



## DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE POZOS DE PRODUCCIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA PARA ABASTECIMIENTOS HUMANOS

**Nelson A. González Cabrera**<sup>(1-2)</sup>, **Roberto Peláez García**<sup>(3)</sup>

(1) Centro de Investigaciones y Servicios Ambientales ECOVIDA-CITMA.

(2) Departamento de Geología Universidad Hnos. Saiz, Pinar del Río.

(3) Sociedad Cubana de Geología. Filial Pinar del Río

e-mail: [nelson@ecovida.cu](mailto:nelson@ecovida.cu)

### RESUMEN

El país cuenta con importantes acuíferos cuyas aguas poseen buenas propiedades, además, como resultado de una política encaminada a mejorar paulatinamente la calidad de vida de los cubanos, la construcción de pozos para abastecimiento de agua potable es quizás el modo más efectivo y menos costoso para lograrlo. Existen tres aspectos básicos que deben reunir estas obras: producción de agua con el máximo rendimiento, vida útil prolongada y evitar la contaminación de las aguas subterráneas. Estos objetivos se logran realizando los trabajos desde el comienzo de las investigaciones, hasta el diseño y construcción de los pozos por personal especializado. No siempre se consideran en su justa medida las características y la calidad de los materiales y componentes que han de introducirse en el pozo (tubos de revestimiento, filtro, grava, sedimentador, entre otros) cuando estos no son los apropiados o se emplea una tecnología incorrecta en la construcción, trae como resultado la ineficiencia del pozo, contaminación del o los acuíferos y el deterioro precoz de la obra. Luego se trata en muchos casos de rehabilitar el pozo y con esto el incremento en el costo y además de los problemas sociales y económicos se crea la duda en cuanto a la posibilidad de seguir empleando las aguas subterráneas. En esta comunicación se tratan las características y calidad de los materiales que más se emplean en el ámbito nacional e internacional para el equipamiento de pozos con estos fines, además se exponen soluciones con vistas a sustituir elementos de importación y otros que no se ofertan en nuestro mercado, basado en la experiencia de los autores.

**Palabras clave:** Pozo, aguas subterráneas, filtro, tuberías de revestimiento, contaminación de acuíferos.

### ABSTRACT

The well construction for supplying drinkable water is perhaps the most effective method and less expensive for building wells, if it is taking into account that the country counts with important aquifers with good quality water and a policy directed to improve. Step by step, Cuban quality of life. There are three main aspects that should be considered in this type of work: the maximum efficiency in water production, the long and useful life, and the avoiding of groundwater contamination. These objectives can be reached when the works, from the very beginning or the researches to the design and construction of the well, are done by specialists. Characteristic and quality of materials and components that should be inserted inside the well are not always considered (such as covering tubes, gravel, filters, rammer, etc.). If they are not the appropriate ones or an incorrect technology is used during the wells construction, then consequences could be an inefficient well, aquiferous contamination and an early deterioration of the work. Afterward, there is an effort, in several cases, for the rehabilitation of the well and, consequently, the cost increases, besides social and economic problems, including the doubt referring to the possibility to continue using the groundwater. This report takes into account the authors' experience and they consider characteristics and quality of materials commonly used either nationally or internationally for the equipment of a well used with the objectives previously mentioned. There are also shown a group of solutions in order to substitute imported elements and some other ones which are not found in our market.

**Key Words** -well, Ground water, filter, casing, aquifer, contamination



## INTRODUCCIÓN

Con la necesidad de ir aumentando la calidad de vida de los cubanos, aspecto estrechamente vinculado al suministro del agua y el saneamiento, el gobierno ha priorizado la construcción de nuevos acueductos, así como la ampliación de otros. Al contar nuestro país con importantes acuíferos subterráneos, que contienen aguas con buena calidad, en la mayoría de los casos se recurre a la construcción de captaciones profundas (pozos) que permiten extraer las cantidades de agua solicitada, este será el objetivo principal.

Un concepto muy vinculado a la construcción de pozos es el de economía, pero en algunos casos bien por desconocimiento o por otras causas quizás menos confesables se trata de economizar en detrimento de la calidad y como resultado la obra (pozo) no es resolutive. En este sentido Hernández et al. (1998) han planteado que la realización de un pozo barato y deficiente no solo pone en peligro el futuro rendimiento del mismo (por entradas de arena en el pozo o el aumento de las pérdidas de carga), sino que además puede aumentar el riesgo de contaminación del acuífero.

Para Castany (1975) tanto la producción, el rendimiento, la duración de funcionamiento como la rentabilidad de una obra de captación profunda o pozo dependen de su realización técnica. La opinión, actualmente aún demasiado generalizada y con frecuencia, de que es posible reducir al mínimo estricto los gastos de inversión es un burdo error. Añade este autor que la realización de un pozo de explotación de agua se basa en estudios técnicos complejos como lo son características de la capa acuífera, estructuras hidrogeológicas, tipo de obra, características de las filtros o rejillas y entubado. La duración de funcionamiento, está estrechamente ligada con la explotación racional de la obra.

Siguiendo a González, Báez (1973, 1974, 1985) la construcción de pozos destinados tanto para la recarga de aguas subterráneas como para la explotación con distintos fines entre los que se han de considerar los abastecimientos humanos, ha de incluir desde un diseño acorde a las necesidades según la tarea planteada, como el empleo de materiales y componentes en la obra que garanticen la explotación sostenible o durable, hasta la exclusión de la posible contaminación de los acuíferos. Estos componentes han de ser función de las características del agua, tipo de acuífero, tanto según su textura como de las circunstancias hidráulicas de los mismos entre otros aspectos

Luego de plantearse un diseño en el que se han considerado las características de los componentes a colocarse en el pozo y cuya calidad es la apropiada (camisa o tubería de revestimiento, filtros o rejillas, grava para empaque, cemento, tubería de conducción, entre otros), y basados en los datos obtenidos durante la investigación, se pasa a la etapa de perforación y construcción del pozo de producción, que podrá ejecutarse con uno de los sistemas de perforación existentes en el país como son: percusión por cable, rotación con circulación directa o martillo en fondo. Sería bueno recordar lo expuesto por Sánchez Fresneda (1968); la técnica y el equipo más adecuado para un determinado pozo, no serán necesariamente los más modernos sino los que mejor se adapten a la labor que han de realizar. En este sentido, estamos convencidos que la perforación a percusión por cable resulta ser muy resolutive, sobre todo cuando se construyen pozos aislados, poco profundos (entre 20 y 90m, por ejemplo), en litologías muy variadas, así como con dificultades para el suministro de agua para la perforación. Además, de poder cambiar los diámetros de las perforaciones con rangos amplios y el afilado de los trépanos, con los medios de la perforadora. Aunque no olvidamos que resulta ser un método más bien lento.

Es probable que algunos de los pozos que se abandonan actualmente en nuestro país o se inutilizan al poco tiempo de entrar en funcionamiento, sea como consecuencia de los factores principales siguientes: mala colocación de la tubería de revestimiento (no hincarse bien en un estrato consistente, falta de longitud o longitudes deficientes) y la mala selección y ubicación de los filtros,



González Cabrera (1996). Aunque no se puede pasar por alto otros aspectos como la instalación de bombas sobredimensionadas, con las consiguientes imputaciones negativas a los acuíferos y en resumen al pozo, González Cabrera (1995).

Debe comprenderse por parte, tanto de los inversionistas como de los usuarios, que un pozo es una obra de ingeniería y por tanto ha de estar sujeta a normas, procedimientos y técnicas bien establecidas. En algunos casos se induce, por diversas causas, a los constructores emplear materiales de dudosa calidad con resultados deplorables al final. Algunos autores como Manso y García de Cortázar, (1994) han dicho, entre otros aspectos, que el sector de las aguas minerales envasadas presenta una importancia creciente por la deficiente calidad del agua de abastecimiento en muchos lugares pues las construcciones deficientes de pozos, parece ser un problema existente en muchos países. Una de las causas que provoca esto puede ser un pobre e incluso pésimo diseño y/o construcción de pozos destinados para el abastecimiento humano de agua, que pueden incluir desde entradas de arena, comunicación entre acuíferos contaminados y los que no lo están, hasta penetración de aguas contaminadas desde la superficie.

## OBJETIVOS

Nuestro país cuenta con buenos ingenieros, capaces de proyectar y ejecutar variadas y complejas obras hidráulicas. Esto no resulta así para el caso de la construcción de pozos, donde la cantidad de estos especialistas parece ser menor. El objetivo principal de este trabajo es poner de manifiesto la necesidad de realizar una correcta selección de los materiales que se van a colocar en el pozo, que estarán en contacto, tanto con el agua subterránea, como con las formaciones y estratos geológicos. Resulta más económico y práctico ejecutar obras duraderas y eficientes que rehabilitar en el mejor de los casos, aquellas mal diseñadas y/o construidas.

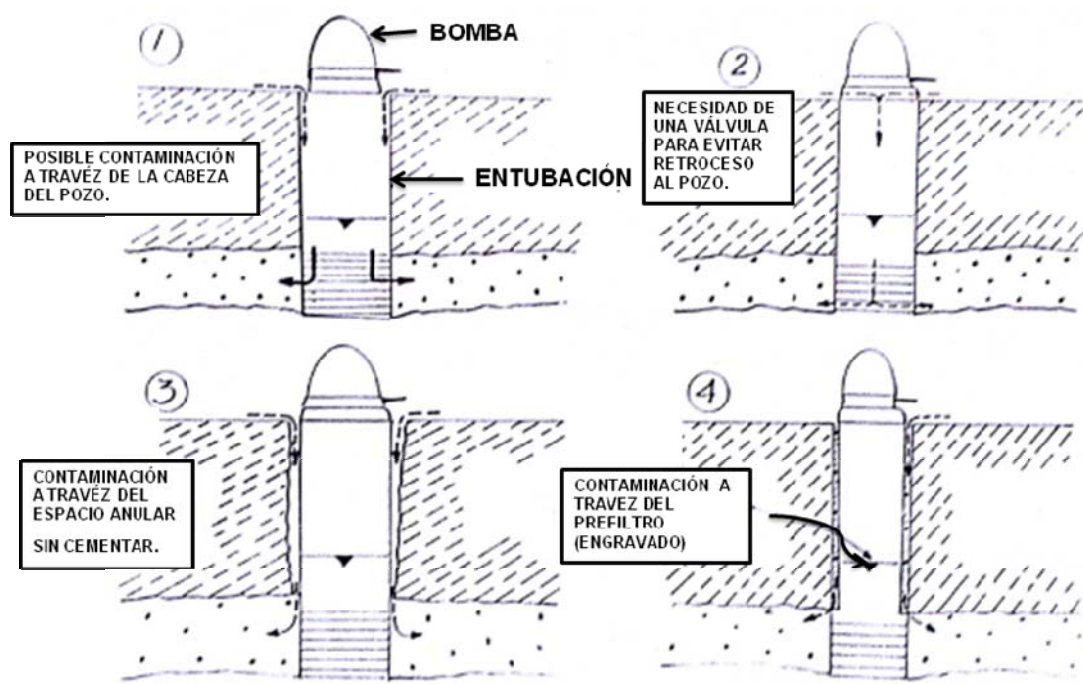
Otro objetivo, puede ser llamar a la reflexión tanto a los hidrogeólogos como a otros especialistas de la rama para fomentar la transmisión de experiencias en cuanto a esquemas de diseños de construcción de pozos, que a juicio de los autores en la actualidad es más bien bajo, aspectos que inciden en el equipamiento de los pozos para abastecimiento.

## Algunos Ejemplos de Pozos Mal Diseñados y/o Mal Construidos

Siguiendo a Bayó (1986) los casos más frecuentes de contaminación de pozos por estar mal construidos se presentan en las figuras 1, 2, 3 y 4.



## CONTAMINACIÓN A TRAVÉS DE POZOS MAL CONSTRUIDOS



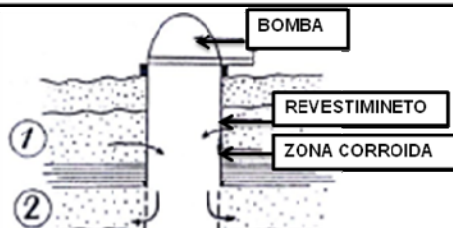
Bayó, 1986

Para los casos de las figuras 5, 6, 7 y 8 es recomendable realizar la cementación de los tramos no convenientes o que puedan contener aguas contaminantes, si están frente a acuíferos con esas características. Se ha de comprender que la ejecución de cementaciones cuando se trabaja con perforadoras a percusión por cable, resulta en una tarea algo compleja, pues de forma general ni los operadores, ni las máquinas están preparadas para estas actividades, aunque no queremos decir que sea algo imposible; y de hecho, se han realizado en la provincia y posiblemente en otros lugares del país estos trabajos, con buenos resultados.

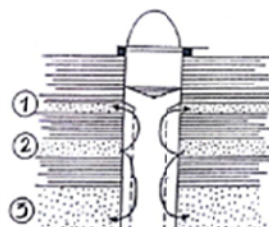


**ALGUNOS EJEMPLOS DE CONTAMINACIÓN DE ACUÍFEROS MEDIANTE POZOS MAL DISEÑADOS, MAL CONSTRUÍDOS. NECESIDAD DE AISLAR Y CEMENTAR LOS TRAMOS NO CONVENIENTES.**

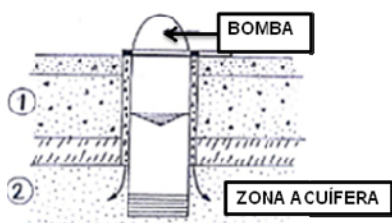
**5-ACUÍFERO SUPERIOR CON MAYOR POTENCIAL QUE EL INFERIOR. PASO DE 1 A 2 A TRAVÉS DE REJILLAS O ZONAS CORROIDAS (ENTUBACIÓN). SE DEBE CEMENTAR EL ACUÍFERO 1 SI ESTÁ CONTAMINADO.**



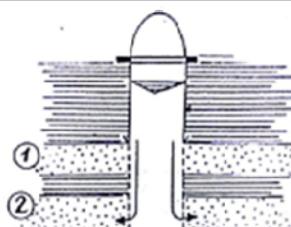
**6-ACUÍFERO INTERMEDIO 2 CON MAYOR POTENCIAL QUE EL SUPERIOR 1 E INFERIOR 3. PASO DE 2 A 1 Y 3 A TRAVÉS DE REJILLAS DE FILTRO.**



**7-ACUÍFERO SUPERIOR CON MAYOR POTENCIAL QUE EL INFERIOR. PASO DE 1 A 2 A TRAVÉS DEL PREFILTRO ESTABILIZADOR DE LAS PAREDES DEL POZO. EN ESTE CASO SIEMPRE ES MEJOR LA CEMENTACIÓN QUE EL RELLENO O EMPAQUE CON GRAVA.**



**8-ACUÍFERO SUPERIOR 1 CON MAYOR POTENCIAL QUE EL INFERIOR 2. PASO DE 1 A 2 A TRAVÉS DE TUBERÍAS SIN SELLAR O CEMENTAR.**



Bayó, 1986

## Aspectos que inciden en el equipamiento de pozos para agua

Los componentes que intervienen en un pozo para la producción de agua subterránea o equipamiento han de poseer características apropiadas con vistas a lograr larga duración de la obra, eficiencia o rendimiento adecuado según las características del acuífero que se va a explotar y mantener la calidad del agua a extraer. Se ha de comprender que en el diseño van vinculados una serie de aspectos tales como; perforación de acondicionamiento del sondeo de investigación para convertirlo en pozo de explotación (si procede), entubaciones, que juegan un papel básico, pues otros elementos como filtros o empaques y cementaciones dependen de aquellas.

En esencia se está planteando que el mayor o menor tiempo que pueda explotarse una captación está estrechamente relacionado con la mayor o menor calidad de las tuberías de revestimiento. En este sentido pueden existir varias causas; que la tubería no presente la resistencia mecánica apropiada, inadecuada composición del acero, malas características para que pueda ser soldado o unir tramos de acero con distintas calidades. Además, como resultado del mal almacenamiento las tuberías se corromen por partes y luego de introducidas en el pozo sea mucho más rápido este proceso, ahora por corrosión electrofítica. Esto también puede suceder para los filtros metálicos. En ambos casos, el almacenamiento se recomienda sea bajo techo, los traslados sin tirones ni golpes, que provoquen deformaciones en las tuberías y demás serán colocadas en posición horizontal, aislados de la humedad.

Se conoce que la eficiencia de un pozo está muy vinculada con las características de los filtros o tramos con ranuras, por ciento de huecos, disposición de estos, así como de la zona donde se ubican los tramos en el pozo. Existen casas constructoras de filtros como la Johnson (figura No. 9), que fabrican filtros de ranura continua, resultando ser quizás los más eficientes entre los producidos en





fábricas y como resultado los de costos más elevados. Los tipos de filtros son muy variados, empleándose en nuestras condiciones los ranurados en tuberías de acero, que no siempre se construyen de la mejor forma, es decir, la cantidad de ranuras puede ser insuficiente y como se preparan con oxicorte, no se limpia la escoria o se hacen estas de formas irregulares, lo que redundaría en un menor porcentaje de área abierta; también se emplean tubos de asbesto-cemento y PVC, pero su uso es más bien bajo.

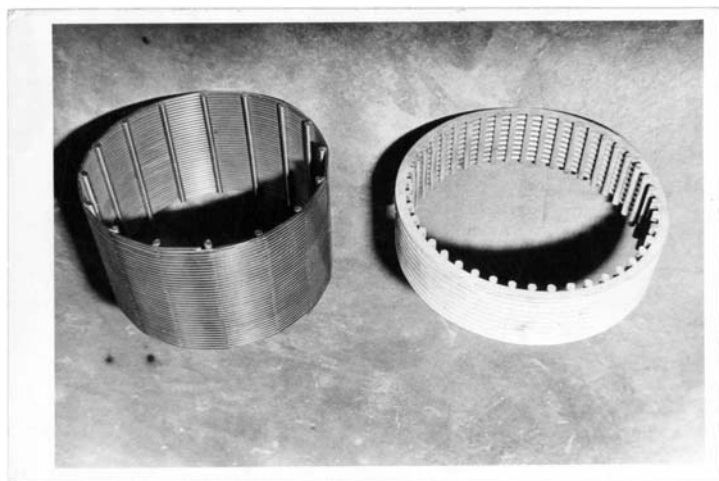


Figura 9. Tramos de filtro Johnson. A la izquierda de acero-níquel. A la derecha de hierro galvanizado

En el caso de los filtros ranurados u horadados a partir de tuberías de asbesto-cemento, las aberturas se han realizado en ocasiones con clavo y martillo a golpes, cuando deben horadarse con taladro ó ranurarse con sierras calibradas.

La figura 10, representa un tramo de tubería de cloruro de polivinilo, (PVC) con diámetro de 8 pulgadas y 12mm de espesor, empleada en pozos para abastecimiento, donde por distintos motivos, como pueden ser: acceso con dificultades al lugar, problemas para la transportación de los tubos de acero u otros materiales pesados, calidad del agua con valores muy próximos al máximo permisible por la norma cubana (NC.827:2010) de algún elemento químico, que pudiera ser agresivo a otros materiales, o también por la necesidad de extraer agua salobre por ejemplo, para mezclar y con ello rebajar algún componente en exceso, que pueden dañar las tuberías de acero, entre otros casos. Los tramos de estas tuberías de PVC se pueden unir mediante roscas, lográndose buena estanqueidad y seguridad en la colocación, así como resultan ser muy funcionales. Existen distintos esquemas para las dimensiones de las roscas, (como el rectangular y el redondeado considerándose siempre el espesor de la pared del tubo para la profundización de la rosca) que se emplean en la unión de los tubos (rosca hembra en un extremo y macho en el otro) denominados como uniones de tubo en tubo. Resultan muy prácticos y eficientes. Además, de poderse ranurar u horadar los tramos (filtro) con un adecuado porcentaje de huecos, sin afectar la resistencia de aquellos al menos cuando se emplean en pozos con profundidades de hasta 100-120m.



Figura 10. Tramo de tubería de Cloruro de Polivinilo (PVC) con diámetro 8 pulgadas (200mm) y rosca interior y exterior

Al carecer nuestro mercado de un stock de filtros, desde el año 1974 se comenzaron a construir en las provincias orientales filtros con alta capacidad de entrega a partir de cabillas lisas o corrugadas, de Miguel, C. (1978). Basado en esta experiencia el primer autor de este trabajo elaboró, en el Centro Provincial de Perforación y Construcciones del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) en Pinar del Río, varios tramos de esos filtros con distintos diámetros dando respuesta a la construcción de pozos en acuíferos de difícil explotación, además; algunos fueron acompañados con empaques de grava de cuarzo tamizada. Actualmente existen pozos construidos con esta tecnología y más de 25 años de explotación.

La Figura 11 representa un tramo de estos filtros construidos en los talleres de la Empresa Nacional de Perforación y Construcciones en Pinar del Río.



## FILTRO DE RANURA CONTINUA

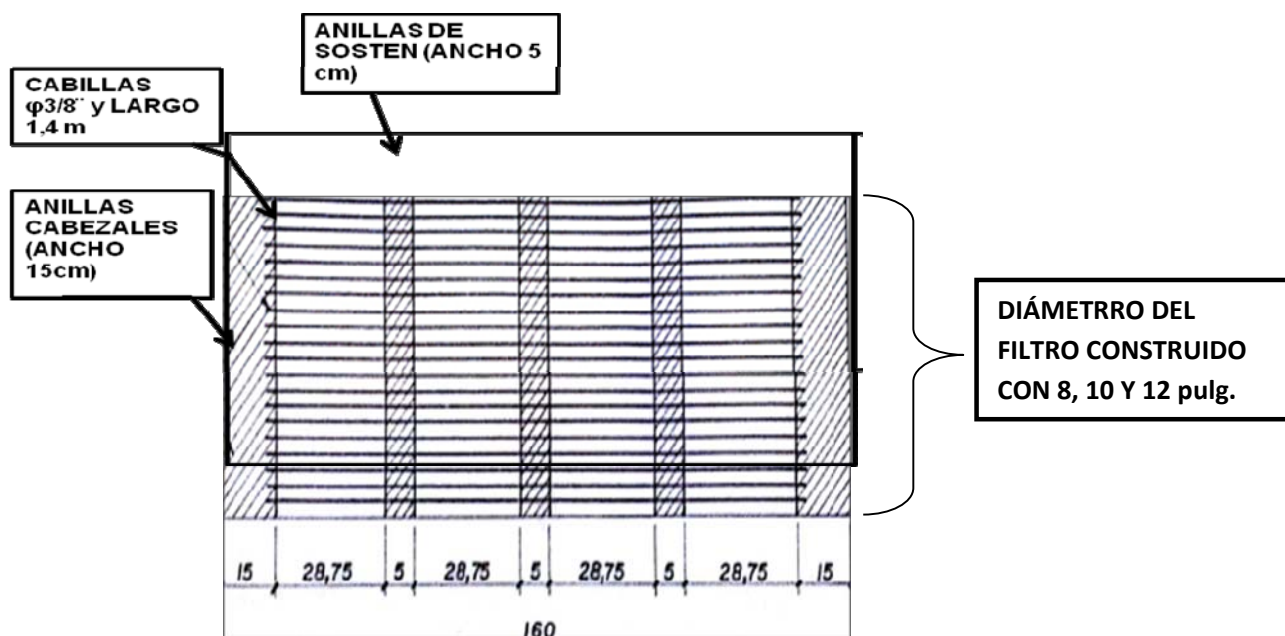


Figura 11

No resulta ocioso recordar, que con vistas a la protección contra la corrosión de las superficies de los filtros de cabilla contruidos en los talleres, estos se pueden cubrir con pinturas no tóxicas y con ello alargar la vida útil.

Parece ser que en nuestro país se comenzó desde hace varios años la construcción de filtros de puentecillo; pero no conocemos si esto ha continuado ni las cantidades que se producen y sus características. La Figura 12 represente un tramo de estos filtros con abertura del puente de 4mm.



Figura 12. Tramo de filtro Puentecillo

Los materiales, como se ha comentado, empleados en la construcción de tubos de revestimiento son variados. En nuestras condiciones lo más común es la elaboración de tubos a partir de chapa de





acero (Figura 13), soldadas longitudinalmente con electrodos, recomendándose deben tener bajo contenido en carbono para que sean fácilmente

soldables. También se emplean tubos de acero estirados sin costura, así como de asbesto-cemento grado A, como se indicó anteriormente, parece ser ha sido abandonada esta práctica, posiblemente avalada por las contraindicaciones de este material señalado en algunas normas extranjeras (que sabemos existen, pero no hemos podido consultar ahora). El PVC, que se adapta bien a nuestras condiciones es poco empleado. En algunos casos se han instalado tuberías de revestimiento de acero galvanizado con diámetro de hasta 12 pulgs (305 mm) aunque su costo es más elevado y parece ser que para la zona superior y de oscilación de los niveles de agua, los procesos de oxidación son más intensos lo que provoca el deterioro precoz de estas. En la Figura 14 se observa la instalación de un tramo de tubería de acero galvanizado.



**Figura 13.** Tuberías de revestimiento con diámetro de 12, 16 y 20 pulgs empleadas en pozos para agua de abastecimiento humano. Los espesores de la chapa varían con el diámetro

Existen otros materiales metálicos empleados tanto para el revestimiento como para los filtros, tales como: acero inoxidable al cromo - níquel con bajo contenido en carbono para facilitar la soldadura, Everdur (Bronce Rojo al Silicio) y Monel, entre otros, pero no se conocen experiencias de su instalación en nuestras condiciones.



**Figura 14.** Al fondo colgado, tramo de tubería de hierro galvanizado y 12 pulgs de diámetro. Pozo Zona Industrial de Pinar del Río

En cuanto a la resistencia a la corrosión el PVC y el asbesto-cemento son similares; pero este último es más frágil (y también menos recomendable desde el punto de vista para la salud humana), por ello en casos de necesidad imperiosa si han de utilizarse, durante su traslado y colocación en el pozo deben tomarse medidas para evitar roturas, sobre todo cuando se han horadado o ranurado.

Un aspecto no lo suficientemente comprendido y menos aplicado es el denominado Índice de Agresividad o de Incrustabilidad que ha sido tanto experimentado como denominado por Ryznar (1944), según Custodio y Llamas (1983).

Se define el Índice de Estabilidad de Ryznar (IER) como la diferencia entre el  $pH_e$  de equilibrio y el pH del agua que se considere:  $IER = 2 pH_e - pH$  donde:

IER= Índice de Estabilidad de Ryznar

$pH_e$ = pH de equilibrio

pH= pH del agua que se considere

Este Índice Experimental de Ryznar se deduce a partir de un agua patrón con las siguientes características. Ver Tabla 1.

**Tabla 1.**

Características	Valores
Conductividad a 20°C ( $\mu S/cm$ )	1600
pH a 20°C	7,55
Dureza total (ppm $CO_3Ca$ )	580
Alcalinidad TAC (ppm $CO_3Ca$ )	253
Temperatura (en °C)	20

Luego según este Índice se clasifican las aguas como sigue en la Tabla 2



**Tabla 2**

IER	Carácter del Agua
4,0 – 5,0	Muy incrustante
5,0 – 6,0	Medianamente incrustante
6,0 – 7,0	Poco incrustante o corrosiva
7,0 – 7,5	Corrosiva
7,5 – 9,0	Regularmente corrosiva
> 9,0	Muy corrosiva

Se denomina como incrustación, a la deposición de sustancias más o menos adherentes en distintas partes de las captaciones (pozos). Con frecuencia el aumento de incrustaciones y su reiteración en las captaciones se vincula con un descenso de los caudales específicos. Estas incrustaciones se ubican en la zona filtrante del pozo y con ello disminuye la entrada de agua al mismo.

Los materiales más encontrados en las incrustaciones, resultan ser los carbonatos de calcio ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ) y carbonatos de magnesio ( $\text{CO}_3\text{Mg}$ ) y se identifican como aglomerados fangosos o capas más consistentes en forma de estratos.

También, cuando las aguas llevan importantes cantidades de hierro, que al oxidarse, al entrar en contacto con el aire, produce un precipitado pastoso-gelatinoso.

En ocasiones (en la década del 90, práctica no común en la actualidad) se han perforado tubos de asbesto-cemento de forma incorrecta con un punzón y martillo y hasta con pico, por suerte esta práctica se abandonó y se pasó a la ranuración con sierra eléctrica mejorando con ello el por ciento de área abierta. En la actualidad estos pozos con tubería de asbesto-cemento han pasado a ser empleados para riego y abrevadero, con usos de sus aguas limitadas para abastecimientos humanos. Algo que no debe olvidarse es la resistencia al aplastamiento de una tubería y para el caso de las construidas en taller este aspecto resulta de gran interés. Muchos ingenieros emplean la fórmula de Allievi para el cálculo de la presión crítica:

$$P_{\text{crit}} \geq 2E/K(e/d)^3 \text{ Para el acero: } E=2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{PVC} = E=1.4 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$$

e= espesor en cm

d= diámetro exterior de la tubería, cm

K= coeficiente de seguridad, en el ejemplo K= 1

Por ejemplo, si se cuenta con chapa de un mismo espesor e igual calidad con el aumento del diámetro disminuye la resistencia del tramo de tubo, como se muestra en la Tabla 3:



**Tabla 3.**

Diám.		Esp de la chapa	Resistencia al aplastamiento
(mm)	pulgs	(mm)	(kg/cm <sup>2</sup> )
305	12	5	19,4
350	14	5	13,0
400	16	5	8,0

De lo antes expuesto se deriva que en cada caso es prudente realizar los cálculos correspondientes. La práctica demuestra (Tabla 4), que aunque no existen normas sobre el espesor de la chapa a emplear en la construcción de las tuberías, y el diámetro de aquellas, con los siguientes valores, se obtienen buenos resultados.

**Tabla 4.**

Diámetro interior		Espesor de la chapa
mm	pulg	mm
200	8	4
305	12	5
406	16	6
508	20	7

### **Contaminación de acuíferos como resultado de pozos mal diseñados y/o mal contruidos.**

- Se ha de comprender que un pozo para la captación de aguas subterráneas (sea cual fuere su uso), diseñado y construido de forma apropiada no constituye una fuente de contaminación.
- Pero cuando estos pozos se diseñan y/o construyen con una tecnología deficiente, como por ejemplo pozos que no tienen sello sanitario en la parte superior del anular y cuando son abandonados de forma incontrolada por los usuarios, los pozos comienzan a actuar como conductos a través de los cuales los contaminantes pueden viajar verticalmente y penetrar en otras zonas acuíferas que hasta ese momento se encontraban protegidas de la contaminación, Hernández García et al (1998)

### **Consideraciones finales**

- El diseño de los pozos y en su caso, la construcción debe considerar el empleo de materiales cuya vida útil sea prolongada, así como evitar que producto de su deterioro se introduzcan en



- el acuífero elementos que degraden o alteren la calidad del agua. No debe olvidarse que esta agua será destinada para consumo humano en la mayoría de los casos y/o en procesos productivos de alimentos destinados al consumo humano.
- Es cierto que en el país existen limitaciones en cuanto a tipo y variedades de tuberías, lo mismo ocurre con los filtros. Pero es posible en muchos casos adaptar de manera aceptable los materiales existentes a las necesidades reales; la falta de interés, iniciativa y hasta desconocimiento colaboran con la ejecución de pozos deficientes y de corta vida útil.
- El principio de construir obras eficientes y duraderas (pozos) con costos aceptables, debe extenderse además a los piezómetros o cualquier otro tipo de pozos.

## BIBLIOGRAFIA

- Bayó, Dalmau, A (1986) Conferencia sobre contaminación de pozos .Curso internacional sobre Hidrología subterránea, Barcelona, España.
- Castany, G (1975) Prospección y Explotación de las aguas subterráneas .Ediciones Omega, S.A. Barcelona, España, pp. 548.
- Custodio, E. y M. R. Llamas, (1983) Hidrología Subterránea, Editorial Omega, Barcelona, 2 Vol. 2390pp (Capítulo 17,6).
- De Miguel, Constantino. (1978) Proyecto de filtro para pozos de explotación de las aguas subterráneas. Rev., Vol. Hid. N 46. La Habana Cuba.pp. 15-18
- González, Báez, A (1973) El agua subterránea: su uso racional y controlado en la agricultura. Rev. Vol. Hidra. Año X, No. 26. La Habana, Cuba pp. 35-40
- González, Báez, A (1974) Aprovechamiento de la capacidad almacenadora de los acuíferos: La Recarga Artificial (II).Rev. Vol. Hidra. Año XI, No. 29. La Habana, Cuba pp. 16-24
- González, Báez, A (1985) Recarga Artificial Mediante Pozos. Rev. Vol. Hidra. Año XXII, No. 66. La Habana, Cuba pp. 14-26
- González, Cabrera, N.A. (1995). Sistema mecánico de perforación propuesto para la construcción de los pozos de explotación en el yacimiento de agua "Los Portales". Pinar del Rio. Resumen III Jornada Nacional de Termalismo. Universidad Central de Las Villas.
- González, Cabrera, N.A. y Mario L. Portilla (1996) El deterioro precoz de pozos construidos en materiales no consolidados .Caso de estudio: pozo de riego de tabaco en la zona de Teheran, Municipio San Luis; provincia Pinar del Rio. Memorias del I Taller cubano de Hidrogeología. Topes de Collante (Sancti Spiritus).Cuba pp 35-43
- Hernández García M.E, Llamas Madruga, MR. y Cruces de Abia J. (1998) El impacto de los pozos abandonados sobre el acuífero detrítico del terciario de Madrid. Boletín Geológico y Minero No.4, Vol. 109 Madrid España.pp79-86





- Manso, Ordaz V. y García de Cortázar Ruiz de Aguirre A. (1994). Diseño de pozos de captación de aguas minerales. Congreso Análisis y evolución de la contaminación de las aguas subterráneas Tomo II, Madrid España. pp 449-454
- Norma Cubana (2010) NC.827. Agua Potable, Requisitos Sanitarios. Oficina Nacional de Normalización. Edición diciembre.
- Sánchez Fresneda V. (1968). Perforación a rotación; Primer seminario sobre técnicas modernas para la construcción de pozos. CEIAA - SGOP - INC. pp 75-16 Barcelona España.