

ARTÍCULO CIENTÍFICO

SCIENTIFIC ARTICLE

**INVESTIGACIONES
INGENIERO-GEOLÓGICAS E
HIDROGEOLÓGICAS CON FINES
DE DISEÑO DE REDES DE POZOS
DE DRENAJE**

**ENGINEERING-GEOLOGICAL AND
HYDROGEOLOGICAL INVESTIGATIONS
FOR THE DESIGN OF DRAINAGE WELLS
NETWORKS**

Arlettys Medina Mestre

REVISTA GEOINFORMATIVA
No. 2. 2022

Arlettys Medina Mestre

Instituto de Geología y Paleontología. Servicio Geológico de Cuba. La Habana. Cuba.

arlettys@igp.minem.cu
0000-0001-6826-262X

RESUMEN

Uno de los principales problemas en la construcción es la presencia de agua subterránea, la cual debe ser controlada a través del bombeo y limitando los efectos indeseables del mismo. Este trabajo está referido a diseñar la red de pozos de drenaje para el control de las aguas bajo la manzana Payret. Existe riesgo de que esta sea inestable o se inunde si no se toman las medidas adecuadas. Se escogió el sistema de bombeo más apropiado al tipo de suelo. El gasto y el abatimiento provocado por el bombeo se calcularon mediante la teoría del flujo de agua transitorio. El diseño del sistema de bombeo incluyó la selección del número, ubicación, diámetro y profundidad de los pozos; del tipo, diámetro y ranurado de los ademes, y del espesor y composición granulométrica del filtro. Asimismo, se especificó la capacidad mínima de las bombas y la posición del nivel dinámico en los pozos. El agua freática fluye hacia la zona excavada, por lo cual, para extraerla, se debe conducir por zanjas colectoras hasta cárcamos de bombeo. A este procedimiento se le conoce como bombeo de achique, el cual abate el nivel freático en el interior del agua excavada y genera el flujo de agua freática. Se consultó la información existente dentro y fuera del país y se ejecutó el trabajo de campo —el cual incluye la perforación—, la realización de ensayos in situ y el muestreo. Las muestras obtenidas se analizaron en el laboratorio para obtener sus propiedades físico-mecánicas.

Palabras clave: Flujos de agua; red de pozos; nivel freático; bombeo de achique

ABSTRACT

The One of the main problems in construction is the presence of groundwater, which must be controlled through pumping and limiting its undesirable effects. This work refers to designing the network of drainage wells for the control of water under the Payret block. There is a risk that it will be unstable or flood if proper measures are not taken. The most appropriate pumping system for the type of soil was chosen. The rate and drawdown caused by pumping were calculated using the transient water flow theory. The design of the pumping system included the selection of the number, location, diameter and depth of the wells; the type, diameter and groove of the casings, and the thickness and granulometric composition of the filter. Likewise, the minimum capacity of the pumps and the position of the dynamic level in the wells were specified. Groundwater flows into the excavated area, therefore, to extract it, it must be conducted through collecting ditches to pumping stations. This procedure is known as bilge pumping, which lowers the water table inside the excavated water and generates the flow of ground water. Existing information inside and outside the country was consulted and field work was carried out —which includes drilling—, in situ tests and sampling. The samples obtained were analyzed in the laboratory to obtain their physical-mechanical properties..

Key words: influxes of water; nets of wells; phreatic level; bilge pumping

Recibido: 20 del 4, 2022
Aprobado: 12 del 6, 2022

INTRODUCCIÓN

El flujo superficial y subterráneo del agua, así como los cambios en el nivel freático de un terreno, por causas naturales o artificiales, provocan consecuencias tanto en el terreno propio como en los colindantes.

Los problemas del agua como factor desestabilizante se pueden resolver si esta se mantiene lejos de las zonas donde puede causar daño o bien si se controla la que entra mediante drenajes. Si no se controla la infiltración, entonces el agua puede hacer migrar las partículas finas del suelo hacia una salida, ocasionando roturas por erosión, se incrementa la saturación o se dan excesivas fuerzas de infiltración.

El área de estudio se encuentra ubicada en la manzana Payret, donde se pretende construir un hotel con ocho niveles y un sótano, el cual se utilizará como parqueo; por ende, el principal objetivo de esta investigación es diseñar la red de pozos de achique a través del cálculo de afluencia en las excavaciones debido a la necesidad de drenar el nivel de agua que yace bajo la parcela Payret.

En la actualidad, los modelos de flujo numéricos han tenido una implantación satisfactoria a nivel práctico en la gestión de recursos hídricos, como ayuda a la evaluación y toma de decisiones, pero se han aplicado menos, en el ámbito de la hidrogeología aplicada a las obras de ingeniería civil.

Con la intención de facilitar y simplificar el uso de la modelación, han sido desarrolladas algunas herramientas, si bien no han logrado el propósito de extender su uso. En la actualidad, está constatado que, con carácter general, no es habitual hallar técnicos familiarizados con la modelación de flujo subterráneo aplicado a las obras de edificación e ingeniería civil, a pesar de sus ventajas. Por el contrario, sí se encuentra extendido a otras áreas de aplicación, como es el caso de análisis en recursos hídricos.

La presente investigación abarca los estudios hidrogeológicos y la utilización de sus resultados con fines de diseñar un sistema de pozos de drenaje mediante bombeo, que deprimirán el nivel freático por debajo del fondo del foso, y realizar las excavaciones en suelos no saturados, lo que garantizaría el control de ejecución de la obra.

MATERIALES Y MÉTODOS

Entre los principales métodos utilizados se encuentran: Método hidrogeológico, Método geológico y Método de Modelación matemática. La investigación fue concebida en cuatro etapas principales:

- Revisión bibliográfica
- Trabajo de campo
- Trabajo de laboratorio
- Trabajos de gabinete

Primeramente, se consultó una numerosa bibliografía existente en el país, desde el Atlas Nacional de Cuba, edición 1989; el Léxico Estratigráfico 2013, varios artículos relacionados con el tema de tratamiento a las aguas subterráneas durante las excavaciones, hasta los informes ingeniero-geológicos realizados por la [Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas \(ENIA\)](#) en los alrededores de la zona de interés.

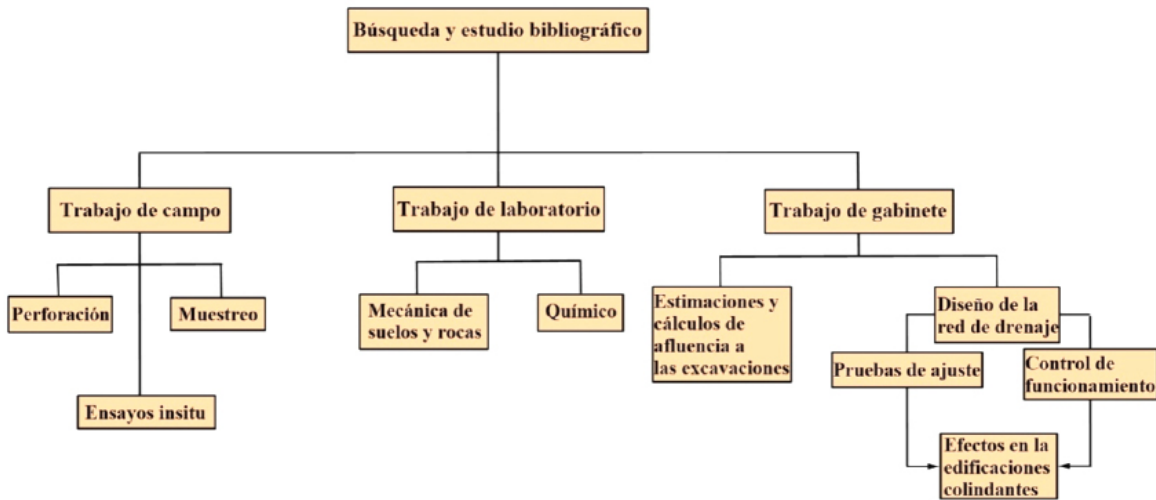


FIGURA 1. Esquema de las etapas realizadas

Los trabajos de campo fueron realizados en la manzana Payret, municipio de Centro Habana, provincia La Habana, donde se proyecta remodelar el teatro y construir un edificio de ocho niveles, incluyendo un sótano que funcionará principalmente como parqueo (Figura 2). Esta fase comprende una serie de acciones y trabajos que comienzan por la primera visita de observación minuciosa al área de interés, donde se examinan los aspectos de mayor relevancia detectados durante el estudio que comprende la primera fase, todo lo cual, unido a las normativas técnicas existentes, posibilitó la confección de la programación de las investigaciones y posterior aplicación de los métodos empleados, tales como: topo-geodésicos, levantamiento geológico, perforación de calas, realización de ensayos *in situ*, pruebas hidrogeológicas, muestreo y trabajos de laboratorio de mecánica de suelos y químico, con el objetivo de recopilar todos los datos concretos y necesarios para llevar a cabo el rebajamiento del nivel freático. Para la toma de muestras con fines de ensayos se utilizaron muestreadores divididos (cuchara), el cual constituye, además, un ensayo de penetración dinámica (N_{SP7}) y Denison.

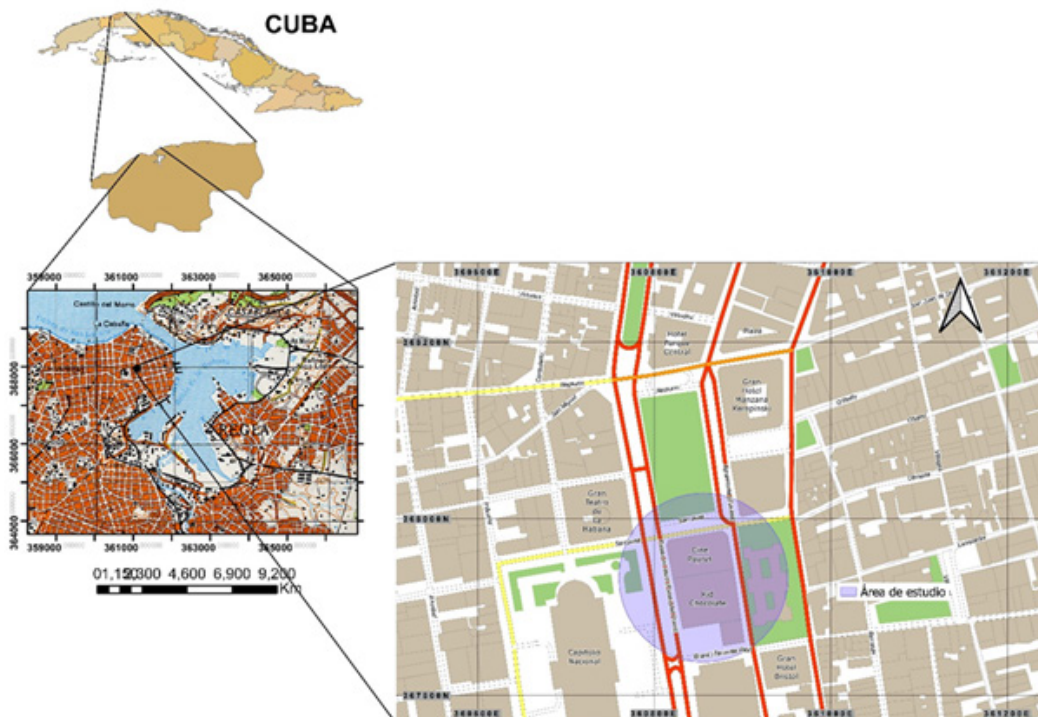


FIGURA 2. Mapa de ubicación del área de estudio

Considerando que no hay evidencias de la implementación de barreras impermeables laterales, en el presente trabajo se realizaron los cálculos sin considerar barreras laterales; además, no hay información directa de la conductividad hidráulica (K), por lo tanto, la metodología utilizada será la del pozo equivalente de las dimensiones de la obra para un acuífero libre, mediante cálculos por métodos empíricos, sin incluir barreras impermeables laterales. La ecuación utilizada fue la correspondiente al Método de Thiem para acuíferos libres:

$$Q = \frac{\pi K (b^2 - hp^2)}{\ln \frac{R}{rp}}$$

Donde:

K= Conductividad hidráulica horizontal del acuífero (m/d)

b= Espesor saturado inicial del acuífero (m)

hp= Espesor saturado del acuífero en el perímetro durante el período estabilizado de bombeo (m)

R= Radio de influencia del bombeo (m)

rp= Radio del perímetro (m)

RESULTADOS

A continuación, se describen los siguientes elementos ingeniero-geológicos (Figuras 3, 4, 5, 6).

Elemento A. Relleno

Elemento 1. Arcilla plástica de consistencia dura

Elemento 2. Arcilla plástica de consistencia dura, en estado fisurado

Elemento 3. Arcillas plásticas de consistencia dura a muy dura

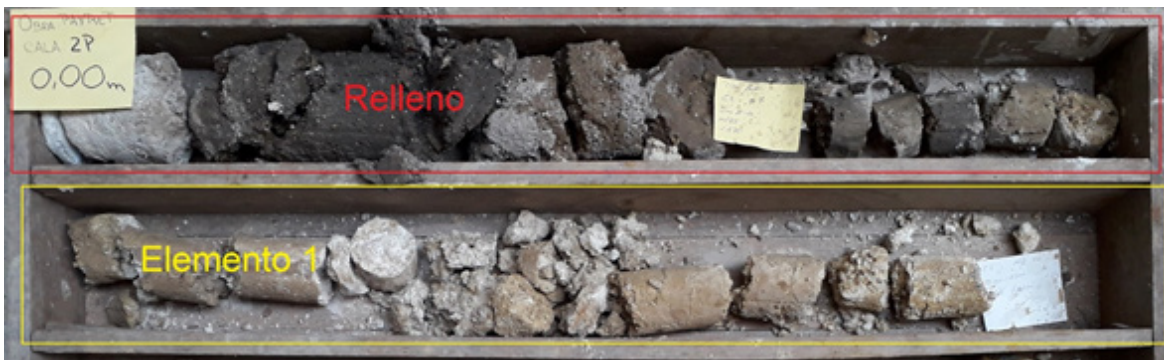


FIGURA 3. Relleno



FIGURA 4. Testigo del elemento 1 en la cala 8

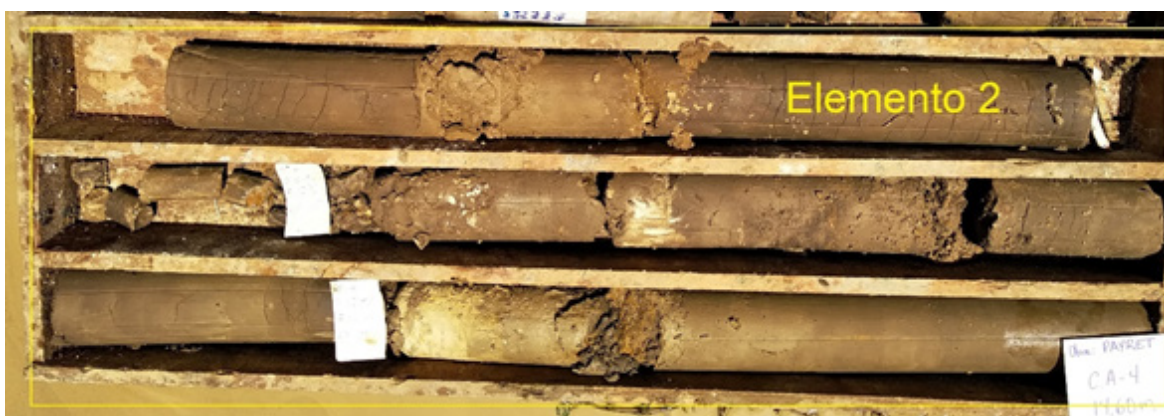


FIGURA 5. Testigo del elemento 2 en la cala 4



FIGURA 6. Testigo del elemento 3 en la cala 3

El área estudiada muestra poca complejidad desde el punto de vista hidrogeológico si tenemos en cuenta que hasta la profundidad de 30 m aparece solamente un acuífero de nivel libre, poco profundo y espesor limitado. Las aguas se alojan en las capas superiores del corte litológico, representadas por los materiales que componen los elementos ingeniero-geológicos A y 1, con un espesor saturado medio de 4,95 m, estimándose el impermeable a profundidad de 7 m conformado por la presencia de suelos finos e, incluso, en proceso de litificación correspondientes a la Fm. Vía Blanca. Este acuífero se alimenta, sobre todo, a expensas de las aguas infiltradas procedentes de las precipitaciones atmosféricas, en menor grado por las que escapan desde las redes de abasto a la ciudad e, incluso, las aguas albañales que no siempre son conducidas por las redes del drenaje.

En relación con el NF debe especificarse que, para mayor precisión y seguridad, el cálculo de la afluencia de agua hacia la excavación del foso debe realizarse con los niveles freáticos (NF) correspondientes a las calas 3, 5, 6 y 7, que se encuentran ubicadas en el área de excavación. De este modo el nivel freático medio es de 1,90 m. A partir de la profundidad de los NF determinados en las calas y sus cotas fue construido el siguiente esquema de hidroisoipsas (Figura 7), el cual posee inadecuada configuración debido a la carencia de una red de distribución uniforme de los puntos de NF conocidos. No obstante, puede verse que la dirección del flujo se produce hacia el N 80 E geográfico con una pendiente muy suave, aproximadamente de 1,3 %.

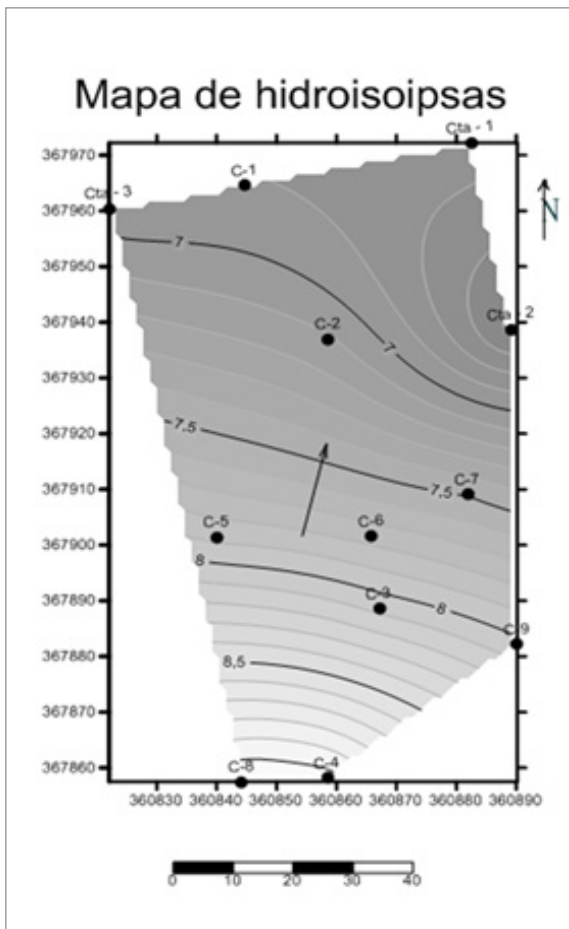


FIGURA 7. Mapa de hidroisohipsas realizado por la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA)



FIGURA 8. Radio equivalente

Para determinar la conductividad hidráulica o coeficiente de filtración (K_f) e, incluso, el gasto de filtración Q , fueron realizados tres aforos por el método de cubeteo en las calas 2, 4 y 5. A partir de este tipo de ensayo, aparentemente sencillo, pero ejecutado con rigor, o lo que es lo mismo que la cantidad de agua extraída, las mediciones del nivel dinámico —tanto durante el abatimiento como la recuperación— sean lo más precisos posible (Tabla 1).

TABLA 1. Resultado de los aforos

Cala No	NF (m)	K_f (m/d)	Q (m ³ /d)
2	1,95	5,44	12,90
4	1,45	2,34	12,00
5	1,88	5,17	11,50

La conductividad hidráulica obtenida puede considerarse que cumple la Ley de Darcy o sea $K_f = KD = U \cdot I$, por cuanto la velocidad U del agua es pequeña en correspondencia con la litología existente, tratándose de un flujo laminar lineal. El gradiente hidráulico I determinado a partir del comportamiento del flujo de agua subterránea, según el mapa de hidroisohipsas, es de 0,013 por tanto si adoptamos un valor medio de K_D equivalente a 4 m/d (vea resultados de los aforos) la velocidad U será de 307 m/d. La transmisividad entendida como el producto de la conductividad por el espesor del acuífero $T = K_f \cdot M$ es de 4 m/d * 4,95 m es de 19,8 m²/d. La permeabilidad intrínseca $k = K_D \cdot (\nu/g)$ donde ν es viscosidad cinemática del fluido aceleración de la gravedad (9,8 m/s²). Observando los resultados vemos que, según los coeficientes de filtración, el acuífero es permeable en correspondencia con la clasificación de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), mientras que los gastos no son altos.

Es fundamental, en este trabajo, conocer el volumen de agua que fluye hacia la zona donde se prevé realizar la excavación del sótano para, a partir de esta información, poder diseñar la red de drenaje que permita hacer descender el nivel freático y por lo menos excavar en condiciones más favorables que la saturada.

Partiendo del centro del área del sótano se trazó un círculo que abarcó el sitio de excavación, pasando por su extremo más alejado. Este es el pozo equivalente de las dimensiones del foso, es decir, como si fuera un solo "pozo teórico", y su radio es lo que llamamos radio equivalente igual a 45 m.

Los aforos con cubeta realizados no dispusieron de pozos satélites; por tanto, no pudo ser establecido el radio de influencia (R), estimándose a partir de la razón empírica de Kyrleis y Sichardt (1930).

$$R = C h \sqrt{K}$$

Donde:

C: constante, su valor es de 3000 para pozos

h: abatimiento del nivel en el pozo hipotético en el centro del sitio (m)

K: conductividad hidráulica del acuífero (m/s)

Sustituyendo los valores se obtuvo:

$$R = 3000 * 4 \sqrt{0,000064}$$

$$R \approx 90 \text{ m}$$

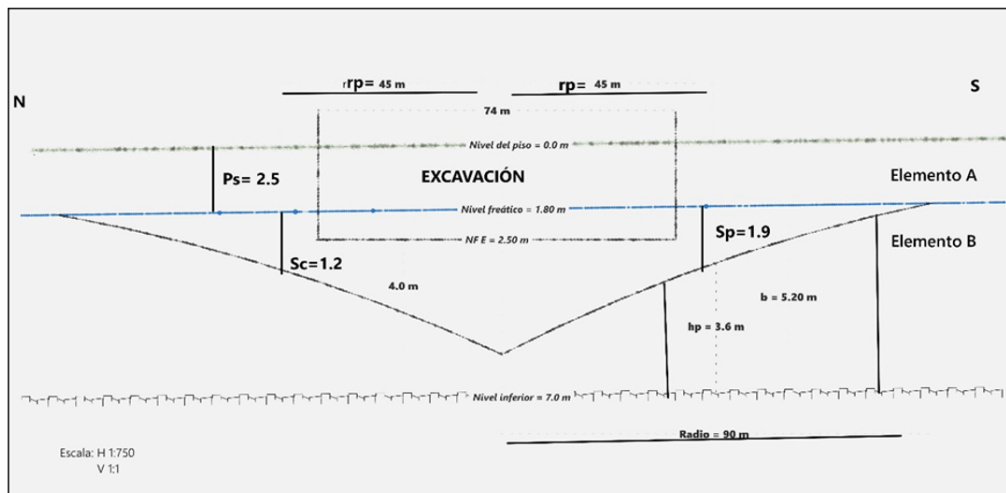


FIGURA 9. Corte que muestra los valores definidos para generar el cono de abatimiento requerido para la construcción del sótano de la obra.

Donde:

Ps- profundidad del sótano = 2,50 m

Sc -abatimiento complementario del nivel freático por debajo del sótano =1,20 m

Sp-abatimiento propuesto del nivel freático = 1,90 m

hp- espesor saturado del acuífero en el radio del perímetro durante el proceso estabilizado de extracción = 3,60 m

B -espesor saturado inicial del acuífero = 5,80 m

rp-radio del perímetro = 45 m

R -radio de influencia de la extracción = 90 m

$$Q = \pi K (b^2 - hp^2) / \ln \frac{R}{rp}$$

$$Q = 3,1416 * 5,5 [(5,8)^2 - 3,6] / \ln 2$$

$$Q = 519,692/0,69$$

$$Q = 753 \text{ m}^3/\text{d}$$

Por lo tanto, el caudal total estimado de afluencia a la excavación, y que es necesario drenar para mantener seca la excavación, fue de 753 m³/d (8,72L/s).

Este es el aspecto fundamental del trabajo debido a que su análisis incidirá en la necesaria comprensión de que el método de depresión del nivel freático es factible, se resuelve en su mayoría con recursos que están en el país y es más económico.

Partiendo de las características hidrogeológicas del sitio estudiado y del diseño de la obra que se construirá, especialmente la excavación de un sótano que aunque será de poca profundidad (2,50 m), alcanza a penetrar el manto acuífero 0,70 m, suficiente para que las condiciones de dicha excavación sean complejas, matizadas por la presencia de suelos que en estado saturado son de difícil manejo, obligando a emplear métodos de manejo del agua subterránea que garanticen minimizar los efectos negativos de esta, durante la construcción. Teniendo en cuenta que la afluencia de agua a la excavación es de 753 m³/d (8,72 l/s), radio de influencia calculado 90 m, así como el abatimiento máximo alcanzados en las pruebas de aforos con cubeta realizadas fue de 3,05 m, que puede incrementarse hasta 4 m por disponer del bombeo en el período constructivo, de un método de extracción de agua mecánico (bomba sumergible), es adecuado suponer que ubicando convenientemente 4 pozos en la periferia de la excavación y cercano a ella, se garantiza deprimir el nivel freático hasta por lo menos 1 m por debajo del perímetro que abarca la circunferencia circunscrita al área de excavación.

Teniendo en cuenta que la afluencia de agua a la excavación es de 753 m³/d (8,72 l/s), radio de influencia calculado 90 m, así como el abatimiento máximo alcanzados en las pruebas de aforos con cubeta realizadas fue de 3,05 m, que puede incrementarse hasta 4 m por disponer del bombeo en el período constructivo, de un método de extracción de agua mecánico (bomba sumergible), es adecuado suponer que ubicando convenientemente 4 pozos en la periferia de la excavación y cercano a ella, se garantiza deprimir el nivel freático hasta por lo menos 1 m por debajo del perímetro que abarca la circunferencia circunscrita al área de excavación.

Lo anteriormente expresado se corrobora observando el comportamiento esperado que debe adoptar el nivel freático durante el bombeo, mostrado en los perfiles PA1-PA3 y PA2-PA4 (Figura 11), los cuales fueron confeccionados atendiendo a los parámetros utilizados y resultados obtenidos durante el cálculo de la afluencia de agua a la excavación del sótano.

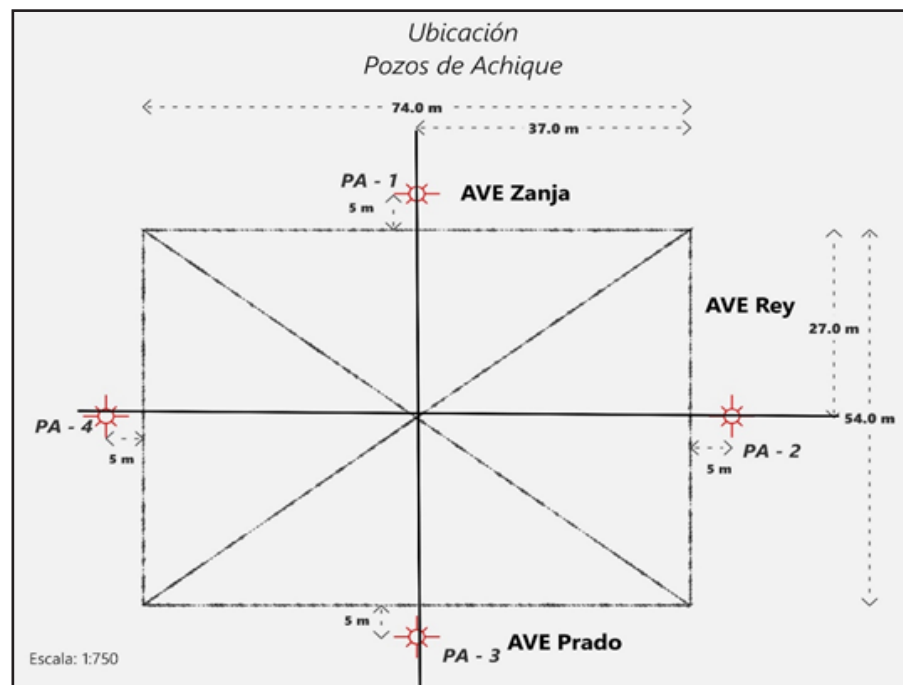


FIGURA 10. Ubicación de los pozos de achique Ubicación de los pozos de achique

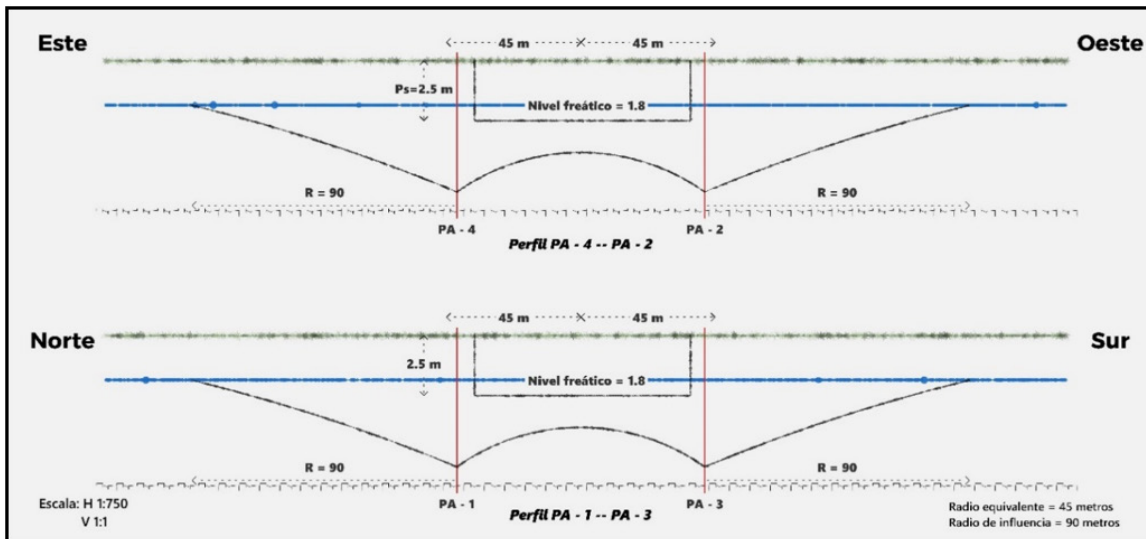


FIGURA 11. Perfiles donde se muestra el abatimiento del nivel freático

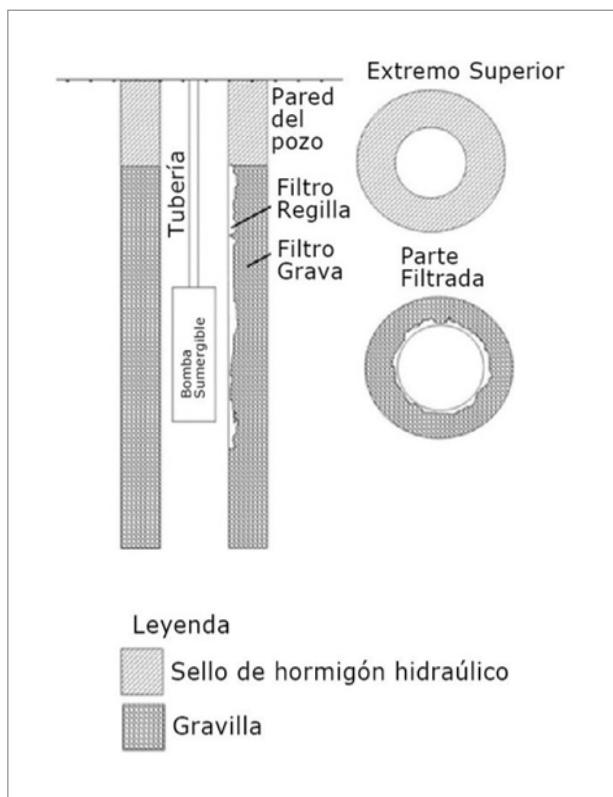


FIGURA 12. Pozo achique

Los 4 pozos de achique serán de 500 mm de diámetro exterior y 10 m de profundidad, en los cuales una vez concluida la perforación se instalará un filtro mixto (rejilla y grava), y por último la colocación, instalación y prueba del funcionamiento del sistema pozo, filtro y bomba.

Dada la necesidad de garantizar el bombeo de las aguas subterráneas durante un tiempo prolongado de acuerdo al cronograma, es importante garantizar que la construcción de los pozos de achique (que incluye la confección e instalación del filtro) permita trabajar sin peligro de interrupción por razones obvias.

El medio natural donde se aloja el agua está formado por suelos con abundantes finos, por lo que deberá producirse arrastre de estas partículas durante el proceso de bombeo debiendo impedirse que estas reduzcan la productividad esperada del pozo durante su explotación.

Ha sido considerada la variante de un filtro de tubo plástico ranurado al 30 % como valor óptimo para las características del terreno en la zona de la manzana Payret, envuelto por una malla plástica resistente con

abertura de ± 5 mm y entre este conjunto y la pared del pozo un filtro de grava de 3/8" cumpliéndose la condición de d_{15}/d_{85} , donde:

d_{15} – tamaño correspondiente al 15 % pasado del filtro (0,2 mm)

d_{85} – tamaño correspondiente al 85 % pasado del material que contiene el agua subterránea (0,8 mm)

CONCLUSIONES

1. La edificación que abarcará gran parte del área estudiada cubre la Formación Vía Blanca, definida por un corte geológico de tres elementos ingeniero-geológicos. Estos elementos (1, 2 y 3) se caracterizan por encontrarse fisurados y con una consistencia que varía entre ellos de firme a muy dura, así como una diferencia entre los esfuerzos a cortante o ensayo Triaxial. El comportamiento de estos elementos es de un suelo cohesivo en relación a su plasticidad y su alto contenido de finos.
2. Los resultados hidrogeológicos del estudio realizado manifiestan un valor de coeficiente de filtración Kf que varía entre 2,34 y 5,44 m/día. Esta variación corresponde con la heterogeneidad del relleno.
3. El caudal total estimado de afluencia a la excavación, y que es necesario drenar para mantener seca la excavación fue de 753 m³/d (8.72L/s).
4. De acuerdo con todos los parámetros ingeniero-geológicos e hidrogeológicos expuestos, utilizamos el método de drenaje (pozos de achique) para realizar el abatimiento del nivel freático.
5. De los resultados obtenidos es concluyente que el área presenta condiciones favorables para sustentar la estructura de la edificación que se pretende construir.

RECOMENDACIONES

Ejecutar la excavación utilizando excavadora de tipo A320 o similar, siguiendo frente de explotación de 3-4 m de ancho y profundidad 2.50 m, dejando su talud temporal en toda la periferia que se rectificará con multipropósito.

REFERENCIAS

- Instituto de Geología y Paleontología. (1982): *Contribución a la Geología de las provincias de La Habana y Ciudad de La Habana*. Editorial Científico-Técnica. La Habana.
- Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas. (ENIA). (2010): *Investigación ingeniero-geológica "Gran Hotel Habana"*. Archivo Técnico ENIA. La Habana.
- Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (1988): *Informe ingeniero-geológico "Sala Polivalente Centro Habana"*. Archivo Técnico ENIA. La Habana.
- Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (2002): *Investigaciones ingeniero-geológicas "Hotel Parque Central"*. Archivo Técnico ENIA. La Habana.
- Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (2020). *Investigación, remodelación y ampliación del hotel Telégrafo*. Archivo Técnico ENIA. La Habana.
- Furrazola, G., & Judoley, C., et. al. (1964): *Geología de Cuba*. Editorial Nacional de Cuba. La Habana.

Como citar:

Medina Mestre, Arlettys, (2022): Investigaciones ingeniero-geológicas e hidrogeológicas con fines de diseño de redes de pozos de drenaje. *Geoinformativa*. 15 (2). 65-75

Licencia:

Este artículo está protegido bajo una licencia Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA) la cual permite compartir (copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato) y adaptar (remezclar, transformar y crear a partir del material), por lo que los autores, son libres de compartir su material en cualquier repositorio o sitio web.

