

CAPÍTULO 4. ESTUDIOS DE FUENTES DE AGUA Y DISEÑO DE CAPTACIONES

ÍNDICE

1. FUENTES SUPERFICIALES	1
1.1. ESTUDIOS DE FUENTES	1
1.1.1. <i>Objetivo</i>	1
1.1.2. <i>Ríos o Arroyos</i>	1
1.1.2.1. Estudios Básicos.....	1
1.1.2.2. Estudios Relacionados con la Ubicación de la Obra de Toma.....	1
1.1.2.3. Calidad de Agua.....	2
1.1.2.4. Caudal Disponible.....	2
1.1.2.5. Crecida Máxima de Proyecto	4
1.1.2.6. Indicaciones Para el Informe Final.....	4
1.1.3. <i>Lagos, Embalses y Lagunas</i>	5
1.1.4. <i>Manantiales</i>	5
1.1.5. <i>Agua de Lluvia</i>	6
1.1.6. <i>Otras Fuentes Superficiales</i>	10
1.2. OBRAS DE TOMA.....	10
1.2.1. <i>Generalidades</i>	10
1.2.2. <i>Ríos y Arroyos</i>	11
1.2.2.1. Capacidad Hidráulica	11
1.2.2.2. Calidad de Agua.....	12
1.2.3. <i>Lagos o Embalses</i>	12
1.2.3.1. Capacidad Hidráulica	12
1.2.3.2. Calidad de Agua.....	12
1.3. REQUISITOS LEGALES, AMBIENTALES Y OPERATIVOS.....	13
1.3.1. <i>Aspectos Legales</i>	13
1.3.2. <i>Aspectos Ambientales</i>	13
1.3.3. <i>Operación y Mantenimiento</i>	14
1.4. INSTALACIONES COMPLEMENTARIAS DE LAS OBRAS DE TOMA.....	14
1.5. CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIAS.....	15
1.5.1. <i>Área de Captación</i>	15

1.5.2. Volumen de Represas	15
1.6. CAPTACIÓN EN MANANTIALES	17
2. FUENTES SUBTERRÁNEAS	19
2.1. ESTUDIO DE FUENTES SUBTERRÁNEAS	19
2.1.1. <i>Análisis de Prefactibilidad</i>	19
2.1.2. <i>Estudio de Diagnostico</i>	20
2.1.2.1. Objetivo y Alcances	20
2.1.2.2. Tareas a Ejecutar	20
2.1.3. <i>Estudios de Detalle</i>	24
2.1.3.1. Objetivo y Alcances	24
2.1.3.2. Tareas a Realizar	24
2.1.4. <i>Procesamiento de Datos e Informe Final</i>	27
2.2. DISEÑO DE CAPTACIONES	28
2.2.1. <i>Tipo de Captación</i>	28
2.2.2. <i>Número y Ubicación de Perforaciones</i>	28
2.2.3. <i>Construcción y Dimensiones de las Perforaciones</i>	29
2.2.3.1. Métodos de Perforación	29
2.2.3.2. Profundidad de la Perforación	29
2.2.3.3. Diámetro de la Perforación	30
2.2.3.4. Entubado	30
2.2.3.5. Filtros	30
2.2.3.6. Prefiltro de Grava	31
2.2.3.7. Cementación	31
2.2.3.8. Desarrollo	32
2.2.3.9. Terminación del Pozo	32
2.2.3.10. Ensayo de Bombeo	32
2.2.4. <i>Operación y Manejo del Sistema de Captación</i>	33
2.2.4.1. Caudal de Explotación	33
2.2.4.2. Control de las Captaciones	33
2.2.4.3. Rehabilitación de las Captaciones	34
2.2.4.4. Ajustes Operativos del Sistema	34
2.2.4.5. Control del Acuífero	34
2.2.5. <i>Utilización de un Modelo Matemático</i>	35
2.3. ÁREAS DE PROTECCIÓN	36
2.3.1. <i>Dimensiones de las Zonas de Protección</i>	36
2.3.1.1. Zona III	36
2.3.1.2. Zona II	37
2.3.1.3. Zona I	37
2.3.1.4. Delimitación de las Zonas de Protección	37
2.3.2. <i>Fuentes Potenciales de Contaminación</i>	37
2.3.2.1. Zona III	37
2.3.2.2. Zona III b	37
2.3.2.3. Zona III a	39
2.3.2.4. Zona II	40
2.3.2.5. Zona I	42
2.3.3. <i>Medidas Operativas</i>	42

2.4. RECARGA ARTIFICIAL	42
2.4.1. Análisis de su Aplicación	42
2.4.1.1. Diseño Preliminar	43
2.4.2. Estudio de Detalle	43
2.4.2.1. Objetivo y Alcances	43
2.4.2.2. Investigación de la Zona	44
2.4.2.3. Investigación del Sistema de Recarga	45
2.4.3. Diseño del Sistema de Recarga	46
2.4.3.1. Conceptos Generales	46
2.4.3.2. Características Constructivas y Ubicación de las Piletas	48
2.4.3.3. Calidad del Agua de Recarga	49
2.4.3.4. Recuperación y Reutilización del Agua Recargada	49
2.4.3.5. Red de Pozos de Observación	50
2.4.3.6. Operación del Sistema	50
2.5. IMPACTO AMBIENTAL	52

1. FUENTES SUPERFICIALES

1.1. ESTUDIOS DE FUENTES

1.1.1. Objetivo

Los estudios de aprovechamiento de fuentes de agua superficial, para la provisión de agua potable deben comprender básicamente la evaluación de:

- El caudal disponible en relación a la demanda del proyecto.
- La calidad del agua cruda y su variación estacional, para establecer el tratamiento de potabilización que permita ajustarla a las Normas de calidad de agua de consumo.
- La crecida máxima, en relación a la seguridad de la obra de toma.

El caudal o volumen disponible depende de diversos factores entre los cuales los más importantes son la duración, intensidad y frecuencia de las precipitaciones, el clima, la vegetación, las características geográficas, topográficas y geológicas.

La calidad del agua depende de los microorganismos y de las materias orgánicas y minerales presentes. Por otra parte, especialmente en las zonas habitadas, puede producirse la contaminación del agua por las descargas no controladas de efluentes cloacales o industriales.

A continuación se señalan los distintos casos que pueden presentarse y el detalle de los estudios a realizar.

1.1.2. Ríos o Arroyos

1.1.2.1. Estudios Básicos

Se deberán realizar los estudios topográficos y de suelos que se detallan en los Capítulos correspondientes de las presentes Normas. Respecto a estos últimos, de acuerdo a la importancia y el tipo de obra, el ENOHSA podrá exigir entre otras, las determinaciones de cortes transversales geológicos y de la permeabilidad del suelo y del subsuelo.

1.1.2.2. Estudios Relacionados con la Ubicación de la Obra de Toma

Deberán efectuarse los estudios técnico–económicos de alternativas, para la localización y diseño de la obra de toma, basados en lo siguiente:

- Localización de obras públicas y privadas existentes en la zona circundante que puedan ser afectadas por el proyecto o que puedan afectar al proyecto.
- Localización de posibles fuentes de contaminación, descarga o arrastre de materias orgánicas, líquidos cloacales y desagües industriales.
- Datos provenientes de estaciones limnimétricas, etc. en la zona circundante.

- Tipos de vegetación, cultivos y bosques en la zona tentativa de proyecto y circundante.
- Arrastre de sedimentos de la fuente de agua y que podrían ser interferidos por la obra de toma, particularmente en las crecidas.
- Efectos de las crecidas desde el punto de vista de la resistencia y estabilidad de la estructura de la obra de toma.
- Datos sobre la cimentación de obras hidráulicas existentes en las proximidades.
- Capacidad portante del suelo para la fundación de la estructura de la obra de toma.
- Cota mínima y de crecida del curso de agua.
- Riesgos de erosión de las márgenes del río frente a eventuales crecidas y estudio de la necesidad de protecciones.

1.1.2.3. Calidad de Agua

A los fines de asegurar la calidad del agua, se deberán extraer muestras para determinar en el laboratorio los parámetros establecidos en las Normas de calidad de agua de consumo que sean de aplicación. También, para la realización de ensayos de tratabilidad del agua.

Deberán incluirse determinaciones que permitan prever la aparición eventual de problemas de olor y sabor. Si la fuente es un canal de baja turbiedad se deberá realizar un estudio cualicuantitativo de fitoplancton y zooplancton. De detectarse la presencia de cianobacterias, se deberán realizar determinaciones analíticas con la finalidad de identificar la presencia de toxinas. En todos los estudios se deberán incluir determinaciones del número umbral de olor según la técnica establecida en los Métodos Estándar para el Análisis de Agua y Líquidos Residuales de la American Water Works, la American Health Public Association y la Water Environment Federation en su última edición. Podrán aceptarse otras técnicas cualitativas de determinación de sabor y olor si son debidamente justificadas por los proyectistas.

De no poder controlarse económicamente los problemas de sabor y olor, deberán buscarse fuentes alternativas.

Las muestras se deberán extraer durante las épocas de crecida y de estiaje, en los posibles lugares de toma y en los afluentes próximos de importancia.

1.1.2.4. Caudal Disponible

Se deberá requerir en todos los casos la información básica y los estudios complementarios que se mencionan en los puntos que siguen, destacándose que estos últimos no serán necesarios cuando se cuente con datos fehacientes de aforos de parte de entidades públicas o privadas reconocidas, de acuerdo con los cuales el caudal mínimo disponible sea compatible con el caudal y período de diseño.

Los estudios a realizar comprenden:

Estudios climáticos

La información básica a recopilar deberá consistir en los datos existentes en lo que respecta al promedio de las precipitaciones mensuales, los registros de distintas tormentas y las temperaturas máximas y mínimas de invierno y verano.

Los estudios deben comprender como mínimo los siguientes aspectos:

- Precipitaciones mensuales en diversas localidades de la cuenca, obtenidos en el Servicio Meteorológico Nacional. Los mismos deben comprender por lo menos 25 años, salvo indicación en contrario del ENOHSa. En el caso de insuficiencia de datos podrá realizarse la correlación pluviométrica de la cuenca en estudio con otra cercanas de similares posibilidades de precipitación.
- Intensidad y dirección de vientos.
- Temperaturas medias mensuales.

Estudios hidrológicos

La información básica a obtener deberá consistir en la recopilación y análisis de los datos sistemáticos existentes de información hidrométrica y aforos de entidades públicas y privadas reconocidas, e informaciones locales y/o aforos directos para determinar caudales de crecida y estiaje.

En el caso de no contarse con la información citada, se deberán realizar aforos expeditivos tomados simultáneamente con las alturas hidrométricas, en distintas condiciones del río a fines de establecer la ley altura-caudal. Asimismo se deberá determinar el “caudal básico” mediante aforos en períodos de estiaje.

En aquellos casos donde todo lo anteriormente señalado no fuera posible, se requerirán las siguientes informaciones en la zona a estudiar:

Determinación de la cuenca de aporte en base a las planchetas del IGM, mapas zonales, etc.

- Comparación de datos entre las series de las distintas estaciones pluviométricas.
- Determinación de la precipitación media en la cuenca por los métodos de media aritmética, de Thiessen o de las isohietas, y el análisis estadístico de máximas tormentas con la determinación de la ley de mejor ajuste.
- Análisis de tormentas. Registros, histograma de tormentas de no muy larga duración (entre 1/3 y 1/5 del tiempo de concentración de la cuenca).
- Si el ENOHSa lo considerara conveniente, se deberá determinar el volumen de evaporación media. La evapotranspiración potencial podrá establecerse mediante mediciones directas o en el caso en que éstas no sean factibles mediante fórmulas empíricas como las de Lugeon, Meyer o Thornthwaite.

Partiendo de los datos pluviométricos, se deberá establecer cuál será la lluvia neta. Esto último, se deberá determinar teniendo en cuenta la conformación de las subcuencas, la cobertura vegetal, el manejo actual agropecuario, la clasificación hidrológica de los suelos, la infiltración, etc.

En el caso de insuficiencia de datos, podrá utilizarse la comparación hidrológica con cuencas próximas similares a la cuenca en estudio.

1.1.2.5. Crecida Máxima de Proyecto

Se procederá de la siguiente manera:

- Si existiera suficiente cantidad de datos sobre caudales, se llevará a cabo el análisis estadístico de los máximos caudales anuales, determinando la ley de mejor ajuste.
- La crecida de proyecto se obtendrá de esta última, para una recurrencia no inferior a la vida útil de la obra.
- Si no existiera suficiente cantidad de datos sobre caudales, la crecida de proyecto se calculará mediante el método del hidrograma unitario. El hidrograma de proyecto se obtiene multiplicando las ordenadas del hidrograma unitario, por la precipitación neta correspondiente a la máxima tormenta para una recurrencia no inferior a la vida útil de la obra.

Para determinar el hidrograma unitario se podrá proceder de cualquiera de las dos maneras siguientes:

- En base a los datos correspondientes a varias tormentas de no muy larga duración, (duración entre $1/3$ y $1/5$ del tiempo de concentración de la cuenca).
- En base a métodos empíricos tales como el de Snyder u otros, en caso de no contar con registros de tormentas. Se determina así el hidrograma unitario sintético cuyos coeficientes de ajuste se deberán fijar en base a la correlación de las características físicas de la cuenca en cuestión con las correspondientes a cuencas similares de las cuales se poseen hidrogramas realmente registrados.

Cuando el ENOHSA lo considere necesario deberán realizarse los siguientes estudios adicionales :

- Cálculo de crecidas mediante ambos métodos indicados precedentemente, es decir llevando a cabo el análisis estadístico de máximos caudales anuales y por otra parte mediante el método del hidrograma unitario, a fines comparativos.
- Determinación de las características medias mensuales del escurrimiento, déficit y superávits.
- Estudios de erosión y defensas. Se deberán determinar las máximas fuerzas tangenciales y las consiguientes máximas velocidades que son capaces de soportar sin erosiones los suelos que conforman el perímetro del curso. En función de tales determinaciones se establecerá la necesidad o no de proyectar defensas.

1.1.2.6. Indicaciones Para el Informe Final

En el Informe Final, la memoria técnica deberá contener los datos, estudios y determinaciones de todos los puntos indicados anteriormente. Asimismo deberá contener las recomendaciones que sugieran sobre ampliación y profundización de estudios, conclusiones y justificaciones de la adopción de la fuente.

1.1.3. Lagos, Embalses y Lagunas

Se deberá proceder a determinar su alimentación superficial o subterránea y sus desagües, topografía y profundidades de la ribera; fluctuaciones del nivel de agua, corrientes, influencias de desagües superficiales, datos relativos a luz solar y proliferación de algas, plantas acuáticas y desechos flotantes. Serán de aplicación las consideraciones efectuadas para ríos y arroyos en relación a problemas de sabor y olor.

Se deberán extraer muestras de aguas a distintas profundidades para sus análisis físico-químicos y bacteriológicos y ensayos de coagulación si presentara turbiedad. En aquéllos casos en que el ENOHSA lo considere conveniente se deberán realizar estudios de permeabilidad y evapotranspiración.

Estudios de azolve: en los casos de tomas mediante embalses, se deberán extraer muestras del material en suspensión que llevan las aguas para la determinación del caudal sólido y la producción anual de sedimentos. Estas determinaciones permitirán proyectar los descargadores de fondo necesarios y las operaciones de limpieza y mantenimiento a los efectos de evitar la reducción de la capacidad del embalse dentro de su vida útil.

1.1.4. Manantiales

Estudios geológicos

Los mismos deberán permitir establecer el tipo de manantial de que se trata, determinando si es una fuente que emana de fisuras de capas de roca o brota de estratos de roca meteorizada o bien si brota en terreno aluvional.

Se deberá detectar la presencia o no de fallas que produzcan desviaciones en el manto acuífero. Tales desviaciones serán de vital importancia para el proyecto de la obra de toma ya que ésta deberá captar al agua en su yacimiento geológico y no en aluviones.

Deberá comprobarse si el afloramiento es único, múltiple o bien si se trata de un afloramiento lineal. En aquéllos casos en que las características del afloramiento así lo indiquen, se deberá estudiar la posibilidad de incrementar las corrientes de los estratos porosos mediante tubos colectores o galerías de infiltración.

Reconocimientos

Se deberá reconocer topográficamente la zona, verificando la inexistencia de grietas que puedan dar lugar a la contaminación de la fuente por invasión de aguas superficiales o subterráneas contaminadas.

En aquellos casos de manantiales que afloran en regiones bajas de terreno aluvional donde el agua se acumula en forma de charca o pantano, cubierta con plantas y conteniendo vida animal, deberán indagarse con mayor detenimiento las probabilidades de contaminación. Tales zonas deberán ser investigadas estableciendo su ubicación y características.

Los reconocimientos deberán incluir asimismo la factibilidad de construcción de la obra de toma y de las posibles obras complementarias.

Se deberá proceder además a la extracción de muestras de agua para sus análisis de calidad.

Evaluación de la capacidad de producción del manantial

Se deberán realizar aforos para constatar la compatibilidad entre los caudales mínimos a captar en relación con las necesidades de abastecimiento de la población.

Los aforos se deberán realizar en distintas épocas del año, especialmente en las épocas de lluvias y las de estiajes, para la determinación de caudales máximos y mínimos, régimen del manantial y posibles intermitencias.

Para caudales pequeños podrá aforarse por mediciones directas mediante el llenado de recipientes de volumen conocido. Para caudales mayores (en general mayores de 3 l/s) el método más conveniente puede considerarse el aforo por vertedero.

Se deberá aforar durante el mayor tiempo posible, incluyendo necesariamente el período de estiaje.

En los caudales cronológicos deberán consignarse los días de lluvias y cantidad de agua caída estableciendo de este modo la correlación entre ambos fenómenos y deduciendo por lo tanto el tiempo que tarde en manifestarse en el manantial la influencia de las lluvias.

La variación de la turbiedad y temperatura del agua serán elementos de juicio para establecer la correlación anteriormente mencionada.

La técnica del aforo debe ser tal que no interfiera el escurrimiento natural de las aguas, dando lugar de este modo a mediciones falsas.

En tal sentido, si se afora por vertedero, habrá que tener especial cuidado de no alterar con el remanso del vertedero las condiciones de salida del manantial. El remanso formado puede anegar la boca del manantial, y disminuyendo la carga sobre el mismo, reducir el caudal.

1.1.5. Agua de Lluvia

En aquellas localidades donde no se cuente con fuentes superficiales o subterráneas aprovechables para el abastecimiento de agua se deberá estudiar la posibilidad de utilizar aguas de lluvia, en cuyo caso será necesario obtener la siguiente información:

Suelos

Los suelos se deberán estudiar desde los puntos de vista de su permeabilidad, arrastre de material durante las lluvias, calidad para el desarrollo de especies vegetales y su calidad en cuanto a la posibilidad de incorporar al agua sales u otros elementos que desmejoren su potabilidad.

En caso de que no se conocieran suficientemente las características del suelo de la cuenca receptora, se podrán realizar los siguientes estudios:

- Para el estudio geotécnico se deberán practicar sondeos mediante perforaciones distanciadas entre uno y cinco kilómetros, según la homogeneidad que presente y con profundidades entre uno y dos metros, con extracción de muestras cada 50 cm.
- Para el estudio de la permeabilidad se deberán practicar pozos excavados a cielo abierto, con profundidades de uno a dos metros y distanciados con igual criterio que en el caso anterior, según la homogeneidad que presente el terreno a través de los ensayos.

Topografía

Se deberá realizar el relevamiento topográfico con el suficiente detalle como para definir las posibles cuencas y cauces aprovechables.

Para ello se deberá utilizar la información fotográfica aérea disponible y la fotointerpretación respectiva, complementando ese estudio con el relevamiento topográfico.

Precipitaciones

Se deberá obtener un registro confiable de lluvias que abarque el mayor número posible de años, a satisfacción del ENOHSA.

Si no se poseen registros de la misma localidad en estudio, se podrán utilizar los de lugares próximos con características climáticas similares.

Si de la localidad en estudio sólo se poseen registros de pocos años, podrán compararse con otros registros más amplios y extrapolar valores.

Se deberán aplicar coeficientes de seguridad cuyo valor deberá ser mayor en la medida en que resulte menos confiable o completa la información disponible.

Los valores obtenidos se deberán volcar en planillas y gráficos que determinen dentro del período considerado lo siguiente:

- Intensidades de las precipitaciones diarias ocurridas.
- Frecuencia de precipitaciones diarias de fuertes valores.
- Precipitaciones anuales.
- Duración de las precipitaciones.
- Frecuencias e intervalos de recurrencia para distintas precipitaciones anuales.
- Tablas o gráficos de análisis estadísticos.

El proyectista podrá quedar en libertad para aplicar los criterios y métodos estadísticos y de probabilidad que considere adecuados a la información disponible, pero el estudio deberá brindar los elementos básicos para poder definir la precipitación de cálculo, la

capacidad necesaria de almacenamiento y la probabilidad de que se produzcan precipitaciones menores que la de cálculo, durante el período de diseño.

No se deberán considerar las precipitaciones diarias menores de un valor a determinar de acuerdo al clima, naturaleza del terreno, material de arrastre, vegetación, pendientes, etc. Para terrenos naturales, no habiendo otro elemento de juicio, podrá adoptarse el valor de 40 mm.

Además, al llegarse a la etapa de proyecto, puede ocurrir que no puedan considerarse los excedentes de precipitaciones superiores a un determinado valor que colme la capacidad de las obras de conducción hasta la represa.

Evaporación y transpiración

No se exigirá la medición de estos dos valores. Se podrán determinar por mediciones en el lugar o de no ser factibles, por fórmulas empíricas o procurando obtener información sobre evaporación en la zona, evaluando el clima y cuidando de aclarar si los registros corresponden a evaporímetros terrestres o flotantes.

Para la definición de la evaporación y transpiración de la superficie terrestre, se deberán investigar las características del suelo, profundidad del agua subterránea, clase y madurez de la vegetación natural y posible vegetación que admite la clase de terreno.

El conjunto de la transpiración y la evaporación que constituye la evapotranspiración puede medirse aunque con escasa precisión, observando la diferencia ente el volumen de la precipitación sobre una porción de terreno y el recogido mediante drenes que cubran el sector.

De los valores antes mencionados la mayor importancia para el diseño hidráulico de la planta, la tiene la evaporación que ocurre a través de la superficie de agua de las represas. Los restantes influyen en la escurrentía al mantener diferente grado de humedad en la capa superior del terreno y disminuir la absorción del agua de la precipitación.

Aguas freáticas

Se deberá analizar su calidad y verificar su nivel y potencia en las diferentes épocas del año, en relación a la posibilidad y conveniencia de utilizarla como complemento del agua de lluvia para ser mezclada con la misma en las represas o reservas.

La potencia y nivel de la napa freática tiene interés desde el punto de vista de la influencia que pueda tener esta napa, sobre las obras proyectadas y la calidad del agua de escurrimiento. Además reviste importancia, si se prevé una explotación mixta con aprovechamiento directo de la napa freática o si se prevén recargas de pozos abiertos.

Escurrimiento de las aguas

La aplicación de coeficientes empíricos y generales para la determinación del escurrimiento, puede dar lugar a gruesos errores justamente en la determinación de la superficie de la cuenca necesaria. Pueden aplicarse coeficientes empíricos en el caso de superficies receptoras impermeabilizadas, en las que puede aceptarse un valor de 0,90.

Para el caso de cuencas naturales, se deberá proceder con el siguiente criterio:

- a) Determinación de una curva o tabla que indique para cada altura de la precipitación, el volumen escurrido por unidad de superficie receptoras. La determinación de la curva o tabla puede lograrse en las siguientes formas:
- Por la aplicación de tablas que den esos valores para situaciones de clima y suelos semejantes al que se estudia. Pueden utilizarse al efecto las tablas y criterios expuestos en la publicación “Diseño de Pequeñas Presas” (Bureau of Reclamation – United States Department of the Interior). También pueden aplicarse las tablas y fórmulas del “Método racional generalizado”.
 - Por la observación, durante un ciclo completo de un año, de la relación precipitación-escurrimiento en una planta de características similares en clima y suelos a la que se estudia.
 - Por el ensayo en el propio terreno en estudio, en una cuenca piloto preparada para tal efecto. Esta solución es aconsejable para poblaciones de cierta magnitud.
- b) Aplicación de un índice de corrección para las lluvias que ocurren a continuación de otra anterior, denominada precipitación precedente, en cuyo caso, por la saturación de humedad del suelo, la escorrentía es mayor.
- c) Con los valores de a) y las correcciones de b), construcción de las curvas de aportes anuales aprovechables para la unidad de la superficie receptora. Se deberán tomar los años más secos y sus inmediatos para que en la etapa de proyecto se puedan utilizar tomados de a dos años seguidos, para determinar el volumen de reserva necesario.
- d) Si se puede encontrar, para años secos y semisecos, y para la cuenca en estudio, un coeficiente único para cada valor de precipitación anual, que dé la relación entre la altura de la precipitación y valor del escurrimiento, podrá aplicarse para simplificar, la tarea indicada en el punto c).

Calidad de las aguas

Se deberán realizar análisis protistológicos de las aguas represadas de la zona para estudiar la posible proliferación de algas en el represamiento a construir y los métodos correctivos apropiados.

Además, como ya se ha mencionado, se deberán realizar análisis químicos y físicos de las agua freáticas, para determinar la posibilidad de desmejoramiento de la calidad del agua represada.

Estación meteorológica

En los casos en que no existe información adecuada, se deberá estudiar la posibilidad de la instalación inmediata de una estación meteorológica para obtener información sobre precipitaciones, temperaturas, humedad, vientos, evaporación, etc. La obtención de estos datos durante uno o dos años previos a la iniciación de las obras, podrá ser utilizada para confirmar o ajustar dimensiones o características de las obras de captación o tratamiento.

1.1.6. Otras Fuentes Superficiales

Canales de riego

Se deberán obtener los datos completos de la fuente; alimentación, régimen, aforos, área de riego que sirve, etc., perjuicio que ocasionaría la derivación del caudal necesario en la economía de la zona, por disminución del área de riego; período de limpieza anual; toma suplementaria sobre otro canal próximo donde el corte del agua no coincida con el principal: caudales disponibles a derivar; muestras de agua para análisis químico y bacteriológicos. En todos los casos, debe establecerse el compromiso de cesión a través de la documentación correspondiente con el caudal necesario para cubrir la demanda durante el período de diseño.

Derivación desde obras existentes de provisión de agua potable

No existiendo fuentes locales o relativamente cercanas se podrá considerar la utilización de obras ya habilitadas en localidades próximas siempre que lo permita la capacidad de la fuente y que las condiciones sanitarias, técnicas y económicas de esta solución ofrezcan ventajas con respecto al uso de otras fuentes. Se deberán aportar los datos de la fuente a efectos de evaluar su capacidad actual y futura, análisis químico y bacteriológico, estado de las instalaciones, etc. También en este caso debe establecerse el compromiso de cesión correspondiente del caudal necesario para cubrir la demanda durante el período de diseño.

Agua de mar

En las zonas costeras y no existiendo otras posibilidades de utilización económica de fuentes de agua dulce de origen superficial, puede analizarse la factibilidad de utilización de agua de mar, previendo como es obvio el correspondiente tratamiento para reducir el tenor de sales presentes a niveles de potabilidad.

1.2. OBRAS DE TOMA

1.2.1. Generalidades

Al analizar una captación de agua superficial, el proyectista debe considerar en primer lugar los riesgos de contaminación y consecuentemente, las previsiones que deben tomarse para garantizar la confiabilidad y estabilidad de la calidad de agua.

Simultáneamente debe asegurar una capacidad hidráulica con un mínimo riesgo de interrupción, equivalente al caudal máximo diario para el final del período de diseño.

Para la verificación de estos objetivos, conviene distinguir las particularidades de los ríos o arroyos, y las de los lagos o embalses.

En todos los casos, se deben desarrollar los estudios hidrológicos, aforos, etc. que permitan definir el rendimiento y régimen de las cuencas de captación. Por otra parte, las características geográficas y topográficas, los estudios geotécnicos, los aspectos ambientales y legales, y los riesgos de contaminación, conforman con los primeros, los

factores que influyen en la factibilidad, características técnicas y envergadura del proyecto de la obra de toma y por lo tanto, deben ser adecuadamente analizados.

Finalmente, de la comparación económica de alternativas técnicamente viables, debe surgir el diseño de captación a adoptar.

1.2.2. Ríos y Arroyos

1.2.2.1. Capacidad Hidráulica

La obra de toma debe ser capaz de captar el caudal de diseño, aún en las condiciones más desfavorables. Para ello, se debe determinar el caudal mínimo disponible del curso de agua, sustentado en datos de aforos y/o pluviométricos, obtenidos durante un período suficientemente prolongado para hacer confiables los resultados que se logren del procesamiento de dicha información.

El caudal de la fuente en época de estiaje, debe ser como mínimo el triple del caudal máximo diario para el final del período de diseño, admitiéndose que sea sólo el doble si el sistema integral se desarrolla por gravedad sin necesidad de bombeos intermedios.

Si el caudal mínimo no permitiera cubrir la demanda, pero el caudal promedio en un período que abarque el intervalo de ocurrencia del mínimo fuera suficiente, puede estudiarse la viabilidad de la construcción de un embalse cuyo volumen alcance para satisfacer los consumos de la época seca, evitando así cortes en la prestación del servicio.

Si la corriente fuera de muy pequeño caudal y tirante, puede proyectarse una presa de derivación para mantener la toma sumergida, garantizando en todo momento la captación del caudal de diseño y evitando el arrastre de aire.

Adicionalmente, el proyectista debe analizar para el diseño de la toma los siguientes aspectos:

- Los registros históricos de niveles de agua con la finalidad de definir:
 - La cota de la boca de toma que permita captar agua aún en la mínima bajante.
 - La cota de las máximas crecientes para evitar la inundación de las instalaciones electromecánicas y las obras civiles complementarias.

En los casos en que la toma se encuentre en una zona donde el nivel del agua pueda sufrir grandes cambios, la obra debe estar en condiciones de adaptarse a los mismos.

- Las protecciones necesarias de la boca de captación mediante rejas o láminas perforadas, previendo además su limpieza periódica, frente a los riesgos de ingreso al sistema de elementos sólidos o cuerpos extraños que transporte el curso de agua y que pudieran causar daños u obstrucciones.
- La seguridad estructural, mediante un emplazamiento de la obra en un fondo estable y realizar las verificaciones a la flotación, al volcamiento y a las socavaciones, debiendo preverse, las instalaciones de alivio o descarga frente a las crecidas y las protecciones para el tránsito en el río.

1.2.2.2. Calidad de Agua

Las obras de toma pueden estar expuestas a contaminación por descargas cloacales, industriales, pluviales y/o por la presencia de vaciaderos de basura. Por lo tanto, debe evitarse la ubicación de la obra de toma aguas abajo de las descargas mencionadas, a menos que:

- Se demuestre una adecuada capacidad de autodepuración del río o arroyo, sustentada en modelos matemáticos y/o análisis de calidad de agua realizados en épocas críticas.
- Se establezcan claramente los controles y responsabilidades respecto a las descargas contaminantes.
- Se prevean en el proyecto para el caso de contingencias, diferentes condiciones de operación tales como la utilización de fuentes complementarias o alternativas, variaciones en la potabilización del agua, etc. para disminuir los riesgos a niveles aceptables.

Es necesario tener en cuenta que se debe:

- Ubicar la toma en una zona con buena profundidad y en la orilla opuesta a la que acumule mayor cantidad de sedimentos. Para ello hay que verificar la capacidad de erosión del cauce en la orilla que tiene la competencia erosiva para verificar que no se llegue a trabajar dentro de límites inestables.
- Evitar la captación de aguas de crecientes o en caso contrario, prever las condiciones de operación del sistema para esa contingencia.

1.2.3. Lagos o Embalses

1.2.3.1. Capacidad Hidráulica

Con la finalidad de determinar si el volumen de almacenamiento es suficiente para cubrir la demanda aún en las condiciones más desfavorables, el proyectista debe evaluar la alimentación al lago o embalse y su variabilidad estacional, el desagüe, la permeabilidad del fondo, la evapotranspiración, etc. Por otra parte, a través del conocimiento de las fluctuaciones del nivel de agua, debe diseñarse la obra de toma para que pueda captar en todo momento el caudal de diseño.

1.2.3.2. Calidad de Agua

En líneas generales, las aguas de lagos y embalses suelen ser menos turbias que las de ríos caudalosos, por la posibilidad de sedimentación de partículas que se presenta en aguas quietas, pero pueden manifestarse problemas de color, como consecuencia del desarrollo de plantas acuáticas.

Por otra parte, la calidad del agua puede variar según el sector y profundidad a considerar, lo que es relevante para la selección de la ubicación de la toma.

Otro aspecto que debe considerar por el proyectista es la acción de las olas, especialmente en el caso en que no haya suficiente profundidad y el espejo de agua sea de cierta extensión, debido a que podría producir el levantamiento de sedimentos del fondo.

En relación al transporte y difusión de los contaminantes, las fluctuaciones del nivel de agua y la influencia de los vientos predominantes, así como las corrientes superficiales y subsuperficiales deben tenerse en cuenta, pudiendo obligar a prever distintas profundidades de captación, de acuerdo a las variaciones de la calidad de agua para los correspondientes niveles, originadas en los cambios de las condiciones mencionadas.

Una toma ubicada muy cerca del fondo puede captar particularmente en estiaje, agua turbia o con cierto contenido de materia orgánica descompuesta, por lo que conviene que la distancia entre el fondo del lago y la cara inferior del filtro no resulte menor de 50 cm. Por el contrario, si está ubicada muy próxima a la superficie puede contener desechos flotantes, algas y plantas acuáticas, por lo que es recomendable captar a una profundidad mayor a 30 cm.

Finalmente, para la determinación de la ubicación del lago o embalse respecto a zonas urbanas o campos en explotación agrícola, debe evaluarse la magnitud de los riesgos de contaminación química y microbiológica, proliferación de algas y plantas acuáticas, acumulación de desechos flotantes en general, y todos aquéllos aspectos que puedan influir en la calidad del agua.

1.3. REQUISITOS LEGALES, AMBIENTALES Y OPERATIVOS

Complementando los aspectos relativos a la capacidad hidráulica y a la calidad del agua que se han expresado hasta ahora, deben atenderse una serie de requisitos básicos como los que se describen a continuación:

1.3.1. Aspectos Legales

Con la debida antelación, deben cumplimentarse las autorizaciones para el emplazamiento de la obra y el compromiso, suscripto por el Organismo que corresponda, de cesión del agua para garantizar la cobertura de la demanda durante el período de diseño. Asimismo, deben establecerse los resguardos correspondientes en cuanto a eventuales focos contaminantes aguas arriba.

1.3.2. Aspectos Ambientales

Debe evaluarse si la obra se encuentra o es aledaña a áreas de interés ambiental, y en tal caso, cumplimentar las reglamentaciones de aplicación. En particular, es necesario minimizar las alteraciones que pueda producir la obra en el curso de agua, tales como interferencias para la navegación, actividades recreativas u otros usos, perjuicios graves a la fauna ictícola y problemas de embanques y erosiones. Estos últimos, se pueden reducir localizando la obra preferiblemente en tramos rectos.

En todos los casos que el ENOHSA lo considere necesario se deberá incorporar al proyecto el estudio de las alteraciones que la obra de toma pueda ocasionar al curso y las medidas adoptadas para atenuarlas.

1.3.3. Operación y Mantenimiento

El proyecto debe facilitar y minimizar las tareas de operación, limpieza y mantenimiento sin interferir el servicio; al respecto se deben prever medios de acceso adecuados para personal y equipos, iluminación, y elementos de protección y cercado, para evitar la entrada de personas y animales extraños, disponiéndose los elementos para la limpieza y los dispositivos para el control y la medición de caudales. Asimismo, deben quedar claramente expresadas las recomendaciones para las tareas de monitoreo, mantenimiento, y las acciones a desarrollar en las contingencias. Al respecto pueden señalarse:

- La limpieza de las rejillas con una frecuencia preestablecida o en función de la pérdida de carga.
- La limpieza por retrolavado de los caños filtros.
- El mantenimiento del equipamiento electromecánico.
- El permanente control de la calidad del agua cruda y el procesamiento de los datos para permitir predecir los picos de su desmejoramiento y la duración de los mismos, y la identificación, seguimiento y minimización de los eventuales focos de descargas contaminantes.
- El control periódico del estado de las tuberías flexibles y anclajes en el caso de tomas con plataformas flotantes.
- La limpieza y desinfección con posterioridad a una crecida, etc.
- En el caso de captación de aguas de lluvia mediante plateas impermeabilizadas, el control del crecimiento de malezas, la reparación de fisuras y el mantenimiento de las zanjas que desvían las aguas de los alrededores.
- En las represas, el control de las algas por medio de alguicidas y los riesgos de ingreso de elementos tóxicos desde la cuenca de captación por ejemplo si ésta abarca zonas urbanas o campos en explotación agrícola.

1.4. INSTALACIONES COMPLEMENTARIAS DE LAS OBRAS DE TOMA

Para cada una de las instalaciones complementarias de la captación como rejillas, caños filtros, desarenadores, conductos, canales, etc., se debe acompañar su diseño, cálculo de las pérdidas de carga, determinación de velocidades y la documentación gráfica que defina con precisión sus dimensiones, ubicación con relación a puntos fijos debidamente balizados y toda la información necesaria para su correcta ejecución.

1.5. CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIAS

En los casos en que resulta imposible o antieconómica la captación de aguas subterráneas o superficiales, debe analizarse la viabilidad del aprovechamiento de aguas de lluvia.

Los sistemas en general se componen de una superficie de captación, un volumen de almacenamiento de agua cruda conformado por una represa o aljibe según sea la envergadura del servicio, un tratamiento potabilizador y un volumen de reserva de agua tratada.

El área de captación y el volumen de almacenamiento de agua cruda, pueden definirse a partir del conocimiento del régimen de lluvias, en lo posible para un número significativo de años, y el consumo a cubrir con el servicio.

Por otra parte, el tratamiento potabilizador deberá depender de las características de la superficie de captación, siendo usualmente una filtración seguida por la desinfección. Complementariamente, una dosificación controlada de cal puede permitir atenuar la acidez que naturalmente posee el agua de lluvia.

1.5.1. Área de Captación

En sistemas domésticos se utilizan directamente las superficies de los techos y patios de las viviendas.

En sistemas públicos, según sean las condiciones del suelo pueden utilizarse las superficies naturales de la cuenca con preparaciones mínimas, o en caso contrario plateas de empedrado o de hormigón. Los canales de recolección por otra parte, se deben diseñar usualmente para conducir en un mes la cuarta parte de la precipitación anual.

1.5.2. Volumen de Represas

Deben ser capaces de retener el agua captada de la precipitación por un tiempo breve, permitiendo la posterior potabilización y la conducción a la reserva de agua tratada.

Su número no debe ser inferior a dos, y debe asegurarse la impermeabilización de taludes y fondo a través de compactación, con suelos seleccionados, membranas, etc.

Las primeras aguas deben descartarse enviándolas a un desagüe y previendo en la llegada de la tubería de recolección a la represa una cámara con válvulas o compuertas para tal efecto. Otra posibilidad, es tratar de aprovecharlas mediante el envío hacia sectores bajos con suelos permeables para su posterior captación desde pozos filtrantes y bombeo hacia la represa.

Para el volumen de las represas debe realizarse la comparación de la curva anual de aportes a la cuenca y la curva de consumos. Se obtiene calculando la suma de los valores absolutos de:

- La mayor diferencia en exceso entre el volumen escurrido acumulado para el período crítico de lluvias y el volumen necesario acumulado teniendo en cuenta en esta última la evaporación, infiltración y consumo
- La mayor diferencia en defecto.

Cuando no se disponen de aforos durante el año, deben utilizarse procedimientos que permitan obtener el caudal superficial que se genera en una cuenca para una precipitación dada, definiendo esta última por su duración e intensidad. La relación entre el caudal superficial y el precipitado debe estar dada por el coeficiente de escorrentía.

La determinación del volumen de escorrentía, es decir la precipitación efectiva a partir de una precipitación caída en una cuenca, es función de numerosas variables, entre las que pueden mencionarse el tipo de suelo, la pendiente, la vegetación, el porcentaje de cobertura, el grado de humedad, etc. El Soil Conservation Service (SCS) de Estados Unidos, elaboró una metodología para la estimación de la escorrentía que ha sido comprobada en distintas partes del mundo.

Pérdidas por Evaporación en la Represa

La evaporación depende de:

- La temperatura del aire y la radiación solar: incrementan la evaporación.
- La velocidad y turbulencia del viento: también la incrementan.
- Presión: la evaporación aumenta cuando la presión disminuye.
- Salinidad del agua: la evaporación disminuye con el aumento de la concentración salina.

Se determinan con mediciones en estaciones o con el empleo de fórmulas de equilibrio de energía.

Pérdidas por Infiltración en la Represa

Pueden determinarse por ensayos con infiltrómetros en el lugar, lo que sería más representativo, o por ensayos de permeabilidad en laboratorio.

Potabilización y Reserva

A partir de la información estadística de lluvias se debe dimensionar el sistema de potabilización, para que sea capaz de tratar el agua en un tiempo inferior al que medie entre dos precipitaciones sucesivas.

El proyectista debe incluir un pretratamiento que evite el paso de arena, hojas, insectos y cualquier otro contaminante. Las entradas de aire y desagües deben quedar protegidas por tamices para evitar el paso de elementos indeseables. La desinfección de las aguas se debe realizar usualmente por cloración. Por otra parte, como ya se mencionó es conveniente dosificar cal para atenuar la acidez natural de las aguas de lluvia.

En el caso de que se capte agua directamente de la cuenca, el proyectista debe tener en cuenta el arrastre de los suelos para el diseño del sistema de tratamiento, incorporando

antes de la filtración una etapa de sedimentación a menos que se demuestre que no es necesaria.

1.6. CAPTACIÓN EN MANANTIALES

Los manantiales son simplemente aguas subterráneas que afloran naturalmente a la superficie de la tierra.

Cuando el manantial se origina en un acuífero confinado entre estratos impermeables, su producción suele ser uniforme durante todo el año.

En el caso de manantiales procedentes del manto freático, su producción está muy afectada por el régimen de lluvias, pudiendo llegar a secarse durante la estación seca o inmediatamente después.

Todos los manantiales, y en particular los de origen freático, están expuestos a contaminación en la zona próxima al sitio de afloramiento. Por lo tanto, se debe realizar un reconocimiento sanitario de la zona adyacente, determinar el origen y calidad del agua y el rendimiento del manantial en las diferentes épocas del año.

En los casos en que se dispone de un manantial de características adecuadas en cuanto a caudal y calidad de agua, la toma básicamente debe proyectarse para impedir cualquier clase de contaminaciones, evitando la invasión de aguas superficiales o subterráneas impuras, profundizando hasta alcanzar el acuífero en su yacimiento geológico.

En tal sentido, se debe atender los siguientes aspectos:

- No alterar la calidad del agua, garantizando el libre escurrimiento hacia la cámara de toma y no interfiriendo el régimen hidráulico de la fuente.
- Prever un dispositivo de desborde de agua a través de un vertedero o de un tubo para evitar contracargar el manantial, y un conducto para la limpieza.
- Prever un depósito en el piso de la cámara para acumular las arenas presentes en el agua, facilitando su limpieza.
- Colocar una capa de tierra de unos 50 cm sobre la cámara de toma para conservar la temperatura.
- Disponer una ventilación adecuada.
- Instalar una boca de acceso con cierre hermético que impida el paso de aguas superficiales, insectos, roedores y cualquier elemento extraño.
- Construir un canal en la parte superior que evite que las aguas superficiales o de lluvia pasen sobre la toma.
- Instalar un cerco para evitar la entrada de personas y animales.

Si el manantial se presenta como un afloramiento único y localizado, la obra puede contar con una cámara sin fondo profundizada hasta el acuífero y una cámara de válvulas contigua.

En el caso de que haya varios manantiales cercanos puede proyectarse una galería colectora o varias cámaras conectadas a una cámara final.

Cuando el afloramiento se produce a lo largo de una línea, pueden colocarse tubos perforados que funcionan como colectores y que sean capaces de conducir las aguas a una cámara final.

Los materiales para las cámaras y conductos deben garantizar la hermeticidad de la obra, no alterar la calidad de las aguas, y soportar la agresividad del suelo.

2. FUENTES SUBTERRÁNEAS

2.1. ESTUDIO DE FUENTES SUBTERRÁNEAS

A fin de lograr una mejor definición y coordinación de las tareas y así una menor erogación, el estudio de fuentes subterráneas se deberá dividir en 3 etapas de complejidad y costo crecientes: Análisis de Prefactibilidad, Estudio de Diagnóstico y Estudio de Detalle.

El conjunto de estas investigaciones debe producir la siguiente información:

- Topografía y geología del área de interés.
- Litología del subsuelo, básicamente la presencia y extensión de los horizontes permeables e impermeables.
- Profundidad, espesor y extensión del acuífero a explotar y, si corresponde, del inmediatamente superior.
- Dirección y velocidad de flujo en el acuífero a explotar.
- Calidad del agua subterránea en el acuífero a explotar y su variación espacial.
- Granulometría del acuífero a explotar.
- Parámetros hidráulicos del acuífero a explotar.
- Fluctuaciones del nivel de agua subterránea en el acuífero a explotar y en el (los) que participa(n) en su recarga.
- Reserva regulatriz (aproximada) del acuífero a explotar.
- Profundidad y extensión del acuífero inmediatamente subyacente al de interés.
- Calidad del agua subterránea en los acuíferos inmediatamente sobre- y subyacente.

2.1.1. Análisis de Prefactibilidad

Debe ser llevado a cabo en todos los casos, preferentemente por el comitente del estudio, a fin de lograr un conocimiento general de las características del lugar que permita por un lado corroborar o descartar la existencia de agua subterránea aprovechable y por otro definir, si corresponde, las tareas de las etapas siguientes, o por lo menos las del estudio de diagnóstico.

La tarea a realizar es una Recopilación y Evaluación de Antecedentes, debiéndose reunir el material existente más importante relativo al agua subterránea, tal como informes y mapas geológicos e hidrogeológicos, perfiles de perforaciones importantes y análisis químicos.

Mediante el procesamiento y análisis de la información recabada se deberá elaborar un cuadro de situación de la hidrogeología de la zona y en función del mismo, se deberá determinar la posibilidad de que exista una fuente subterránea de abastecimiento y los estudios a realizar en la(s) etapa(s) siguiente(s).

2.1.2. Estudio de Diagnóstico

2.1.2.1. Objetivo y Alcances

En caso de haberse seleccionado la fuente subterránea, en esta etapa se deberá alcanzar a nivel de diagnóstico una identificación de la factibilidad técnica de captar agua subterránea de calidad y cantidad adecuadas al proyecto, determinar el tipo de captación y las eventuales obras complementarias requeridas (por ej. recarga artificial) y definir y ubicar las tareas de la etapa siguiente.

Los trabajos a realizar en esta etapa deben comprender la recopilación y evaluación de antecedentes, el censo hidrogeológico, el levantamiento geológico, las perforaciones de exploración, los análisis de laboratorio y la evaluación de resultados. Las tres primeras tareas (recopilación y evaluación de antecedentes, censo hidrogeológico, levantamiento geológico) son tareas comunes propias de la fase inicial de todo estudio hidrogeológico, por eso el estudio de diagnóstico debe ser la primera etapa del estudio hidrogeológico completo, eventualmente ampliada por una(s) perforación(es) de exploración y análisis de laboratorio, si ello resultase necesario para poder determinar la posibilidad de una explotación del agua subterránea.

La información a obtener en las tres primeras tareas debe satisfacer las necesidades de todo el estudio y no solamente las mínimas del nivel de diagnóstico.

2.1.2.2. Tareas a Ejecutar

Recopilación y Evaluación de Antecedentes

Antes de iniciar cualquier otro trabajo de exploración debe reunirse todo el material relativo al agua subterránea existente en organismos públicos y empresas privadas, tales como informes geológicos, hidrogeológicos, hidrológicos y geofísicos, mapas geológicos e hidrogeológicos, fotogramas aéreos e imágenes digitalizadas, perfiles de perforación, análisis químicos, ensayos de acuífero, información sobre plantas de agua potable y sistemas de riego. Igualmente debe conseguirse la información correspondiente a la hidrología, meteorología, suelos, uso de la tierra, etc.

La información recopilada, especialmente la de geología, hidrogeología, meteorología e hidrología, no debe limitarse a la zona de trabajo propiamente dicha sino abarcar un área mayor, normalmente la cuenca y/o la unidad hidrogeológica correspondiente.

Por su importancia para el estudio, en todos los casos se deberá obtener:

- Mapas topográficos regionales a escala 1:100.000 ó 1:50.000 y locales a escala 1:25.000 a 1:10.000. De no existir mapas se obtendrán planos municipales o catastrales. El proyectista seleccionará la escala a utilizar de manera que se defina en forma precisa la ubicación de las obras.

- Fotografías aéreas de la zona de trabajo y áreas aledañas lo más recientes posible, en escalas 1:10.000 a 1:25.000, o eventualmente 1:50.000. También, si existen, fotomosaicos.
- En caso que no existan fotografías aéreas o estén desactualizadas, imágenes satelitarias SPOT o LANDSAT TM en escala 1:50.000 o 1:100.000.
- Mapa geológico de la zona y/o región.
- Perfiles de perforación, informes hidrogeológicos, etc. con datos sobre la litología del subsuelo, los niveles de agua subterránea y su calidad, ensayos de acuífero.
- Datos climáticos e hidrológicos.
- Ubicación y caudales de los sistemas de captación de agua subterránea y/o superficial, tanto para riego como para abastecimiento, existentes o proyectados.
- El caudal de proyecto y su variación en el tiempo.

Censo Hidrogeológico

Se llevará a cabo mediante una recorrida de la zona de estudio, visitando todas las manifestaciones de agua (pozos, manantiales, ríos, lagunas, etc.) y representándolas en un mapa topográfico y/o una fotografía aérea con la mayor precisión posible. De cada una se registrarán los siguientes datos: ubicación, tipo, profundidad, características de las obras ejecutadas, perfil geológico, acuíferos, temperatura, pH y conductividad eléctrica del agua, caudal obtenido, uso del mismo y niveles de agua, en la medida que las instalaciones lo permitan. Todos los datos obtenidos se volcarán en una ficha de relevamiento.

En cada manifestación censada se deberá coleccionar una muestra de agua de 1 litro, en una botella de plástico resistente, sellada y rotulada, y con el tratamiento previo y conservación necesarios para evitar su alteración hasta el análisis de laboratorio.

En el caso de existir explotaciones importantes del acuífero, por ejemplo por industrias o para irrigación, se deberá averiguar el consumo anual de agua subterránea y los antecedentes técnicos de las captaciones.

En oportunidad de realizarse el censo hidrogeológico se deberá proceder también a identificar y localizar las posibles fuentes de contaminación del agua subterránea.

Levantamiento Geológico

Si los mapas geológicos recopilados tienen el detalle adecuado a las necesidades del estudio de fuentes, deberán ser revisados mediante observaciones de campo, complementando y ajustando las unidades mapeadas con criterio hidrogeológico, buscando establecer su capacidad acuífera. Se deberá tener en cuenta tanto la litología y estructura de las unidades, como aspectos geomorfológicos e hidrológicos.

Cuando el material existente no satisfaga los requerimientos del estudio, el levantamiento geológico se deberá llevar a cabo mediante una fotointerpretación y control de campo identificando y representando, en función de su significado hidrogeológico, las formaciones y estructuras geológicas, unidades litológicas, rasgos geomorfológicos, y red de drenaje.

En caso de no existir fotografías aéreas ni satelitarias adecuadas, se deberá realizar un mapeo geológico regular de campo.

Perforaciones de Exploración

En el caso de que la información obtenida en los trabajos anteriores sea insuficiente para proporcionar los conocimientos que permitan definir la posibilidad de un abastecimiento con agua subterránea, deberá realizarse una o más perforaciones de exploración.

La cantidad de perforaciones a ejecutar será función de las características especiales de cada localidad. Se deberá realizar, por lo menos, una por emplazamiento posible de las obras de captación previstas y/o unidad hidrogeológica presente en cada emplazamiento.

En todas las perforaciones la profundidad a alcanzar deberá ser suficiente para determinar el techo y la calidad del acuífero subyacente al de interés o el basamento hidrogeológico.

Las perforaciones se deberán llevar a cabo en un diámetro entre 100 y 150 mm (4" y 6") mediante el método rotativo de circulación directa del fluido de inyección, que deberá consistir en agua sin aditivo o con el mínimo necesario. Cuando por razones técnicas, por ejemplo la litología del lugar, se prefiera utilizar otro método de perforación, se deberá fundamentar satisfactoriamente el método adoptado.

Durante la ejecución de las perforaciones se deberá realizar un muestreo metro a metro del terreno atravesado y un registro de los tiempos netos de avance por metro.

Las muestras deben ser representativas de los estratos atravesados y deberán permitir definir las características litológicas y granulométricas de cada uno de los horizontes observados. Para ello las operaciones de perforación se deberán ajustar a la litología atravesada y toda la tarea ejecutarse bajo la supervisión técnica de un hidrogeólogo experimentado.

Alcanzada la profundidad deseada, se deberá efectuar un cambio de inyección e inmediatamente después un perfilaje geofísico de la perforación con la obtención de un registro continuo de radiación gamma natural, resistividad (focalizada o normal corta y larga), potencial espontáneo y diámetro de perforación ("caliper").

En el caso de que la calidad química del acuífero sea desconocida, la perforación será entubada con caños de PVC de 100 mm de diámetro, grava y filtro frente a la capa de interés y sellados en ambos extremos del filtro. Una vez concluido el entubado, se realizará una limpieza completa del pozo y se extraerá una muestra de agua representativa con un método adecuado a las características constructivas del pozo. Si en el lugar existe más de una capa de interés, en cada una se deberá construir un pozo y extraer una muestra siguiendo el esquema anterior. Del mismo modo se investigará la calidad del acuífero inmediatamente por encima y/o por debajo del de interés, si se sospecha que éste pueda tener alguna conexión hidráulica con los anteriores.

Levantamiento Topográfico

En caso de no contar con mapas existentes adecuados se deberá efectuar un relevamiento plani-altimétrico, en escala adecuada a la zona de estudio, de los puntos censados y las perforaciones realizadas.

Análisis de Laboratorio

Se deberán realizar análisis granulométricos del material que compone el acuífero y análisis químicos de la calidad del agua. Los resultados de los distintos análisis deberán ser volcados a planillas, que con los informes correspondientes deberán ser avaladas por un profesional especializado.

Para la realización de los análisis granulométricos, las muestras litológicas representativas seleccionadas de las recolectadas en la(s) perforación(es) de exploración, deberán ser analizadas mediante tamizado en laboratorio y los resultados representados como curva acumulativa.

Para la realización de los análisis químicos, las muestras de agua obtenidas en el censo hidrogeológico y las perforaciones de exploración serán analizadas en laboratorio en cuanto a sus características físico - químicas necesarias para definir su aptitud y su clasificación hidrogeoquímica. Las determinaciones a efectuar deberán ser las siguientes:

- Color, olor, sabor y turbidez.
- Conductividad Eléctrica - pH - Residuo Seco - Cloruros - Sulfatos - Carbonatos - Bicarbonatos - Calcio - Magnesio - Sodio - Potasio - Nitritos - Nitratos - Amoníaco - Fosfatos - Hierro - Manganeso - Arsénico - Cromo - Flúor - Sílice - Dureza - Alcalinidad.

La lista anterior es de carácter indicativo y podrá ser ampliada o reducida por el ENOHSA según cada caso en particular.

En caso de no analizarse la totalidad de las muestras recolectadas en el censo, la selección de las muestras a analizar deberá ser representativa del(os) ambiente(s) hidrogeológico(s) a estudiar.

Para la realización de los análisis bacteriológicos, las muestras recolectadas para averiguar su eventual contaminación, principalmente las de un acuífero freático, deberán ser analizadas con respecto a las bacterias estipuladas por las normas de calidad de agua potable que establecen las presentes Normas.

Selección de la Fuente de Provisión

El análisis de la información obtenida en las tareas precedentes, evaluadas simultáneamente con los restantes aspectos del proyecto deberá permitir establecer si se dan las condiciones que permitan la utilización de la fuente subterránea. Básicamente ellas son:

- Existencia de agua subterránea de calidad adecuada y a una distancia económicamente aceptable del lugar de consumo;
- Reserva regulatriz del acuífero del mismo orden de grandeza o superior al caudal de proyecto;
- ó
- Ausencia de otra fuente adecuada o más conveniente, aunque no se cumplan, en forma total o parcial, las condiciones anteriores.

En caso de que se empleen otros motivos para utilizar o descartar la fuente subterránea, el proyectista deberá justificarlo planteando las razones que llevan a tal decisión.

Informe Intermedio

Se deberá confeccionar un informe con la descripción sucinta de los trabajos realizados y los resultados obtenidos, la definición y justificación de la fuente de provisión seleccionada, la ubicación de la(s) zona(s) a ser investigadas en detalle y las tareas a ser realizadas en ésta(s).

El informe deberá estar acompañado por un mapa de síntesis, en escala adecuada al tamaño del área, con la representación de las características, principalmente las hidrogeológicas, que condujeron a la selección de la fuente y a la ubicación de la(s) zona(s) a ser investigadas en detalle.

2.1.3. Estudios de Detalle

2.1.3.1. Objetivo y Alcances

Si los trabajos anteriores demostraron la viabilidad de una fuente subterránea, en esta etapa se deberán determinar en forma cuantitativa las características necesarias para diseñar el sistema de captación apropiado y que no se hayan obtenido en las etapas anteriores.

Si en el estudio de diagnóstico se eligió más de una posible zona para la explotación del agua subterránea, no es necesario que en todas ellas se realicen la totalidad de las tareas de investigación que se describen más adelante. La ejecución de los pozos de bombeo y observación y ensayo de acuífero se llevarán a cabo solamente en la zona definitiva.

Las zonas de trabajo no deben limitarse al área de construcción de las captaciones y sus alrededores inmediatos, sino abarcar la cuenca o unidad hidrogeológica correspondiente.

2.1.3.2. Tareas a Realizar

Prospección Geofísica

Se deberán realizar una serie de sondeos eléctricos verticales (SEV) mediante la configuración tipo Schlumberger dispuestos a lo largo de líneas de perfil con una densidad no inferior a 4 veces la profundidad de investigación deseada y cubriendo toda el área designada por el hidrogeólogo.

La interpretación de cada uno de los SEV se deberá efectuar mediante un método automático o asistido por computadora con un error cuadrático medio no mayor del 4%. Con los resultados se deberán confeccionar cortes geoelectrónicos para cada una de las líneas de perfil medidas.

Cuando existan rasgos de interés hidrogeológico asociados a diferencias de densidad de las rocas y no lo suficientemente definidos por la prospección geoelectrónica, se deberá aplicar la sismica de refracción.

Perforaciones de Exploración

En su ejecución se deberá seguir los mismos lineamientos ya indicados para el Estudio de Diagnóstico. La cantidad y ubicación deben ser tales que permitan definir las características hidrogeológicas de cada unidad de interés (entendiéndose por unidad de interés cada área con características hidrogeológicas propias en superficie y/o profundidad y de interés para el proyecto).

Como mínimo se deberá ejecutar una perforación en cada una de las unidades de interés, debiéndose incrementar su número si el tamaño del área hace presumir heterogeneidades o si estas se aprecian en los estudios de campo.

Se deberá buscar ubicar los pozos de exploración de modo tal que puedan servir como futuros pozos de observación para el ensayo de acuífero y/o la red de observación; en este caso deben ser entubadas con caños y filtros de 100 mm de diámetro, siguiendo los criterios expuestos en el punto “Construcción de Pozo de Bombeo y de Observación”.

El proyectista deberá evaluar la conveniencia de ejecutar perforaciones adicionales por métodos que den muestras más representativas de los estratos atravesados, en el lugar previsto para la construcción de los pozos de explotación o donde se efectúe el ensayo de acuífero.

Construcción del Pozo de Bombeo y de Observación

Para la realización de un ensayo de acuífero en el sitio de los futuros pozos de producción se deberá construir un pozo de bombeo y por lo menos tres pozos de observación a diferentes distancias del mismo.

Para ambos tipos de pozo los detalles constructivos, como ser ubicación, profundidad, filtros, grava, diámetros, etc. deben ser diseñados teniendo en cuenta las características del acuífero: tipo (libre, confinado, etc.), espesor, granulometría, heterogeneidad y anisotropía, caudal y depresiones estimadas.

El proyectista deberá tener en cuenta para cada pozo los resultados que se espera obtener en el ensayo y los fines de su construcción.

En las situaciones donde el ENOHSA lo considere necesario para el control de las variaciones del nivel de agua subterránea, también se deberá construir uno o más pozos de observación fuera del cono de depresión del ensayo de acuífero.

Ensayo de Acuífero

En el (los) acuífero(s) a explotar se deberá llevar a cabo por lo menos un ensayo de acuífero, pudiendo el ENOHSA exigir un número mayor de ensayos si considera que las condiciones hidrogeológicas lo requieren.

Cada ensayo de acuífero deberá comprender las siguientes tareas:

- Mediciones de control del nivel estático durante uno o más días anteriores al bombeo, hasta hallar fehacientemente sus variaciones.

- Breve bombeo de prueba para ajustar los equipos, seguido de recuperación del nivel estático, documentado por mediciones de control del mismo.
- Ensayo a caudal variable en tres a cuatro escalones de 1 hora c/u, hasta el caudal máximo del pozo o por lo menos hasta un 50% por encima del de explotación previsto
- Recuperación, con mediciones de control, del nivel estático al valor previo observado.
- Ensayo a caudal constante, determinado en base al ensayo escalonado y en principio igual o superior al de explotación previsto; la duración mínima deberá ser de 24 horas en el caso de un acuífero semiconfinado o confinado, y de 72 horas en el de un acuífero freático.
- Ensayo de recuperación hasta alcanzar la estabilización del nivel de agua.
- Mediciones de control del nivel estático durante uno o más días después de la recuperación, hasta hallar fehacientemente sus variaciones.

En la realización del ensayo de bombeo deberán observarse las siguientes reglas:

- No comenzar el bombeo antes de haberse recuperado totalmente el nivel estático.
- Mantener perfectamente constante el caudal, sin variaciones mayores al 5%.
- Efectuar las mediciones del nivel de agua a intervalos de tiempo adecuados y exactos y registrarlas en planillas específicas con la identificación completa del ensayo y del punto de medición.
- Registrar las precipitaciones, las variaciones de la presión atmosférica, del nivel regional de agua subterránea y del nivel de eventuales aguas superficiales conectados al acuífero.
- Utilizar una bomba con válvula de retención.
- Mantener constante el caudal de otros pozos de bombeo que puedan existir en el área de influencia del ensayo o bien parar los mismos con suficiente anticipación para lograr la recuperación total del nivel estático.
- Repetir el ensayo, previa recuperación total del nivel estático, en caso de ocurrir cualquier interrupción en el bombeo.

Mediciones de control del nivel estático. Se deberán efectuar en los pozos de observación a intervalos de 2 a 4 horas antes y después del ensayo, y en los pozos de observación fuera del cono de depresión, si existen, también durante el ensayo.

Durante el mismo período también se deberá medir la presión barométrica, los niveles de aguas superficiales en el caso de que estén en contacto con el acuífero ensayado y la precipitación.

Mediciones del nivel de agua. Durante las fases de bombeo y de recuperación del ensayo se deberá medir la profundidad del agua en todos los piezómetros y también en el pozo de bombeo, con una precisión mínima de 1 cm. En principio la secuencia de los intervalos de tiempo entre dos lecturas deberá ser la siguiente:

Tiempo de bombeo	Intervalos de tiempo
1 – 2 min.	0.5 min.
2 – 4 min.	1 min.
4 – 10 min.	2 min.
10 – 30 min.	5 min.
30 – 100 min.	10 min.
100 – 300 min.	30 min.
5 - 48 horas	60 min.
2 – 3 días	2 horas

Los instrumentos de medición serán registradores automáticos o sondas eléctricas luminosas y/o acústicas con cables graduados.

Mediciones de caudal. Se deberán llevar a cabo mediante un dispositivo de medición continua, como ser caudalímetros comerciales, vertederos rectangulares (para caudales grandes), vertederos triangulares (caudales pequeños), tubo de Venturi y tubo con diafragma circular. Todos deberán corresponder a normas publicadas a ser presentadas por el contratista. El error de medición no debe ser mayor del 5%.

Durante la primera hora las lecturas se deberán realizar por lo menos cada 15 minutos; luego con intervalos no mayores de media hora y cada vez que se sospeche de una variación de caudal y se efectúe su corrección.

Mediciones de la calidad. Junto con las mediciones de caudal se deberá medir la conductividad eléctrica del agua bombeada. Además se deberán tomar muestras de agua al comienzo, medio y final del bombeo y en cada cambio importante de la conductividad eléctrica, para su posterior selección y análisis físico-químico en laboratorio.

Levantamiento Topográfico

En caso de no contar con mapas existentes adecuados se deberá efectuar un relevamiento plani-altimétrico, en escala adecuada para la zona de estudio, de los puntos de medición de la prospección geofísica y las perforaciones realizadas.

Análisis de Laboratorio

Los análisis de laboratorio a realizar en las muestras de agua y de terreno obtenidas durante el ensayo del acuífero y en las perforaciones serán las mismas del estudio de diagnóstico.

2.1.4. Procesamiento de Datos e Informe Final

Los datos producidos por las tareas realizadas en las tres o dos etapas de este estudio de fuentes serán procesados e interpretados en forma continua para obtener la información enumerada al inicio del Capítulo. Con ese fin se deberán preparar todas las representaciones gráficas necesarias, tales como mapas y perfiles geológicos e hidrogeológicos, mapa geomorfológico, mapas y gráficos hidroquímicos, mapas piezométricos y de isopropundidad, mapas isopáquicos y estructurales, etc.

En el informe final se deberán describir los trabajos realizados y los resultados alcanzados, las conclusiones y recomendaciones con relación a los objetivos del estudio y se deberán acompañar los datos obtenidos en forma de tablas y gráficos y las representaciones gráficas del párrafo anterior.

2.2. DISEÑO DE CAPTACIONES

2.2.1. Tipo de Captación

En todos los casos, salvo las excepciones detalladas más abajo, las captaciones de aguas subterráneas deberán ser perforaciones verticales entubadas.

Se podrán construir captaciones horizontales como galerías filtrantes y/o zanjas de captación en los siguientes casos, debiendo el proyectista justificar la acción:

- Cuando el acuífero apto sea de espesor reducido, haciendo imposible o inconveniente la utilización de una batería de pozos para obtener el caudal requerido.
- Cuando exista la posibilidad de extracción de aguas subterráneas por gravedad y sin costos de bombeo (caso de un acuífero topográficamente mas alto que la zona a servir).
- Cuando los pozos de explotación, incluso de bajo caudal, causaren salinización del agua extraída por la invasión de conos de agua salada debajo de ellos.
- Cuando no exista espacio suficiente para construir una batería de pozos.
- Cuando por razones de una topografía accidentada sea la manera más conveniente de acceder al acuífero seleccionado.

Se podrán construir pozos radiales, con la justificación técnica del proyectista, cuando se conjuguen las siguientes condiciones:

- Cuando no se disponga de espacio suficiente para construir una batería de pozos
- Cuando sea necesario evitar grandes depresiones de bombeo.
- Cuando se requieran importantes caudales de agua subterránea.

2.2.2. Número y Ubicación de Perforaciones

El número de perforaciones se deberá fijar relacionando la demanda de agua con el caudal que pueda dar cada pozo de acuerdo al régimen de bombeo (ver más adelante) Deberá además preverse la construcción de por lo menos una perforación de reserva.

Para determinar la ubicación de las perforaciones se deberán aplicar los siguientes criterios:

- Seleccionar las características hidrogeológicas más convenientes, que en orden decreciente son: calidad del agua subterránea – mayor permeabilidad del acuífero –

mayor espesor del acuífero y menor profundidad del acuífero y/o del nivel piezométrico.

- Ubicarlas aguas arriba, con respecto al flujo del agua subterránea, de focos contaminantes y/o a las distancias que surjan de las áreas de protección (ver más adelante).
- Si corresponde, observar un distanciamiento preventivo de una interfaz agua dulce – agua salada para evitar una salinización del recurso, a ser demostrado por el proyectista mediante los cálculos correspondientes.
- Mantener las posibles interferencias entre pozos propios y ajenos, calculados con base en los parámetros hidráulicos del acuífero y los caudales de producción, dentro de límites aceptables para las condiciones del lugar.
- Permitir una eventual ampliación futura de la batería de pozos.
- Guardar la menor distancia posible al área a servir.

2.2.3. Construcción y Dimensiones de las Perforaciones

2.2.3.1. Métodos de Perforación

Siempre que las condiciones de trabajo lo permitan, las perforaciones se deberán efectuar por el método de rotación directa o inversa, utilizando preferentemente fluidos de inyección a base de polímeros sintéticos degradables o de agua limpia.

Se podrá optar por otros métodos en las siguientes situaciones:

Percusión a cable: en materiales friables heterogéneos como arenas con intercalación de cantos rodados pequeños; también en formaciones fisuradas donde se puedan producir pérdidas de fluidos si se perfora a rotación. En general las profundidades no deben ser demasiado grandes y el contratista deberá fundamentar la utilización del método.

Percusión a martillo neumático: en casos de formaciones geológicas de elevada dureza y en materiales sueltos muy heterogéneos como arenas y/o gravas con rodados grandes y bloques.

2.2.3.2. Profundidad de la Perforación

Por regla general la perforación deberá alcanzar la base del acuífero a explotar, pudiendo ser menor en las siguientes situaciones:

- Cuando el acuífero sea de espesor muy grande; en este caso la profundidad se deberá determinar en función de la longitud del filtro necesaria para lograr el caudal deseado, pero sin causar una depresión excesiva por efecto de la penetración parcial.
- Cuando el acuífero de interés presente en su parte inferior agua de salinidad excesiva; en tal caso la profundidad se deberá fijar de manera de evitar la invasión del cono de agua salada.

2.2.3.3. Diámetro de la Perforación

La perforación deberá realizarse con un diámetro tal que supere en 150 mm como mínimo al diámetro exterior del caño camisa y de los filtros respectivamente.

2.2.3.4. Entubado

Deberá tener las dimensiones adecuadas de longitud y diámetro para poder cumplir en cada caso con las siguientes funciones:

- Constituir la conducción hidráulica entre el acuífero y la superficie del terreno.
- Servir de cámara para el alojamiento y movimiento cómodo de la bomba de la capacidad requerida y de sus accesorios, incluidos el tubo piezométrico, los sensores guardaniveles y el cable en caso de electrobombas sumergidas. El espacio comprendido entre el diámetro exterior de la bomba y el interior de la tubería no debe ser inferior a 75 mm.
- Permitir la instalación del filtro y prefiltro de grava en una perforación telescópica de filtro perdido, diseño al que se dará preferencia en acuíferos confinados y semiconfinados.
- Proveer protección sanitaria al pozo en la superficie del terreno, sobresaliendo de la misma por lo menos 0.50 m.

El material de la cañería de entubado deberá ser de acero o PVC aditivado debiendo el proyectista justificar la utilización de uno u otro, teniendo en cuenta la calidad del agua subterránea y las dimensiones de la perforación.

Cañería de acero. Deberá ser sin costura y correspondiendo a la Norma ASTM A 53 o IRAM equivalente, con extremos roscados o lisos para soldar.

Cañería de PVC. Deberá ser para una presión nominal adecuada a la profundidad prevista, no menor de 7 kg/cm², y con extremos roscados.

2.2.3.5. Filtros

Las dimensiones del filtro, longitud, diámetro y abertura se deberán determinar en función de la geometría, la granulometría y los parámetros hidráulicos del acuífero a explotar.

Tipo. Por regla general deberá ser de acero inoxidable con ranura continua. Por razones técnicas (como ser dureza muy alta del agua y/o un acuífero de grano grueso) podrán utilizarse filtros ranurados con nervaduras longitudinales de PVC aditivado, debiendo el proyectista justificar la elección. En todos los casos, los filtros deberán tener la resistencia al colapso adecuada a la profundidad de la perforación y del nivel dinámico de explotación.

Abertura. Cuando la perforación se pueda construir sin engravado (ver Prefiltro de Grava) la abertura de los filtros se deberá determinar de la siguiente manera:

- En una formación homogénea de arena y/o grava, la abertura del filtro debe retener entre el 40 y 50 % de la arena o grava.

- En formaciones heterogéneas estratificadas, las aberturas se deberán calcular en función de la gradación de cada uno de los horizontes. Se tendrán entonces diferentes secciones de filtro cuyas aberturas se ajustan al material de cada estrato individual. En estos casos se deberá aplicar además las siguientes dos reglas: si el material fino se ubica por encima de un estrato de material grueso, debe extenderse el tamaño de abertura por lo menos 0,6 metros dentro del estrato inferior y el tamaño de abertura de éste no debe superar el doble de la abertura que se emplea para el material fino.

En las perforaciones con prefiltro de grava, la abertura de los filtros deberá ser tal que retenga un 90% o más del material del prefiltro.

Longitud. Por regla general deberá corresponder por lo menos al 80 % del espesor del acuífero, sin contar aquellas partes que por su contenido de material pelítico (limo y arcilla) resulten inconvenientes. Cuando el espesor acuífero sea muy grande, se deberá aplicar lo indicado con respecto a la profundidad de la perforación, calculando la longitud del filtro mediante la fórmula de Walton.

Diámetro. Una vez fijadas la abertura y la longitud de los filtros, el diámetro se deberá calcular en función del caudal requerido y de la velocidad óptima del paso del agua a través de los filtros, sea la generalmente aceptada de 3 cm/s o la referida a la conductividad hidráulica del acuífero (según Walton).

2.2.3.6. Prefiltro de Grava

Un prefiltro de grava podrá utilizarse en cualquier situación, pero será obligatorio en las siguientes condiciones del acuífero:

- Más del 50 % de granulometría menor de 0.5 mm.
- Agua subterránea incrustante.
- Acuíferos confinados de gran espesor.
- Acuíferos estratificados, con capas alternadas de materiales finos, medianos y gruesos.

Para determinar el tamaño de grano de la grava, se deberá utilizar el método de Johnson o equivalente, aplicado al horizonte con la granulometría más fina del sector acuífero correspondiente.

El espesor del prefiltro de grava no debe ser inferior a unos 7 cm ni superior a los 20 cm.

En su parte superior el prefiltro deberá ser sellado por un anillo de cemento, goma o plomo.

2.2.3.7. Cementación

El espacio anular entre el entubado y la pared de la perforación deberá ser rellenado hasta la superficie con cemento o, preferentemente, una mezcla de cemento con 10 % de bentonita.

2.2.3.8. Desarrollo

Deberá comenzar con un lavado con agua limpia, si corresponde con agregado de polifosfatos, y luego se deberá utilizar uno o varios de los siguientes métodos: chorros de alta velocidad - aire comprimido - bombeo intermitente - pistoneo. En caso de utilizarse más de un método el orden de aplicación deberá ser el indicado precedentemente.

Se deberá extender hasta que el pozo no de señales de mejora adicional, o sea que el caudal específico se mantenga constante y el agua tenga no más de 5 ppm de sólidos en suspensión.

2.2.3.9. Terminación del Pozo

En la superficie, alrededor del entubado se deberá construir una plataforma protectora de cemento con pendiente hacia la periferia. Cuando la bomba es del tipo sumergible, la abertura superior del entubado debe quedar bien cerrada con una tapa ajustada provista de aberturas con juntas estancas para el paso de los elementos instalados en el pozo, como ser caño de la bomba, tubo piezométrico y guardaniveles, como así también un tubo de ventilación cubierto con malla fina o relleno de lana de vidrio. Cuando la bomba está instalada directamente sobre el pozo (por ejemplo una de eje vertical), la tubería del pozo deberá ajustar herméticamente en la abertura en la base de la bomba, dejando un orificio para el tubo piezométrico y los cables de los guardaniveles.

Una vez terminada la construcción de la perforación se deberá hacer una completa desinfección de la misma, usando una solución con 50 a 200 mg/l (normalmente 100 mg/l) de cloro activo, disolviendo en agua hipoclorito de calcio, de sodio, o cloro libre. La desinfección debe incluir al prefiltro de grava, al acuífero en el borde del pozo, al sistema de extracción de agua y a los conductos y tanques de almacenamiento.

En los casos donde el ENOHSA lo considere conveniente, podrá exigir la realización de las respectivas pruebas de estanqueidad (entubados telescópicos), verticalidad y alineación antes de efectuarse la desinfección anterior.

2.2.3.10. Ensayo de Bombeo

Una vez concluida la construcción y desarrollo del pozo se deberá efectuar un ensayo de bombeo consistente en:

- Mediciones de control del nivel estático hasta verificar su recuperación.
- Ensayo a caudal variable en tres a cuatro escalones de 1,5 horas c/u, hasta el caudal máximo del pozo o por lo menos hasta el de explotación previsto.
- Ensayo de recuperación hasta alcanzar la estabilización del nivel de agua.

Con la interpretación del ensayo se deberán determinar los caudales específicos y el caudal crítico del pozo, y se deberá verificar el tipo de acuífero y el valor de su transmisividad.

En caso de que existan dudas con respecto a la determinación del nivel dinámico del pozo en bombeos prolongados, basadas en los datos anteriores y los parámetros

hidráulicos disponibles, se deberá efectuar también un ensayo de larga duración (mínimo 24 horas), con el caudal de explotación previsto, seguido de un ensayo de recuperación.

2.2.4. Operación y Manejo del Sistema de Captación

2.2.4.1. Caudal de Explotación

El caudal de explotación de cada una de las captaciones se deberá fijar de acuerdo a los siguientes criterios:

- El nivel dinámico a largo plazo debe permanecer por encima del tope de los filtros y de la bomba.
- El caudal no debe sobrepasar el caudal crítico del pozo o sea aquel a partir del cual disminuye su eficiencia, salvo que se disponga de una debida justificación por parte el proyectista.
- Debe evitarse, si corresponde, la invasión de agua salada, sea por ascenso del cono de agua salada y/o el avance de la interfaz agua dulce - agua salada.
- El caudal medio anual del conjunto de las captaciones no debe exceder el orden de grandeza de la recarga media anual (reserva regulatriz) hallada; por ejemplo que se encuentre dentro del margen de error con el que ésta fue determinada.
- Evitar y/o minimizar, si corresponde, la infiltración de agua subterránea y/o superficial de mala calidad.
- Evitar y/o minimizar, si corresponde, la interferencia entre los pozos propios y/o de terceros.

Si las condiciones con respecto a los últimos cuatro criterios lo requieren, sea por su situación crítica y/o su complejidad, la determinación del caudal de explotación se deberá hacer mediante un modelo matemático (ver punto 2.2.5).

El funcionamiento de las perforaciones se deberá hacer en forma rotativa, de modo que también los pozos de reserva trabajen periódicamente.

2.2.4.2. Control de las Captaciones

A fin de poder efectuar los controles necesarios, las perforaciones de producción deben estar provistas de los siguientes elementos:

- Un grifo a la salida de la bomba para la toma de muestras de agua.
- Un orificio de acceso a la tubería de revestimiento provisto de un caño de 1" (mínimo $\frac{3}{4}$ " de diámetro que penetre en el agua por debajo del nivel dinámico mínimo. La instalación de un manómetro puede resultar de utilidad; aunque sus lecturas no son muy precisas, por ejemplo para un ensayo de bombeo, permite una visualización rápida del nivel de agua.
- Un caudalímetro, preferentemente con totalizador, que permita lecturas del caudal instantáneas y del volumen total extraído.

En cada una de las captaciones se deberán realizar la siguientes observaciones:

- Registro diario del caudal extraído y horas de funcionamiento.
- Análisis químicos parciales (conductividad eléctrica, aniones principales y nitratos) y bacteriológicos semanales, o con la frecuencia fijada por la norma correspondiente o la autoridad competente.
- Análisis químicos completos (conductividad eléctrica, residuo seco, alcalinidad, dureza, sílice, bicarbonato, cloruro, sulfato, nitrato, nitrito, amonio, sodio, potasio, calcio y magnesio) cada tres a seis meses, según la evolución observada en los análisis anteriores o la frecuencia fijada por la norma correspondiente o la autoridad competente.
- Mediciones mensuales a trimestrales (como mínimo) del nivel dinámico, tomadas siempre en las mismas condiciones, preferentemente estacionarias.
- Mediciones semestrales del nivel estático, tomadas siempre en las mismas condiciones de recuperación del nivel.

Las frecuencias indicadas se deberán ajustar en función de las variaciones observadas a lo largo del tiempo, incluyendo las correspondientes a los pozos de monitoreo del acuífero (ver 2.4.5).

2.2.4.3. Rehabilitación de las Captaciones

Cuando por causas propias de la captación el rendimiento de la misma, o sea su caudal específico, haya disminuido de tal manera que afecte su operación económica, se deberá proceder a su rehabilitación mediante uno o varios de los métodos abajo indicados, o bien a su reemplazo.

Según las características constructivas y la situación observada, los métodos deberán ser:

- Extracción del material acumulado en el fondo e interior de los filtros.
- Nuevo desarrollo de la perforación.
- Tratamiento con ácido.
- Limpieza con medios mecánicos.

2.2.4.4. Ajustes Operativos del Sistema

Durante la operación de las captaciones, su régimen de explotación se deberá modificar en más o en menos, en función de la evolución observada en el acuífero y las captaciones con respecto a los criterios empleados para la determinación inicial del régimen.

2.2.4.5. Control del Acuífero

Para controlar la evolución del acuífero y prevenir mediante su corrección cualquier variación perjudicial, se deberá realizar un monitoreo periódico de los niveles

piezométricos y de la calidad química del agua subterránea. A tal fin se deberá habilitar una red de pozos de observación representativa en toda el área de aporte del sistema de captación.

La cantidad, ubicación y profundidad de estos pozos deberán estar dados por el tamaño del área de aporte, las características hidrogeológicas de la misma, la presencia de eventuales fuentes de contaminación, sean éstas de origen natural (por ejemplo una interfaz agua dulce - agua salada) o antrópico (ver Numeral 2.3, Áreas de Protección), los posibles impactos ambientales y la información a ser obtenida. En este sentido, los pozos de observación deberán proporcionar lo siguiente:

- Depresión del acuífero alrededor del sistema de captación.
- Límite de los conos de depresión y su evolución en el tiempo, aunque sea por extrapolación de la depresión mencionada en el párrafo anterior.
- Evolución de los niveles piezométricos y de la calidad química en toda el área de aporte.
- Evolución de la calidad química y/o bacteriológica en el área situada entre fuentes de contaminación, potenciales o reales, y el sistema de captación.

La frecuencia de las mediciones deberá ser alta al principio y luego deberá ajustarse progresivamente en función de los resultados que se obtengan. Por regla general deberán ser las siguientes:

- Mediciones mensuales (a trimestrales) de niveles piezométricos.
- Análisis químicos parciales mensuales (a trimestrales), comprendiendo conductividad eléctrica, aniones principales y nitrato.
- Análisis químicos completos (ver Numeral 2.4.2) semestrales, incluyendo elementos nocivos para la salud como flúor, arsénico, vanadio y potenciales sustancias tóxicas provenientes del medio ambiente como ser detergentes, plaguicidas, efluentes industriales, derivados del petróleo, etc.

En la construcción de los pozos de observación se deberá seguir lo indicado en la Norma. del Estudio de la Fuente Subterránea para perforaciones de exploración (ver Numeral 2.1.2.2).

2.2.5. Utilización de un Modelo Matemático

En cualquier proyecto el diseño del Sistema de Captación y la determinación del Área de Protección y del Impacto Ambiental podrá efectuarse con la ayuda de un modelo matemático, pero su empleo será obligatorio en las siguientes situaciones:

- Cuando la reserva regulatriz (recarga media anual) de valor inferior o cercano al de la explotación proyectada.
- Cuando exista una probable invasión salina por movilización de una interfaz agua dulce – salada.
- Una interferencia importante entre un número considerable de los pozos proyectados.

- Cuando se produzca una intensidad probablemente importante de alguno de los impactos ambientales indicados en el Numeral 2.5.
- Cuando exista una probable infiltración inducida de agua subterránea y/o superficial de mala calidad.
- Cuando exista una situación compleja que no permite definir con suficiente precisión las zonas de protección, especialmente la isocrona de 50 días.

El tipo y las características del modelo matemático deberán corresponder a las condiciones hidrogeológicas y al problema a resolver de cada lugar, y su empleo debe ser fundamentado por el proyectista y aprobado por el comitente.

En caso de aplicarse métodos analíticos en vez de simulaciones numéricas, el proyectista deberá justificar el procedimiento adoptado demostrando que con el mismo, teniendo en cuenta las características del subsuelo y de la obra, se puede alcanzar los resultados deseados.

2.3. ÁREAS DE PROTECCIÓN

Lo más temprano posible en la planificación de la captación de agua subterránea se deberá iniciar ante las autoridades competentes del lugar las gestiones para el establecimiento, de acuerdo a las leyes y procedimientos vigentes, del área de protección y de las correspondientes restricciones y controles necesarios en el uso de la tierra.

El área de protección de una captación por regla general deberá abarcar toda su área de aporte y se deberá subdividir en las siguientes zonas de protección:

Zona III: debe estar destinada a proteger la captación de contaminantes de larga vida, principalmente químicos no degradables o difícilmente degradables y productos radioactivos.

Zona II: debe brindar protección contra una contaminación por microorganismos patógenos y otros contaminantes que por su escaso tiempo de tránsito y espacio recorrido en el acuífero puedan ser perniciosos para la calidad del agua en la captación.

Zona I: debe abarcar las inmediaciones de las obras de captación y proteger a éstas de cualquier contaminación y perjuicio.

2.3.1. Dimensiones de las Zonas de Protección

2.3.1.1. Zona III

Por regla general se deberá extender hasta los límites del área de aporte de la captación, incluyendo, cuando corresponda, las cuencas hídricas superficiales que desembocan en dicha área.

Cuando el área de aporte es muy extensa, la Zona III puede circunscribirse al área de recarga de la captación; es decir, aquella superficie del área de aporte alrededor de la

captación necesaria para producir una recarga media anual igual a la extracción media anual prevista de la captación.

De ser necesario, por ejemplo para facilitar la aplicación de las medidas de protección, esta zona podrá subdividirse en una zona exterior III b y otra interior III a. En acuíferos con una velocidad real del agua subterránea de hasta 10 m/día, el límite entre las dos zonas se ubicará a 2 km de la captación; si la velocidad real es superior deberá fijarse una distancia mayor.

En la Zona III b también podrán incluirse regiones donde los estratos sobreyacentes al acuífero explotado contienen horizontes continuos no disturbados de baja permeabilidad de por lo menos 5 metros de espesor para velocidades reales no mayores de 10 m/día y de 8 metros cuando las velocidades son mayores. En ningún caso el límite entre ambas zonas puede estar dentro de la isocrona de 50 días ni a una distancia menor de 1 km de la captación.

2.3.1.2. Zona II

Se deberá extender desde la captación hasta la línea isocrona de 50 días, es decir la línea dentro del área de captación desde la cual el flujo de agua subterránea tarda 50 días en alcanzar la captación; en ningún caso la distancia podrá ser inferior a 100 metros.

Esta Zona II puede suprimirse cuando pueda comprobarse fehacientemente que dentro del área de la isocrona de 50 días el acuífero explotado está aislado de la superficie por un horizonte continuo de muy baja permeabilidad de por lo menos 8 m de espesor y que no esté atravesado por perforaciones, propias y ajenas, con un sellado imperfecto. Esto se aplica sobre todo a acuíferos confinados.

2.3.1.3. Zona I

Se deberá extender desde la captación en todas las direcciones hasta una distancia mínima de 10 metros y hasta 30 metros en el caso de un acuífero muy vulnerable (por ejemplo a escasa profundidad y con una zona vadosa de buena permeabilidad).

2.3.1.4. Delimitación de las Zonas de Protección

Al establecer los límites de las zonas de protección, sobre todo de las zonas 2 y 3, se deberá tratar que los mismos coincidan con líneas geográficas, como ser caminos, rutas, propiedades, barrancas, cursos de agua, etcétera.

2.3.2. Fuentes Potenciales de Contaminación

2.3.2.1. Zona III

Si ésta no presenta subdivisión, vale lo indicado para la Zona III a.

2.3.2.2. Zona III b

Constituyen fuentes potenciales de contaminación:

Actividad Industrial

- Áreas industriales.
- Construcción y/o ampliación de fábricas e instalaciones para producción, procesamiento, utilización y almacenamiento de sustancias radiactivas y/o no o difícilmente degradables, como ser refinerías, fundiciones, fábricas químicas, depósitos de productos químicos y plantas nucleares (salvo para uso en medicina, ensayos, mediciones y controles).
- Usinas termoeléctricas, a excepción de las alimentadas por gas.

Conductos

- Cañerías para la conducción de sustancias contaminantes para el agua

Efluentes

- Alcantarillados, incluyendo piletas para la colección y el tratamiento de aguas pluviales como así también plantas centrales de depuración, salvo que éstas sean inspeccionadas y controladas regularmente.
- Infiltración de efluentes, a excepción de aguas pluviales sin contaminación peligrosa y efluentes de plantas de tratamiento cloacales de viviendas aisladas y rurales.

Residuos Sólidos

- Rellenos sanitarios y plantas de tratamiento de residuos, a excepción de depósitos transitorios e instalaciones de transferencia.
- Instalaciones para el almacenamiento y/o procesamiento de chatarra de automotores y de neumáticos descartados.
- Depósitos de residuos de usinas termoeléctricas y de incineración de basura, escoria de altos hornos y arenas de fundiciones;
- Depósitos de áridos no contaminados, pero cuyos productos de alteración lixiviables puedan producir efectos negativos en el agua subterránea.

Actividad Agropecuaria

- Explotaciones agropecuarias, hortícolas y forestales, siempre y cuando no se realicen por métodos no contaminantes del agua subterránea; sobre todo con respecto a:
 - Aplicación de fertilizantes, salvo que sea en los tiempos y cantidades estrictamente necesarias y reglamentarias.
 - Aplicación de abonos orgánicos en suelos en barbecho, congelados o cubiertos de nieve.
 - Aplicación de barros residuales del tratamiento de líquidos cloacales o de residuos municipales.
 - Utilización de insecticidas.
 - Ganadería con alta carga de animales, por ejemplo corrales y “feedlots”;

- Almacenamiento de abonos orgánicos y de fertilizantes fluidos fuera de instalaciones impermeables.
- Desmontes.
- Irrigación agrícola que sobrepase la capacidad de campo.

Transporte

- Aeropuertos y aeródromos.
- Playas de carga y de transbordo de mercadería.
- Utilización de materiales lixiviabes contaminantes del agua (por ejemplo escombros, residuos de plantas de incineración, escorias de fundiciones y de minería) en la construcción de instalaciones para el transporte terrestre, fluvial, ferroviario y aéreo.
- Infiltración de aguas pluviales recolectadas de instalaciones para el transporte, incluyendo playas de estacionamiento, paradores, puertos y estaciones, excepto mediante cunetas o inundación de grandes áreas con suelo productivo.

Varios

- Actividades de minería y explotación de yacimientos de petróleo y gas natural.
- Depósitos subterráneos para sustancias contaminantes.
- Almacenamiento de escoria minera.
- Excavaciones que reduzcan sensiblemente el espesor de los horizontes que constituyen el techo del acuífero, especialmente si éste llega a aflorar en forma temporaria o permanente y no se puedan tomar medidas de seguridad efectivas y permanentes para la protección del agua subterránea.
- Aprovechamientos geotérmicos a excepción de instalaciones con circuito secundario.
- Instalaciones y ejercicios militares.

2.3.2.3. Zona III a

En la Zona III a constituyen fuentes potenciales de contaminación:

Fuentes Contaminantes de la Zona III b

Todas las indicadas.

Líquidos Contaminantes

- Manipulación de sustancias contaminantes para el agua, excepto cantidades menores para consumo domiciliario, almacenamiento de combustible para calefacción domiciliaria y uso en establecimientos agropecuarios.
- Transformadores y cables de electricidad subterráneos con sustancias líquidas de enfriamiento y de aislamiento contaminantes para el agua, especialmente instalaciones fuera de uso.

Efluentes

- Alcantarillados, exceptuando aquellos con impermeabilización especial y control periódico adecuado.
- Descarga de efluentes (excepto aguas pluviales tratadas) a un curso de agua superficial que luego atraviese la Zona II.

Residuos Sólidos

- Depósitos transitorios e instalaciones de transferencia de residuos.
- Instalaciones para el reciclado de residuos (por ejemplo de escombros).

Actividad Agropecuaria

- Huertas.
- Monocultivos y cultivos no tradicionales (por ej. viñedos, lúpulo, espárrago, tabaco).

Construcciones

- Nuevas áreas de viviendas.
- Instalaciones para el transporte y otras construcciones cuyos efluentes (excepto aguas pluviales sin contaminantes peligrosos) no sean conducidos fuera de esta zona de forma completa y segura.

Varios

- Instalación y ampliación de cementerios.
- Ferias, festivales y otros espectáculos fuera de las instalaciones específicas.
- Motorismo.
- Estaciones de servicio.
- Depósitos de materiales de construcción que puedan originar una contaminación del agua subterránea.
- Canteras, tosqueras y otras explotaciones de materias primas superficiales.
- Daños, a los horizontes que forman el techo del acuífero, por ejemplo por excavaciones, excepto para colocación de tuberías de servicios y construcciones.
- Construcción y ampliación de estanques y tajamares, por ejemplo para piscicultura.
- Aplicación de insecticidas en espacios verdes, incluyendo el mantenimiento de vías de comunicación, salvo que se realice con técnicas no contaminantes del agua subterránea.

2.3.2.4. Zona II

En la Zona II constituyen fuentes potenciales de contaminación y son en general no aceptables:

Fuentes Contaminantes de la Zona III

Todas las indicadas.

Construcciones

- Levantar y ampliar construcciones, especialmente para la actividad industrial y agropecuaria, incluyendo la modificación de su uso.
- Obradores.

Transporte

- Rutas, vías férreas y otras obras e instalaciones para el transporte, excepto caminos vecinales.
- Reformas de obras e instalaciones para el transporte, excepto para mejorar la protección del agua subterránea.

Sustancias Contaminantes

- Transporte de sustancias radioactivas o contaminantes para el agua.
- Almacenamiento de fuel- y gasoil.
- Almacenamiento de fertilizantes e insecticidas.
- Conductos de efluentes.
- Transformadores y cables de electricidad con sustancias líquidas de enfriamiento y de aislación contaminantes para el agua.

Actividad Agropecuaria

- Aplicación de abonos orgánicos.
- Pastoreo.
- Construcción y ampliación de depósitos de abonos orgánicos.
- Construcción o ampliación de drenes.

Varios

- Aguas superficiales cargadas de efluentes.
- Infiltración de agua pluvial recolectada, salvo aquella no contaminado proveniente de techos.
- Balnearios, campings, campamentos e instalaciones deportivas.
- Voladuras.

2.3.2.5. Zona I

En la Zona I constituyen fuentes potenciales de contaminación y son en general no aceptables:

- Todo lo indicado para la Zona III y II.
- Tránsito de vehículos y peatones.
- Explotaciones agropecuarias, forestales y hortícolas.
- Aplicación de fertilizantes e insecticidas.

2.3.3. Medidas Operativas

- La empresa de aguas deberá adquirir, en propiedad o servidumbre, como mínimo el área correspondiente a la Zona I.
- La Zona I deberá estar rodeada por un cerco que impida el acceso no autorizado a la misma y su superficie estar provista de una cubierta de pasto.
- Las Zonas II y III deberán ser suficientemente identificadas mediante carteles.
- Las instalaciones necesarias para la operación y el mantenimiento de la planta de captación deberán ser construidas de manera que no representen un riesgo para el agua subterránea y del mismo modo deberán realizarse todas las actividades propias.
- Los desagües y efluentes de la planta se deberán evacuar sin contaminar las aguas subterráneas y superficiales.
- Todo el área de protección deberá ser vigilada sistemáticamente, preferentemente en forma conjunta con la autoridad competente.
- En todo el área de aporte se deberá controlar, con una densidad adecuada en el tiempo y el espacio, el nivel y la calidad del agua subterránea, y en caso de observarse una evolución desfavorable, se deberá investigar su causa y proceder a su corrección, preferentemente junto con el organismo competente.

2.4. RECARGA ARTIFICIAL

2.4.1. Análisis de su Aplicación

El análisis de la información obtenida en el Estudio de Diagnóstico del Estudio de la Fuente Subterránea, evaluada simultáneamente con los restantes aspectos del proyecto permitirá establecer si se dan las circunstancias que justifiquen la recarga artificial del agua subterránea. Básicamente deberán darse las siguientes:

- Necesidad de mejorar la explotabilidad del acuífero, sea en su aspecto cuantitativo y/o cualitativo, incluyendo la conveniencia de crear una barrera hidráulica contra alguna contaminación.

- Disponibilidad del agua necesaria a ser infiltrada.
- Ausencia de otra fuente de abastecimiento adecuada o más conveniente.

En caso de que se planteen otras razones para decidir la utilización de esta técnica, el proyectista deberá justificarla planteando las razones que llevan a tal opción.

A menos que el proyectista demuestre la necesidad técnica de utilizar otro sistema, el método de recarga artificial deberá ser el de piletas de infiltración.

Con un adecuado diseño las piletas de infiltración puede adaptarse a una variedad de características locales, pero existen algunas que hacen imposible su implantación y en consecuencia este método debe ser descartada, entre ellas:

- Cuando el subsuelo, zona vadosa y/o zona saturada, es impermeable.
- Cuando existen horizontes de baja permeabilidad a una profundidad menor de 2-3 metros.
- Cuando el nivel freático se encuentra demasiado cerca de la superficie, a una profundidad menor de 2-3 metros y se proyecte la infiltración de efluentes.
- Cuando la capacidad de transmisión y de almacenamiento del acuífero sea insuficiente para el caudal de recarga.
- Cuando una excesiva profundidad del acuífero freático no permite recuperar el agua infiltrada.

2.4.1.1. Diseño Preliminar

A fin de comprobar la posibilidad y conveniencia de la recarga y definir en caso que corresponda el subsiguiente estudio de detalle, se deberá hacer un diseño preliminar en base a los datos obtenidos, los valores empíricos indicados en la bibliografía correspondiente y/o otras estimaciones. Como mínimo se deberán determinar los siguientes aspectos:

- Altura y extensión del domo de recarga.
- Dimensión de las piletas.
- Ubicación de las piletas con respecto a las captaciones.
- Ubicación de los pozos de recuperación o del sistema de extracción que se adopte.

A tal fin se deberán utilizar métodos analíticos o modelos matemáticos, debiendo el proyectista fundamentar la metodología adoptada.

2.4.2. Estudio de Detalle

2.4.2.1. Objetivo y Alcances

Si los trabajos anteriores demostraron la conveniencia de una recarga artificial, en esta etapa, a realizarse junto con la del Estudio de Fuentes, se deberán determinar en forma

cuantitativa las características necesarias, que no se hayan obtenido en el estudio de diagnóstico, para diseñar el sistema de recarga artificial apropiado. La investigación comprende dos partes: la de la zona y la del sistema de recarga.

En la primera, la información que se requiere, además de la indicada para el Estudio de Detalle del Estudio de la Fuente Subterránea, es la siguiente:

- Mineralogía de las arcillas.
- Permeabilidad del suelo y de la zona no saturada, principalmente la vertical pero a veces también la horizontal.
- La anisotropía vertical en los parámetros hidráulicos del acuífero.

El estudio del sistema de recarga debe proporcionar los siguientes conocimientos:

- Capacidad de infiltración y su posible variación durante la recarga.
- Extensión y altura del domo de recarga.
- Calidad del agua recargada y su evolución a través del subsuelo.

2.4.2.2. Investigación de la Zona

La investigación de las zonas de interés para una recarga artificial se deberán incluir en el Estudio de Detalle del Estudio de la Fuente Subterránea, debiéndose entonces realizar los siguientes trabajos adicionales:

Levantamiento Topográfico

En caso de no contar con mapas existentes se deberán confeccionar por lo menos los siguientes:

- Carta plani-altimétrica en escala adecuada a la dimensión de la obra de recarga a fin de poder ubicar correctamente el conjunto de piletas, perforaciones, etc.
- Carta plani-altimétrica de toda la zona de estudio, en escala de 1:10.000 a 1:50.000 según la extensión de la misma, para la representación de la geología, hidrogeología, geofísica, etc.

Este material cartográfico es indispensable solamente para la zona de estudio definitiva. Si no existe para las otras posibles zonas se deberán utilizar fotografías aéreas y una ubicación plani-altimétrica de los sondeos geofísicos y las perforaciones, incluyendo las existentes.

Mediciones de Permeabilidad

Para la selección del sitio de construcción de las piletas y el diseño de las mismas, en la zona definitiva se deberán efectuar mediciones que permitan determinar la permeabilidad del suelo y de la zona no saturada.

Para hallar capacidades de infiltración relativas con fines comparativos, las mediciones de permeabilidad del suelo se deberán efectuar con pequeños infiltrómetros de doble anillo.

Para predecir la capacidad de infiltración de piletas de recarga, en el sitio definitivo de éstas se deberán hacer ensayos de infiltración con estanques mayores, complementados con mediciones de permeabilidad en la zona vadosa.

Para efectuar las mediciones de permeabilidad de resaturación "in situ", en cada caso el proyectista deberá definir el método más adecuado en función de las condiciones particulares del lugar.

Construcción de Pozo de Bombeo y de Observación. Ensayo de Acuífero

Solamente se deberán llevar a cabo en la zona definitiva de construcción de las piletas de recarga y en caso de que, a criterio del proyectista debidamente fundamentado, la información obtenida en el Estudio de Fuentes no sea aplicable, siguiéndose entonces los mismos criterios para su ejecución.

Análisis de Laboratorio

En caso de que la composición del subsuelo lo exija, se deberán efectuar análisis de arcillas que permitan hallar su capacidad de expansión y de intercambio iónico.

Procesamiento e Interpretación de Datos

Los datos producidos por las tareas descriptas deberán ser procesados e interpretados en forma continua para obtener la información enumerada en el apartado de Objetivo y Alcances.

Deberá incluir una evaluación intermedia después de las tareas comunes con el Estudio de Detalle del Estudio de la Fuente Subterránea y antes de la tarea 4.2.2.1, que deberá definir la zona más apropiada (si se investigó más de una) y la ubicación de las piletas de infiltración dentro de esta zona.

2.4.2.3. Investigación del Sistema de Recarga

El diseño y la operación de un sistema de recarga artificial depende de numerosos parámetros: calidad del agua, clima, características del suelo y subsuelo, etc. En cada caso el proyectista debe efectuar una evaluación de los datos disponibles y fundamentar tanto el diseño del sistema de recarga propuesto como la ubicación seleccionada.

Cuando se planifique un sistema de recarga artificial en áreas donde no se cuente con experiencia previa, los parámetros de diseño se deberán definir mediante la construcción y operación de una planta piloto.

Diseño y Construcción de la Planta Piloto

Para el diseño y construcción de la planta piloto se deberán tener en cuenta los criterios expuestos en el Numeral 2.4.3 para la planta definitiva.

Se deberá efectuar un diseño preliminar en base a los datos obtenidos en los estudios previos, pudiendo complementarse esta información con valores empíricos. La memoria a presentar deberá justificar el procedimiento adoptado.

De no contar con información precisa sobre la capacidad de infiltración, la misma se deberá estimar a partir de los valores de permeabilidad de la zona vadosa y del suelo medidos en la Investigación de Detalle.

Se deberá prever utilizar como planta piloto una de las piletas de la planta definitiva. Su tamaño no deberá ser inferior a 0,02 Ha ni superior a 0,5 Ha. Si la heterogeneidad de las características del lugar exigiera una superficie mayor la necesidad de su construcción deberá ser adecuadamente justificada.

En todos los casos se debe tener en cuenta que el área de la pileta debe ser suficiente para que el resultado de los ensayos no se vea afectado por heterogeneidades locales, en especial las de la permeabilidad del suelo y de la zona vadosa.

Simultáneamente con la pileta experimental deberá construirse la Red de Pozos de Observación definitiva (Norma 2.4.3.5.).

De ser necesario se deberán ejecutar pozos de observación adicionales en las inmediaciones de esta pileta.

El proyectista deberá considerar la utilización, si las condiciones del lugar lo permiten, de las perforaciones de exploración y del ensayo de bombeo, como pozos de observación.

Operación de la Planta Piloto

El período de estudio deberá abarcar, como mínimo, un ciclo hidrológico completo.

Las observaciones a efectuar deberán ser las mismas indicadas en las normas de Operación del Sistema (Numeral 2.4.3.6).

Para poder estudiar la capacidad de depuración (si corresponde) y el esquema óptimo de inundación y secado, las pruebas de recarga deberán realizarse con el mismo líquido a ser empleado en la planta definitiva. Si ello no fuese posible, se deberá utilizar agua limpia. En este caso el proyectista deberá fundamentar la medida y aclarar sus consecuencias en los resultados obtenidos. Cuando se dé esta circunstancia la experimentación deberá concluir utilizando la instalación definitiva.

2.4.3. Diseño del Sistema de Recarga

2.4.3.1. Conceptos Generales

De los diversos métodos de recarga artificial se deberá utilizar el de las piletas de infiltración, salvo que el proyectista demuestre, a juicio del ENOHSA, la necesidad técnica de utilizar otro sistema.

Con respecto a la calidad del agua subterránea, el proyecto debe asegurar que:

- En ningún caso se produzca una degradación del agua subterránea que afecte su potabilidad.
- En todos los casos se cumpla con la legislación, reglamentaciones o normas de protección del medio ambiente.

Las condiciones básicas que se deberán satisfacer en el diseño son:

- La calidad del líquido a recargar debe ser compatible con la capacidad de depuración del sistema suelo – acuífero, de modo que no se produzca contaminación del acuífero.
- En el caso de que se utilice un líquido de recarga de calidad inferior a la del acuífero, un control hidrogeoquímico detallado del acuífero debe seguir el movimiento del agua infiltrada como así también la calidad del agua subterránea.

Los ciclos de inundación y secado de las piletas de recarga deben optimizar su funcionamiento de acuerdo a los siguientes criterios:

- Maximizando la capacidad de infiltración sin afectar la calidad del agua subterránea según los principios antes enunciados.
- Maximizando la depuración del líquido de recarga cuando se utilizan efluentes.

Tanto la planta piloto como el sistema completo de recarga artificial deben ser diseñados y construidos con suficiente flexibilidad para permitir modificaciones en la profundidad del agua, ciclos de inundación – secado - limpieza, configuración de piletas inundadas y en renovación y otros aspectos operacionales.

Para la determinación de los diversos parámetros que participan en el diseño se deberán emplear las ecuaciones, métodos de cálculo y/o valores empíricos que corresponden a las condiciones del lugar, debiendo el proyectista documentar su origen y fundamentar su aplicación.

Se deberá evaluar mediante un modelo matemático la influencia de los diferentes factores, tanto los de diseño como los propios del lugar, en el funcionamiento del sistema de recarga artificial, especialmente en lo referente al impacto hidráulico e hidroquímico en el acuífero.

Con simulaciones sucesivas, incorporando datos más completos y precisos a medida que avanzan los estudios, se deberán ajustar los detalles de diseño y se programarán las investigaciones adicionales que resulten necesarias.

En caso de efectuar estas evaluaciones y ajustes con métodos analíticos en vez de simulaciones numéricas, el proyectista deberá justificar el procedimiento adoptado demostrando que las características del subsuelo y de la obra son lo suficientemente sencillas para permitirlo, teniendo en cuenta si el sistema es para reutilización de un efluente infiltrado.

2.4.3.2. Características Constructivas y Ubicación de las Piletas

El sistema de infiltración deberá consistir en un conjunto de piletas, en las cuales debe ser posible modificar la carga hidráulica. Cada piletta deberá tener su propia entrada y salida de agua de manera que pueda ser llenada, vaciada, secada y limpiada en forma individual. Nunca deben estar en serie de modo que la salida de una sea la entrada de otra. De ser necesario, la primera piletta o la parte inicial de ella puede ser utilizada como dispositivo de presedimentación adicional.

La profundidad de las piletas deberá estar en relación a la profundidad de agua con la cual funcionarán (Numeral 2.4.3.6.) y deberá ser tal que facilite su secado y limpieza. Se deberá prever un dispositivo especial de drenaje, para ser usado cuando la limpieza lo requiera.

Las piletas deben construirse con fondo plano y horizontal, o de pendiente suave y regular si la topografía del lugar y/o la limpieza lo requieran.

La superficie de cada piletta o batería se deberá calcular en función del caudal de agua de recarga disponible y la capacidad de infiltración, teniendo en cuenta que la misma disminuye por la colmatación.

El cálculo se deberá hacer con criterio conservador, utilizando los valores más bajos determinados para la capacidad de infiltración, previendo posibles ampliaciones y ajustes en el diseño a ejecutar a medida que aumenten los caudales o que la experiencia permita contar con mayor información.

La cantidad de piletas o baterías de piletas deberá ser de 3 ó 4, en correspondencia al esquema operativo que se adopte (ver Numeral 2.4.3.6).

Donde el domo de recarga (incluyendo eventuales colgantes) pueda acercarse o alcanzar el fondo de las piletas, éstas deben estar dispuestas evitando grandes conjuntos inundados. En este caso las piletas deben ser pequeñas y/o largas y angostas, y las adyacentes no deben ser inundadas simultáneamente.

Las piletas deben estar equipadas con dispositivos para la medición del caudal y de la profundidad y temperatura del agua.

En la ubicación de las piletas debe tenerse en cuenta los siguientes criterios:

Condiciones del subsuelo. Si las condiciones del lugar lo permiten, se deberá elegir un sitio donde la litología del suelo y de la zona no saturada (por lo menos su parte superior) sea más ventajosa, es decir lo suficientemente gruesa para dar una buena capacidad de infiltración y, si corresponde, lo suficientemente fina para dar un tratamiento adecuado (para una recarga con efluente el óptimo corresponde al rango de limo arenoso - arcilloso a arena limosa - arcillosa).

El nivel del agua subterránea debe hallarse a una profundidad suficiente para evitar que el domo de recarga alcance el fondo de las piletas. Como punto de partida se deberá tomar una distancia de 2-3 m y el definitivo se deberá obtener del modelo matemático o cálculo analítico según el caso.

Sistema de captación. Las piletas se deben ubicar dentro del área de aporte de la captación, aguas arriba en dirección del flujo del acuífero, a la distancia necesaria para

dar al agua infiltrada el tiempo de residencia y recorrido horizontal en el acuífero suficientes para alcanzar la depuración requerida del caso, pero nunca inferior a la distancia de la isocrona de 50 días (ver 2.3. Áreas de Protección)

2.4.3.3. Calidad del Agua de Recarga

La calidad del líquido a infiltrar debe asegurar que la calidad del agua que llegue al acuífero sea del mismo o mejor nivel de calidad que la del acuífero.

Si eso resulte imposible, situación que debe ser demostrada por el proyectista, esa condición de calidad deberá cumplirse antes que el agua infiltrada llegue a la captación.

Cuando se emplean efluentes, éstos deben tener un nivel avanzado de tratamiento previo.

En caso que la información que se dispone no sea suficiente para definir el tratamiento previo necesario, la experimentación con la planta piloto y/o la planta definitiva deberá definir los requerimientos de cada lugar.

2.4.3.4. Recuperación y Reutilización del Agua Recargada

La recuperación del agua se deberá hacer mediante pozos de bombeo, los que deben penetrar completamente el acuífero o bien su parte superior activa, como así también estar adecuadamente espaciados entre sí y debidamente situados con respecto a las piletas de infiltración, para que un conjunto de ellos pueda interceptar la mayor cantidad posible del líquido recargado.

Donde la poca profundidad y el reducido espesor del acuífero lo exijan, la captación se deberá hacer mediante captaciones horizontales, con el mismo criterio anterior de intercepción del líquido recargado, debiendo el proyectista fundamentar la adopción del método.

Cuando una calidad inferior del agua de recarga y las condiciones del lugar lo requieran, la distancia del sistema de captación con respecto al de infiltración se deberá fijar en función de los cambios de calidad que se produzcan en el agua infiltrada dentro del acuífero, pero nunca deberá ser inferior a la distancia de la isocrona de 50 días. (Ver 2.3. Áreas de Protección).

Con los datos obtenidos en los estudios previos y la experimentación con la planta piloto y/o la definitiva sobre la hidráulica y la calidad del acuífero y el funcionamiento del sistema de recarga, se deberá determinar el diseño de las captaciones debiéndose fijar, como mínimo profundidad y capacidad de los pozos o drenes, distancias entre ellos y a las piletas, régimen de extracción y depresiones. Ello se deberá hacer por métodos analíticos o por modelos matemáticos, según las condiciones del lugar y posibilidades del proyecto, debiendo el proyectista fundamentar el método utilizado.

La reutilización del agua infiltrada deberá ser compatible con la calidad exigida para consumo humano, debiendo preverse el tratamiento adicional necesario, teniendo en cuenta la posible presencia de microorganismos patógenos y de compuestos orgánicos.

2.4.3.5. Red de Pozos de Observación

La Red de Pozos de Observación deberá ser una de las primeras obras a diseñar y construir, comenzando con el aprovechamiento de las perforaciones de exploración y siguiendo con la construcción de la planta piloto. Deberá formar parte de la red de pozos de observación del sistema de captación.

Su diseño debe hacerse teniendo en cuenta los diversos controles que debe proporcionar, como ser la evolución del domo de recarga, los cambios de la calidad de agua en la zona no saturada y en el acuífero (si corresponde), la depresión causada por las captaciones, el área en que se observan modificaciones en el acuífero producidas por la recarga, etc.

La cantidad y ubicación de los pozos deberá ser función del tamaño y la geometría del sistema de recarga y las condiciones de cada lugar.

Su número mínimo deberá ser de 10 sitios, salvo que el proyectista justifique la utilización de un número menor, distribuidos alrededor de las piletas sobre la línea de flujo del acuífero y su transversal y/o las direcciones de extensión máxima y mínima del agua infiltrada.

Deberán ser entubados con caños de PVC de 100 mm (4") de diámetro, siguiendo los criterios constructivos enunciados en el numeral 2.1.2.2 (Estudio de la Fuente Subterránea).

2.4.3.6. Operación del Sistema

Durante el funcionamiento del sistema de recarga se deberá obtener información para realimentar el diseño y ajustar en forma permanente la operación del sistema.

Red de Pozos de Observación

Los parámetros a controlar deberán ser el nivel y la calidad del agua subterránea, debiendo la extracción de muestras ser precedida por un bombeo de duración suficiente para lograr agua exclusivamente del acuífero.

Los análisis de calidad de agua a efectuar deberán ser de tres tipos : indicativos, básicos y completos.

Los indicativos deberán incluir, además de la conductividad eléctrica, el consumo de oxígeno (si corresponde), y algún componente distintivo del agua, si existe, que permita reconocer la llegada del mismo a un pozo.

Los básicos deberán examinar, si corresponde, la calidad del agua con respecto a determinados componentes del efluente recargado después que el mismo ha llegado al pozo de observación, a ser definidos por el proyectista tal que permita evaluar el funcionamiento del sistema de recarga.

En los análisis completos se deberá determinar:

- Si la calidad del agua subterránea satisface los requerimientos establecidos en las normas vigentes para el consumo humano.

- Los componentes correspondientes a los análisis básicos, si corresponde.

La frecuencia de los análisis debe ajustarse a la evolución de los parámetros en cada lugar; durante la fase inicial y experimental de las operaciones se deberá comenzar con una frecuencia diaria y luego se deberá espaciar en función de la velocidad observada de los cambios que se producen. El esquema definitivo ya regularizado deberá ser de 1 a 4 meses para los indicativos y básicos, y de 6 a 12 meses para los completos.

En las mediciones del nivel de agua la frecuencia regular nunca debe ser inferior a 30 días. Durante el período experimental se comenzará con una frecuencia diaria y luego se deberá espaciar de acuerdo a la evolución encontrada, pero teniendo en cuenta también las fluctuaciones naturales del acuífero.

Las observaciones y análisis en una red parcial deberán iniciarse un año antes de comenzar la recarga, o un período mínimo tal que permita conocer las situaciones de máxima y de mínima y que debe ser fundamentado por el proyectista, a fin de poder conocer acabadamente las condiciones naturales del acuífero. Para ello se podrán emplear pozos existentes si fuese necesario y las condiciones de la zona lo permiten.

Piletas de Infiltración

A fin de que el sistema de recarga artificial tenga éxito las piletas deben funcionar para infiltrar la mayor cantidad posible de líquido y, si corresponde, producir agua mejorada de la calidad deseada. Para ello la operación de las piletas debe seguir los siguientes criterios:

- La profundidad del agua debe permitir alcanzar una alta capacidad de infiltración sin aumentar la colmatación ni complicar la limpieza.
- La infiltración no debe hacer crecer excesivamente el domo de recarga. Donde esto puede ocurrir, piletas adyacentes no deben ser inundadas simultáneamente.
- La capacidad de infiltración debe ser mantenida mediante ciclos adecuados de inundación, secado y limpieza.
- Si corresponde, la carga hidráulica debe limitarse a la capacidad de depuración de modo que dentro del acuífero la calidad del agua infiltrada sea compatible con las normas de potabilidad.

Los valores óptimos de estos parámetros operativos se deberá obtener a través de las experiencias con la planta piloto y luego con la planta completa. Para eso el programa de control de los pozos de la red de observación debe ser acompañado por mediciones regulares (diarias) de la calidad y del caudal del líquido ingresado y de la profundidad y temperatura del agua en las piletas.

Para la aplicación de los ciclos de inundación, secado y limpieza el conjunto de piletas se deberá subdividir en 3 "baterías": una inundada, una en secado y/o limpieza y una renovada lista para ser puesta en servicio.

2.5. IMPACTO AMBIENTAL

A fin de evitar, o al menos minimizar, toda alteración indeseable del medio ambiente como consecuencia de la explotación del agua subterránea, deberán tomarse los siguientes recaudos:

- Ubicación correcta de las captaciones, basada en las normas de diseño de las captaciones (Norma 2.2).
- Construcción de las perforaciones respetando las directivas descritas en la Norma 2.3.
- Explotación de las captaciones respetando las normas correspondientes (2.4) a fin de evitar una sobreexplotación que pueda alterar las condiciones hidráulicas y químicas del acuífero.
- Monitoreo permanente de los niveles piezométricos y de la calidad química y bacteriológica del agua subterránea (Norma 2.4) y toma de las medidas necesarias en caso de detectarse algún deterioro.

Con estos recaudos, y otros que resulten necesarios a criterio del proyectista, deberá lograrse evitar o minimizar los siguientes impactos potencialmente negativos:

- Interferencia en captaciones de terceros.
- Reducción perjudicial del espesor saturado del acuífero.
- Infiltración vertical a través de acuitardos desde otros acuíferos (especialmente el freático) que contengan aguas de calidad inferior, especialmente las inaptas para consumo humano.
- Infiltración inducida o acelerada de aguas superficiales contaminadas o de mala calidad.
- Invasión salina por movilización de la interfaz agua dulce – salada, sea en acuíferos costeros o en lentes de agua dulce.
- Sobreexplotación del recurso.
- Restricciones para el uso de la tierra en el área de protección, especialmente aquellos que acarrearán perjuicios económicos.