= Gasto del conducto (m³/s).

q= Gasto unitario (m³/s-m).

L= Longitud total del conducto (m).

Cuando el conducto de la galería filtrante es muy largo, es recomendable utilizar dos diámetros diferentes a lo largo del mismo para que sea más económicamente factible.

Al multiplicar la ecuación (15) por el área hidráulica, se obtiene el gasto (Q):

$$Q = A * \frac{r^{\frac{2}{3}} * s^{\frac{1}{2}}}{n} \quad (17)$$

Donde:

A= Área hidráulica (m²).

A continuación, se muestran los pasos a seguir para el diseño hidráulico del conducto de la galería filtrante, mostrándose la plantilla de cálculo en los cuadros N° 08 y N° 09.

- 1) Se propone un diámetro del conducto.
- 2) Se calcula el tirante con la relación $k=d/D$, teniendo en cuenta que k debe ser menor o igual a 0.5; en este caso se utiliza el 0.5, porque representa el tirante al 50%.

3) Se determina el ángulo (θ), para este caso será igual o muy cercano a 180° ó π radianes.

4) Se calcula el área hidráulica y el perímetro mojado.

5) Con los valores anteriores de área y perímetro se obtiene el radio medio hidráulico.

6) Con la ecuación de Manning se obtiene la velocidad del agua que pasa por el conducto, cuidando de no sobrepasar las restricciones, cuando la velocidad se encuentre dentro de dicho intervalo, se acepta el valor del diámetro propuesto y se procede al afine del tirante.

En el cuadro N° 08; se muestra los pasos de la primera iteración, para el diseño del canal de sección circular.

Cuadro N° 08: Alternativas para el diseño del canal.

Q=	Valor Conocido		$k = \frac{d}{n} \leq 0.5$	5
n=	Valor Conocido			
s=	Valor Conocido			
1	2	3	4	5
Diámetro	Tirante	Ángulo	Ancho de la SLA	Área
D	d	θ	T	A
(m)	(m)	(radianes)	(m)	(m ²)
Se propone	$\frac{0.5}{D}$	$2 \operatorname{arccos} \left(1 - \frac{2d}{D}\right)$	$D \operatorname{sen} \frac{\theta}{2}$ ó $2\sqrt{d(D-d)}$	$\frac{D^2}{8} (\theta - \operatorname{sen} \theta)$
Vmáx=	0.9 m/s			
Vmin=	0.6 m/s			
6	7		8	
Perímetro	Radio Hidráulico		Velocidad	
P	R		v	
(m)	(m)		(m/s)	
$\frac{D\theta}{2}$	$\frac{A}{P}$		$\frac{1}{n} S^{1/2} r^{2/3}$	

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro N° 09; se muestra los pasos para realizar el afine del tirante de flujo en el canal de sección circular.

Cuadro N° 09: Afine del tirante de flujo

Q=	Valor Conocido		D=	Valor obtenido en la tabla anterior
n=	Valor Conocido			
s=	Valor Conocido			
1	2	3	4	5
Tirante	Velocidad	Gasto	Velocidad	Diferencia
d	v ₂	Q ₂	v	%
(m)	(m/s)	(m ³ /s)	(m/s)	
Se propone	$\frac{1}{n} s^{1/2} r^{2/3}$	$v_2 * A$	$\frac{Q}{A}$	

Fuente: Elaboración propia

A continuación se indican los pasos a seguir para afinar el tirante de flujo en el canal circular; con lo cual también se podrá verificar la relación $k=d/D$, la cual debe ser menor a 0.50.

- 1) Se propone un tirante, comenzando con el obtenido del cuadro N° 08.
- 2) Se obtiene la velocidad con la ecuación de Manning.
- 3) Se calcula el gasto al multiplicar la velocidad obtenida por el área hidráulica.
- 4) Se obtiene la velocidad con el gasto que se tiene como dato, dividiéndose por el área hidráulica.
- 5) Se comparan las dos velocidades obtenidas y la diferencia porcentual debe ser igual o muy cercana a cero, en caso contrario se debe proponer un nuevo tirante y repetir los pasos anteriores.

En el anexo C, se presenta la memoria de cálculo del conducto colector siguiendo los pasos descritos anteriormente.

b) Tipo de material

Por lo general, se utilizan las tuberías comerciales disponibles, entre las que se pueden mencionar: las de cloruro de polivinilo (PVC), asbesto-cemento, hierro fundido y concreto simple o armado. La selección del tipo de material está condicionada por la resistencia estructural del conducto y su capacidad para reaccionar con la calidad de agua. Adicionalmente, los conductos empleados debe ser fáciles de perforar. Si se evalúan los diferentes tipos de materiales, se encuentra que la tubería de PVC presenta grandes ventajas: es de menor costo, liviana, induce pocas pérdidas por fricción, fácil de transportar, instalar y perforar, no se corroe y tiene una larga vida útil. Los conductos de asbesto-cemento tienen la desventaja de ser frágiles y pesados, y además, de difícil perforación. Su manejo e instalación es delicado, por lo que exige mano de obra especializada. El hierro fundido tiene a su favor la alta resistencia a las cargas, su gran durabilidad y el hecho de que permite un alto porcentaje de área abierta. Sin embargo, tiene el inconveniente que es costoso y propenso a la formación de incrustaciones las que disminuyen su capacidad hidráulica. Las tuberías de concreto son muy pesadas y frágiles, lo que complica su manejo, perforación e instalación. No obstante, pueden ser instaladas en pequeños tramos con las juntas abiertas.

Cuadro N° 10: Valores de Coeficiente de Rugosidad de Manning para tuberías de diferente material

Material	Valores		
	Mínimo	Normal	Máximo
Concreto	0.013	0.017	0.02
Asbesto cemento	0.009	0.01	0.011
Polietileno o PVC	0.007	0.008	0.01
Fierro fundido	0.011	0.014	0.016
Acero remachado en espiral	0.013	0.015	0.017

Fuente: SAGARPA –México

Para el diseño de la galería filtrante del presente informe se seleccionará una tubería de PVC-UF (unión flexible); además será corrugada y perforada. Según el cuadro N° 10; se elegirá un coeficiente de rugosidad de Manning con un valor de 0.01, para la tubería de PVC.

c) Velocidad

Para evitar la acumulación del material fino que pueda entrar al conducto, la tubería del dren debe tener una pendiente adecuada que facilite su auto limpieza. Normalmente, la velocidad de escurrimiento del agua en el dren debe ser menor a 0.90 m/s pero con un valor mínimo de 0.60 m/s. De esta manera, el material fino podrá ser arrastrado hasta la cámara colectora donde se depositará para su eliminación. La velocidad de auto-limpieza se logra con pendientes que varían de 0.001 m/m a 0.005 m/m. No se recomiendan pendientes muy altas para evitar profundizaciones excesivas en casos de galerías de gran longitud.

Para el diseño del conducto colector de la galería filtrante en Végueta; se considerará una pendiente de 0.003 m/m. La velocidad en el conducto colector es de 0.756 m/s que corresponde a un tirante de agua de 29.48% del valor del diámetro de la tubería, lo cual está en el rango de velocidades recomendadas.

d) Área abierta

En el diseño del área perimetral abierta de los conductos, se deben tomar en consideración fundamentalmente dos aspectos:

- Pérdida de la resistencia estructural de la tubería.
- Velocidad de ingreso.

Existen diversas opiniones acerca del valor de la máxima velocidad de entrada permisible para evitar el arrastre de partículas finas. Estos valores varían desde 2.5 cm/s hasta 5 cm/s, con un valor recomendado de 3 cm/s y calculado para un coeficiente de contracción de entrada por orificio de 0.55. En todo caso, es recomendable disponer de la mayor cantidad de área abierta para tener bajas velocidades de entrada.

El área abierta por unidad de longitud del conducto estará dada por la siguiente ecuación:

$$A = \frac{q}{V_e + C_c} \quad (18)$$

Donde:

A = Área abierta por unidad de longitud del conducto (m²).

q = Caudal de diseño de la galería por unidad de longitud (m³/s/m).

V_e = Velocidad de entrada (m/s).

C_c = Coeficiente de contracción (adimensional).

Tomando como referencia las variables para hallar el área perforada por unidad de longitud se determinó su valor en:

$$A = 67.27 \text{ cm}^2$$

- Forma, tamaño y distribución de las aberturas

El tipo de abertura que se practica en las tuberías son las perforaciones y las ranuras, mismas que pueden ser realizadas con taladros o discos. Las dimensiones de las perforaciones dependen de las características del conducto. Según la publicación "The Design of Small Dams", del "The Bureau of Reclamation", la relación que debe existir entre la mayor dimensión de la abertura y el tamaño de los granos del filtro está dada por la siguiente expresión:

$$\frac{D_{85} \text{ de la grava del forro filtrante}}{\text{Ancho o diámetro de las aberturas}} \geq 2 \quad (19)$$

(*) D_{85} es el tamaño de la abertura del tamiz por donde pasa el 85 por ciento en peso del material filtrante. A su vez, la relación de diámetros entre el forro filtrante y el material granular del acuífero debe ser igual o menor a cinco.

$$\frac{D_{15} \text{ de la grava del forro filtrante}}{D_{85} \text{ del material granular del acuífero}} \geq 5 \quad (20)$$

La distribución de las aberturas se hace de forma tal que no reduzca sustancialmente la resistencia a las cargas externas del conducto original. Se recomienda que tanto las perforaciones como las ranuras se distribuyan uniformemente en el área perimetral, tal como se muestra en la figura N° 32, lo que evita la creación de zonas débiles por donde podría fallar la tubería.

Para el caso de las galerías filtrantes en Végueta; se ha considerado que el tipo de las aberturas, serán perforaciones de 3/8" de diámetro, como se puede observar en la figura N° 32.

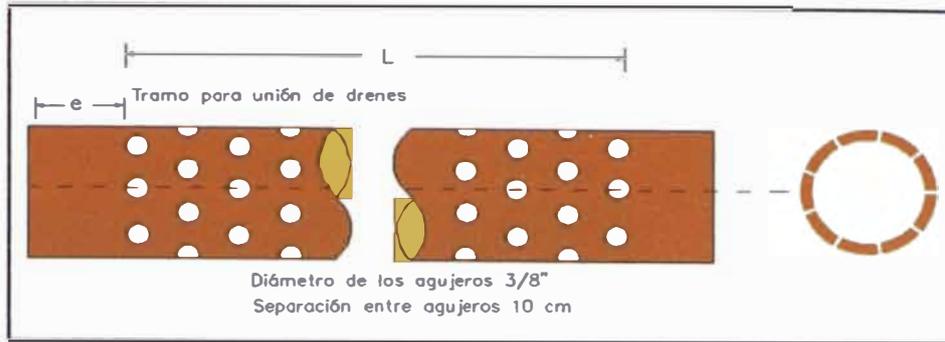


Figura N° 32: Esquema de perforaciones del conducto colector.

El máximo porcentaje de área perimetral abierta depende del tipo de material del conducto, de modo que a mayor resistencia del material, mayor área abierta permisible. En pruebas realizadas con tuberías de PVC de 200mm de diámetro, la resistencia a la carga externa aplicada con platos paralelos, disminuyó en un 20% con un área abierta del 3,2%. Como los conductos solamente soportan cargas de relleno, es poco probable que colapsen debido a la pérdida de resistencia causada por las perforaciones. Por ejemplo, una tubería de PVC de 200 mm de diámetro, clase 10, en una zanja de 0,60 m de ancho, debe resistir, en el peor de los casos, una carga de 1,680 kg por metro lineal, que es mucho menor que la carga máxima admisible en pruebas de laboratorio con un área perimetral abierta de 3,2% y que es de 3,050 kg/m. Para el diseño de la galería filtrante se considerará perforaciones de 3/8" de diámetro espaciados cada 10 cm, formando 9 hileras longitudinales, el detalle se puede ver en el plano GF-ST-01 (ver anexo E).

3.1.2 Relleno filtrante

Este elemento es importante para el buen funcionamiento de las galerías de filtración. La función principal del relleno filtrante; es impedir que el material fino del acuífero llegue al interior del conducto sin que sea afectada la velocidad de filtración, debiendo el forro filtrante ser mucho más permeable que el acuífero.

A continuación se mencionan las características físicas; como la granulometría de las capas del relleno filtrante, la relación de los tamaños del material filtrante con respecto al diámetro de las perforaciones del dreny al tamaño del material granular del acuífero.

- El relleno filtrante se compone de capas de gravas de la siguiente granulometría, como se puede observar en el cuadro N° 11.

Cuadro N° 11: Granulometría del relleno filtrante.

Capa	Diámetro (mm)		Espesor mínimo (cm)
	Mínimo	Máximo	
Exterior	0.5 - 2.0	1.5 - 4.0	5
Media	2.0 - 2.5	4.0 - 15.0	5
Interior	5.0 - 20.0	10.0 - 40.0	10

Fuente: OPS/CEPIS/UNATSABAR

Como se observa en el cuadro N° 11; el espesor de cada una de las capas del filtro no exceden los 5 ó 10 cm para lograr una filtración eficiente. Sin embargo, para evitar que durante la construcción queden tramos de conducto sin recubrimiento, puede ser necesario usar mayores espesores, lo cual no afecta el funcionamiento de los drenes, por lo contrario; lo protege contra cualquier defecto constructivo, dado que a medida que aumenta el espesor de las capas del forro filtrante, disminuye el riesgo que los granos más finos del acuífero sean arrastrados hacia el interior del conducto.

Para el relleno filtrante de la galería se consideró 3 capas distribuidas de la siguiente manera:

La capa 1 o capa interior estará conformada por grava clasificada; lavada de tamaño máximo 1 ½", y tendrá un espesor de 0.60 m. La capa 2 o capa media estará compuesta por grava clasificada y lavada de tamaños de ¼" a ½", y tendrá un espesor de 0.30 m. La capa 3 o capa exterior estará conformada por grava clasificada y lavada de tamaño N°4, y tendrá un espesor de 0.30 m.

En la figura N° 33 se observa la distribución de las capas del relleno filtrante. Así mismo; en el plano GF-ST-01 (ver anexo E); se muestran los detalles de la sección y especificaciones técnicas de la galería filtrante.

- El total del relleno filtrante deberá ser cubierto con geotextil confeccionado con materiales sintéticos y resistentes a el agua
- La relación entre el diámetro de la capa interior de grava clasificada y la dimensión de la abertura del dren deberá cumplir la siguiente relación.

$$\frac{D_{85} \text{ de la grava correspondiente a la capa interior}}{\text{Ancho o diámetro de la abertura}} \geq 2 \quad (21)$$

D_{85} =Tamaño de abertura por donde pasa el 85% en peso del material

- En el caso que el relleno filtrante no lleve geotextiles de cobertura, la relación entre el diámetro del material filtrante de la capa exterior de grava clasificada y el diámetro del material del acuífero deberá cumplir la siguiente relación.

$$\frac{D_{15} \text{ de la grava correspondiente a la capa exterior}}{D_{85} \text{ del material granular del acuífero}} \geq 5 \quad (22)$$

D_{85} , D_{15} =Tamaño de abertura por donde pasa el 85% o el 15% en peso del material

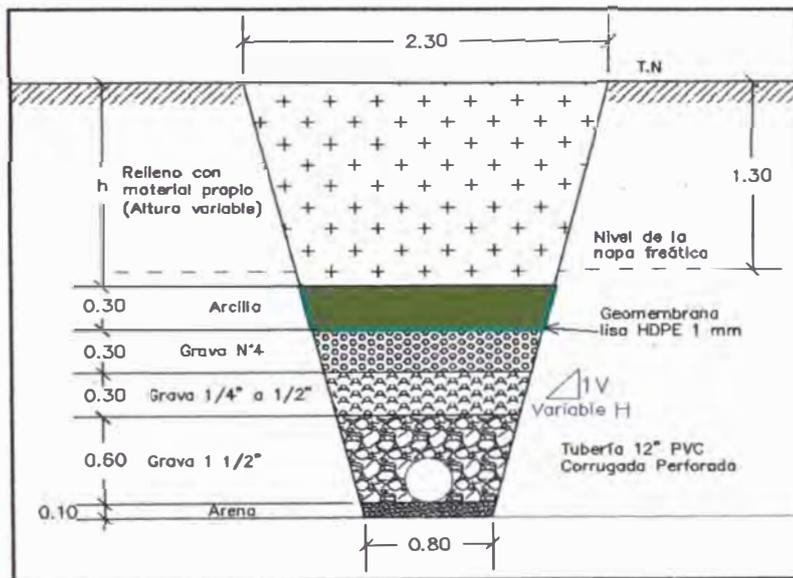


Figura N° 33: Distribución de capas en el relleno filtrante.

3.1.3 Sello impermeable

En las galerías ubicadas en los acuíferos con escurrimiento propio, es recomendable sellar la parte superior del relleno de la galería. El sello se ejecuta con material impermeable (arcilla) para evitar que el agua estancada se filtre hacia la galería y pueda contaminar el agua captada. Adicionalmente, la función del sello impermeable es aumentar la longitud del recorrido del agua superficial a través de la masa de suelos, y así mejorar su calidad física y bacteriológica. El

sello impermeable puede estar formado por una capa de arcilla de unos 30 centímetros de espesor; este sello se puede complementar; colocando una geomembrana en su parte inferior; tal como se observa en la figura N° 34.

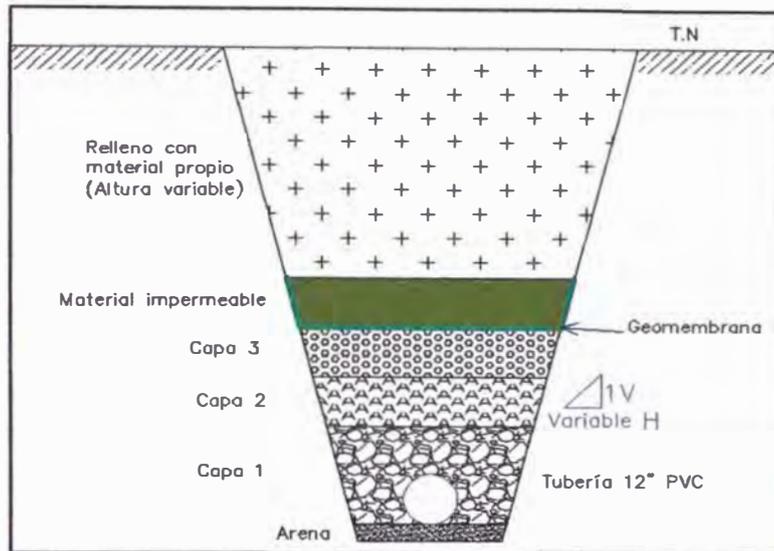


Figura N° 34: Sello impermeable de la galería filtrante.

3.1.4 Cámaras de inspección

En casos de galerías de gran longitud, es conveniente colocar cámaras de inspección en el extremo inicial y a intervalos regulares para facilitar su mantenimiento. Sin embargo, en pequeñas galerías, en el inicio del ramal pueden colocarse tapones. Las cámaras de inspección son similares a las usadas en los sistemas de alcantarillado sanitario, distanciadas entre ellas unos 50 m para diámetros de 200 mm, y hasta de 100 m para diámetros mayores de 200 mm. Para el caso de Végueta se ha considerado que las cámaras de inspección estarán distanciadas cada 61 m, teniendo en total 3 cámaras; la primera estará ubicada al inicio, como cámara de arranque; la segunda estará ubicada al intermedio y la tercera en el extremo final de la galería filtrante.

Estas cámaras deben tener el fondo y las paredes impermeabilizados; además, la elevación de la tapa debe estar por encima del nivel máximo que alcanzan las aguas en el caso que la galería se encuentre expuesta a inundaciones. En la figura N° 35; se puede observar una sección típica de las cámaras de inspección, para las galerías filtrantes en Végueta.

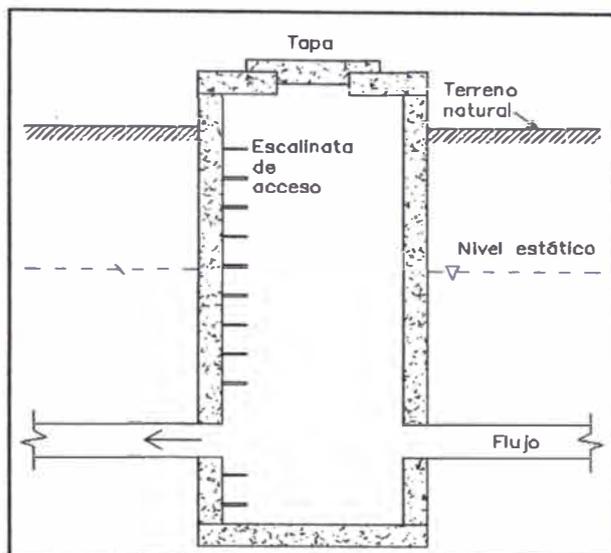


Figura N° 35: Sección típica de las cámaras de inspección.

A continuación se mencionan las características geométricas y físicas; en las cámaras de inspección de las galerías filtrantes en Végueta:

- a) Las cámaras de inspección serán circulares de 1.50 m de diámetro interior; debido a que las cámaras tendrán profundidades mayores a los 3.00 m; esto según la norma de saneamiento; además el espesor de muros, losa de fondo y techo será de 0.20 m.
- b) El techo de las cámaras de inspección será una losa de concreto armado íntimamente vinculado con el cuerpo para evitar el ingreso de agua superficial y llevará una abertura de ingreso de 0.60 m de diámetro.
- c) La abertura de ingreso deberá contar con tapa sanitaria y seguro para que impida el ingreso de personas extrañas y/o de material extraño.
- d) En el fondo de las cámaras de inspección deberá prolongarse 0.60 m por debajo de la boca de salida del dren y será totalmente plano. Este espacio servirá para la acumulación de arena.
- e) El cuerpo principal de la cámara de inspección debe sobresalir de la superficie del terreno por lo menos 0.50 m. Las paredes y el fondo de la cámara de inspección deben ser impermeables.

f) Debido a que las cámaras de inspección tienen más de 1.50 m de profundidad; estas deberán contar con escalinatas de acceso; compuestas de fierro galvanizado de 15 mm de diámetro y 0.25 m de ancho; puesto

g) El concreto a utilizar en losas de fondo, cuerpo y losa techo será de 210 kg/cm².

En el plano GF-ST-01(ver anexo E); se muestran los detalles geométricos y especificaciones técnicas de las cámaras de inspección de las galerías filtrantes para Végueta.

3.2 PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA GALERÍA FILTRANTE

3.2.1 Movimiento de tierras

Dado que el nivel de estático del agua en la zona de las galerías filtrantes está a poca profundidad de la superficie del terreno, para facilitar la excavación de zanjas, colocación de filtros y construcción de cámaras, una vez efectuado el trazo y replanteo, la excavación deberá iniciarse en sentido inverso desde la línea de conducción en la progresiva 0 + 122.1 m, que corresponde al punto de la tercera cámara de inspección, con la finalidad de que las aguas drenen hacia el punto más bajo y se bombeen a la superficie, esta actividad se realizará permanentemente mediante motobombas de 10 HP de 4", para facilitar los trabajos de excavación y relleno de las zanjas. La dirección y pendiente de la galería deben ser comprobadas cada 10 m.

La excavación se realizará en dos etapas: la primera se realizará con una excavadora sobre orugas de 115-165 HP, la que excavará una zanja de 3m de profundidad con suficiente ancho para permitir que la retroexcavadora; en la segunda etapa ingrese a dicha zanja y tenga plena libertad para realizar sus movimientos y continuar con la excavación hasta alcanzar el nivel indicado en los planos. El material de la excavación será acumulado a una distancia prudente del borde de la zanja para que no obstaculice los futuros trabajos y para que minimice el riesgo de derrumbe de las paredes de la zanja.

En el caso que se requiera la excavación manual, es importante evitar paradas imprevistas del proceso de extracción de agua durante los trabajos de excavación, porque puede crear situaciones peligrosas a los operarios, principalmente cuando se trabaja con caudales importantes, que podría conducir a que se produzca un rápido ascenso en el nivel de las aguas. Es conveniente que el extremo del tubo de succión esté ubicado en pequeñas pozas con el fondo por debajo del nivel de excavación.

3.2.2 Entibado

Cuando la excavación se realice en material muy blando y poco consolidado que pueda derrumbarse, será necesario emplear entibados. Este proceso se realiza generalmente con tablas de madera colocados verticalmente contra las paredes de la zanja. En la figura N° 36; se presentan los detalles recomendados de entibados para distintas profundidades de zanja.

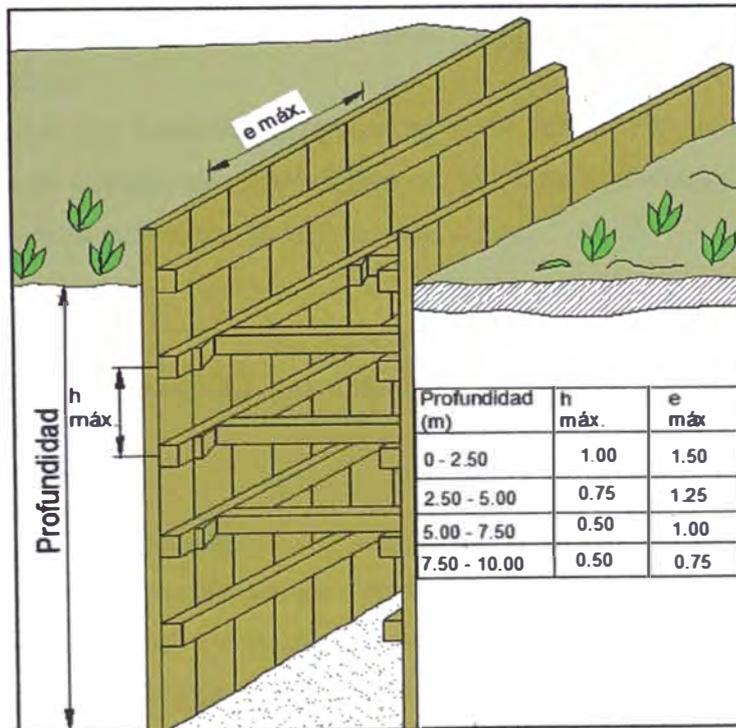


Figura N° 36: Detalle de entibados de madera para evitar deslizamientos de la zanja.

3.2.3 Refine y nivelación

Para los trabajos de refine y nivelación, primero se emplantillará el fondo de la zanja cada 10 m los puntos de nivel que correspondan, los puntos intermedios se nivelarán mediante crucetas. Así mismo; se perfilará el plano de corte para mantener un alineamiento recto y un ancho de zanja constante.

3.2.4 Materiales

a) Tubería

La tubería perforada será de PVC UF corrugada de 12", con una rigidez de 4 KN/m², deberá cumplir con las especificaciones del fabricante y normas técnicas que le sean aplicables, adicionalmente, se verificará que se encuentren libres de suciedad, rajaduras, abolladuras y cualquier otro defecto. Los orificios deben ser circulares de 3/8" de diámetro, sin presentar rebabes de la perforación, ubicados formando 9 hileras longitudinales distanciados 0.10 m entre sí.

b) Grava

La grava debe ser de tamaño uniforme de 4.76 mm (N°4) a 38.1 mm (1 ½") preferiblemente de superficie y forma tipo canto rodado. Antes de su colocación debe ser lavado para preservar la calidad del agua.

c) Arena

La arena debe ser limpia, de granulometría uniforme, granos duros y poco angulosos.

d) Geomembrana impermeable

La geomembrana impermeabilizante será del tipo polietileno de alta densidad (HDPE), de textura lisa de 1 mm de espesor, fabricada de materiales inocuos y debe cumplir con las especificaciones técnicas del fabricante. Antes de su colocación el material debe ser inspeccionado y comparado con las especificaciones del fabricante, el material debe ser revisado de cualquier daño producto del transporte y descarga. La colocación, empalmes y traslapes se efectuará de acuerdo a las recomendaciones del fabricante.

e) Material de relleno

El material de relleno a utilizar en el tapado de zanja, será material propio de la excavación, limpio y libre de materiales extraños.

3.2.5 Instalación

Antes de colocar la grava se deberá eliminar del fondo de la zanja la presencia de barro y limos. La colocación de la grava en la zanja se efectuará mediante canaletas de madera, adecuadamente inclinadas para que la grava no roce con las paredes de la zanja. En todo momento se tendrá cuidado de evitar que materiales de las paredes de zanja se desprendan. El ejecutor dispondrá de escaleras adecuadas para el desplazamiento del personal. Una vez colocada y nivelada la cama de 0.10 m, de arena se bajará cuidadosamente la tubería y se procederá a su instalación. Para asegurar la correcta pendiente de ésta, se debe emplear el procedimiento constructivo aplicado en la instalación de alcantarillado sanitario.

El tapado de la tubería se hará a mano con lata o lampa, evitando en todo momento el impacto directo de la grava con la tubería hasta cubrirlo totalmente por lo menos 0.20 m para completar la colocación de grava podrá utilizarse nuevamente las canaletas con esparcido a lampa hasta alcanzar el nivel indicado y pareja en ambas direcciones. La colocación de la capa de arena podrá hacerse con carretilla o con una retroexcavadora hasta terminar en una superficie pareja al nivel que tuvo la zanja antes de iniciar la segunda etapa de excavación.

La superficie de arena se nivela con listón de madera y se extiende la geomembrana impermeabilizante longitudinalmente con un ancho que traslape los bordes de la zanja rellenada (traslape de 0.30 m). Para el relleno final, el material propio de la excavación, apilado previamente cerca de la zanja, se desplazará hasta esta, mediante un cargador frontal, hasta alcanzar el nivel del terreno natural.

3.2.6 Cámaras de arranque y de inspección.

Las cámaras de arranque y las cámaras de inspección de 1.50 m de diámetro, cuya ubicación, cotas de fondo, de salida de agua y tapa, se indican en el plano GF-PP-01, se construirán de concreto armado $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con acero de $f'y = 4200 \text{ kg/cm}^2$. Las dimensiones, los detalles del refuerzo, y otras consideraciones se indican en el plano GF-ST-01 (ver anexo E). Para la construcción de las cámaras de inspección, se utilizan los mismos procedimientos utilizados para la construcción de las cámaras de inspección de los sistemas de alcantarillado.

Para el encofrado se utilizarán moldes metálicos circulares, esto para facilitar los trabajos y lograr un mejor acabado.

Para el vaciado de las losas de fondo, el concreto deberá incluir un aditivo acelerador de fragua y se aislará de la presencia de agua mediante equipo de bombeo.

El vibrado del concreto se hará mediante vibradores de concreto de 4 HP. El tiempo mínimo para el desencofrado será de 02 días y el periodo de curado de 7 días, la base de fondo, paredes y techo serán tarrajeadas.

Todas las cámaras llevan tapa sanitaria, la que quedará sellada con mortero de cemento: arena 1:6. Todas las cámaras quedarán 0.50 m sobre la superficie del terreno.

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- El presente informe es a nivel de un perfil de pre diseño; debido a que la topografía de detalle de la zona de captación fue una limitante por compromiso del convenio, sin embargo para dar solución a este tema, se ha utilizado la topografía de google earth en el sistema de referencia WGS 84, en coordenadas UTM.
- Las galerías filtrantes comocaptación de un sistema de abastecimiento de agua potable es una alternativa más atractiva en localidades que se encuentran en zonas donde existen acuífero de buenas condiciones hidráulicas y cuyos niveles freáticos se ubican a poca profundidad.
- La calidad de las aguas subterráneas en un acuífero, está directamente influenciada por la actividad humana, es por ello que la galería filtrante es ubicada en zonas distantes a centros poblados y zonas industriales, dado que a futuro ponen en riesgo la calidad del agua.
- El agua captada a través de galerías filtrantes no requiere un tratamiento o proceso de clarificación sofisticado, sólo es necesario desinfectarla antes de su distribución; por lo tanto, es una alternativa de captación más económica y viable para pequeñas localidades como es el caso de Végueta.
- La conductividad hidráulica del acuífero en la zona de Végueta determina que el acuífero tiene buenas condiciones hidráulicas, con una calificación de acuífero regular a bueno (permeable).
- El valor del coeficiente de almacenamiento de 1.15%, indica que el acuífero en la zona de Végueta; tiene una alta capacidad de almacenar agua y cederla después con facilidad.
- El nivel freático en la zona de emplazamiento de la galería se encuentra a poca profundidad (1.30 m en promedio), así mismo en estudios anteriores se

realizaron pruebas de campo en esta zona en los años 2005 y 2009, reportando valores similares o cercanos, además, en esta zona el agua subterránea no se está explotando en grandes caudales, lo que asegura en el tiempo la disponibilidad del recurso hídrico y la no sobre explotación del mismo.

- El tipo de suelo existente en la zona de emplazamiento de la galería corresponde a una arena limosa bien gradada, lo que confirma la facilidad del desplazamiento del agua subterránea (conductividad hidráulica), y permite disponer de mayor cantidad de agua, además, facilita los trabajos de excavación e instalación durante la construcción.
- En el cálculo del rendimiento o caudal unitario de una galería que compromete la parte superior del acuífero con escurrimiento propio, se determinó en base a la profundidad, la conductividad hidráulica, la pendiente del acuífero, y el radio de la tubería (valores conocidos), el abatimiento de la napa es la variable que determina el máximo caudal que se podrá extraer con esa galería, y esto ocurre cuando el abatimiento alcanza la parte superior del dren entubado (clave de la tubería).
- La dirección de la galería debe ser perpendicular al flujo de agua subterránea, de tal manera que se pueda captar la mayor cantidad de agua.
- La velocidad en el conducto colector (tubería perforada) es 0.756 m/s, esto facilitará la auto limpieza de la galería; además, la relación entre tirante de agua diámetro de la tubería ($k=d/D$) es de 0.29, que es menor a 0.50.
- La tubería de PVC-UF (unión flexible), es la más apropiada para la galería filtrante, dado que tiene un menor coeficiente de rugosidad (permite obtener mayores caudales que otros materiales como el concreto, el asbesto cemento, etc.), además; es fácil de transportar, manipular, perforar, instalar y tiene una larga vida útil.
- El porcentaje del área perforada de la tubería por metro lineal es de 0.71 %, esto permitirá controlar la velocidad de ingreso del agua por los orificios, este

valor de la velocidad es en promedio 3 cm/s, de tal manera que el arrastre de las partículas finas hacia la tubería estarán controladas o disminuidas.

- El relleno filtrante está conformado por gravas clasificadas y lavadas de tamaños 4.76 mm hasta 38.1 mm, este paquete de grava tiene una altura total de 1.20 m, distribuido en 3 capas de mayor a menor tamaño desde el fondo de la galería, su función será impedir que el material fino del acuífero llegue al interior del conducto sin que sea afectada la velocidad de filtración.
- El proceso constructivo de la galería filtrante es una operación sencilla, la cual se debe controlar mediante bombeo en todo momento, el ingreso del agua a la zanja durante los trabajos de excavación, instalación de tubería, relleno filtrante y sellado de la galería. De estas actividades, la excavación es la más riesgosa porque se realiza en material no consolidado que es el caso del acuífero en la zona de Végueta, para controlar ello se debe instalar un sistema de entibado para la estabilización de las paredes de la zanja.
- El agua captada por las galerías filtrantes se almacenará en una cisterna enterrada (ubicada en la estación de bombeo); y luego será bombeada al reservorio de almacenamiento, mediante una línea de impulsión, este componente del sistema se ha desarrollado en otro informe de suficiencia, por el responsable indicado.

4.2 RECOMENDACIONES

- Se deberá realizar un levantamiento topográfico en la zona de emplazamiento de la galería, con curvas de nivel cada 0.50 m, y referenciado en el sistema WGS-84, con coordenadas UTM.
- Considerar un programa de monitoreo de los niveles freáticos en la zona de emplazamiento de la galería, en la temporada de sequía y de lluvias en la cuenca de Huaura. Para esto se debe ejecutar una red de calicatas ubicadas en la zona de influencia de la galería.

- Determinar un perfil estratigráfico más detallado en el acuífero de la zona de Végueta. Así mismo realizar análisis químicos a las muestras de suelo, para verificar el contenido de sulfatos, cloruros y sales solubles totales.
- Verificar la calidad del agua subterránea mediante análisis físico-químico y bacteriológico, tomando como referencia los límites máximos permisibles para la potabilidad del agua de la organización mundial de la salud.
- De ser posible costear pruebas de bombeo, deberán realizarse en el acuífero donde se ubicará la galería filtrante, para determinar en campo los parámetros hidrogeológicos como la conductividad hidráulica, la transmisividad, la pendiente del acuífero, el coeficiente de almacenamiento y el radio de influencia.

BIBLIOGRAFÍA

Arocha Ravelo Simón, "Abastecimiento de agua", Vega, España, 1980.

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, "Manual de diseño de galerías filtrantes", Agencia Suiza para el desarrollo y la cooperación, Lima-Perú, 2002.

Delgado Gutarra Louise Enrique, "Estudio de las Galerías Filtrantes de Nazca", Tesis profesional UNI-FIC, Lima-Perú, 2003.

El Colegio Mexiquense, A.C, "Las galerías filtrantes del Alto Lerma: usos y manejos sociales. Economía, Sociedad y Territorio, vol. XI, núm. 36, pp. 455-485", Universidad Autónoma del Estado de México, México, 2011.

Fair-Geyer & Okun, "Abastecimiento de agua y remoción de aguas residuales", Limusa, México, 2008.

INRENA (Instituto nacional de recursos naturales), Intendencia de recursos hídricos, "Inventario de fuentes de agua subterránea en el valle Huaura", INRENA, Lima-Perú, 2005.

Lopez Cualla Ricardo Alfredo, "Diseño de acueductos y alcantarillados", Alfaomega, Colombia, 2003.

Miguel Lipa Consultoría, Supervisión y Construcción, "Estudio de pre inversión a nivel de perfil del proyecto: Mejoramiento y ampliación de los sistemas de agua potable y alcantarillado de la provincia de Huaura, enmarcados en el ámbito de jurisdicción de la EPS Emapa Huacho S.A", Miguel Lipa Consultoría, Supervisión y Construcción, Lima-Perú, 2008.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, "Reglamento Nacional de Edificaciones", Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento CAPECO, Lima-Perú, 2006.

Sánchez San Román, Francisco Javier, “Conceptos fundamentales de hidrogeología” e “Hidráulica subterránea: principios básicos”, Departamento de Geología- Universidad de Salamanca, España, 2011.

Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación (SAGARPA), “Galerías filtrantes”, SAGARPA, México, 2009.

ANEXOS

ANEXO A : MEMORIA DE CÁLCULO DEL PERIODO DE DISEÑO.

ANEXO A: MEMORIA DE CÁLCULO DEL PERIODO DE DISEÑO

A.1 CÁLCULO DEL PERIODO DE DISEÑO

a) Definición:

En una obra de ingeniería civil, es el número de años durante los cuales una obra determinada prestará el servicio para la cual fue diseñada. Puede definirse también como el tiempo para el cual el sistema será 100% eficiente, ya sea por la capacidad en la conducción del caudal deseado o por la existencia física de las instalaciones.

b) Selección del periodo de diseño

- Reglamento Nacional de Edificaciones RNE

Para proyectos de poblaciones o ciudades, así como para proyectos de mejoramiento y/o ampliación de servicios en asentamientos existentes, el periodo de diseño será fijado por el proyectista utilizando un procedimiento que garantice los periodos óptimos para cada componente de los sistemas.

- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento

Periodos recomendables de las etapas constructivas

- Para poblaciones de 2,000 hasta 20,000 habitantes se considerará de 15 años.
- Para poblaciones de 20,000 a más habitantes se considerara de 10 años.
- Los plazos se justificarán de acuerdo con la realidad económica de las localidades.

- Dirección General de Salud Ambiental

Los periodos de diseño se determinarán considerando los siguientes factores:

- Vida útil de las estructuras de concreto y de los equipos electromecánicos.
- Facilidad o dificultad para hacer ampliaciones.
- Crecimiento y/o decrecimiento poblacional.
- Capacidad económica para la ejecución de las obras.

Para el diseño se tomará en cuenta los siguientes valores:

- Obras de captación = 20 a 30 años
- Pozos = 20 a 30 años
- Plantas de tratamiento, reservorios = 20 a 30 años
- Tuberías de conducción y de distribución = 20 a 30 años
- Equipo de bombeo = 5 a 10 años

- Referencias sobre valores utilizados en proyectos

Cuadro A1: Periodos de diseño utilizados en proyectos

Tipo de estructura	Periodo de diseño
-Fuentes subterráneas	20 a 30 años
-Estación de bombeo:	
Bombas y motores	10 a 15 años
Instalaciones y edificios	20 a 25 años
-Estanques de almacenamiento	
De concreto	30 a 40 años
Metálicos	20 a 30 años

Fuente: "Abastecimiento de agua", Simón Arocha Ravelo

c) Periodo óptimo de diseño

Criterios económicos en los que se prioriza la inversión y se minimizan las capacidades ociosas, seleccionando el periodo óptimo según la ingeniería del proyecto y el tipo de servicio.

Se efectúa con el criterio de sensibilidad económica. Utiliza la economía de escala, siendo la ecuación de costos:

$$C=KT^\alpha \tag{i}$$

Donde:

C=Costo del elemento

K=Factor de ajuste que depende de las características del insumo de la obra.

T=Tamaño del elemento

 En tuberías.....diámetro

 En reservorios.....volumen

α =Factor de economía de escala

Cuadro A2: Factores de economía de escala

Obra	Factor de economía de escala α
Captación	0.2
Lineas de conducción, aducción e impulsión	0.4
Planta de tratamiento	0.7
Reservorios	0.6
Redes hidráulicas	0.3
Redes de alcantarrillado	0.4

Fuente: Hernán Alean Suarez-Universidad de Los Andes

-Periodo óptimo de diseño sin déficit X_1

$$X_1 = \frac{2.6 * (1 - \alpha)^{1.12}}{r} \quad (ii)$$

Donde:

X_1 = Periodo óptimo de diseño sin déficit

α = Factor de economía de escala

r = Tasa de interés anual, costo de oportunidad de capital a valores reales.

Cuadro A3: Periodo óptimo de diseño sin déficit

Estructura	α	Costo aprox. \$	%Costo	X_1 Años	Ponderado Años
Captación	0.2	60000	16%	17	2.72
Línea de impulsión	0.4	132400	36%	12	4.35
Reservorio	0.6	180000	48%	8	3.75
	Total	372400	100%		10.82

Fuente: Elaboración propia

Periodo óptimo de diseño sin déficit $X_1 = 10.82$ años.

Se puede adoptar $X_1 = 10$ años

-Periodo óptimo de diseño con déficit X^*_1

$$X^*_1 = \frac{2.6 * (1 - \alpha)^{1.12}}{r} + \frac{0.3 * (1 - \alpha) * X_0^{0.85}}{r^{0.5}} \quad (iii)$$

Donde:

X^*_1 = Periodo óptimo de diseño con déficit

α = Factor de economía de escala

r = Tasa de interés anual, costo de oportunidad de capital a valores reales.

X_0 = Periodo de retraso (periodo transcurrido para la demanda = 0)

Intercepto de la demanda con el eje de abscisas

Cuadro A4: Datos para el cálculo de X^*_1

Población actual año 2012	7,621	hab
Dotación	150	l/hab/día
α	0.7	
r	7%	Anual
Demanda creciente anual	21,450	l/día/año
Demanda actual:	1,143,150	l/día
X_0	53.3	Años

Fuente: Elaboración propia

Periodo óptimo de diseño con déficit $X^*_1 = 20$ años

Se puede adoptar $X^*_1 = 20$ años

Tomando en cuenta las características socioeconómicas, tamaño de la población, tipo de obras, se eligió para Végueta el periodo de diseño con déficit en 20 años.

ANEXO B : MEMORIA DE CÁLCULO DE LOS CAUDALES DE DISEÑO.

ANEXO B: MEMORIA DE CÁLCULO DE LOS CAUDALES DE DISEÑO

B.1 CÁLCULO DE LOS CAUDALES DE DISEÑO

a) Cobertura de servicio

La ciudad de Végueta, a la fecha cuenta con una cobertura de servicio de agua potable del 48%, existiendo expansiones demográficas en la periferia de la ciudad, que no cuentan con redes de distribución.

Para los centros poblados del proyecto tenemos lo siguiente:

- Número de lotes con servicio : 48% = 841 lotes
- Número de lotes sin servicio : 52% = 911 lotes
- Densidad de población/lote : 4.35 hab / lote
- Población actual : 7,621 hab
- Tasa de crecimiento poblacional : 1.598% anual
- Población futura : 10,631 hab

b) Proyección de la población

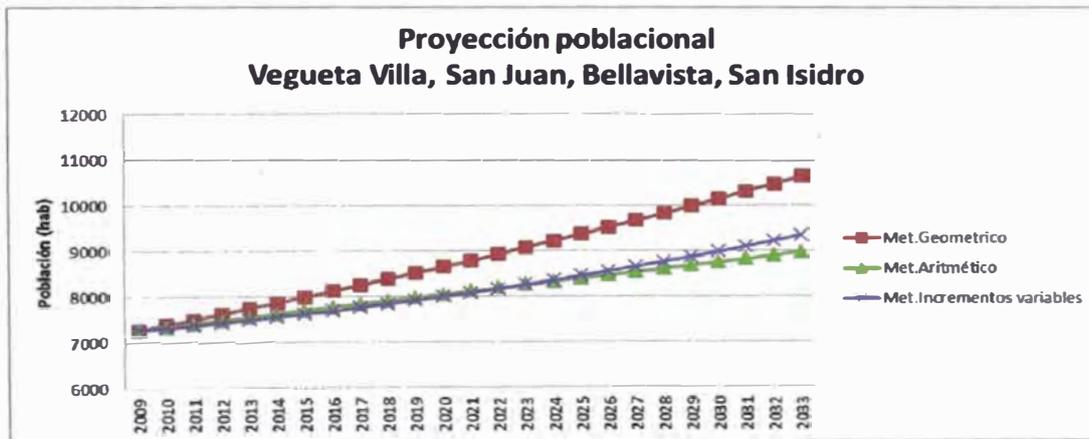


Figura B1: Proyección poblacional para Végueta Villa, Bellavista, San Isidro y San Juan

c) Parámetros de diseño

- Población de diseño : 10,631 hab
- Dotación : 150 lts/hab/día
- Cobertura de servicio : 100%

d) Coeficientes de variación de consumo

- Coeficiente de variación máx. diario : K1= 1.3
- Coeficiente de variación máx. horario : K2= 1.8

e) Caudales de diseño

- Caudal promedio anual : Qp
- Caudal máximo diario : Qmd
- Caudal máximo horario : Qmh
- Caudal máx.contrib. al desague : 80% Qmh

Cuadro B1: Caudales de diseño sin pérdidas en el sistema

Año	Población (hab)	Qp (Lps)	Qmd (Lps)	Qmh (Lps)
2013	7,743	13.44	17.47	24.20
2023	9,073	15.75	20.48	28.35
2033	10,631	18.46	24.0	33.22

Fuente: Elaboración propia

f) Caudales de diseño en base a proyecciones de la demanda de agua potable .

La obtención de la demanda de agua resulta de sumar los consumos de agua de cada una de las categorías (doméstico, comercial, industrial, social, estatal). A su vez los consumos totales se obtienen de la multiplicación de la cantidad de las conexiones de cada categoría por los consumos de cada una de ellas. Así mismo; se está considerando con el proyecto, un 20% de pérdidas en el sistema de agua potable.

Cuadro B2: Información base y parámetros

Localidad: Vegueta Villa, Bellavista, San Isidro, San Juan	Sin Proyecto	Con Proyecto
POBLACIÓN ACTUAL (habitantes)	7,621	7,866
NUMERO DE VMENDAS	1,752	1,808
TASA CRECIMIENTO ANUAL DE POBLACION	1.598%	1.598%
DENSIDAD POR LOTE (hab/lote)	4.35	4.35
PORCENTAJE DE PÉRDIDAS	35.00%	20%
MICROMEDICIÓN DOMESTICO	18.4%	100%
MICROMEDICIÓN COMERCIAL, INDUSTRIAL	76.19%	100%

Fuente: Elaboración propia

Cuadro B3: Información de conexiones existentes - año "2012" por categorías.

CONEXION POR	TIPO DE	AGUA POTABLE	
TIPO DE USUARIO	MEDICION	No. De Conex.	TOTAL Conex.
Doméstico	Con Medidor	152	828
	Sin Medidor	676	
Comercial	Con Medidor	15	18
	Sin Medidor	3	
Industrial	Con Medidor	0	0
	Sin Medidor	0	
Estatad	Con Medidor	1	3
	Sin Medidor	2	
Social	Con Medidor	0	0
	Sin Medidor	0	
TOTAL			849

Fuente: Elaboración propia

Cuadro B4: Datos de consumo por conexión según categorías

DOMESTICO	m ³ /mes/conexión
CONSUMO UNITARIO	19.58
CONSUMO UNITARIO	21.53
COMERCIAL	
CONSUMO UNITARIO	25.20
CONSUMO UNITARIO	27.72
INDUSTRIAL	
CONSUMO UNITARIO	0.00
CONSUMO UNITARIO	0.00
ESTATAL	
CONSUMO UNITARIO	130.00
CONSUMO UNITARIO	143.00
SOCIAL	
CONSUMO UNITARIO	60.00
CONSUMO UNITARIO	66.00

Fuente: Elaboración propia

El caudal máximo diario de 13.59 lt/s/m, como se observa en el cuadro B5; es el valor que se utilizará para el diseño de las galerías filtrantes.

Cuadro B5: Caudales de diseño con pérdidas en el sistema

Año	Qp (Lps)	Qmd (Lps)	Qmh (Lps)
2033	10.45	13.59	18.81

Fuente: Elaboración propia

Cuadro B6: Proyección de la demanda de agua potable, considerando pérdidas en el sistema

AÑO	POBLACION	COBERTURA (%)		POBLACION SERVIDA (hab)	LOTES SERVIDOS (und)	CONSUMO DE AGUA (lt/día)						DEMANDA DE AGUA			
		CONEX.	OTROS MEDIOS (*)			CONSUMO DOMESTICO	CONSUMO COMERCIAL	CONSUMO INDUSTRIAL	CONSUMO ESTATAL	CONSUMO SOCIAL	CONSUMO TOTAL CONECTADO	Qp (lt/seg)	Qp (m3/día)	Qmd (lt/seg)	
															Considerando pérdidas
2012	Base	7621	48%	52%	3658	841	592862	13.608	0	11.7	0	592887	10.56	912.13	13.72
2013	0	7743	55%	45%	4258	979	667502	14.364	0	11.7	0	667528	11.04	953.61	14.35
2014	1	7866	60%	40%	4720	1085	736281	15.12	0	11.7	0	736308	11.36	981.74	14.77
2015	2	7992	65%	35%	5195	1194	806488	15.876	0	11.7	0	806515	11.67	1008.14	15.17
2016	3	8120	70%	30%	5684	1307	878141	16.632	0	11.7	0	878170	12.71	1097.71	16.52
2017	4	8249	75%	25%	6187	1422	951261	17.388	0	11.7	1.8	951291	13.76	1189.11	17.89
2018	5	8381	80%	20%	6705	1541	1025864	18.144	0	11.7	1.8	1025895	14.84	1282.37	19.29
2019	6	8515	90%	10%	7664	1762	1161044	18.9	0	15.6	1.8	1161080	16.80	1451.35	21.84
2020	7	8651	95%	5%	8219	1889	1238966	19.656	0	15.6	1.8	1239003	17.93	1548.75	23.30
2021	8	8789	96%	4%	8438	1940	1270749	20.412	0	15.6	1.8	1270787	18.39	1588.48	23.90
2022	9	8930	97%	3%	8662	1991	1303205	21.168	0	15.6	1.8	1303244	18.85	1629.05	24.51
2023	10	9073	97%	3%	8800	2023	1324030	21.924	0	15.6	1.8	1324070	19.16	1655.09	24.90
2024	11	9218	97%	3%	8941	2055	1345188	22.68	0	15.6	3.6	1345230	19.46	1681.54	25.30
2025	12	9365	97%	3%	9084	2088	1366685	23.436	0	15.6	3.6	1366727	19.77	1708.41	25.71
2026	13	9515	97%	3%	9229	2122	1388524	24.192	0	15.6	3.6	1388568	20.09	1735.71	26.12
2027	14	9667	97%	3%	9377	2156	1410713	24.948	0	19.5	3.6	1410761	20.41	1763.45	26.53
2028	15	9821	97%	3%	9526	2190	1433256	25.704	0	19.5	3.6	1433305	20.74	1791.63	26.96
2029	16	9978	97%	3%	9679	2225	1456159	26.46	0	19.5	3.6	1456209	21.07	1820.26	27.39
2030	17	10137	97%	3%	9833	2261	1479429	27.216	0	19.5	3.6	1479479	21.40	1849.35	27.83
2031	18	10299	97%	3%	9990	2297	1503070	27.972	0	19.5	3.6	1503121	21.75	1878.90	28.27
2032	19	10464	97%	3%	10150	2333	1527089	28.728	0	19.5	3.6	1527141	22.09	1908.93	28.72
2033	20	10631	97%	3%	10312	2371	1551492	29.484	0	19.5	3.6	1551545	22.45	1939.43	29.18

Fuente: Elaboración propia

g) Análisis de la oferta

- Oferta de agua potable

Para el distrito de Végueta la fuente de captación denominada Las Lagunas es de óptima calidad, pero es importante el control del área aledaño a la fuente de captación, en cuanto al uso de plaguicidas para asegurar que el agua filtrada tenga la calidad que necesita Végueta.

- Oferta de producción

La oferta de agua potable “sin proyecto”, ha sido elaborada en base a la información proporcionada por EMAPA HUACHO S.A, con lo cual se ha obtenido que la producción de agua de la captación (galería filtrante) actualmente es de 12 lt/s, es decir 1036.8 m³/día, valor considerado para la estimación de la proyección de la oferta de agua “sin proyecto”.

La oferta de agua potable “con proyecto”, ha sido elaborado en base al cuadro B6: Proyección de la demanda de agua potable; estimándose la oferta en base al supuesto de que se ejecuten las obras de ampliación del sistema de agua potable, las cuales deberán satisfacer la demanda proyectada al año 2033.

h) Balance oferta-demanda

- Balance oferta-demanda de producción

En el balance Oferta-Demanda de caudal de agua potable para todo el horizonte del proyecto, se encontró que actualmente no existe déficit de abastecimiento de agua, pero partir del año 3 del horizonte de diseño se observa que existe déficit.

Cuadro B7: Balance oferta-demanda (fuente existente)

Año		Demanda Total QP		Oferta actual (lt/seg.)	Oferta - Demanda Déficit / Superhabit (lt/seg.)
		(m3/año)	(lt/seg)		
2,011	Base	328,166	10.41	12.00	1.59
2,012	Base	332,929	10.56	12.00	1.44
2,013	0	348,068	11.04	12.00	0.96
2,014	1	358,336	11.36	12.00	0.64
2,015	2	367,973	11.67	12.00	0.33
2,016	3	400,665	12.71	12.00	-0.71
2,017	4	434,027	13.76	12.00	-1.76
2,018	5	468,065	14.84	12.00	-2.84
2,019	6	529,743	16.80	12.00	-4.80
2,020	7	565,295	17.93	12.00	-5.93
2,021	8	579,797	18.39	12.00	-6.39
2,022	9	594,605	18.85	12.00	-6.85
2,023	10	604,107	19.16	12.00	-7.16
2,024	11	613,761	19.46	12.00	-7.46
2,025	12	623,569	19.77	12.00	-7.77
2,026	13	633,534	20.09	12.00	-8.09
2,027	14	643,660	20.41	12.00	-8.41
2,028	15	653,945	20.74	12.00	-8.74
2,029	16	664,395	21.07	12.00	-9.07
2,030	17	675,012	21.40	12.00	-9.40
2,031	18	685,799	21.75	12.00	-9.75
2,032	19	696,758	22.09	12.00	-10.09
2,033	20	707,892	22.45	12.00	-10.45

Fuente: Elaboración propia

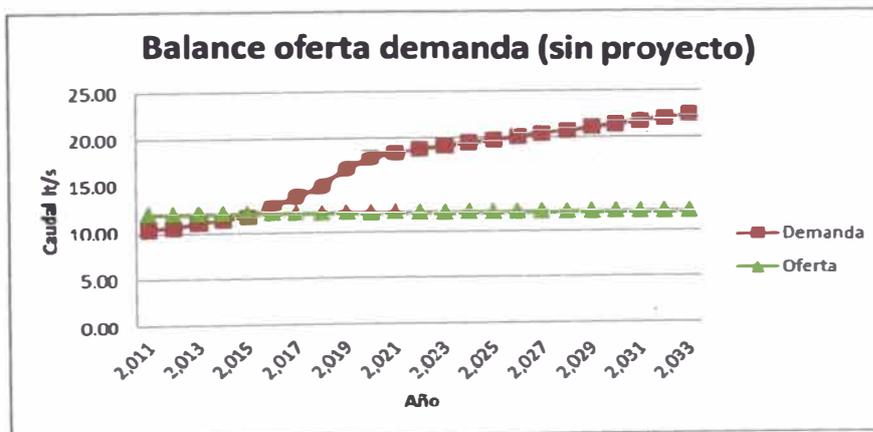


Figura B2: Balance oferta-demanda (fuente existente)

Cuadro B8: Balance oferta-demanda (con ampliación de la fuente existente)

Año		Demanda Total QP		Oferta actual (lt/seg.)	Oferta con el proyecto (lt/seg.)	Oferta - Demanda Déficit / Superhabit
		(m3/año)	(lt/seg)			
2,011	Base	328,166	10.41	12.00	12.00	0.96
2,012	Base	332,929	10.56	12.00	12.00	1.44
2,013	0	348,068	11.04	12.00	12.00	0.96
2,014	1	358,336	11.36	12.00	22.45	11.09
2,015	2	367,973	11.67	12.00	22.45	10.78
2,016	3	400,665	12.71	12.00	22.45	9.74
2,017	4	434,027	13.76	12.00	22.45	8.69
2,018	5	468,065	14.84	12.00	22.45	7.61
2,019	6	529,743	16.80	12.00	22.45	5.65
2,020	7	565,295	17.93	12.00	22.45	4.52
2,021	8	579,797	18.39	12.00	22.45	4.06
2,022	9	594,605	18.85	12.00	22.45	3.60
2,023	10	604,107	19.16	12.00	22.45	3.29
2,024	11	613,761	19.46	12.00	22.45	2.99
2,025	12	623,569	19.77	12.00	22.45	2.68
2,026	13	633,534	20.09	12.00	22.45	2.36
2,027	14	643,660	20.41	12.00	22.45	2.04
2,028	15	653,945	20.74	12.00	22.45	1.71
2,029	16	664,395	21.07	12.00	22.45	1.38
2,030	17	675,012	21.40	12.00	22.45	1.05
2,031	18	685,799	21.75	12.00	22.45	0.70
2,032	19	696,758	22.09	12.00	22.45	0.36
2,033	20	707,892	22.45	12.00	22.45	0.00

Fuente: Elaboración propia



Figura B3: Balance oferta-demanda (con ampliación de la fuente existente)

ANEXO C : MEMORIA DE CÁLCULO DE LA GALERÍA FILTRANTE.

ANEXO C: MEMORIA DE CÁLCULO DE LA GALERIA FILTRANTE

C.1 CÁLCULO DEL CAUDAL ESPECÍFICO

Al efecto, en las formulaciones para el diseño de las galerías de filtración es necesario tener en cuenta las características del acuífero y las características del dren. Las características del acuífero se identifican por los siguientes parámetros con sus respectivos símbolos y dimensiones:

- Conductividad hidráulica o coeficiente de permeabilidad: k_f [m/s]
- Profundidad del acuífero: H [m]
- Transmisividad: T [m²/s]
- Pendiente dinámica del acuífero: i [m/m]
- Radio de influencia del abatimiento: R [m]

En lo que respecta a la galería de filtración, sus principales características físicas con sus respectivos símbolos y dimensiones son:

- Radio del dren: r [m]
- Abatimiento de la napa de agua a la altura de la galería: s [m]

Adicionalmente, se tiene el caudal de explotación de la galería de filtración:

- Caudal unitario por longitud de dren: q [m³/s-m]

La fórmula de Dupuit representa el cálculo clásico de una galería de filtración. Los supuestos básicos son:

- Flujo simétrico hacia una zanja que llega hasta la napa impermeable, es decir, que corta el acuífero hasta el fondo del mismo.
- Las líneas de flujo son horizontales con equipotenciales verticales.
- La pendiente de la superficie impermeable, que define la parte inferior del acuífero, es pequeña en el área cercana a la galería.

a) Galerías que comprometen la parte superior del acuífero.

Las galerías que comprometen la parte superior del acuífero, consideran que la ubicación del dren o tubería perforada o ranurada (por debajo del nivel natural de la napa de agua), en relación con el espesor del acuífero, es pequeña. Es decir,

la relación profundidad al estrato impermeable (b) contra la profundidad al dren (z) es mayor a 10: $b/z > 10$

- Acuífero con escurrimiento propio

La ecuación general para la obtención del gasto que gobierna este tipo de galería se menciona a continuación.

$$q = \frac{\pi * k_f * s}{\ln(R/r)} \quad (i)$$

$$R = \frac{\left[\frac{q * s}{\pi * k_f} \right]^{0.5}}{i} \quad (ii)$$

Donde:

q = Gasto específico o unitario ($m^3/s-m$).

π = Constante pi (3.1416)

k_f = Conductividad hidráulica (m/s).

s = Abatimiento de la napa de agua a la altura de la galería (m)

R = Radio de influencia (m)

r = Radio del dren (m)

i = Gradiente hidráulica del acuífero (m/m)

Reemplazando R en la ecuación i, se tiene:

$$q = \frac{\pi * k_f * s}{\ln \left[\frac{\left[\frac{q * s}{\pi * k_f} \right]^{0.5}}{r * i} \right]} \quad (iii)$$

En la figura C1; se puede observar las características físicas de una galería filtrante tipo dren en un acuífero con escurrimiento propio, el cual es el caso de Végueta.

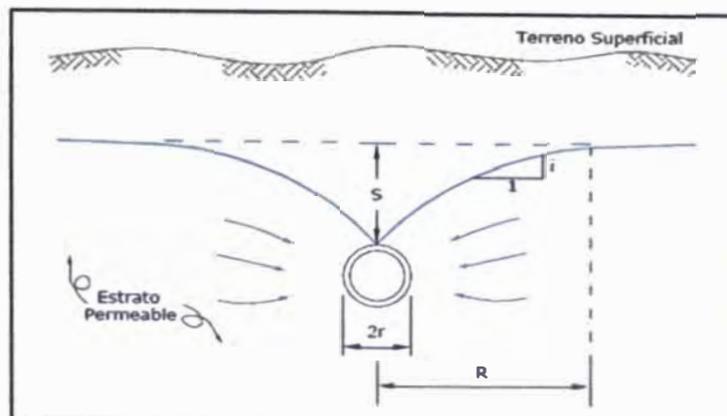


Figura C1: Galería que compromete la parte superior del acuífero con escurrimiento propio.

La ecuación iii se resuelve por aproximaciones sucesivas. El caudal máximo, que puede ser extraído, se obtiene cuando el cono de abatimiento de la napa de agua (s), alcanza la parte superior del dren entubado. Para resolver dicha ecuación se recomienda el siguiente procedimiento:

- El largo de la galería, la profundidad, la conductividad hidráulica (K_f), la pendiente del acuífero (i) y el abatimiento de la napa de agua a la altura de la galería (s), son valores conocidos.
- Al resolver por aproximaciones sucesivas, se va proponiendo "q" y se compara con el "q" calculado, hasta que la diferencia entre ambos sea mínima.

Cuadro C1: Parámetros hidráulicos del acuífero

k_f (m/s)	T (m ² /s)	H (m)	i (%)	R (m)
0.000275	0.0041	14.9	1.22%	622

Fuente: Elaboración propia en base al estudio del INRENA-2005

Cuadro C2: Características físicas de la galería

r (m)	s (m)
0.1524	1.3

Fuente: Elaboración propia

Cuadro C3: Cálculo del caudal unitario y longitud de la galería

Abatimient s (m)	Caudal unitario q		Longitud de la galería (m)
	m ³ /s-m	lt/s-m	
1.30	1.98E-04	0.198	68.75
1.00	1.59E-04	0.159	85.58
0.90	1.46E-04	0.146	93.40
0.80	1.32E-04	0.132	102.95
0.65	1.11E-04	0.111	122.10

Fuente: Elaboración propia

Para determinar la longitud de la galería empleamos la siguiente ecuación:

$$L = \frac{Q_{md}}{q} \quad (iv)$$

Donde:

L: Longitud de la galería filtrante

Q_{md}: Caudal máximo diario=13.59 lt/s

q: Caudal específico o caudal por unidad de longitud= 0.111 lt/s/m

Reemplazando valores tenemos la longitud de la galería filtrante:

$$L = 122.1 \text{ m}$$

C.2 DISEÑO DEL CONDUCTO COLECTOR

Cuadro C4: Diseño del conducto colector

Tirante al 50%	Q (m ³ /s)=	0.01359	Valor conocido	k=d/D <=	0.5
	n=	0.01	Valor conocido		
D (pulg) 12	s (m/m)=	0.003	Valor conocido		
	1	2	3	4	5
D (pulg) 12	Diámetro D	Tirante d	Ángulo e	Ancho de la SLA T	Área A
	(m)	(m)	(radianes)	(m)	(m ²)
	0.305	0.152	3.142	0.305	0.036
	Vmax=	0.9	m/s		
	Vmin=	0.6	m/s		
	6		7		8
	Perímetro P		Radio medio hidráulico R		Velocidad V
	(m)		(m)		(m/s)
	0.47877872		0.0762		0.9845
Afine del tirante					
Tirante al %D	Q (m ³ /s)=	0.01359	Valor conocido	D=	0.3048
	n=	0.01	Valor conocido		
%D	s (m/m)=	0.003	Valor conocido		
	1	2	3	4	5
%D	Tirante d	Velocidad V2	Caudal Q2	Velocidad V=Q/A	Diferencia %
	(m)	(m/s)	(m ³ /s)	(m/s)	%
40.00%	0.122	0.888	0.024	0.499	43.86%
35.00%	0.107	0.830	0.019	0.597	28.05%
30.00%	0.091	0.764	0.014	0.738	3.39%
29.48%	0.090	0.757	0.014	0.756	0.06%

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en el cuadro anterior el tirante de agua en el conducto colector es de 29.48% del diámetro de la tubería, el cual está en el rango recomendado, es decir es menor al 50%, así mismo la velocidad media para este tirante de agua es de 0.756 m/s, que también se encuentra en el rango recomendado: 0.60 m/s < V < 0.90 m/s.

ANEXO D : METODOLOGÍAS PARA DETERMINAR LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA MEDIANTE PRUEBAS DE BOMBEO.

ANEXO D: METODOLOGÍAS PARA DETERMINAR LA CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA MEDIANTE PRUEBAS DE BOMBEO

D.1 CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA

1) Consideraciones básicas

Los parámetros que influyen en el rendimiento de las galerías de filtración son la conductividad hidráulica, el espesor del acuífero y la gradiente hidráulica, siendo esta última importante para los acuíferos con escurrimiento propio. De estos tres parámetros, el que influye directamente en todos los tipos de galerías es la conductividad hidráulica y depende de numerosos factores como: a) forma, disposición y tamaño de los granos del material filtrante del acuífero, y b) viscosidad y densidad del fluido.

Los ensayos de conductividad hidráulica en los laboratorios pueden alcanzar un alto grado de precisión en lo que respecta a la muestra ensayada, pero, como consecuencia de la gran dificultad que demanda la toma de muestras verdaderamente representativas del acuífero, pocas veces se llega a obtener valores concordantes entre los ensayos de campo y los de laboratorio. Si bien los métodos actuales para medir la conductividad hidráulica en el campo son un poco groseros, tienden a definir la conductividad hidráulica promedio de los materiales de un área determinada y resultan ser más confiables que los ensayos aislados del laboratorio.

Como las galerías de infiltración, en la mayoría de los casos, son captaciones de acuíferos poco profundos, la prueba de bombeo del acuífero libre con pozos de observación y flujo estable, es la prueba más común y confiable. Si se trata del aprovechamiento de un acuífero con escurrimiento propio, el procedimiento recomendado es el de bombeo de un acuífero libre con pozos de observación. Cuando la galería se proyecta construir en las márgenes de una corriente o masa de agua superficial, es conveniente utilizar el método de acuífero libre con recarga superficial.

En los casos en que la galería tenga que construirse debajo de un curso o cuerpo de agua superficial y en donde resulta imposible hacer pruebas de bombeo, se impone la necesidad de realizar pruebas de laboratorio en muestras

tomadas en distintos puntos y a diferentes profundidades, adoptándose como valor de conductividad hidráulica, el promedio de los resultados obtenidos en las pruebas individuales. El costo de una prueba de bombeo es alto, pues se necesita un pozo de bombeo y por lo menos dos pozos de observación, así como bombas, medidores y personal con cierta experiencia. Por esto, para comunidades pequeñas, muchas veces no se justifica realizar una prueba de bombeo, sino solamente pruebas de laboratorio que muestren el rango en el que se encuentra la conductividad hidráulica y que permita realizar un diseño preliminar.

2) Pruebas de bombeo

El pozo de bombeo debe penetrar todo el estrato permeable del acuífero donde se tiene prevista la construcción de la galería, mientras que los pozos de observación solamente tienen que alcanzar los niveles de agua en su punto más bajo. El pozo de bombeo y los pozos de observación deben ser desarrollados hasta obtener agua libre de turbiedad. De otra parte, los pozos de observación, en comparación con los de bombeo, son mucho más económicos por tener menores diámetros y por llegar a profundidades menores.

Cuando el terreno no está consolidado, situación que se presenta en la mayoría de los casos, es necesario instalar forros en los pozos. Los forros consisten en tubos perforados o ranurados que evitan la entrada de material fino.

Si el pozo de bombeo no atraviesa completamente el acuífero, en las cercanías del pozo de bombeo se presentará una depresión considerable de la napa de agua, adoptando la superficie de agua una forma semiesférica. En estos casos, es aconsejable situar los pozos de observación, con respecto al pozo de bombeo, a una distancia igual o mayor a dos veces la penetración del pozo en el acuífero. En los casos en donde el pozo de bombeo no alcance el estrato impermeable, la perforación debe prolongarse hasta uno o dos metros por debajo del nivel previsto para la instalación de la galería. En las pruebas de bombeo para determinar la conductividad hidráulica, generalmente se usa un pozo de extracción de agua y no menos de dos pozos de observación. Normalmente, el diámetro de los pozos varía entre 50 y 100mm y, de llevar forros, éstos deben tener empaques de grava para minimizar el ingreso de

material fino. Para medir la depresión dentro de los pozos de observación se debe utilizar un sistema que proporcione buenos resultados, siendo el más común el empleo de dos polos eléctricos conectados a un galvanómetro que ayuda a determinar el nivel de agua en el momento en que los dos polos entran en contacto con ella.

Para tener la seguridad de que el caudal extraído es constante, conviene utilizar un medidor con registrador, debiendo estar el caudal de bombeo en el rango normal de operación del medidor. Antes de instalar el medidor, es necesario bombear el pozo con el fin de eliminar cualquier tipo de material sólido que pudiera dañarlo. Para la limpieza del pozo es recomendable usar bombas centrífugas de impulsor semiabierto y resistente a la abrasión. De otra parte, la capacidad de la bomba debe ser tal, que logre bajar el nivel del agua en el pozo de bombeo en, por lo menos, unos 15 cm.

La verificación de haber alcanzado las condiciones de equilibrio en el acuífero para un caudal constante, se realiza mediante medidas periódicas del nivel de agua en los pozos de observación hasta obtener valores constantes. Se recomienda ejecutar las pruebas a dos tasas de caudal para comprobar la confiabilidad de los resultados. La prueba de bombeo puede demandar hasta 30 horas de extracción continua del agua.

Un procedimiento más sofisticado consiste en la construcción de un pequeño tramo de galería, que puede estar compuesto por un pozo vertical o una zanja, que se prolonga hasta por debajo del nivel freático y sirve de punto de partida para la perforación del pozo horizontal. En lo posible, el pozo horizontal debe construirse en el nivel donde se tiene prevista la instalación de los drenes, y debe tener por lo menos dos metros de largo y 100 mm de diámetro. En el interior de este agujero se coloca una tubería ranurada de 50mm de diámetro con su correspondiente empaque de grava. A unos dos metros de distancia del punto medio del dren y perpendicular a él, se perfora un pozo vertical de observación donde se coloca el tubo piezométrico con su respectivo empaque de grava. El extremo del tubo del dren del pozo horizontal debe conectarse a un tubo de 100 mm de diámetro con el extremo inferior cerrado. Este tubo funciona como pozo colector y se emplea para extraer el agua drenada por el dren. Antes de iniciar las pruebas de bombeo, la excavación realizada para la construcción

del pozo horizontal debe ser rellenado cuidadosamente con el material de la excavación, tratando de conservar las propiedades originales del suelo.

3) Determinación de la conductividad hidráulica.

a) Acuífero libre con pozos de observación

Es la prueba de campo más usada en la determinación de la conductividad hidráulica, y consiste en bombear el agua de un pozo mientras se realizan lecturas en el nivel de agua, en por lo menos dos pozos de observación (ver figura D1). La prueba se prolonga hasta alcanzar las condiciones de equilibrio, es decir hasta lograr un nivel constante en los pozos de observación. Esta prueba debe realizarse con una tasa de bombeo constante y la conductividad hidráulica se determina mediante la aplicación de la ecuación:

$$k_f = \frac{Q \cdot \ln\left(\frac{R}{r}\right)}{\pi \cdot (H_a^2 - H_b^2)} \quad (i)$$

Donde:

k_f = Conductividad hidráulica (m/s)

Q = Caudal de extracción (m³/s)

R = Distancia al pozo de observación más lejano (m)

r = Distancia al pozo de observación más cercano (m)

H_a = Carga de agua en el punto de observación más lejano (m)

H_b = Carga de agua en el punto de observación más cercano (m)

La fórmula de pozo se basa en las siguientes consideraciones:

- Penetración del pozo de bombeo en todo el espesor del acuífero.
- Existencia de condición de equilibrio, es decir, la tasa de bombeo es constante y el nivel en los pozos permanece estable.
- Material del acuífero homogéneo, isotrópico y extendido a distancias infinitas en todas las direcciones.
- Pequeñas inclinaciones en las líneas de corriente superiores, por lo que las líneas de flujo pueden considerarse horizontales.
- Gradiente hidráulica igual a la pendiente de la línea de corriente superior y constante en cualquier punto de la vertical.
- Presencia de flujo laminar en toda el área del cono de depresión.

En el caso de emplearse galería en vez de pozo, el procedimiento consiste en determinar el caudal de extracción correspondiente a una altura prefijada de la columna de agua sobre la galería y la variación en el tiempo de la columna en el pozo de observación. Con la información del caudal, columna de agua en el pozo de observación y tiempo de bombeo, se procede a determinar gráficamente el máximo caudal de extracción y la mínima columna de agua en el pozo de observación.

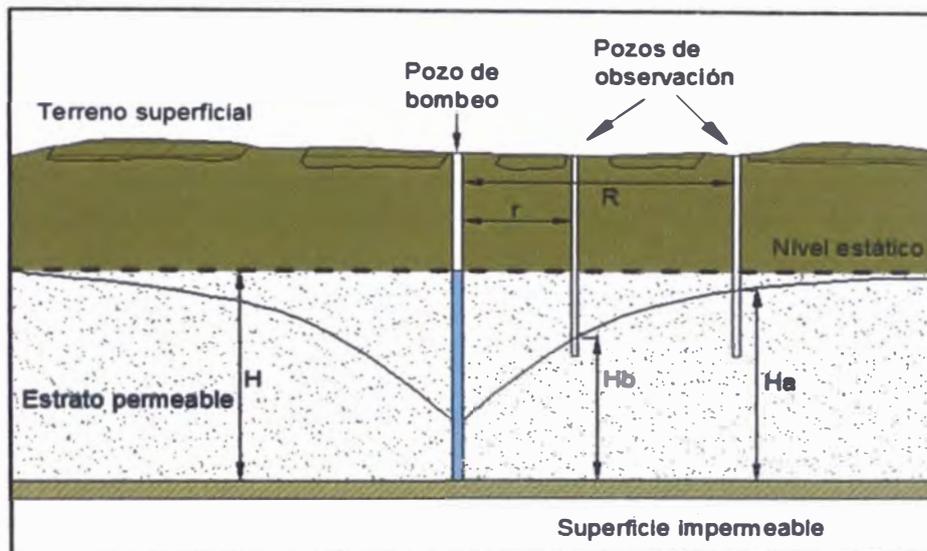


Figura N° D1: Determinación de la conductividad hidráulica en acuífero libre con pozos de observación

b) Acuífero libre con recarga superficial

La gran mayoría de las galerías de infiltración se construyen en las márgenes de ríos o lagos, por lo que es importante el efecto de la masa de agua sobre las pruebas de bombeo. Las fórmulas para determinar la permeabilidad en pozos se obtienen considerando que el acuífero tiene extensión horizontal ilimitada, pero en el presente caso, el acuífero es truncado por una masa de agua superficial que recarga el acuífero (ver figura D2). Para cumplir con la condición de borde impuesta por la intersección del acuífero con la masa de agua, o sea, que la depresión es nula para cualquier tiempo, se aplica el método de las imágenes, en donde se supone la existencia de una recarga de igual características que las del pozo, pero con valores opuestos y situada simétricamente con respecto al pozo de prueba. La ecuación que gobierna este tipo de prueba está dada por:

$$k_f = \frac{Q \cdot \ln\left(\frac{r'}{r}\right)}{2 \cdot \pi \cdot H \cdot (H - H_a)} \quad (ii)$$

Donde:

k_f = Conductividad hidráulica m/s

Q = Caudal (m³/s)

r' = Distancia del pozo de bombeo espejo al pozo de observación (m)

r = Distancia del pozo de bombeo al pozo de observación (m)

H = Espesor medio del acuífero (m)

H_a = Carga de agua en punto de observación (m)

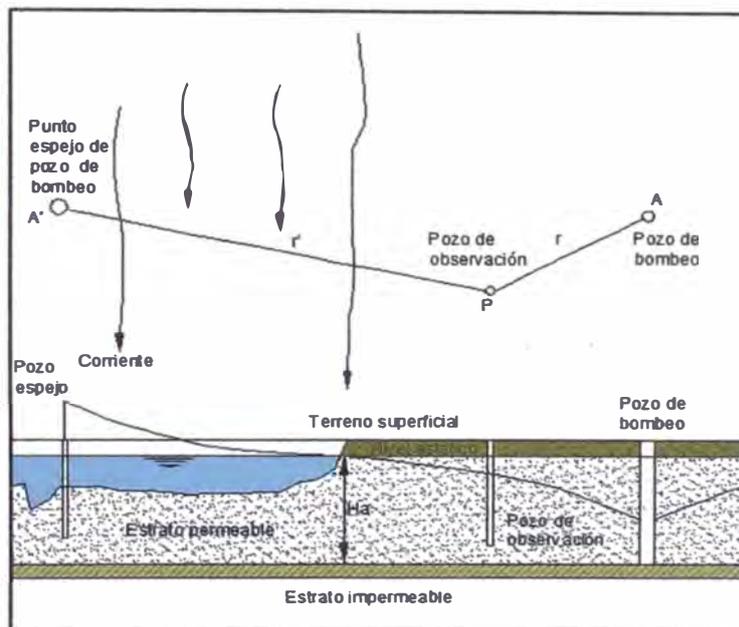


Figura N° D2: Determinación de la conductividad hidráulica en acuífero libre con recarga superficial.

c) Galería piloto en acuífero libre con escurrimiento propio

Esta metodología es la que se recomienda porque se trata de una simulación del funcionamiento de la galería filtrante. Para hacer más práctica su aplicación se realizará un ejemplo.

Determinar la conductividad hidráulica en una galería piloto ubicado en un acuífero libre con escurrimiento propio cuyas características se indican en la figura D3.

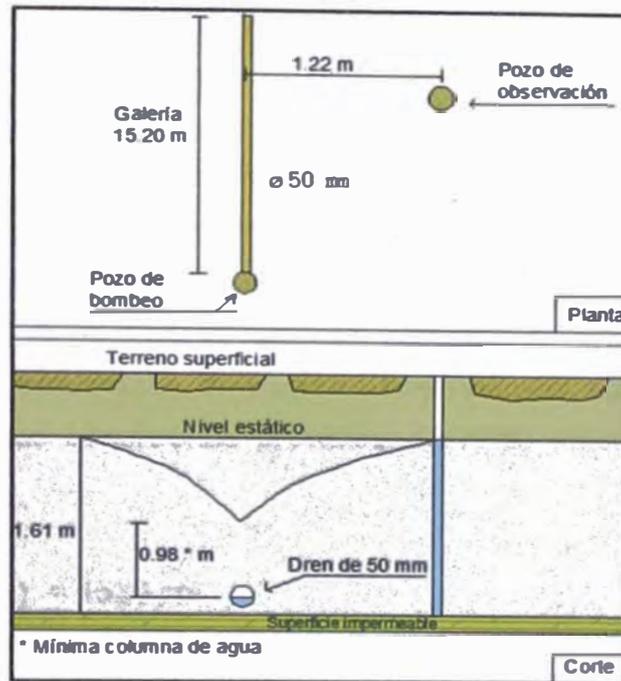


Figura D3: Conductividad hidráulica mediante galería de filtración piloto.

El nivel de la napa de agua antes del inicio del proceso de extracción de agua es de 161cm por encima de la capa impermeable. El agua fue extraída mediante una bomba por espacio de 30 horas. Se definió que la altura mínima aceptable de carga de agua sobre el dren era de 98 cm el mismo que se logró a los 13 minutos de iniciado el bombeo. A continuación el bombeo se efectuó a caudal variable de modo de mantener la carga de 98cm sobre el dren. Los resultados de la prueba de bombeo determinados en el pozo de observación ubicado a 1.22 m de la galería filtrante de 15.20 m de longitud se presentan en el cuadro D1.

Cuadro D1: Nivel de agua en el pozo de observación.

Tiempo (h)	Caudal (m/s)	Nivel de agua (cm)	Tiempo (h)	Caudal (m/s)	Nivel de agua (cm)
0.1	12.1	161	7.7	2.9	150.7
0.3	9	160.3	10.3	2.6	149.7
0.5	7.8	159.6	12.8	2.4	148.3
0.7	7	158.9	14.3	2.35	147.6
0.9	6.3	158.2	14.9	2.3	147.5
1	6	157.8	18.9	2.12	146.3
1.2	5.3	157.5	19.2	2.07	146.4
1.9	4.5	157.1	22.2	1.95	144.5
3.5	3.7	154.8	22.7	1.95	145
5	3.4	153	28.6	1.83	144.5
6.7	3.1	151.5	30	1.8	144

Fuente: OPS/CEPIS/UNATSABAR

En la figura D4; se presentan los datos procesados bajo la forma de caudal de extracción de agua versus tiempo; y columna de agua versus tiempo. En los cuadros D2 y D3 se exponen la relación entre caudal de extracción versus inversa de tiempo y columna de agua versus inversa de tiempo. La figura D5 (caudal de extracción versus inversa de tiempo) permite determinar el caudal máximo extraíble para las condiciones previstas, es decir para una columna de agua sobre el dren de 98 cm y la figura D6 (columna de agua versus inversa de tiempo) ayuda a determinar la mínima columna de agua en el pozo de observación para las condiciones previstas. De esta manera, se obtienen los datos siguientes:

Longitud de dren (L): = 1520 cm

Distancia a pozo de observación (X): = 122 cm

Columna de agua sobre dren (hd): = 98cm

Caudal máximo extraíble (Q): = 1.40 ml/s (figura B5)

Columna de agua mínima (ha): = 140 cm (figura B6)

El coeficiente de permeabilidad o la conductividad hidráulica se determina mediante la fórmula:

$$kf = \frac{2 \cdot Q \cdot X}{L \cdot (ha^2 - hd^2)} \quad (iii)$$

Reemplazando valores tenemos:

$$kf = \frac{2 \cdot 1.4 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} \cdot 122 \text{cm}}{1520 \text{ cm} \cdot ((140 \text{ cm})^2 - (98 \text{ cm})^2)}$$

$$kf = 2.23 \cdot 10^{-5} \frac{\text{cm}}{\text{s}} \quad \text{ó} \quad 2.23 \cdot 10^{-7} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

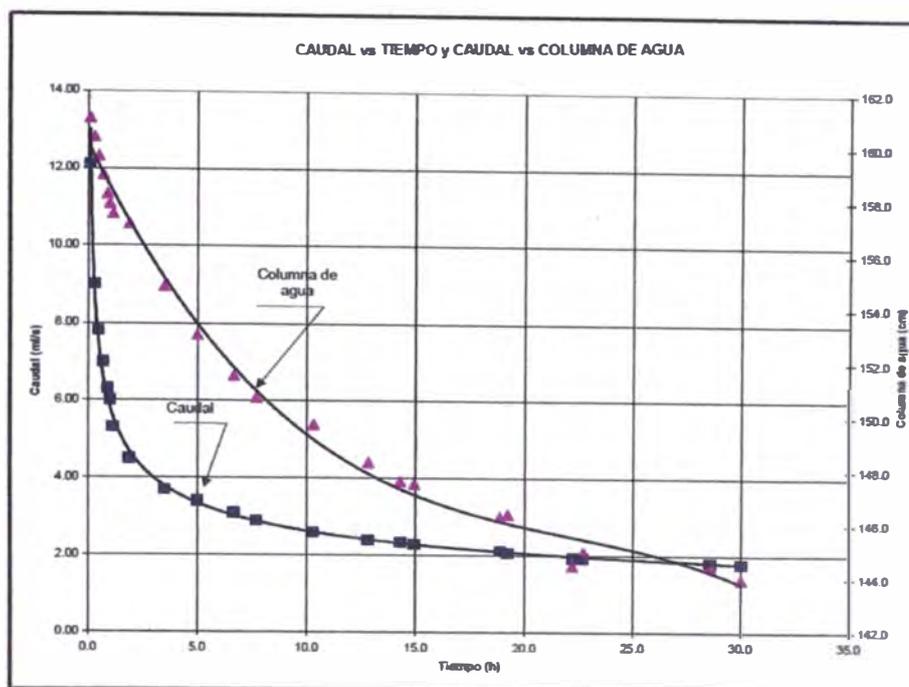


Figura D4: Caudal de extracción de agua versus tiempo y columna de agua versus tiempo.

Cuadro D2: Caudal de extracción versus inversa de tiempo.

Caudal	Tiempo (h)	1/tiempo	Caudal	Tiempo (h)	1/tiempo
12.1	0.1	10	2.9	7.7	0.13
9	0.3	3.333	2.6	10.3	0.097
7.8	0.5	2	2.4	12.8	0.078
7	0.7	1.429	2.35	14.3	0.07
6.3	0.9	1.111	2.3	14.9	0.067
6	1	1	2.12	18.9	0.053
5.3	1.2	0.87	2.07	19.2	0.052
4.5	1.9	0.526	1.95	22.2	0.045
3.7	3.5	0.286	1.95	22.7	0.044
3.4	5	0.2	1.83	28.6	0.035
3.1	6.7	0.15	1.8	30	0.033

Fuente: OPS/CEPIS/UNATSABAR

Cuadro D3: Columna de agua versus inversa de tiempo.

Tiempo (h)	Nivel (m)	1/tiempo	Tiempo (h)	Nivel (m)	1/tiempo
0.1	161	10	7.7	150.7	0.13
0.3	160.3	3.333	10.3	149.7	0.097
0.5	159.6	2	12.8	148.3	0.078
0.7	158.9	1.429	14.3	147.6	0.07
0.9	158.2	1.111	14.9	147.5	0.067
1	157.8	1	18.9	146.3	0.053
1.2	157.5	0.87	19.2	146.4	0.052
1.9	157.1	0.526	22.2	144.5	0.045
3.5	154.8	0.286	22.7	145	0.044
5	153	0.2	28.6	144.5	0.035
6.7	151.5	0.15	30	144	0.033

Fuente: OPS/CEPIS/UNATSABAR

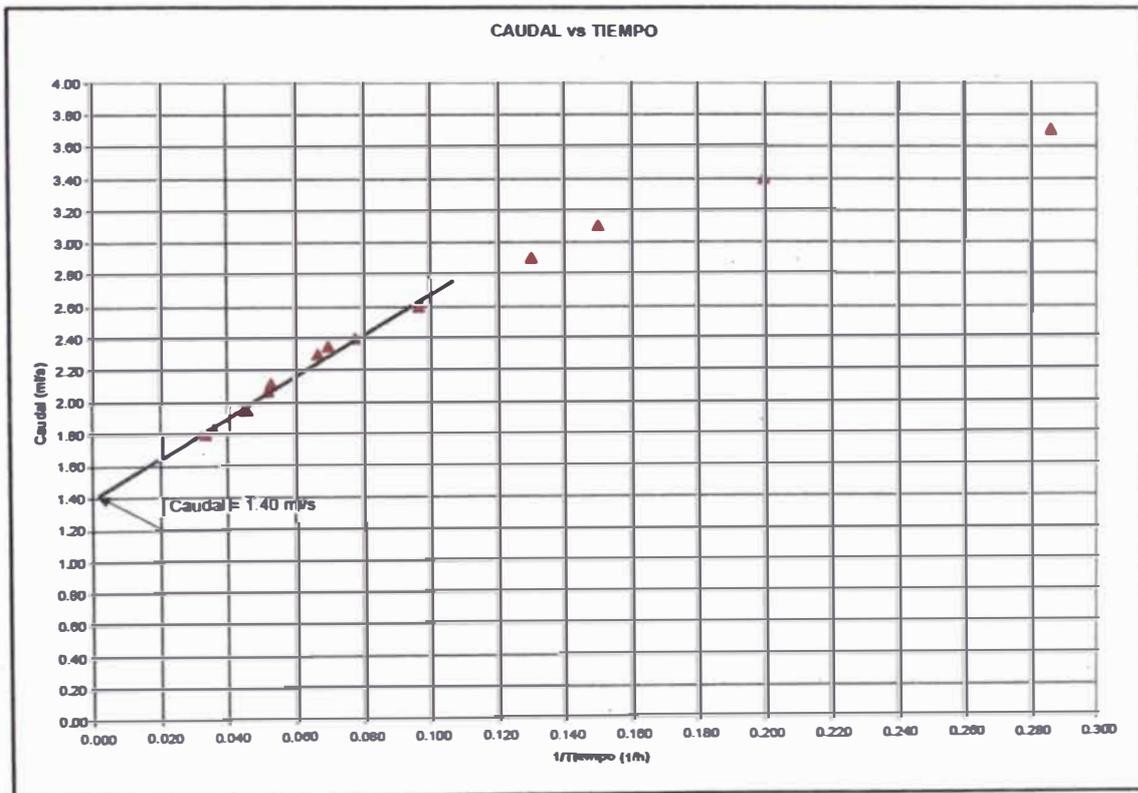


Figura D5: Caudal de extracción versus inversa de tiempo.

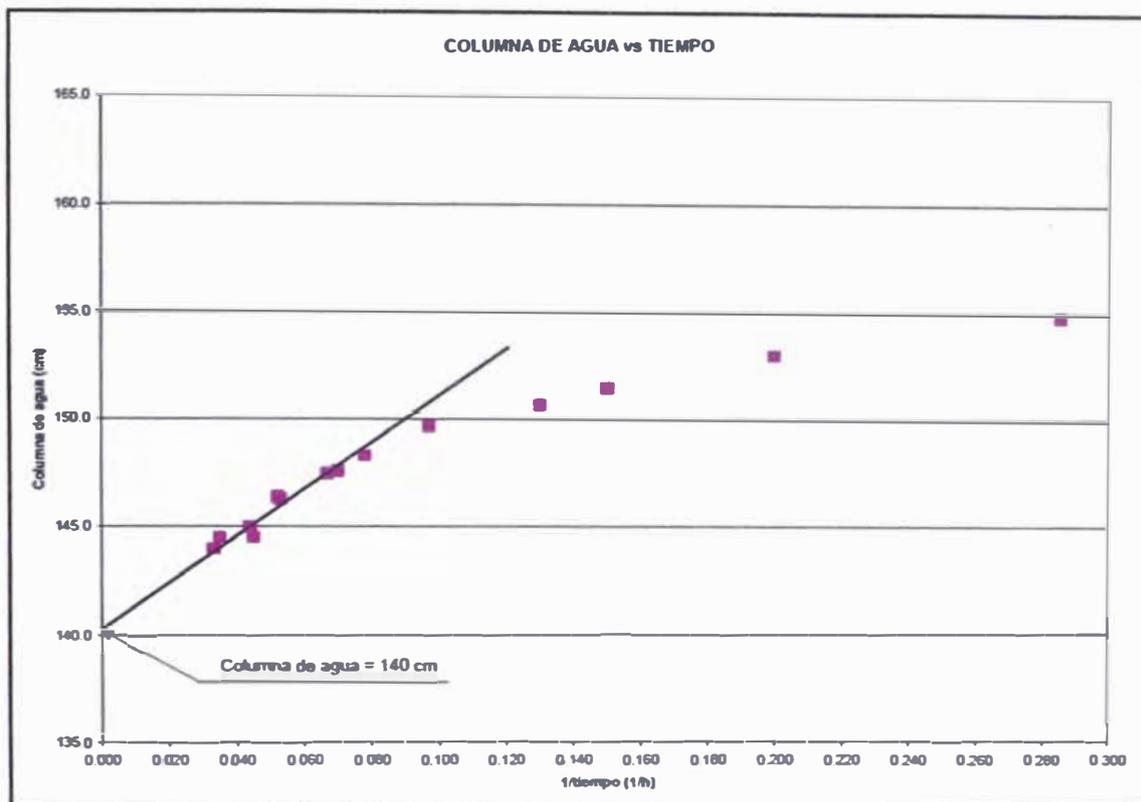
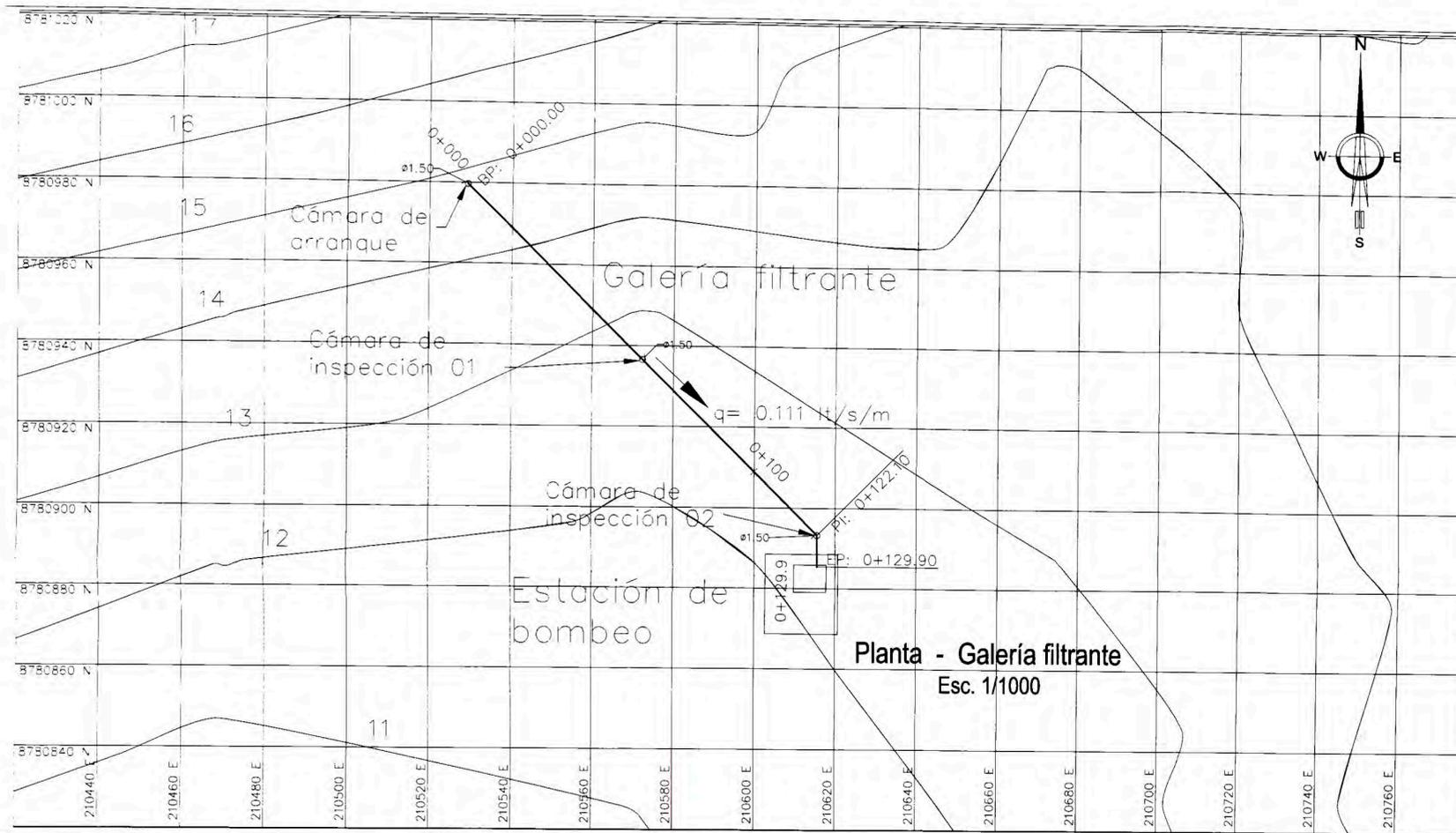


Figura D6: Columna de agua versus inversa de tiempo.

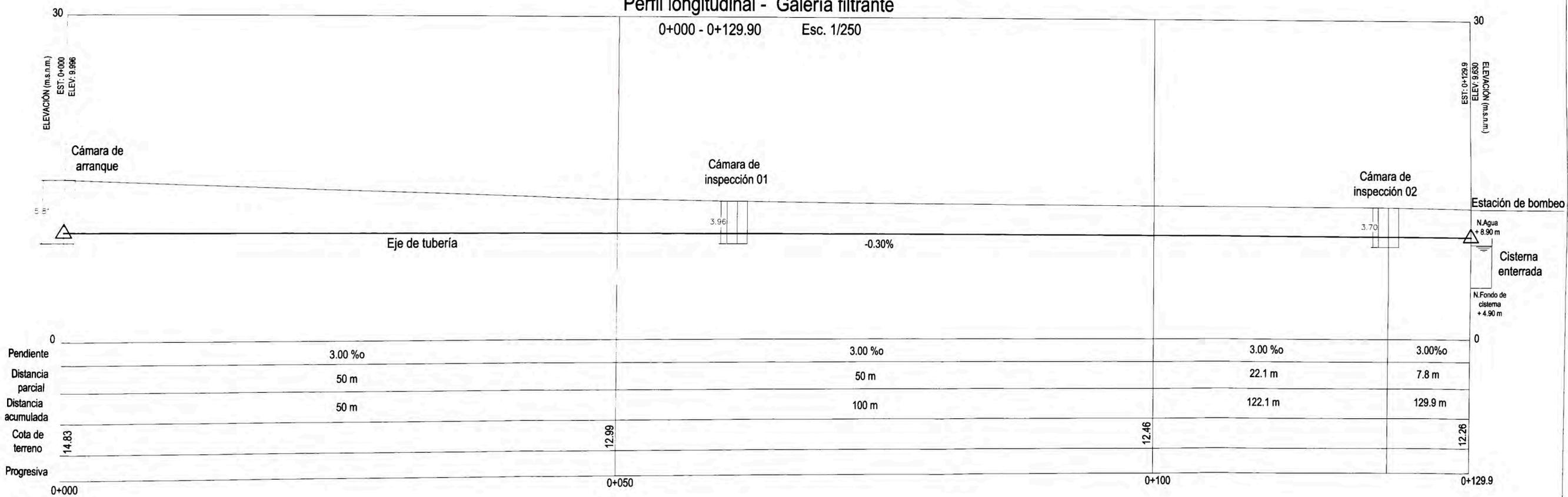
ANEXO E : PLANOS.

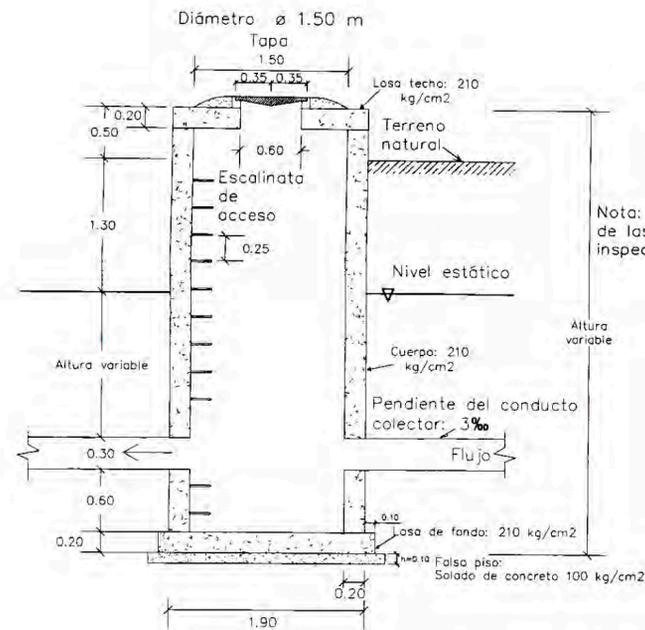


SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	EJE GALERÍA FILTRANTE
	CURVAS MAYORES
	CURVAS MENORES
	QUEBRADAS
	ACCESO TROCHA CARROZABLE
	SENTIDO DE FLUJO
	CISTERNA ENTERRADA Y ESTACIÓN DE BOMBEO

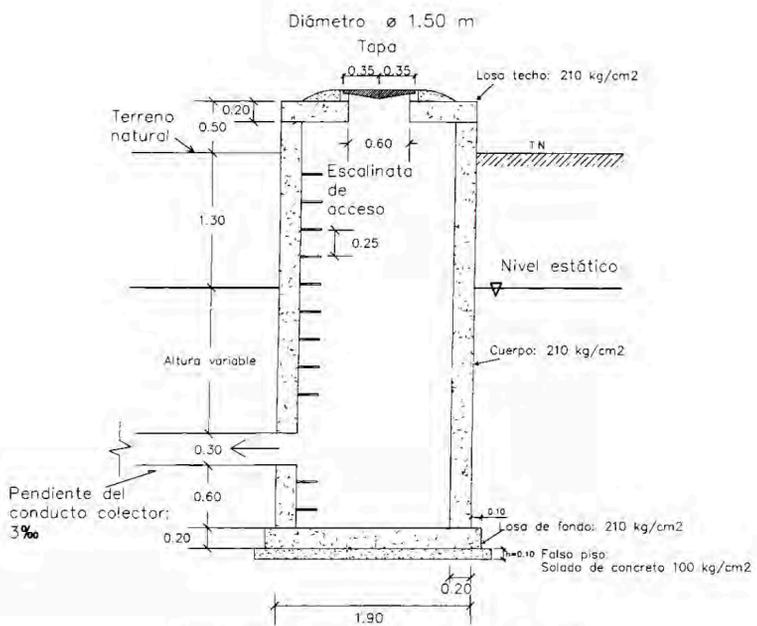
Perfil longitudinal - Galería filtrante

0+000 - 0+129.90 Esc. 1/250

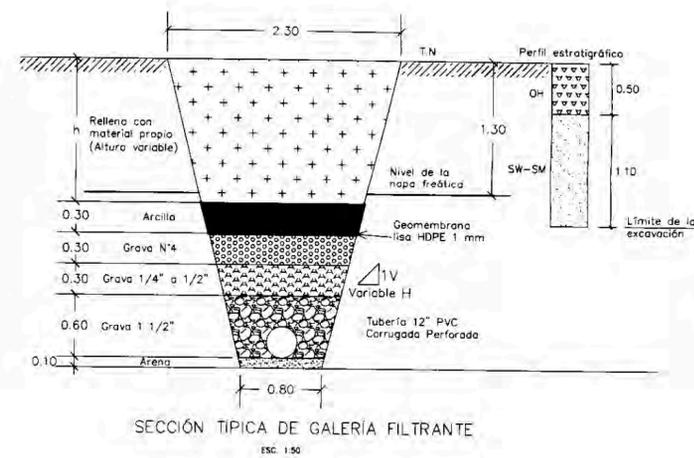




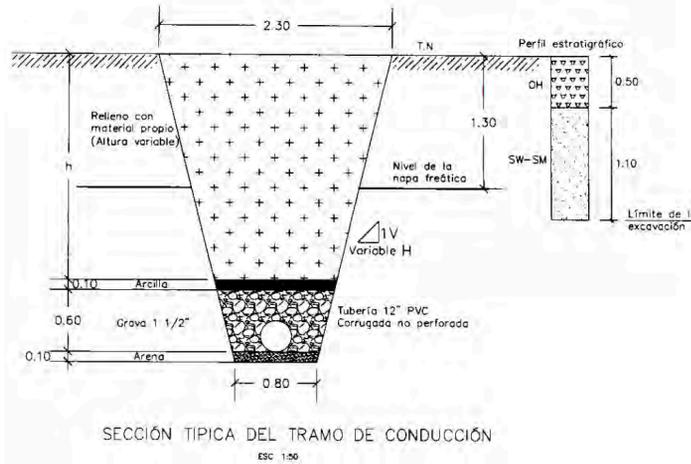
CAMARA DE INSPECCION - SECCION TRANSVERSAL
ESC. 1:50



CAMARA DE ARRANQUE - SECCION TRANSVERSAL
ESC. 1:50

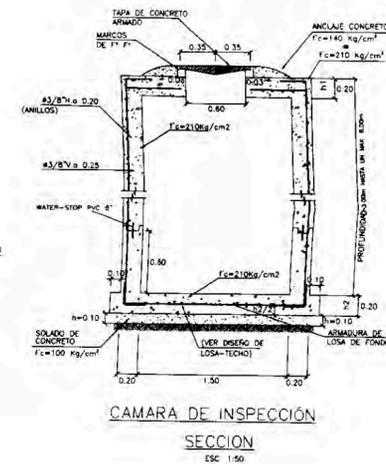


SECCION TIPICA DE GALERIA FILTRANTE
ESC. 1:50



SECCION TIPICA DEL TRAMO DE CONDUCCION
ESC. 1:50

CAMARA DE INSPECCION
PARA PROFUNDIDADES MAYORES DE 3.00m. HASTA UN MAXIMO DE 8.00m. SEGUN LO ESTABLEZCAN LAS ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO CORRESPONDIENTE. MUROS DE CONCRETO ARMADO f'c = 210 Kg/cm².



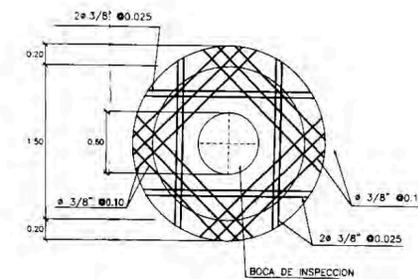
CAMARA DE INSPECCION SECCION
ESC. 1:50

ESPECIFICACIONES TECNICAS

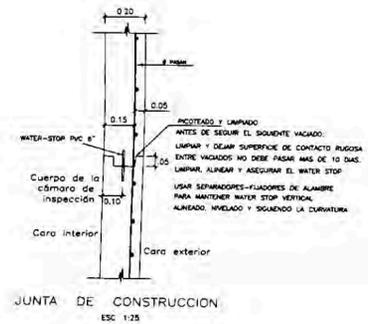
LAS TUBERIAS PROYECTAS SERAN DE PVC LUF N.T.P. ISO 21138
LOS ANILLOS DE JEBE N.T.P. ISO 4633:1997
BUZONES DE CONCRETO ARMADO-LOSA DE FONDO f'c=210 kg/cm²
BUZONES DE CONCRETO ARMADO-CUERPO f'c=210 kg/cm²
BUZONES DE CONCRETO ARMADO-LOSA TECHO f'c=210 kg/cm²
ACERO: f'y= 4200 kg/cm²

TAPAS DE CONCRETO ARMADO PARA LOS BUZONES N.T.P. 350.111.1997
MARCO DE FIERRO FUNDIDO GRIS PARA BUZON N.T.P. 339.111.1997
EN TODA ESTRUCTURA QUE ESTE EN CONTACTO CON EL TERRENO, SE USARA CEMENTO TIPO V.

EL RELLENO CON MATERIAL PROPIO DE LA EXCAVACION SE REALIZARA EN CAPAS DE 0.30 m. CON TAMAÑO MÁXIMO DE PIEDRA 0.10 m.



PLANTA LOSA - TECHO ARMADURA
ESC. 1:50



JUNTA DE CONSTRUCCION
ESC. 1:25

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
○	TUBERIA PVC-UF Corrugada	■	CONCRETO
■	ARENA-CAMA DE APOYO	—	ACERO CORRUGADO
■	GRAVA D= 1 1/2"	—	NIVEL DE LA NAPA FREÁTICA
■	GRAVA D= 1/4"-1/2"	△	TALUD DE SECCION
■	GRAVA D= N°4	▨	TERRENO NATURAL
■	ARCILLA	▽	SECCION TIPICA GALERIA FILTRANTE
■	MATERIAL PROPIO	▭	TAPA DE CONCRETO ARMADO
▭	GEOMEMBRANA	OH	SUELO ORGANICO
OH	SUELO ORGANICO	SW-SM	ARENA LIMOSA BIEN GRADADA

TITULACIÓN PROFESIONAL POR ACTUALIZACIÓN DE CONOCIMIENTOS 2011-2			
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL			
Proyecto:	MEJORAMIENTO Y AMPLIACIÓN DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA VEGUETA: DISEÑO Y PROCESO CONSTRUCTIVO DE LAS GALERÍAS FILTRANTES	Dirección de estudio:	VEGUETA - HUaura
Elaboración:	Bárdoles Vidal Wilver Omar	Coordenadas:	Universal Transversal Mercator
Revisión:	ING. MIGUEL HUAMAN AGUILAR	Plano N°:	GF-ST-01
Fecha:	MAYO 2012	Total de Planos:	02 - 2