

ANEXO 8.

CONDICIONES TÉCNICAS PARA LA EJECUCIÓN, EQUIPAMIENTO Y CLAUSURA DE SONDEOS Y POZOS

Índice

Introducción.....	3
1. Condiciones técnicas mínimas de ejecución de sondeos.....	3
1.1. Método de construcción.....	4
1.1.1. Colocación de las tuberías.....	4
1.1.2. Cierre o boca de la captación.....	5
1.1.3. Desinfección y equipamiento.....	6
1.2. Cementación.....	7
1.2.1. Profundidad de cementación.....	8
2. Criterios técnicos para la clausura de sondeos o pozos.....	16
2.1. Consideraciones generales.....	16
2.2. Tipologías constructivas de pozos.....	17
2.2.1. Pozos superficiales o abiertos.....	17
2.2.2. Pozos perforados o sondeos.....	17
2.3. Tareas previas al acondicionamiento definitivo.....	17
2.3.1. Caracterización del pozo.....	18
2.3.2. Retirada de elementos ajenos.....	18
2.3.3. Desinfección.....	18
2.4. Operaciones de clausura o sellado.....	18
2.4.1. Clausura temporal de un pozo.....	19
2.4.2. Clausura definitiva de un pozo.....	19
2.4.2.1 Clausura de pozos superficiales o de acuífero único.....	19
2.4.2.2 Clausura de pozos de acuífero multicapa.....	21
2.4.2.3 Clausura de pozos en terrenos no consolidados.....	23
2.4.2.4. Clausura de pozos en terrenos con fracturación leve.....	24
2.4.2.5. Clausura de pozos en terrenos muy fracturados o carstificados.....	25
2.4.2.6. Clausura de pozos surgentes.....	25
2.4.2.7. Clausura de pozos de naturaleza no conocida.....	26

Índice de figuras

Figura 1.- Colocación de las tuberías.....	5
Figura 2.- Cierre o boca de la captación.....	6
Figura 3.- Croquis instalación tubo piezométrico.....	6

Figura 4.- Profundidades de cementación en las masas de agua subterránea de Mallorca.....	13
Figura 5.- Profundidades de cementación en las masas de agua subterránea de Menorca.....	13
Figura 6.- Profundidades de cementación en las masas de agua subterránea de Eivissa y Formentera.....	14
Figura 7.- Esquema del procedimiento a seguir para la clausura de un pozo superficial o de acuífero único.....	20
Figura 8.- Esquema del procedimiento a seguir para la clausura de un pozo en acuífero multicapa.....	22
Figura 9.- Esquema del procedimiento a seguir para la clausura de un pozo de características desconocidas.....	26

Índice de tablas

Tabla 1.- Profundidad de cementación según los materiales dominantes.....	12
---	----

Introducción

A fin de garantizar la protección del dominio público hidráulico de todo tipo de contaminación, se considera conveniente desarrollar y concretar los aspectos constructivos y de abandono de las captaciones en función de las características hidrogeológicas de cada captación.

Es casi imposible plasmar y detallar todas las situaciones y los parámetros a aplicar en cada caso, por esta razón cada circunstancia concreta deberá ser analizada en los correspondientes proyectos de ejecución y/o abandono de sondeos. Se establecen una serie de situaciones hidrogeológicas tipo que permiten agrupar los parámetros a aplicar en una serie de rangos, sin perjuicio de las normas que para cada acuífero o zona del mismo puedan establecerse en el futuro.

Se debe considerar también que los pozos son construcciones que pueden representar un riesgo físico para las personas, sobre todo cuando tienen gran diámetro. Además, los pozos existentes pueden representar también un riesgo de contaminación de las aguas subterráneas, ya que son una vía de entrada preferente y rápida para los contaminantes desde la superficie del terreno hasta el acuífero o pueden poner en contacto dos acuíferos con calidades químicas diferentes. Así, las aguas de escorrentía superficial pueden entrar directamente por la tubería o por el espacio que hay entre la tubería y el terreno hasta la zona saturada de agua (acuífero), lo que impide que el proceso de depuración natural que tiene lugar cuando el agua se infiltra a través del terreno sea efectivo. Por otro lado, cuando un pozo está abandonado o en desuso, suelen desaparecer los elementos de protección básicos en torno al mismo incrementando el riesgo físico para las personas y el riesgo de contaminación del acuífero.

Es necesario, por tanto, prevenir tanto los accidentes como la afección a las aguas subterráneas, ya que éstas constituyen la fuente principal de suministro público de agua potable en las Illes Balears y, por extensión, son el recurso hídrico más sensible e importante de la Unión Europea, hecho remarcado explícitamente en la Directiva 2006/118/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de diciembre de 2006, relativa a la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro (conocida como Directiva Hija de aguas subterráneas).

El presente anexo se estructura en dos apartados diferentes. El primero se refiere a la construcción de pozos, mientras que el segundo se refiere al abandono de los pozos negativos o en desuso.

1. Condiciones técnicas mínimas de ejecución de sondeos

Con el fin de proteger el dominio público hidráulico subterráneo de cualquier tipo de contaminación, la ejecución de sondeos de captación de aguas subterráneas se ajustará a unas condiciones técnicas mínimas. Estas se refieren básicamente al

método de construcción (descenso de las tuberías de revestimiento, cierre o boca de la captación...) y, en especial, a la cementación del espacio anular.

1.1. Método de construcción

En cuanto a los materiales a utilizar y a las técnicas de construcción de pozos se deben seguir una serie de criterios que ayudan a garantizar la durabilidad de la protección del dominio público hidráulico.

- Cuando las tuberías sean de tubos de 'chapa naval' estos deben tener un mínimo de 4 mm de espesor.
- En la colocación de la tubería es necesario utilizar como mínimo un centrador a 120 ° cada 12 m.
- Para garantizar la eficacia de las operaciones de cementación, las desviaciones de la vertical de las perforaciones deben ser lo más pequeñas posibles, siendo recomendable no superar 1° por cada 50m de perforación.
- Cuando se realice la instalación de los equipos de extracción (bombas) y accesorios (tubería de impulsión, tubo piezométrico, cables, etc.), se debe garantizar la estanqueidad.

1.1.1. Colocación de las tuberías

En cualquier pozo o sondeo que se ejecute, el método para descender las tuberías se realizará de forma que se asegure que no existen agujeros en la tubería. En este sentido se recomienda utilizar, siempre que sea posible, tuberías que puedan unirse mediante rosca.

En el caso que se descendan las tuberías de revestimiento por el método de la barra y perforaciones, será estrictamente necesario que las citadas perforaciones se sellen nuevamente mediante soldadura continua, una vez colocado cada tramo.

En los sondeos telescópicos, aquellos en que hay una disminución del diámetro en profundidad, las tuberías de diferente diámetro se podrán colocar siguiendo dos metodologías diferentes (ver figura 1).

Una primera opción es apoyar la tubería exterior en la roca. En este caso será necesario cementar el espacio anular entre la tubería interior y la tubería exterior así como el espacio anular entre la tubería exterior y la roca. Para tal operación será necesaria la utilización de un obturador que permita cementar la zona situada por encima del mismo.

En estos casos no se permitirá dejar el espacio anular entre tuberías sin cementar. Una segunda opción es unir las dos tuberías de diferente diámetro mediante un embudo. En este caso también será necesario utilizar un obturador para cementar la parte superior del pozo.

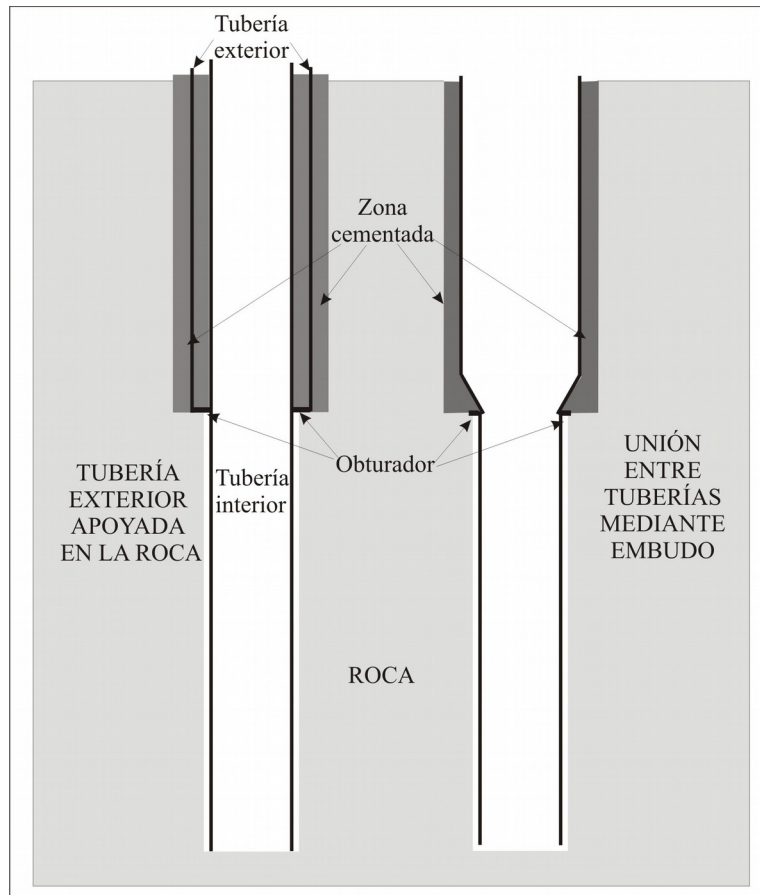


Figura 1.- Colocación de las tuberías.

1.1.2. Cierre o boca de la captación

Para evitar la entrada de aguas exteriores y posibles contaminantes, la tubería de revestimiento del pozo debe sobresalir entre 30 y 50 centímetros por encima de la superficie del terreno y sobre ésta se dispondrá, alrededor de dicha tubería, una placa de cemento con un espesor mínimo de 30 centímetros en el centro y de 15 en los bordes, de forma que su cara superior tenga pendiente hacia la periferia en todas las direcciones. La placa debe tener una anchura mínima de 50 centímetros alrededor de la tubería y un espesor mínimo enterrado de 30 centímetros (ver figura 2).

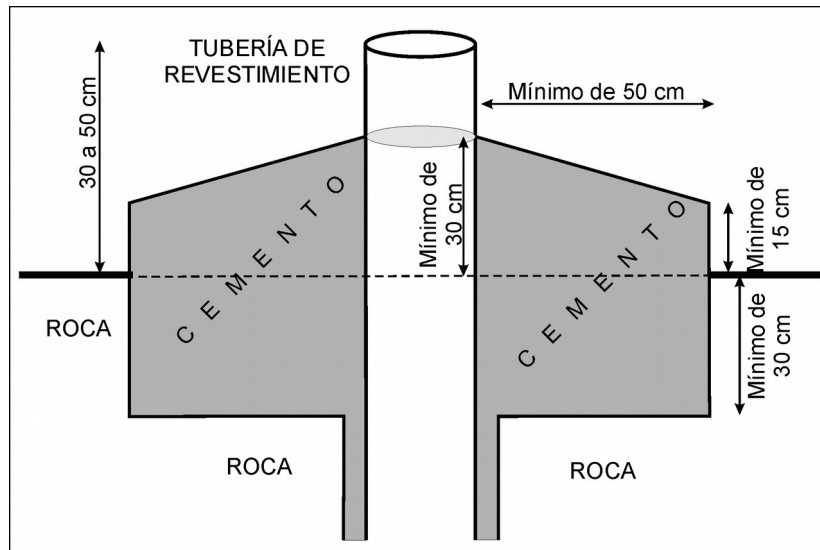


Figura 2.- Cierre o boca de la captación.

1.1.3. Desinfección y equipamiento

Una vez terminada la perforación y, en su caso, el ensayo de bombeo, se debe proceder a la desinfección del pozo y a la instalación de un tubo piezométrico, una espita para el muestreo y un contador volumétrico. La desinfección se realizará de acuerdo al punto 2.3.3 del presente anexo. El tubo piezométrico se instalará según la figura 3.

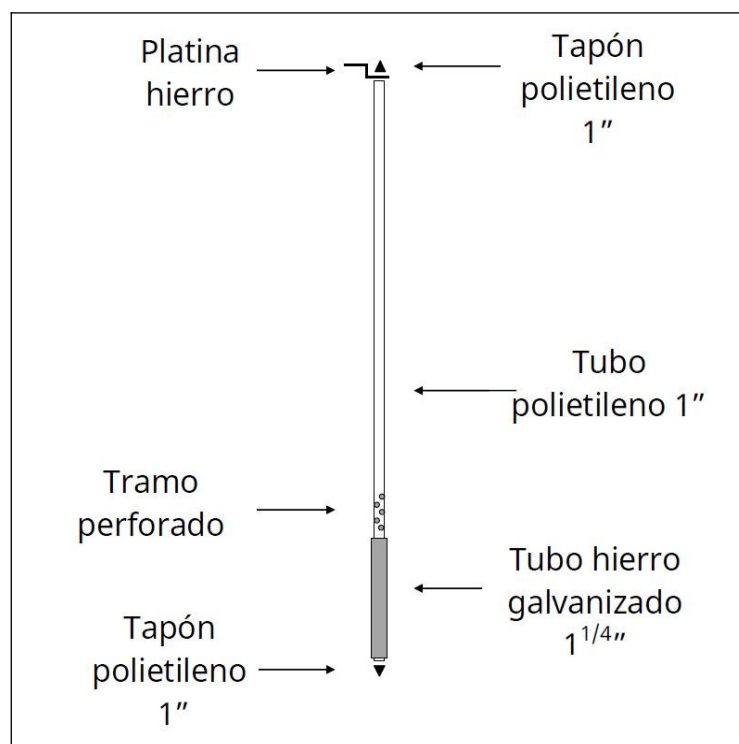


Figura 3.- Croquis instalación tubo piezométrico.

La espita para toma de muestras de agua debe permitir el muestreo del agua explotada en caso de ser necesario.

El contador volumétrico debe permitir controlar el caudal y el volumen extraído.

1.2. Cementación

Los proyectos de ejecución de sondeos deben incorporar las correspondientes operaciones de cementación que garanticen que el sondeo no es una vía preferente de contaminación del dominio público hidráulico.

La cementación del espacio anular de los pozos evita la comunicación directa entre el acuífero y las aguas de escorrentía superficial, aísla los diferentes niveles acuíferos de una perforación, evita el vaciado incontrolado y continuo de determinados niveles acuíferos y ayuda a la protección de la tubería. Es necesario que todas las captaciones que se construyan dispongan en su parte más superficial de un tramo cementado. La cementación deberá adaptarse siempre a los siguientes criterios:

- La cementación deberá tener un grosor de corona mínimo de 5 cm. Es decir, entre la tubería y la pared del sondeo se debe dejar un espacio de al menos 5 cm.
- Para que la lechada de cemento pueda tener la suficiente fluidez para ser inyectada en el espacio anular del pozo, la concentración de bentonita de la mezcla deberá ser de entre un 2 y un 6%. Asimismo, la densidad recomendable será de 1,9 g/cm³.
- El encargado de la obra deberá comunicar el inicio de las operaciones de cementación y sellado a la autoridad hidráulica, para que, si lo considera necesario, personal de ésta pueda estar presente en esta operación.
- Cuando la profundidad de cementación sea inferior a 5 m, el vertido del material sellante se podrá realizar desde la boca del sondeo, no siendo necesario la utilización de varillaje auxiliar ni de bomba de inyección.
- Cuando la profundidad de cementación sea superior a 5 m será necesario utilizar varillaje de fondo o elementos de igual utilidad que pueden ser introducidas por el espacio anular. Asimismo, en estos casos será necesario utilizar una bomba de inyección para inyectar el cemento desde el fondo e ir ascendiendo hacia la superficie.
- Las operaciones de cementación deberán realizarse de manera continuada y sin interrupciones para evitar el desagregado del material cementante. Esta operación es especialmente necesaria cuando existe un flujo dentro del sondeo debido a diferentes cargas hidráulicas de acuíferos. Por esta razón, es muy recomendable efectuar un cálculo de la cantidad de material necesario antes de empezar la cementación.
- Cuando la columna a cementar sea de longitud considerable se deberán tener en cuenta las presiones centrípetas ejercidas por la columna de cementación

para que éstas no superen la resistencia nominal de la tubería, lo que puede producir el colapso de la misma. En estos casos será necesario realizar la cementación por fases.

- Una vez hayan finalizado las operaciones de cementación no se podrá llevar a cabo ninguna actividad en el pozo hasta que el cemento esté completamente forjado. Debido a que este tiempo depende de los materiales utilizados se fijará, en caso de duda, un tiempo mínimo de 72 horas desde la finalización de la cementación para continuar los trabajos de adecuación del sondeo.
- Cualquier entubación provisional que se haya utilizado en el proceso de construcción del pozo se tendrá que retirar de forma simultánea al proceso de cementación.

1.2.1. Profundidad de cementación

La profundidad hasta la que se ha de cementar el espacio anular está en función del material que aflora en la zona y de las características del acuífero que se explota. Básicamente se pueden presentar cuatro grandes grupos de acuíferos: libres, confinados, superpuestos y multicapa.

En las Illes Balears afloran principalmente dos grandes grupos de rocas sedimentarias: rocas detríticas (arcillas, areniscas y conglomerados) o rocas carbonatadas. Dentro de los materiales carbonatados se pueden diferenciar los carbonatos propiamente dichos (calizas y dolomías), las calcarenitas y las margas. Por otra parte, hay que diferenciar también aquellos carbonatos que están fisurados de aquellos que presentan procesos de carstificación importantes.

En base a la distribución de estos grupos de materiales y tipo de acuífero se han clasificado las diferentes masas de agua subterránea definidas en el presente Plan Hidrológico de las Illes Balears, adjudicando a cada una de ellas las profundidades mínimas de cementación que se aplicarán.

En la tabla siguiente y en las figuras 3, 4 y 5 se indican cuáles son los rangos de profundidades de cementación que se aplicarán a cada masa de agua subterránea. Mientras el proyecto de construcción del pozo presentado no demuestre que en esa zona afloran unos materiales diferentes a la generalidad de la masa, se aplicará la cementación indicada.

En cualquier caso, el proyecto de construcción del pozo deberá indicar y justificar la profundidad de cementación que se pretende realizar. Se debe considerar también que cuando se trata de un acuífero confinado con una cobertura impermeable con un espesor inferior a 5 m solamente será necesario cementar la parte impermeable, es decir, desde el techo del acuífero hasta la superficie del terreno.

En el caso de acuíferos superpuestos (un acuífero libre en superficie y otros acuíferos confinados en profundidad) o acuíferos multicapa (acuíferos formados por una alternancia de capas permeables e impermeables) el proyecto de captación deberá indicar cuál de los acuíferos se pretende explotar. El acuífero que no debe ser explotado se deberá aislar adecuadamente del resto (ver figura

7). Dicho aislamiento se efectuará mediante cementación o sellado del anillo entre el entubado y la pared del sondeo, al menos en un espesor de cinco metros desde la base del acuífero que no se pretende explotar. El resto del anillo puede llenarse de grava. Si el espesor de las capas confinantes es menor de cinco metros, se debe sellar en todo su espesor.

<i>Código Masa de Agua Subterránea</i>	<i>Nombre</i>	<i>Profundidad de cementación (m)</i>	<i>Tipo de acuífero</i>	<i>Materiales dominantes</i>
1801M1	Coll Andritxol	20 - 30	Libre	Calizas y dolomías fisuradas
1801M2	Port d'Andratx	10 - 15	Libre-Confinado	calizas y dolomías fisuradas, margas y detrítico
1801M3	Sant Telm	5 - 15	Confinado-Libre	Margas, calizas y detrítico
1801M4	Ses Basses	20 - 30	Libre	Calizas y dolomías fisuradas
1802M1	Sa Penya Blanca	20 - 30	Libre	Calizas y dolomías fisuradas
1802M2	Banyalbufar	20 - 30	Libre	Calizas y dolomías fisuradas
1802M3	Valldemossa	20 - 30	Libre	Calizas y dolomías fisuradas
1803M3	Escorca	40 - 55	Libre	Calizas y dolomías fisuradas y carstificadas
1804M1	Ternelles	20 - 30	Libre	Calizas y dolomías fisuradas
1804M2	Port de Pollença	10 - 30	Libre-Confinado	Calizas y dolomías fisuradas, margas y detrítico
1804M3	Alcúdia	10 - 15	Libre-Confinado	Detrítico margas
1805M1	Pollença	20 - 30	Libre	Calizas y dolomías fisuradas
1805M2	Aixartell	10 - 30	Libre-Confinado	Margas, calizas y dolomías fisuradas
1805M3	L'Arboçar	20 - 30	Libre	Calizas y dolomías fisuradas
1806M1	s'Olla	20 - 30	Libre	Calizas y dolomías fisuradas
1806M2	sa Costera	40 - 55	Libre	Calizas y dolomías carstificadas
1806M3	Port de Sóller	20 - 30	Libre	Calizas y dolomías fisuradas
1806M4	Sóller	10 - 15	Libre-Confinado	Detrítico, arcillas y yeso
1807M1	Esporles	20 - 30	Libre	Calizas y dolomías fisuradas
1807M2	Sa Fita del Ram	20 - 30	Libre	Calizas y dolomías fisuradas
1808M1	Bunyola	40 - 55	Libre	Calizas y dolomías carstificadas
1808M2	Maçanella	20 - 30	Libre	Calizas y dolomías fisuradas
1809M1	Lloseta	10 - 15	Libre-Confinado	Margas, calizas y dolomías fisuradas
1809M2	Penyaflor	10 - 15	Libre-Confinado	calizas y detrítico
1810M1	Caimari	20 - 30	Libre	Calizas y dolomías fisuradas

<i>Código Masa de Agua Subterránea</i>	<i>Nombre</i>	<i>Profundidad de cementación (m)</i>	<i>Tipo de acuífero</i>	<i>Materiales dominantes</i>
1811M1	sa Pobla	10 - 15	Libre	Detrítico
1811M2	Llubí	25 - 40	Libre	Calcarenitas carstificadas
1811M3	Inca	10 - 15	Superpuestos	Detrítico
1811M4	Navarra	20 - 30	Libre	Calizas y dolomías fisuradas
1811M5	Crestatx	40 - 55	Libre	Calizas y dolomías carstificadas
1812M1	Galatzó	20 - 30	Libre	Calizas y dolomías fisuradas
1812M2	es Capdellà	10 - 15	Confinado-Libre	Margas, calizas y dolomías fisuradas
1812M3	Santa Ponça	5 - 15	Confinado	Margas, calizas y detrítico
1813M1	sa Vileta	40 - 55	Libre	Calizas y dolomías carstificadas
1813M2	Palmanova	40 - 55	Libre	Calizas y dolomías carstificadas
1814M1	Xorrigo	25 - 40	Libre	Calcarenitas carstificadas
1814M2	Sant Jordi	10 - 15	Libre	Detrítico
1814M3	es Pont d'Inca	25 - 40	Superpuestos	Calcarenitas y calizas carstificadas
1814M4	Son Reus	10 - 15	Superpuestos	Detrítico
1815M1	Porreres	10 - 15	Libre-Confinado	Detrítico, calizas y dolomías fisuradas, margas
1815M2	Montuïri	5 - 15	Confinado	Margas y calizas fisuradas
1815M3	Algaida	10 - 15	Libre-Confinado	Detrítico, calizas y dolomías fisuradas margas
1815M4	Petra	5 - 15	Confinado	Margas, calizas y detrítico
1816M1	Ariany	25 - 40	Libre	Calcarenitas carstificadas
1816M2	Son Real	25 - 40	Libre	Calcarenitas carstificadas
1817M1	Capdepera	10 - 30	Libre-Confinado	Calizas y dolomías fisuradas margas
1817M2	Son Servera	10 - 30	Libre-Confinado	Calizas y dolomías fisuradas margas
1817M3	Sant Llorenç	10 - 30	Libre-Confinado	Calizas y dolomías fisuradas margas
1817M4	ses Planes	10 - 30	Libre-Confinado	Calizas y dolomías fisuradas margas
1817M5	Ferrutx	10 - 30	Libre-Confinado	Calizas y dolomías fisuradas margas

Aprobado por Real Decreto 49/2023, de 24 de enero. Normativa PHIB 2022-2027
ANEXO 8. CONDICIONES TÉCNICAS PARA LA EJECUCIÓN, EQUIPAMIENTO Y CLAUSURA DE
SONDEOS Y POZOS

<i>Código Masa de Agua Subterránea</i>	<i>Nombre</i>	<i>Profundidad de cementación (m)</i>	<i>Tipo de acuífero</i>	<i>Materiales dominantes</i>
1817M6	Es Racó	10 - 30	Libre-Confinado	Calizas y dolomías fisuradas margas
1818M1	Son Talent	10 - 25	Confinado-Libre	Detrítico y Calcarenitas
1818M2	Santa Cirga	10 - 30	Libre-Confinado	Calizas y dolomías fisuradas margas
1818M3	sa Torre	10 - 30	Libre-Confinado	Calizas y dolomías fisuradas margas
1818M4	Justaní	5 - 15	Confinado	Margas y calizas fisuradas
1818M5	Son Macià	5 - 15	Confinado	Margas y calizas fisuradas
1819M1	Sant Salvador	10 - 30	Libre-Confinado	Calizas y dolomías fisuradas margas
1819M2	Cas Concos	10 - 30	Libre-Confinado	Calizas y dolomías fisuradas margas
1820M1	Santanyí	25 - 40	Libre	Calcarenitas carstificadas
1820M2	Cala d'Or	25 - 40	Libre	Calcarenitas carstificadas
1820M3	Porto Cristo	25 - 40	Libre	Calcarenitas carstificadas
1821M1	Marina de Lluçmajor	25 - 40	Libre	Calcarenitas carstificadas
1821M2	Pla de Campos	10 - 25	Libre	Detrítico y calcarenitas
1821M3	Son Mesquida	25 - 40	Libre	Calcarenitas carstificadas
1901M1	Maó	25 - 40	Libre	Calcarenitas carstificadas
1901M2	Migjorn Gran	25 - 40	Libre	Calcarenitas carstificadas
1901M3	Ciutadella	25 - 40	Libre	Calcarenitas carstificadas
1902M1	sa Roca	20 - 30	Libre	Calizas y dolomías fisuradas
1903M1	Addaia	20 - 30	Libre	Calizas y dolomías fisuradas
1903M2	Tirant	10 - 15	Libre	Detrítico
2001M1	Portinatx	10 - 15	Confinado-Libre	Margas, calizas y dolomías fisuradas
2001M2	Port de Sant Miquel	40 - 55	Libre	Calizas y dolomías carstificadas
2002M1	Santa Agnès	20 - 30	Libre	Calizas y dolomías fisuradas
2002M2	Pla de Sant Antoni	10 - 15	Libre	Detrítico
2002M3	Sant Agustí	5 - 15	Confinado	Margas, calizas y detrítico
2003M1	Cala Llonga	10 - 30	Libre-Confinado	Calizas y dolomías fisuradas, margas y detrítico
2003M2	Roca Llisa	10 - 30	Libre-Confinado	Calizas y dolomías fisuradas, margas y detrítico
2003M3	Riu de Santa	5 - 15	Confinado	Margas, calizas y detrítico

Código Masa de Agua Subterránea	Nombre	Profundidad de cementación (m)	Tipo de acuífero	Materiales dominantes
	Eulària			
2003M4	Sant Llorenç de Balafia	10 - 30	Libre-Confinado	Calizas y dolomías fisuradas, margas y detrítico
2004M1	es Figueras	10 - 15	Confinado-Libre	Margues, calizas y dolomías fisuradas
2004M2	es Canar	10 - 30	Libre-Confinado	Calizas y dolomías fisuradas, margas y detrítico
2005M1	Cala Tarida	20 - 30	Libre	Calizas y dolomías fisuradas
2005M2	Porroig	5 - 15	Confinado	Margas, calizas y detrítico
2006M1	Santa Gertrudis	5 - 15	Confinado	Margas, calizas y detrítico
2006M2	Jesús	10 - 15	Libre	Detritico
2006M3	Serra Grossa	10 - 30	Libre-Confinado	Calizas y dolomías fisuradas, margas y detrítico
2101M4	Formentera	10 - 40	Libre	Detritico y calcarenitas carstificadas

Tabla 1.- Profundidad de cementación según los materiales dominantes.

En aquellas masas formadas por calizas y dolomías fisuradas, margas y materiales detríticos, en las que la cementación se ha establecido en el rango de 10 a 30 m, se deberá considerar que cuando afloran margas o materiales detríticos, la cementación podrá ser de entre 10 y 20 m, mientras que si afloran calizas o dolomías fisuradas la cementación deberá ser de entre 20 y 30 m.

En aquellas masas en las cuales y según la tabla anterior, afloran básicamente materiales detríticos y calcarenitas, y para las que se ha establecido un rango de cementación de 10 a 25 m, se deberá considerar que cuando afloran materiales detríticos la cementación podrá ser de entre 10 y 20 m, mientras que si afloran calcarenitas la cementación deberá ser de entre 15 y 25 m.

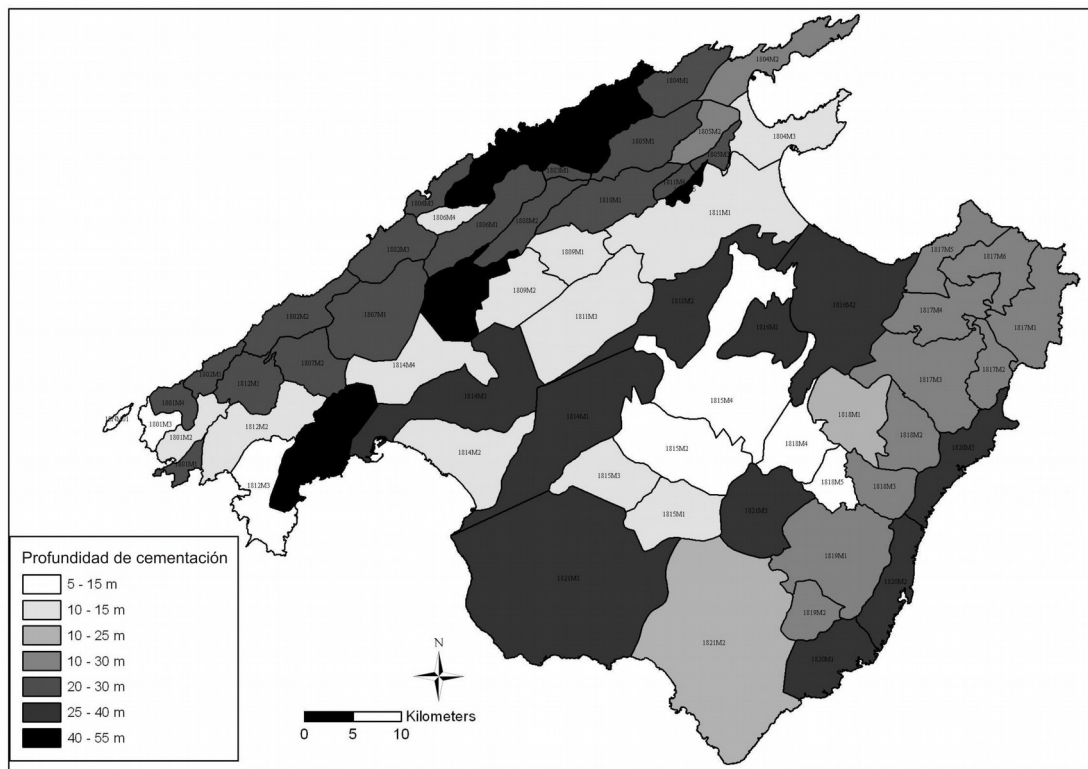


Figura 4.- Profundidades de cementación en las masas de agua subterránea de Mallorca.

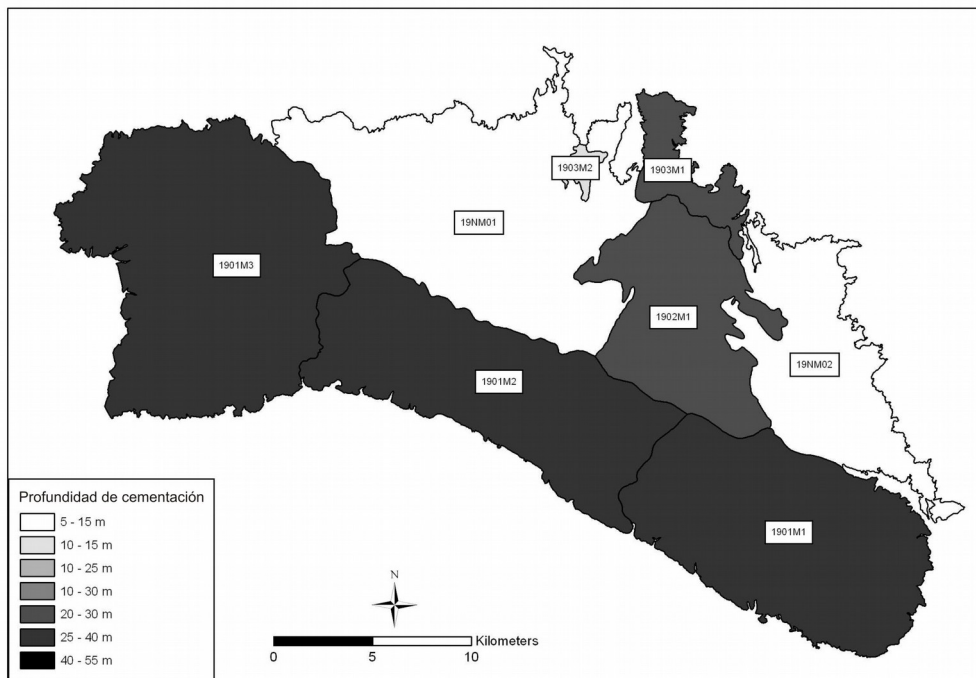


Figura 5.- Profundidades de cementación en las masas de agua subterránea de Menorca.

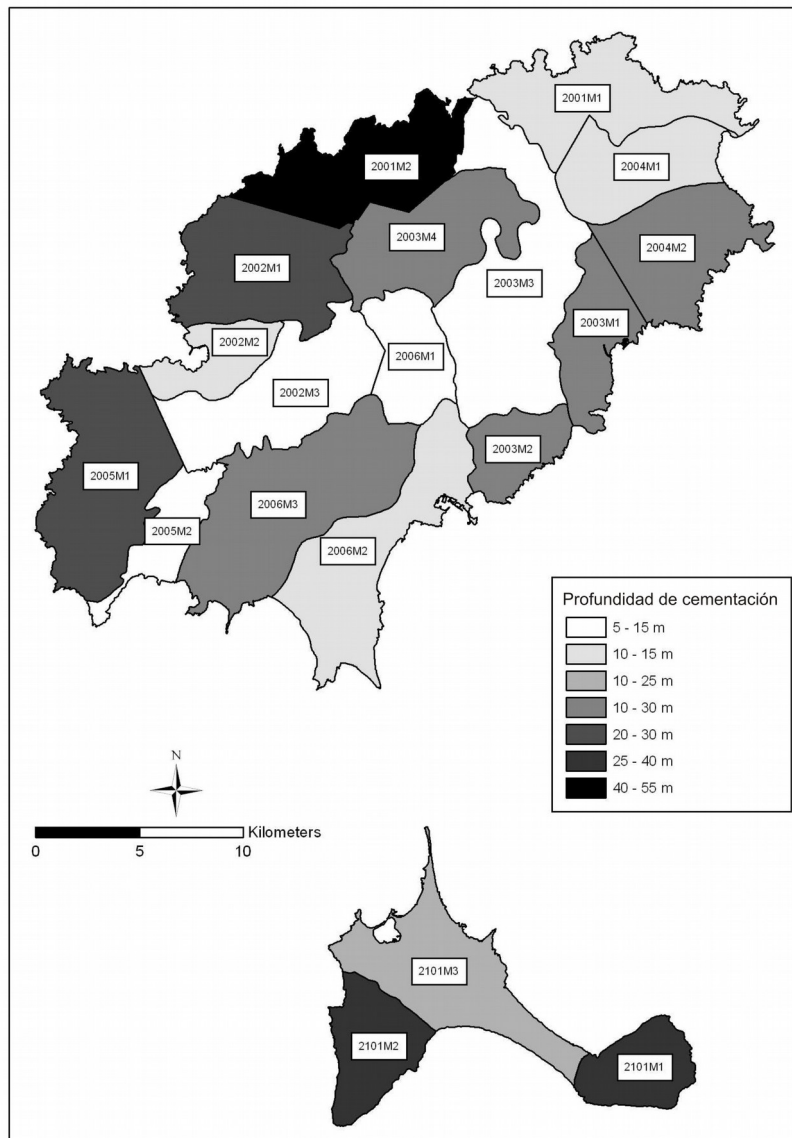


Figura 6.- Profundidades de cementación en las masas de agua subterránea de Eivissa y Formentera.

2. Criterios técnicos para la clausura de sondeos o pozos

Este apartado se redacta para disponer de una guía de prescripciones técnicas para la adecuada clausura de pozos en desuso o abandonados. Así, pretende ser la herramienta a utilizar por el propietario del pozo y/o el técnico correspondiente de la obra para conseguir los resultados adecuados.

Los principales objetivos que se pretenden alcanzar con la clausura de los pozos son:

1. Eliminar el riesgo de accidentes por la presencia de un espacio abierto en el terreno.
2. Impedir actos vandálicos y que el pozo pueda servir como depósito de materiales contaminantes o escombros.
3. Evitar la entrada de contaminantes desde la superficie.
4. Evitar modificaciones en el comportamiento hidráulico de las aguas subterráneas, como la pérdida de caudales o presiones hidrostáticas.
5. Prevenir la mezcla de agua entre diferentes acuíferos y evitar el flujo inducido del agua a través de diferentes formaciones geológicas.

Cada una de las clausuras se debe considerar como un caso particular, de esta manera, tanto los métodos como los materiales a utilizar estarán siempre determinados por las condiciones particulares del entorno y por el objetivo buscado.

Factores como las condiciones del terreno, la vulnerabilidad del medio y la presencia de pozos de abastecimiento deben ser cuidadosamente considerados antes de tomar la decisión final sobre el procedimiento y los materiales a utilizar en el sellado.

2.1. Consideraciones generales

En casos concretos debidamente justificados, una actuación mínima de protección superficial de la captación puede servir como medida temporal de clausura. En el resto de casos, es necesario cumplir con todos los pasos requeridos para una adecuada clausura del pozo.

El sellado adecuado de un pozo implica que esté limpio en su totalidad, de forma que aísle el acceso a los niveles acuíferos y se consiga la obturación superficial de la boca. Las operaciones a llevar a cabo en los procesos de clausura y sellado de pozos son básicamente la extracción de los elementos introducidos en el terreno (tuberías, filtros, bomba...) y el relleno del espacio abierto con materiales que no tengan interacción con el medio e impidan la modificación de éste por factores externos.

El tipo de pozo, las características geológicas y la situación ambiental de posible contaminación (vertidos, derrames, residuos, presencia de niveles acuíferos ya contaminados), determinan los procedimientos y materiales para la clausura.

2.2. Tipologías constructivas de pozos

Los pozos pueden ser clasificados en base al método constructivo, o en relación al acuífero donde se ubican. En este anexo, se han considerado dos tipologías de pozos en función de sus características constructivas: pozos superficiales o abiertos, y pozos perforados o sondeos.

En las Illes Balears, en base al tipo de acuífero, se pueden dar básicamente dos situaciones: acuíferos carbonatados y acuíferos detríticos.

En ciertos casos, y en cualquiera de estas tipologías, el pozo puede ser artesiano, es decir, puede presentar un nivel del agua por encima del brocal de pozo. En estos casos será necesario un tratamiento específico para la ejecución de los procedimientos de sellado del pozo.

2.2.1. Pozos superficiales o abiertos

Los pozos superficiales o abiertos suelen ser pozos excavados a mano (norias), por lo que suelen ser pozos antiguos. Tienen profundidades entre 5 y 25 m y un diámetro entre 1 y 3 m.

Las paredes a menudo se encuentran recubiertas de ladrillos u hormigón para evitar su colapso. Estos pozos normalmente explotan acuíferos en terrenos detríticos aluviales o coluviales, y relativamente poco consolidados (conglomerados, areniscas y arcillas del Cuaternario), aunque pueden penetrar parcialmente el basamento de roca consolidada inferior.

2.2.2. Pozos perforados o sondeos

Son pozos realizados mediante maquinaria específica para tal efecto y siguiendo diferentes metodologías de construcción. Suelen tener diámetros inferiores a 0,5 m y pueden alcanzar profundidades de cientos de metros. Dependiendo del material geológico pueden presentar dos modalidades constructivas:

- Materiales poco consolidados (detríticos): el pozo suele disponer de tubería en toda su longitud, la cual dispone de tramos filtrantes en las zonas más productivas permeables.
- Materiales consolidados (carbonatos generalmente): en ciertos casos el pozo solo está entubado en su tramo superior, donde atraviesa los materiales no consolidados. La parte inferior de la captación atraviesa un terreno formado por una roca consolidada con fracturas. En esta zona acuífera en ciertos casos no se coloca tubería de revestimiento ni filtro.

2.3. Tareas previas al acondicionamiento definitivo

Antes del sellado del pozo es necesario llevar a cabo una serie de tareas que contribuyen a facilitar la operación de clausura y aseguran su efectividad. Las tareas necesarias son la caracterización del pozo, la retirada de los elementos ajenos y la desinfección.

2.3.1. Caracterización del pozo

Previamente a la determinación del proceso de clausura de un pozo, es muy importante corroborar la información respecto a las características del pozo, tanto las originales en el momento de su construcción (si están disponibles), como las actuales en el momento de proceder a su clausura.

Una clausura efectiva del pozo depende del conocimiento sobre las características constructivas del pozo, la geología y la hidrogeología del lugar. Se debe recabar toda aquella información que pueda resultar relevante para la clausura del pozo. La información a recoger, y que debe ser utilizada para la redacción del proyecto de clausura, es:

- Situación administrativa del pozo: titularidad del pozo, existencia o no de expediente administrativo, coordenadas, cota topográfica, caudal concedido, uso...
- Características hidrogeológicas del pozo: masa de agua subterránea donde se localiza, profundidad del agua en el momento de la clausura (en el caso de disponer de datos históricos, rango de profundidades del agua en el tiempo), y otra información disponible (columna litológica, calidad del agua, localización de las zonas acuíferas...).
- Características técnicas del pozo: profundidad y diámetro del pozo, tipo y profundidad del entubado con la distribución de las zonas ranuradas y ciegas, y otra información sobre la perforación (existencia de cementación anular...).

2.3.2. Retirada de elementos ajenos

Antes de iniciar la clausura del pozo, hay que retirar los dispositivos del interior (bombas, tuberías, materiales auxiliares) y cualquier objeto extraño, de forma que el éxito de la actuación no se vea comprometido.

2.3.3. Desinfección

Una vez vaciado y limpiado el pozo, es necesario realizar una desinfección. Se deberá utilizar un desinfectante adecuado, como puede ser una solución de hipoclorito de calcio con un contenido del 65 al 75% de cloro activo, apto para el tratamiento de aguas de consumo humano.

No conviene utilizar una lejía de uso doméstico, ya que es demasiado débil para llegar al nivel de desinfección necesario. Habrá que tener la precaución de desinfectar todas las herramientas o equipos que sean introducidos en el pozo durante las operaciones. La cantidad de desinfectante a utilizar dependerá del volumen de agua en el pozo, procurando llegar a una concentración de 100 mg de cloro por litro de agua.

2.4. Operaciones de clausura o sellado

Los pozos se pueden cerrar de manera temporal o definitiva. La clausura temporal es una medida que permite impedir que se puedan verter sustancias potencialmente contaminantes en el pozo, pero deja la posibilidad de utilizar el pozo para la extracción de agua en un futuro. Por otra parte, la clausura definitiva

del pozo es una acción que debe permitir asegurar la protección del dominio público hidráulico, por lo tanto, una vez se ha efectuado la clausura definitiva del pozo ya no se podrá extraer agua.

2.4.1. Clausura temporal de un pozo

En caso de que el pozo no se utilice pero se tenga la intención de utilizarlo en un futuro próximo, se podrá llevar a cabo una clausura temporal del pozo. La clausura temporal de un pozo se realiza tapando la boca del mismo con una tapa de hierro y con candado, de manera que se imposibilite el vertido de sustancias dentro del mismo a través de la boca.

La clausura temporal del pozo NO será posible cuando:

- a) Exista riesgo de infiltración de aguas de escorrentía superficial por el espacio anular del pozo (boca), o
- b) Se trate de un pozo que comunique acuíferos con diferentes presiones y tipos de agua, o
- c) Sea necesario hacer una restitución del medio.

La clausura temporal incluirá los siguientes trabajos:

- 1) Si se tiene la intención de dejar una bomba dentro del pozo, será necesario poner un contador y precintar el pozo.
- 2) Si el pozo está en una zona inundable, será necesario que la boca del pozo se sitúe por encima de la cota de inundación.

2.4.2. Clausura definitiva de un pozo

Cuando el pozo esté abandonado y no se tenga intención de volver a utilizarlo o sea un sondeo negativo será necesario llevar a cabo la clausura definitiva del mismo.

Cuando el pozo sea superficial o explote un acuífero único, se puede aceptar una clausura mediante unas acciones mínimas.

Por otra parte, cuando el pozo comunica varios acuíferos es necesario llevar a cabo unas acciones obligatorias que son más o menos estrictas en función de las particularidades de cada caso.

2.4.2.1 Clausura de pozos superficiales o de acuífero único

En aquellos casos en que el pozo explote un acuífero superficial o único, y mientras no exista riesgo de comunicación entre diferentes estratos, se podrá realizar una clausura del pozo con unas operaciones mínimas. El objetivo de esta clausura es evitar la contaminación a través del brocal y, cuando el pozo sea de gran diámetro, el riesgo debido al peligro físico de caídas dentro del pozo.

Cuando se cumplen estas condiciones la clausura se debe realizar de la siguiente manera:

- 1) Retirar los elementos del interior del pozo (bomba, tuberías, cables u otros elementos) que pudieran deteriorarse. Es obligatorio retirar los 3 m más superficiales de la tubería para poder hacer un tapón sanitario al menos en los

2 m superiores del pozo. Cuando el encamisado es de PVC, es preferible destruirlo mediante la reperforación del pozo.

2) Si no es posible extraer la tubería por completo debido a un riesgo de derrumbe del pozo o de ruptura de la tubería es necesario realizar un corte y apertura de la tubería de revestimiento, en especial en los 3 m más superficiales de pozo. El corte y apertura de la tubería consiste en la realización de cortes o perforaciones longitudinales (aproximadamente 10 cm abiertos cada 40 cm de tubería).

3) Una vez se han extraído los elementos ajenos y se han realizado los cortes o aberturas se debe bombear el pozo para extraer el agua sucia y desinfectar con una solución de hipoclorito.

4) Llenar el pozo con materiales sólidos inertes (agregados) para lograr una reconstitución del terreno hasta un estado similar a las condiciones geológicas originales. Para los pozos de gran diámetro se rellenará el pozo desde el fondo hasta el nivel estático máximo, mientras que en los pozos de diámetro inferior a 0,5 m se llenará desde el fondo hasta 1 m por debajo del nivel estático máximo. Esta acción sólo se podrá llevar a cabo cuando el diámetro sea superior a 2 pulgadas. El tamaño de las partículas siempre deberá ser inferior a $\frac{1}{4}$ del diámetro del pozo. El material no puede estar contaminado y debe ser geoquímicamente inerte en contacto con el agua subterránea o con los materiales geológicos presentes. Es necesario hacer un seguimiento de la operación de llenado para controlar que no se producen puentes.

5) Sobre el agregado se pondrá un sello de bentonita. La potencia de este sello será de 1,5 m para los pozos de diámetro inferior a 0,5 m, mientras que para los pozos de gran diámetro se permitirá una potencia mínima de 0,5 m.

6) Por encima de este sello se debe rellenar el pozo con áridos inertes hasta 1 m por debajo del nivel del terreno.

7) La clausura del tramo más superficial se puede realizar de dos maneras. Si la administración considera que es necesaria la restauración del medio y el pozo se localiza a más de 50 m de una edificación existente, el metro más superficial se cubrirá con suelo orgánico u otro material que sirva para restaurar completamente el terreno (ver figura 7 A). Cuando el pozo se localiza a menos de 50 m de una edificación existente, o no se considere necesaria la restitución del medio, se realizará un sello con hormigón del último metro y se construirá un dado de hormigón con pendiente hacia el exterior que sobresalga un mínimo de 0,5 m por encima del terreno natural en la parte central del pozo y tenga una base de una longitud mínima de 0,5 m (ver figura 7 B).

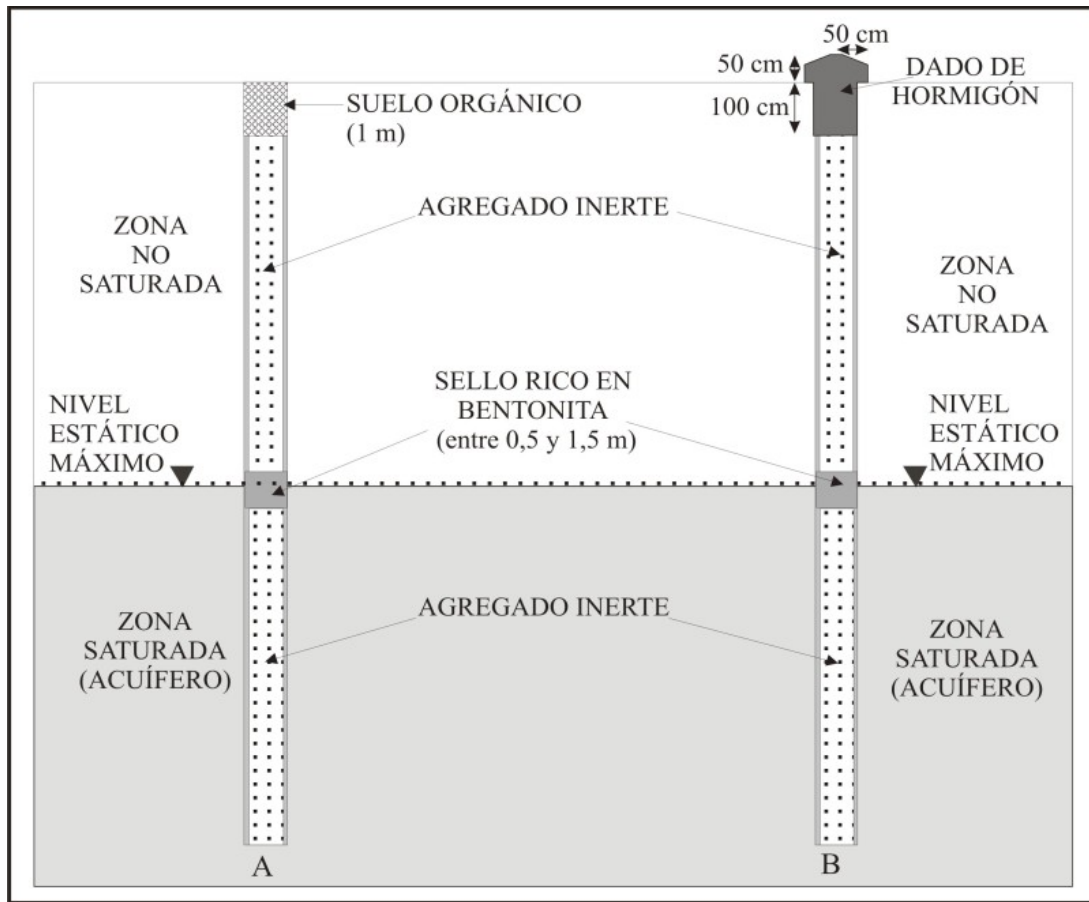


Figura 7.- Esquema del procedimiento a seguir para la clausura de un pozo superficial o de acuífero único.

2.4.2.2 Clausura de pozos de acuífero multicapa

En los casos en que el pozo explote varias capas acuíferas y se disponga de información sobre la situación de estas capas, la clausura definitiva del pozo deberá realizarse en base a la columna litológica del pozo o disposición vertical de las capas acuíferas. Los pasos a seguir serán similares a los que se deben seguir para los pozos de acuífero único o superficial, pero será necesario la colocación de varios tapones o puentes de bentonita en función de la distribución de los estados productivos. Los pasos a seguir en estos casos serán:

- 1) Retirar los elementos del interior del pozo (bomba, tuberías, cables u otros elementos) que pudieran deteriorarse. Es obligatorio retirar los 3 m más superficiales de la tubería para poder hacer un tapón sanitario en, al menos, los 2 m superiores del pozo. Cuando el entubado sea de PVC, es preferible destruirlo mediante la reperforación del pozo.
- 2) Si no es posible extraer la tubería por completo debido a un riesgo de derrumbe del pozo o de ruptura de la tubería es necesario realizar un corte y apertura de la tubería de revestimiento. El corte o apertura será necesaria en los 3 m más superficiales de pozo y en aquellos sectores que deben ser sellados con bentonita (básicamente los techos de las capas acuíferas).

El corte y apertura de la tubería consiste en la realización de cortes o perforaciones longitudinales, (aproximadamente 10 cm abiertos cada 40 cm de tubería).

3) Una vez se han extraído los elementos ajenos y se han realizado los cortes o aberturas se debe bombear el pozo para extraer el agua sucia y desinfectarlo con una solución de hipoclorito.

4) Llenar el pozo con materiales sólidos inertes (agregados), desde el fondo hasta 1 m por debajo del techo del primer estrato acuífero, para lograr una reconstitución del terreno hasta un estado similar a las condiciones geológicas originales. Esta acción sólo se podrá llevar a cabo cuando el diámetro sea superior a 2 pulgadas. El tamaño de las partículas siempre deberá ser inferior a $\frac{1}{4}$ del diámetro del pozo. El material no puede estar contaminado y debe ser geoquímicamente inerte en contacto con el agua subterránea o con los materiales geológicos presentes. Es necesario hacer un seguimiento de la operación de llenado para controlar que no se producen puentes.

5) Sobre el agregado se pondrá un sello de cemento rico en bentonita de un mínimo de 0,5 m de potencia.

6) Después del sello se debe repetir el paso 4 (rellenar el pozo con agregado hasta 1 m por debajo del siguiente estrato acuífero) y seguidamente el paso 5 (llevar a cabo un sello de cemento rico en bentonita con un mínimo de 0,5 m de potencia). Los pasos 4 y 5 se deberán repetir tantas veces como acuíferos existan en la vertical de la perforación. Esta acción permitirá aislar los diversos acuíferos entre ellos y evitar la contaminación vertical entre cada uno de los acuíferos que atraviese el pozo.

7) Por encima del último sello de bentonita (el que se corresponde con el acuífero más superficial) se debe rellenar el pozo con áridos inertes hasta 1 m por debajo del nivel del terreno.

8) Como en el caso anterior, la clausura del tramo más superficial se puede realizar de dos maneras. Si la Administración considera que es necesaria la restauración del medio y el pozo se localiza a más de 50 m de una edificación existente, el metro más superficial se cubrirá con suelo orgánico u otro material que sirva para restaurar completamente el terreno (ver figura 8 A). Cuando el pozo se localiza a menos de 50 m de una edificación existente, o no se considere necesaria la restitución del medio, se realizará un sello con hormigón del último metro y se construirá un dado de hormigón con pendiente hacia el exterior que sobresalga un mínimo de 0,5 m por encima del terreno natural en la parte central del pozo y tenga una base de una longitud mínima de 0,5 m (ver figura 8 B).

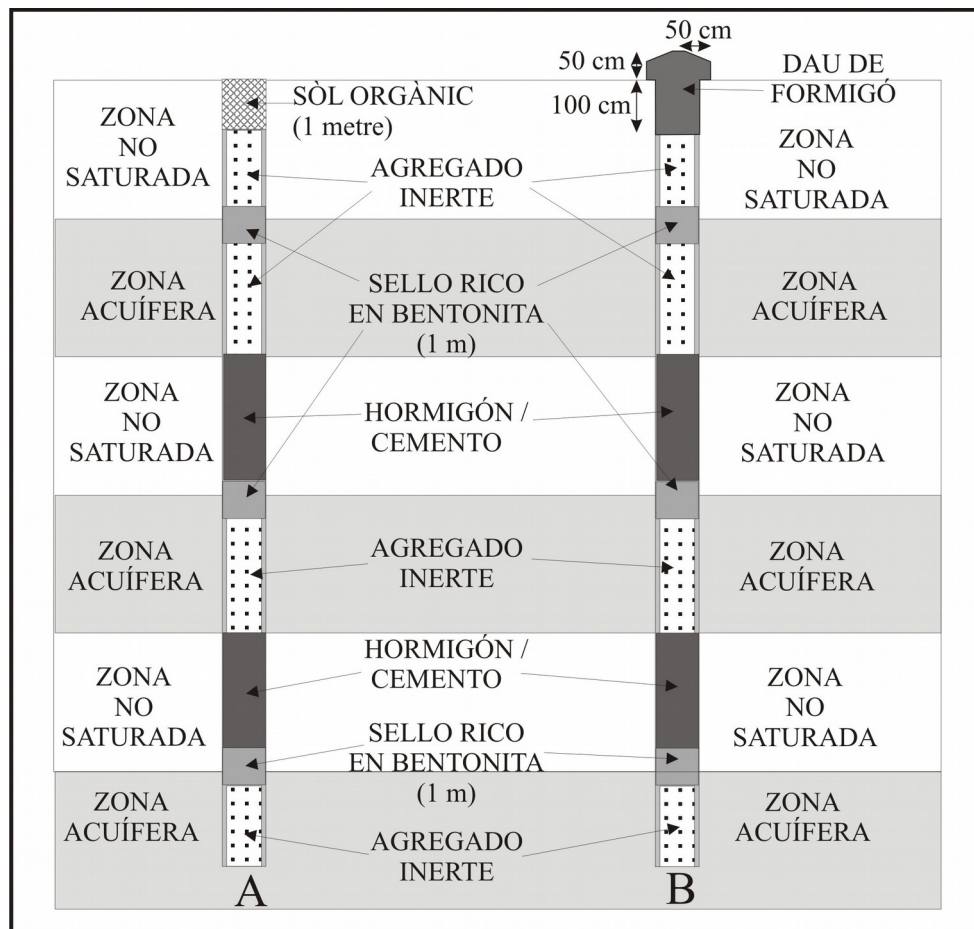


Figura 8.- Esquema del procedimiento a seguir para la clausura de un pozo en acuífero multicapa.

2.4.2.3 Clausura de pozos en terrenos no consolidados

En aquellos casos en que el terreno no está bien consolidado, el primer paso es la retirada de los elementos del interior del pozo, que se limitará a la extracción de la bomba y demás elementos ajenos, no siendo necesaria la extracción de la tubería. Los pasos a realizar son:

- 1) Retirar los elementos del interior del pozo (bomba, cables u otros elementos) que pudieran deteriorarse, dejando intacta la tubería de revestimiento.
- 2) Una vez se han extraído los elementos ajenos se ha de bombear el pozo para extraer el agua sucia y desinfectarlo con una solución de hipoclorito.
- 3) Una vez desinfectado deberá sellar el pozo mediante la inyección de cemento rico en bentonita a presión desde el fondo hasta 1 metro de la superficie. Debido a la inestabilidad de las paredes del pozo relacionada con la naturaleza del terreno, en estos casos será necesario realizar la inyección de la pasta o cemento a la vez que se extrae la tubería de revestimiento. Así, la retirada de la tubería deberá hacer alzándose lentamente y, simultáneamente, realizar la inyección de la pasta de cemento desde el fondo del pozo mediante una tubería auxiliar. En esta operación hay que tener la precaución de que siempre el nivel del cemento

inyectado se mantenga por dentro de la camisa, es decir, el nivel del cemento debe estar a una cota más alta que la parte más baja de la tubería que se retira. Para que esta operación se realice con éxito será necesario estimar el volumen de material necesario para rellenar la captación y prepararlo previamente a la retirada de la tubería. Cuando no es posible retirar la tubería, se efectuará el corte para la apertura de la camisa y el posterior llenado con material cementante y la construcción del tapón superficial.

4) La clausura del último metro de la captación también podrá realizarse de dos maneras. Si la Administración considera que es necesaria la restauración del medio y el pozo se localice a más de 50 m de una edificación existente, el metro más superficial se cubrirá con suelo orgánico u otro material que sirva para restaurar completamente el terreno. Cuando el pozo se localiza a menos de 50 metros de una edificación existente, o no se considere necesaria la restitución del medio, se realizará un sello con hormigón del último metro y se construirá un dado de hormigón con pendiente hacia el exterior que sobresalga un mínimo de 0,5 m por encima del terreno natural.

Si se dispone de información precisa y suficiente de la profundidad y espesor de cada acuífero atravesado, es posible colocar arenas o gravas limpias en cada zona acuífera e instalar únicamente material sellante impermeable entre los acuíferos, con cuidado que cada sello sobrepase en ambos extremos al menos 0,5 m los límites de cada nivel acuífero. Para evitar obstrucciones o puentes, el vertido del agregado se hará poco a poco, siendo necesario controlar la evolución del relleno y de verificación de no formación de puentes.

2.4.2.4. Clausura de pozos en terrenos con fracturación leve

Cuando el terreno presenta una fracturación leve, las operaciones a realizar serán iguales a las realizadas para pozos en acuíferos multicapa (apartado 2.4.2.2). Por lo tanto, en el primer paso será necesario retirar la tubería del pozo y luego inyectar el material cementante, no siendo necesario en este caso que ambas operaciones sean simultáneas. Si no es posible retirar la camisa, igualmente se procede a la inyección del material cementante, no siendo necesaria la operación de corte y apertura de la tubería en todo su recorrido.

En cualquier caso, siempre es necesario cortar y extraer los 3 m de la tubería más superficiales y colocar el tampón superficial como en el resto de captaciones.

Como en el resto de casos, la clausura del último metro de la captación también podrá realizarse de dos maneras. Si la Administración considera que es necesaria la restauración del medio y el pozo se localiza a más de 50 metros de una edificación existente, el metro más superficial se cubrirá con suelo orgánico u otro material que sirva para restaurar completamente el terreno. Cuando el pozo se localiza a menos de 50 m de una edificación existente, o no se considera necesaria la restitución del medio, se realizará un sello con hormigón del último metro y se construirá un dado de hormigón con pendiente hacia el exterior que sobresalga

un mínimo de 0,5 m por encima del terreno natural en la parte central del pozo y tenga una base de una longitud mínima de 0,5 m.

2.4.2.5. Clausura de pozos en terrenos muy fracturados o carstificados

En este caso, además de las tareas iniciales de medición de nivel estático del agua y profundidad del pozo, será necesario verificar también a qué profundidad empieza la cavidad cárstica o la zona de gran fracturación, para adecuar las operaciones a realizar dentro del pozo. En esta tipología de pozo, por sus características geológicas y el tamaño de los huecos, a menudo no resulta fácil o posible el relleno completo de la perforación. Pero a pesar de ello hay dos posibles alternativas que son:

- a) Relleno de la cavidad con clastos no contaminados de gran tamaño.
- b) Inserción de un tampón u obturador ("packer") justo encima del comienzo de la zona de fractura o el karst.

En ambos casos, hay que colocar un tapón de hormigón por encima de la zona carstificada de al menos 1 metro de espesor. El resto del sondeo se clausurará de acuerdo con los procedimientos ya descritos, que estarán en función de las características del pozo y del terreno. En cualquier caso, siempre es necesario cortar y extraer los 3 m de tubería más superficiales y colocar el tampón superficial como en el resto de captaciones.

2.4.2.6. Clausura de pozos surgentes

En aquellos casos en que el nivel piezométrico del pozo sea superior a la cota de la boca del pozo, es decir, cuando el pozo sea artesiano, será necesario reducir la presión del agua y detener el flujo ascendente de la misma. Esto se puede conseguir de dos formas:

- a) Poner clastos al fondo con diámetro de partículas menores a $\frac{1}{4}$ del diámetro del pozo.
- b) Mediante un obturador o "packer" que se ajuste al diámetro del pozo y quede a la mayor profundidad posible por encima de la zona de aportación de agua, para interrumpir o disminuir el caudal de surgencia.

Si con ninguno de estos dos métodos se consigue reducir la presión ascendente del agua, será necesario extraer parcialmente la tubería de revestimiento por encima de la superficie del terreno, a efectos de que el nivel estático quede dentro de la tubería, y así poder proceder a su sellado.

Una vez contenida la surgencia de agua, se procederá al sellado del pozo, de acuerdo con lo expuesto en los puntos anteriores en función de la tipología de terreno y acuífero. Las mezclas sellantes deben prepararse con el mínimo de agua

posible para evitar la dilución antes del fraguado y se colocarán de forma inmediata a su preparación en una maniobra continúa sin interrupciones.

2.4.2.7. Clausura de pozos de naturaleza no conocida

En muchos casos la información disponible sobre la captación es bastante limitada y no es posible hacer un proyecto de clausura de pozo relacionado con las características de la captación. Así es muy probable que se desconozca si el pozo está entubado o no y cuál es la situación de las zonas acuíferas. En estos casos, y debido a que la captación puede comunicar varias zonas acuíferas con niveles piezométricos o cualidades diferentes, será necesario clausurar el pozo de manera que se asegure la no conexión entre acuíferos. Los pasos a seguir serán:

- 1) Retirar los elementos del interior del pozo (bomba, tuberías, cables u otros elementos) que pudieran deteriorarse. Es obligatorio retirar los restos superficiales de la tubería para poder hacer un tapón sanitario al menos en los 2 superiores del pozo. Cuando el encamisado es de PVC, es preferible destruirlo mediante la reperforación del pozo.
- 2) Una vez se han extraído los elementos ajenos se ha de bombear el pozo para extraer el agua sucia y desinfectar con una solución de hipoclorito.
- 3) Una vez desinfectado deberá sellar el pozo mediante la inyección de cemento con bentonita a presión desde el fondo hasta 2 m de la superficie. En esta operación será necesario usar una tubería auxiliar para inyectar el cemento.
- 4) La clausura de los últimos 2 m de la captación también podrá realizarse de dos maneras. Si la Administración considera que es necesaria la restauración del medio y el pozo se localiza a más de 50 m de una edificación existente, el metro más superficial se cubrirá con suelo orgánico u otro material que sirva para restaurar completamente el terreno (ver figura 9 A). Cuando el pozo se localiza a menos de 50 m de una edificación existente, o no se considere necesaria la restitución del medio, se realizará un sello con hormigón del último metro y se construirá un dado de hormigón con pendiente hacia el exterior que sobresalga un mínimo de 0,5 m por encima del terreno natural en la parte central del pozo y tenga una base de una longitud mínima de 0,5 m (ver figura 9 B).

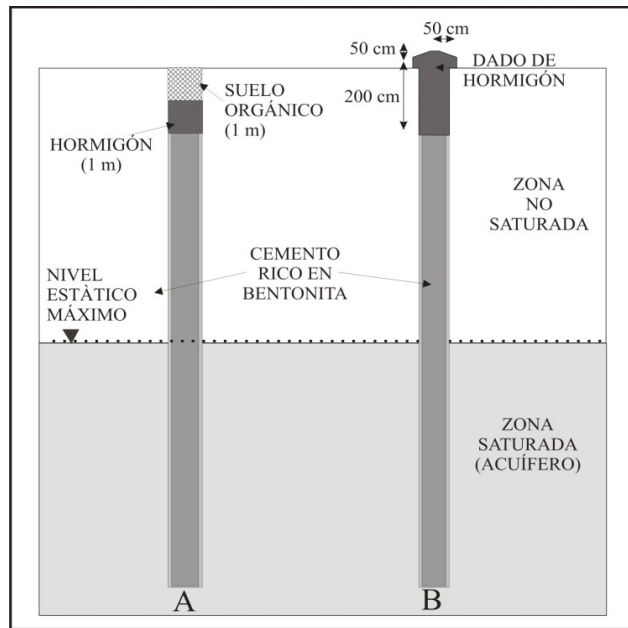


Figura 9.- Esquema del procedimiento a seguir para la clausura de un pozo de características desconocidas.