

ESTUDIO DE SUBÁLVEO Y DISEÑO DE CAPTACIÓN DE AGUA PARA SUMINISTRO DE VILLA CANDONGA.

**Teresa Reyna
Santiago Reyna
César Riha
María Lábaque
Julio Masei**

Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba.
Av. Vélez Sarsfield 1611. Ciudad Universitaria.
teresamaria.reyna@gmail.com

RESUMEN

El emprendimiento inmobiliario turístico “Villa Candonga” se encuentra en el valle de Candonga, ubicado en el departamento Colón provincia de Córdoba. El río San Vicente, en cuyo subálveo se planteó la ejecución de la obra posee una cuenca de aproximadamente 50 km² y los reservorios se limitan a los depósitos sedimentarios del fondo de las quebradas. El objeto de los trabajos que se describen a continuación, resultó la obtención de una fuente de agua en calidad y cantidad suficiente para la alimentación del nuevo emprendimiento inmobiliario. El trabajo fue enfocado en un marco teórico práctico donde en primera instancia se efectuaron cálculos teóricos a partir de los datos obtenidos en los trabajos preliminares de campo mediante la realización de ensayos de penetración con cono Holandés que permitió inferir la potencia del manto aluvional y se seleccionó un punto en que la línea de ribera entre margen derecha e izquierda se aproxima a los 25 metros lo cual permite disponer de una superficie suficiente para la ejecución de obras de capacitación inclusive fuera de la línea de inundación. En ese punto se ejecutó una excavación para bombeo y se instalaron cuatro freatómetros en una línea perpendicular al cauce para determinar la conductividad hidráulica desde y hacia el río, con los valores obtenidos se proyectó la obra de captación. Posteriormente y una vez construida la obra de captación, se realizó un ensayo de bombeo sobre la misma y se efectuaron simultáneamente mediciones de caudal en dos puntos del río, aguas arriba y aguas debajo de la implantación de la obra para realizar un estudio de vinculación entre el módulo del río y el caudal extraído por bombeo. Con todos estos estudios se definió finalmente la capacidad de extracción que dispone la obra ejecutada. Como resultado principal de los trabajos de campaña previos, el diseño y la construcción de la obra de captación, los ensayos de bombeo y aforos realizados en el río, se puede indicar que los mismos permitieron determinar en forma objetiva y precisa la capacidad real de extracción de la obra de captación construida.

Palabras Clave: Captación Subálveo, Candonga, Estudios de Agua Subterránea.

INTRODUCCIÓN

La Urbanización Residencial “Villa Candonga” se encuentra en el valle de Candonga, ubicada en el departamento Colón Pedanía San Vicente Comuna del El Manzano provincia de Córdoba. El proyecto corresponde a una urbanización serrana cuya superficie aproximada resulta de 150 Ha. El parcelario se encuentra fraccionado en aproximadamente 300 lotes del orden de los 2500 m² de superficie promedio.

El objetivo del proyecto es consolidar la propuesta urbanística y turística existente en la comuna El Manzano. En la figura 1 se presenta un gráfico de la ubicación de la zona de estudio.

El acceso principal a la urbanización desde Córdoba, se realiza en la localidad El Manzano donde se toma por un camino consolidado en dirección oeste, con un recorrido del orden de los 10 Km hasta alcanzar la entrada al predio. Alternativamente es posible ingresar al predio desde la localidad de Agua de Oro por el camino que llega a Villa Cerro Azul y desde allí con el camino que la vincula con El Manzano.

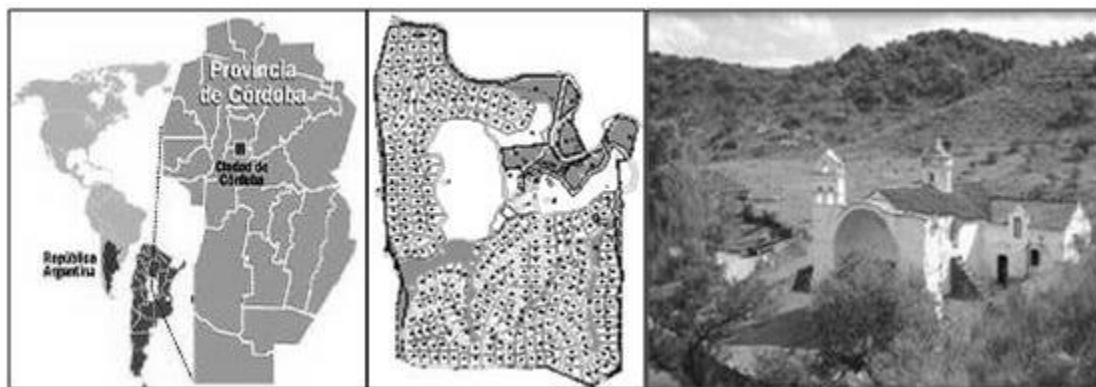


Figura 1.- Ubicación de Córdoba y de la urbanización “Villa Candonga”

Con el objeto de disponer de una fuente de abastecimiento de agua para la urbanización en calidad y cantidad suficiente, se comenzó con el análisis de las distintas alternativas técnicas y económicamente factibles que permitieran satisfacer esta necesidad. Luego de distintas gestiones a niveles gubernamentales tanto provincial como local, se adoptó como mejor solución técnica económica, la captación de agua desde el subálveo del río San Vicente en el tramo que transita por el perímetro de la urbanización.

MEDIO FÍSICO

En el predio donde se encontrará ubicada la urbanización, se efectuó una caracterización geomorfológica y geológica, conjuntamente con estudios de campo, con el fin de determinar el sitio de implantación más conveniente para la obra de captación.

Con respecto a la dotación de agua potable para la totalidad de la urbanización se consideró un consumo medio por lote de 1m³/día. Motivo por el cual el caudal medio a extraer desde el subálveo del río resultó 308 m³/día.

Geología

La geología de la región está representada por un basamento metamórfico constituido por paragneises que se intercalan con ortogénesis tonalíticas, mármoles, rocas calcosilicáticas y anfibolitas, intrusiones graníticas completan el cuadro estratigráfico.

Geomorfología

La zona en estudio se localiza en el contexto geomorfológico representado por la región de la llanura oriental de Córdoba que comprende, a nivel de subregiones geomorfológicas, la depresión periférica y la plataforma basculada (Vazquez, et. al; 1979):

La urbanización se sitúa en la subregión basculada que genéticamente corresponde a un bloque profundo del basamento cristalino elevado hacia el occidente y basculado muy suavemente al oriente separado del cuerpo principal de la sierra chica, por la depresión periférica.

En esta subregión geomorfológicas se distingue a nivel de tipo de relieve, una planicie loessica fuertemente ondulada que ocupa una posición topográfica alta denominado el ámbito de la llanura oriental de Córdoba. La morfología similar a la planicie loessica ondulada a suavemente ondulada con desarrollo en la depresión, se manifiesta en la alternancia de lomas amplias y tendidas y bajos amplios de fondo plano- cóncavo, pero con mayor energía de relieve, alcanzando la pendiente media valores próximos al 1% .

Los procesos morfodinámicos siguen ligados a la acción del escurrimiento superficial predominantemente mantiforme y difuso en lomas y concentrado en bajos, pero con potencial morfogenético más significativo, en respuesta al aumento de las pendientes naturales. Los procesos de erosión hídrica laminar y concentrada, adquieren mayor extensión y significación y la erosión hídrica tubificada asociada a la paleo red de avenamiento (mallines), se presenta más extendida e intensa.

Hidrografía

El río San Vicente, en cuyo subálveo se planteó la ejecución de la obra posee una cuenca de aproximadamente 50 km² y los reservorios se limitan a los depósitos sedimentarios del fondo de las quebradas. Entre estas se cuentan las de los arroyos Norte y Sur y los depósitos aluviales propios del río San Vicente (CFI; 1962).

El arroyo Norte aporta una pequeña cuenca tributaria de 15 Ha, y es poseedor de un espesor medio de sedimentos de 2,50m de los cuales 1,80m permanece saturado durante todo el año.

El arroyo Sur también es tributario del río San Vicente, posee una cuenca cuya superficie resulta de aproximadamente 91 Ha. Con un cauce que según referencias en años de precipitaciones escasas, se seca en primavera.

Durante las tareas de excavación en el subálveo se obtuvo muestras con el fin de disponer de una caracterización. Dando como resultado una granulometría correspondientes a terrenos muy permeables con la presencia de rodados de gran tamaño.

TRABAJOS PRELIMINARES

A continuación se presentan los trabajos de campo preliminares desarrollados en el lugar con el objeto de lograr una caracterización hidrogeológica del subálveo donde se implantará la obra de captación para la nueva urbanización.

- Ensayos de penetración:

En concordancia con lo mencionado en el plan de trabajo respecto al lugar determinado como el ideal para la obra de captación, los ensayos de penetración para determinar espesores del depósito aluvional, se limitaron a la zona de la huerta y a la margen derecha entre el puente y la tranquera.

En la Huerta los espesores varían entre 2 y 3 metros. En la margen derecha se dan los mismos valores con la diferencia que la cota de terreno es entre 1 y 1,5 metros inferior al de la huerta, lo que da por resultado un mayor espesor de sedimentos saturados.

A fin de determinar las características del material del subálveo que permita el diseño de la obra de captación, se ejecutaron ensayos de penetración con cono Holandés súper pesado que permite determinar la potencia del manto aluvional y se seleccionó un punto en que la línea de ribera entre margen derecha e izquierda se aproxima a los 25 metros lo cual permite disponer de una superficie suficiente para la ejecución de obras de capacitación inclusive fuera de la línea de inundación (presentado por el geólogo Massei).

En este punto se ejecutó una excavación para bombeo y se instalaron cuatro freatrímetros en una línea perpendicular al cauce como para determinar permeabilidades desde y hacia el arroyo.

Para vincular estos ensayos de bombeo con el módulo del río al momento del ensayo se efectuaron mediciones de caudal en dos puntos del mismo y uno en el arroyo Norte y en el arroyo Sur.

- Granulometría:

Durante el trabajo de cavado del pozo de bombeo y la instalación de los freatrímetros se extrajeron muestras que fueron ensayadas en laboratorio dando como resultado granulometrías correspondientes a terrenos muy permeables.

Debido a la presencia de rodados de gran tamaño, se efectuó un corte en 2” calculándose el rendimiento en este tamiz y luego se realizó el ensayo a partir del mismo.

- Ensayo de Bombeo:

El ensayo de bombeo se realizó a partir de un pozo excavado a mano con la instalación de aros de hormigón que permitieron alcanzar una profundidad de -1,5 metros con un diámetro de 0,80 metros.

Se instalaron cuatro freatrímetros a 0,90 metros y 1,40 metros del eje del pozo hacia el río y 0,90 metros y 1,40 metros en sentido contrario, conformando así un eje transversal al río con datos de permeabilidad en un ancho de 2,80 metros.

El bombeo se llevó a cabo con una bomba centrífuga provista de una llave que permitió regular el caudal hasta lograr estabilización tanto en el pozo de bombeo como en los cuatro freatrímetros.

El caudal Q necesario para la estabilización fue de 6000 l/hora y los niveles se estabilizaron en: Pozo de bombeo: 0,60 metros, Freatímetro 1: 0,12 metros, Freatímetro 2: 0,44 metros, Freatímetro 3: 0,45 metros, Freatímetro 4: 0,29 metros

Con los valores anteriores se pudo determinar una conductividad hidráulica del manto aluvional de $1,12 \times 10^{-1}$ cm/seg.

DISEÑO DE LA OBRA

Se planteó la ejecución de un pozo central que cumplirá a su vez con el objeto de pozo de bombeo, en cuyas paredes se dispondrán 6 brazos radiales con una longitud individual de 6 metros y un diámetro de 200mm.

Para la determinación del caudal de extracción de la obra se utilizó la expresión de (Schneebeili, 1966).

$$S_p = \frac{Q}{2 * \pi * T} * \left(\ln \frac{R * \sqrt[n]{4}}{c} + \frac{b/c}{2 * n * (1 - 1/\sqrt[n]{2})} * \ln \frac{b}{2 * \pi * r_d * \operatorname{sen} \frac{\pi * a_1}{b}} \right) \quad (1)$$

Donde:

Sp= Descenso en el interior del pozo (m)

Q = Caudal de extracción del pozo (m³/día)

T= Transmisividad (m²/día)

R= Radio (m)

c= Longitud de los drenes (m)

b= Espesor del acuífero (m)

n= Número de drenes

a1= Distancia del dren desde el fondo del estrato (m)

Para este caso particular donde la implantación del pozo principal de captación se encuentra próximo al cauce del río se deberá considerar el radio de acción del pozo mediante la siguiente expresión:

$$R = 2 * X_0$$

Donde X₀= Distancia desde el pozo al cauce del río (m)

En este caso particular la distancia X_0 se encuentra aproximadamente a 20 metros.

Por lo tanto: $R = 2 * 20,00 = 40,00m$

Por otra parte la transmisividad T se define como:

$$T = K * b = \frac{1,12 * 10^{-1} * 86400}{100} * 2,50 = 241,92m^2 / día \quad (2)$$

Reacomodando y reemplazando los términos anteriores en la expresión general se obtiene:

$$\frac{2 * \pi * T}{Q} Sp = \left(Ln \frac{R * \sqrt[n]{4}}{c} + \frac{b/c}{2 * n * (1 - 1/\sqrt[n]{2})} * Ln \frac{b}{2 * \pi * r_d * \text{sen} \frac{\pi * a_1}{b}} \right) \quad (3)$$

$$\frac{2 * 3,14 * 241,92}{Q} * 0,60 = \left(Ln \frac{40,00 * \sqrt[6]{4}}{6} + \frac{2,50/6,00}{2 * 6,00 * (1 - 1/\sqrt[6]{2})} * Ln \frac{2,50}{2 * 3,14 * 0,10 * \text{sen} \frac{3,14 * 1,00}{2,50}} \right) \quad (4)$$

$$Q = \frac{2 * 3,14 * 241,92 * 0,60}{2,58} = 353,32m^3 / día \quad (5)$$

De acuerdo a los resultados obtenidos precedentemente, se puede indicar que la colocación de 6 drenes radiales de 200 mm de diámetro y una longitud individual de 6 metros, resulta suficiente para el abastecimiento de agua para el 100% de la urbanización proyectada.

En la totalidad del perímetro de los caños filtros radiales se colocará un manto de grava de 0,40m de espesor con el fin de evitar el arrastre de material fino dentro de la estructura de captación que puede producir obstrucciones parciales con la consecuente disminución del rendimiento calculado.

En la figura 2 se presenta un esquema con las dimensiones principales de la obra planteada.

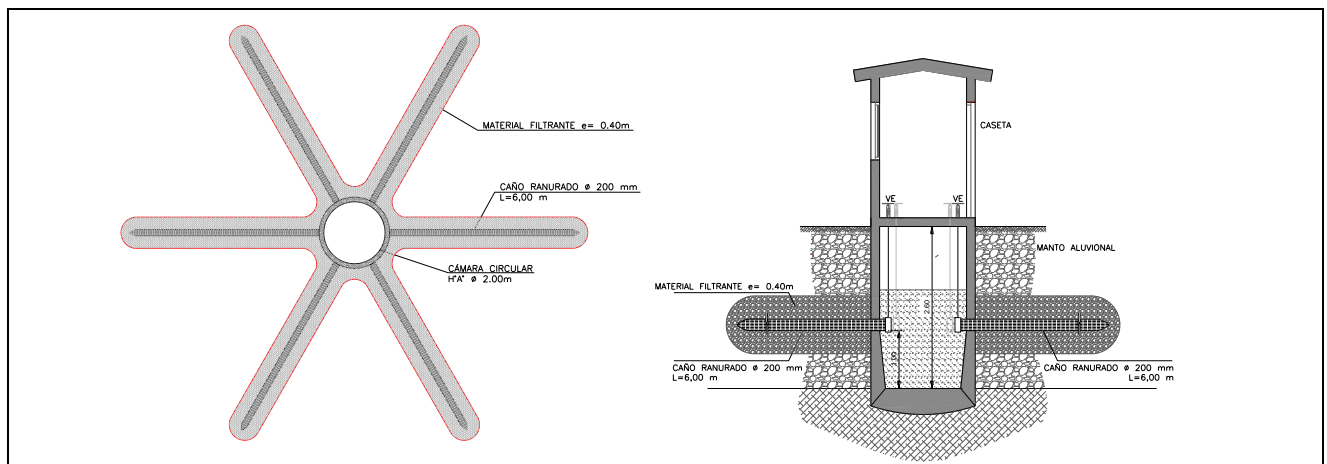


Figura 2.- Geometría de obra propuesta

CONSTRUCCIÓN DE LA OBRA - ENSAYO DE BOMBEO Y AFORO DEL RÍO

Construcción

Manteniendo el concepto de la obra propuesta y con el objeto de simplificar los trabajos de construcción de la obra proyectada se reemplazaron los 6 brazos radiales por un solo brazo de 25 m de longitud ubicado paralelo al curso de agua en el depósito aluvional. Los diámetros de la conducción se encontraron comprendidos entre las 12 a 14", con una pendiente longitudinal de 2,50 % hacia el pozo de captación. En el extremo del conducto ranurado existe un conducto de vinculación de 6" de acero galvanizado con una longitud aproximada de 6 m que deposita el agua captada directamente en el interior del pozo de bombeo.

El pozo de bombeo propiamente dicho resultó de la tipología de pozo excavado manualmente, el cual dispone de diámetro interior de 1 metro calzado perimetralmente con aros de hormigón, disponiendo de una altura aproximada de 3,25m al terreno natural y sobresaliendo unos 75 cm sobre el mismo a fin de evitar la contaminación del pozo con material que pueda ser arrastrado superficialmente.

La perforación mencionada presenta las siguientes coordenadas de ubicación: 31° 05' 7,2" S - 64° 20' 29,5" W

Ensayo de bombeo

El ensayo de bombeo se efectuó con una bomba tipo centrífuga con una potencia de 1 Hp con su correspondiente conducto de aspiración dispuesto en el interior del pozo.

En la figura 3 se puede advertir la disposición del conducto en el interior de la perforación, la cuerda del limnígrafo y el nivel del pelo de agua antes de dar comienzo al ensayo.



Figura 3.- Montaje de conductos y sensores en el interior del pozo

A la salida de la bomba centrífuga se colocó un caudalímetro electromagnético marca MR technologies con diámetro de 1 ¼” que permite tomar las siguientes lecturas en tiempo real y almacenarlos en una memoria interna.

Caudal instantáneo (m^3/h), Volumen acumulado (m^3), Conductividad eléctrica ($\mu S/cm$)

Una vez constituidos en la boca del pozo y mediante una sonda limnimétrica se procedió a verificar el nivel estático del agua antes de dar comienzo al ensayo de bombeo, dicho valor resultó de 2,32 m respecto del borde superior del anillo del pozo, se dio comienzo el ensayo de bombeo propiamente dicho, poniendo en funcionamiento la bomba centrífuga descrita anteriormente con su correspondiente conducto de aspiración, tomando lectura del caudal, el cual resultó de $15,80m^3/h$.

Conjuntamente con la determinación del caudal se comenzaron a registrar los niveles del pelo de agua para distintos intervalos de tiempo, los cuales se encuentran resumidos más adelante en el presente informe.

Las lecturas mediante la sonda limniétrica se tomaron entre las 11:34 hs hasta las 16:50hs, continuando el ensayo por un periodo de 24 hs, siendo tomadas las lecturas del nivel del líquido mediante un limnígrafo que se colocó en el interior del pozo (ver figura 3).

El limnígrafo fue calibrado de antemano para que tome una lectura cada 5 minutos, permitiendo esto, conjuntamente con la recolección de datos de caudales por parte del caudalímetro, valores totalmente confiables y objetivos.

Aforo del río

Las mediciones de caudal superficial se realizaron el día 14 de agosto de 2012 en dos secciones del Río San Vicente, ubicadas a 60 metros aguas arriba y 50 metros aguas abajo de la implantación de pozo de la obra de captación donde se llevó a cabo ese mismo día el ensayo de bombeo.



Figura 4.- Ubicación de los puntos de aforo

El instrumento utilizado en las mediciones durante la campaña experimental fue un molinete de eje vertical disponible en el Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba (Figura 5). Este medidor de corriente se

sumerge en el agua mediante la varilla de sondeo y es apto para medir las velocidades entre 0.025 y 7.6 metros por segundo.



Figura 5. Molinete de eje vertical Modelo 6215 USGS Tipo AA-MH Tipo AA

METODOLOGÍA

En primer lugar se realizó un relevamiento de la profundidad del flujo en distintas localizaciones y ancho total de las secciones de aforo. Luego se realizaron mediciones en las secciones de aforo con el fin de cuantificar las velocidades longitudinales del flujo en distintos puntos. En las localizaciones de la sección transversal se realizaron mediciones a una profundidad desde la superficie libre igual al 60% de la profundidad total. Finalmente se procedió a integrar los valores de velocidad longitudinal del flujo en el área de la sección de aforo y determinar el caudal que aporta el arroyo.



Figura 6. Medición de velocidades en las secciones de aforo 1 y 2.

RESULTADOS

De los registros obtenidos del ensayo de bombeo efectuado en la obra de captación definitiva, se puede indicar que luego de 4,5 horas aproximadamente de comenzado el ensayo se logró una estabilización del nivel del pozo de bombeo, con una depresión respecto del nivel estático de 0,68m. Con los valores relevados del ensayo de bombeo y considerando las dimensiones de la perforación y características de la electrobomba utilizada, se determinaron los parámetros hidráulicos de transmisividad T (m^2/s) y depresión S .

En el siguiente gráfico se encuentran resumidos los valores correspondientes a la curva de descensos de la perforación.

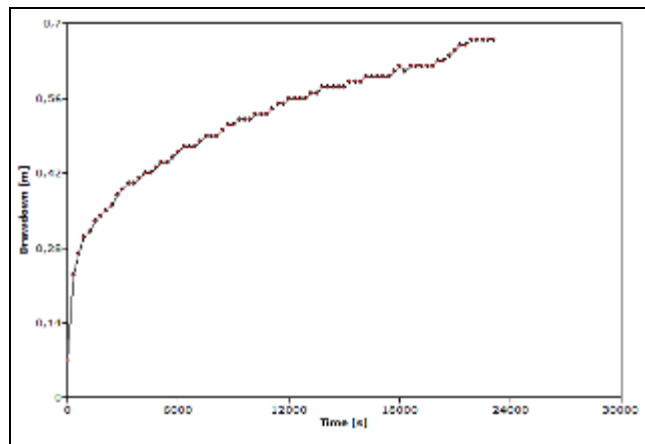


Figura 7.- Curva de descensos durante el ensayo de bombeo

Con los valores anterior y utilizando el método de Theis (Theis, 1935), se graficaron los valores obtenidos del ensayo y la función $W(u)$, determinándose los parámetro hidráulicos del acuífero S y T.

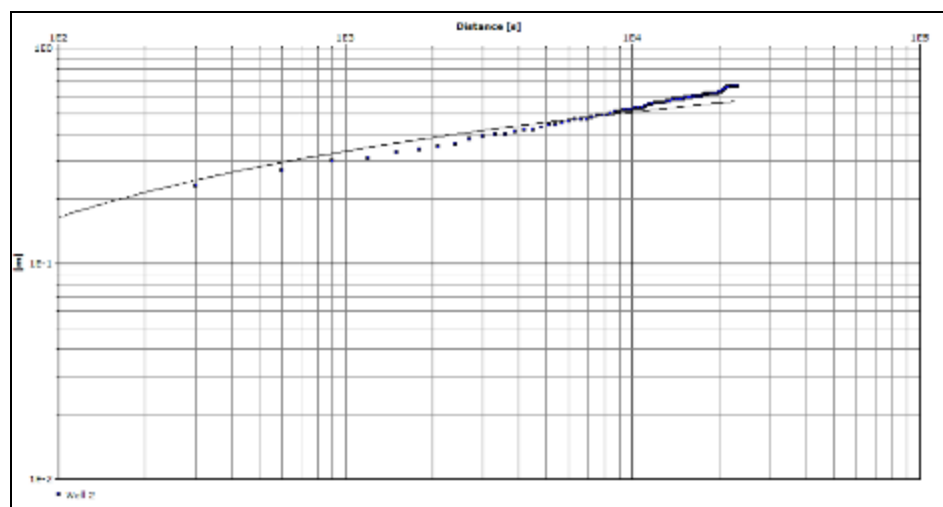


Figura 8.- Funciones u vs $W(u)$ y r^2/t vs s

Del gráfico anterior, se determinaron los siguientes valores de los parámetros hidráulicos:

$$T = 4,64 \cdot 10^{-03} \text{ (m}^2\text{/s)}$$

$$S = 0,5$$

Respecto de los resultados del aforo del río San Vicente se puede indicar que el valor de caudal de escurrimiento superficial obtenido al integrar el campo medio de flujo en la sección transversal registrado en el terreno el día 14 de agosto de 2012 en la sección del Río San Vicente, Candonga, Provincia de Córdoba, es de 66 litros/seg para la sección aguas arriba del pozo, y 72 litros/seg para la sección aguas abajo.

Cabe aclarar que durante el aforo del caudal superficial, se realizó en forma simultánea el ensayo de bombeo. La bomba estaba extrayendo del pozo un caudal constante de 4.38 litros/seg que eran vertidos en el río. A esto se debe la diferencia de caudales medidos entre las dos secciones.

Como conclusión de todos los trabajos efectuados se puede indicar que la obra de captación construida resultó desde el punto de vista hidráulico totalmente satisfactoria, permitiendo obtener un caudal superior a los 308 m³/d que demandará la urbanización una vez que la misma se encuentre en plena ocupación con descensos en los niveles del subálveo dentro de valores admisibles.

BIBLIOGRAFÍA

- Consejo Federal de Inversiones.** (1962). "*Recursos Hidráulicos Superficiales*". Volumen I. Serie Evaluación de los Recursos Naturales de la Argentina (Primera Etapa). Tomo IV. Buenos Aires.
- Schneebeli, G.** (1966) "*Hidraulique souterraine*". Editors Eyrolles, París. 362 pp.
- Theis, C.V.** (1935). "*The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage*". Am. Geophys. Union Trans., vol. 16, pp. 519-524
- Vazquez, J. B., Miatello, R. A., Roqué, M. E.** (1979): "*Geografía Física de la Provincia de Córdoba*". Editorial Boldt. Argentina.