

DISEÑO DE NUEVA ESTACIÓN ELEVADORA DE AGUA DE LA ZONA SUR DE CÓRDOBA

Data de aceite: 03/04/2023

Teresa Reyna

Universidad Nacional de Córdoba,
FCEFYN
Córdoba, Argentina
<https://orcid.org/0000-0003-2114-0806>

Santiago Reyna

Universidad Nacional de Córdoba.
FCEFYN
Córdoba, Argentina

Fabián Fulginiti

Universidad Nacional de Córdoba.
FCEFYN
Córdoba, Argentina

María Lábaque

Universidad Nacional de Córdoba,
FCEFYN
Córdoba, Argentina

César Riha

CEAS S.A
Córdoba, Argentina

Tatiana Penza

Universidad Nacional de Córdoba,
FCEFYN
Córdoba, Argentina

María Fernanda Funes

Universidad Nacional de Córdoba
FCEFYN

RESUMEN: Atento al marcado crecimiento inmobiliario que se encuentra actualmente en desarrollo en el sector sur de la ciudad de Córdoba, Argentina resulta imperiosa la construcción de una serie de obras a fin de mejorar la infraestructura de este sector de la ciudad para brindar un servicio de calidad a los nuevos habitantes. Dentro de la infraestructura mencionada se encuentra el servicio de agua potable que actualmente se encuentra concesionado pro la empresa aguas Cordobesas S.A. y quien dentro de la planificación ha incluido la construcción de una estación elevadora que brinde una caudal y presión adecuada para las nuevas urbanizaciones de la zona. Por este motivo en el año 2017 se comenzó junto con la empresa Aguas Cordobesas S.A. y las desarrollistas a proyectar una estación que brindará un suministro de agua potable en cantidad y calidad para los próximos 20 años. La estación planteada dispondrá una serie de ampliaciones a lo largo del tiempo llegando a un esquema de bombeo de (4+1) con una potencia instalada de aproximadamente 635 kw. La estación elevadora tomará agua proveniente de un acueducto de 1000mm que se desarrolla por calle Impira hasta la margen del arroyo La Cañada, incrementando la presión hasta

65 m.c.a. e impulsándolo por un nuevo acueducto a construir sobre el sector oeste de calle Impira que será el encargado de abastecer a las nuevas urbanizaciones.

PALABRAS CLAVE: Estación de bombeo, golpe de ariete, servicios públicos en Córdoba.

PROJETO DE UMA NOVA ESTAÇÃO DE ÁGUA ELEVADA NA ZONA SUL DE CÓRDOBA

ABSTRACT: Attentive to the marked real estate growth that is currently under development in the southern sector of the city of Córdoba, it is imperative to build a series of works in order to improve the infrastructure of this sector of the city to provide a quality service to the new population. Within the aforementioned infrastructure is the potable water service that is currently concessioned by the company Aguas Cordobesas S.A. and who within the planning has included the construction of a lift station that provides adequate flow and pressure for the new developments in the area. It is for this reason that in 2017 it was started together with the company Aguas Cordobesas S.A. and the developers to design a station that will provide a supply of potable water in quantity and quality for the next 20 years. The proposed station will have a series of expansions over time reaching a pumping scheme of (4 + 1) with an installed power of approximately 635 kw. The lift station will take water from a 1000mm aqueduct that runs through Impira Street to the La Cañada stream margin, increasing the pressure to 65 m. and to promote it for a new aqueduct to be built on the west sector of Impira Street, which will be responsible for supplying the new developments.

KEYWORDS: Pump station, water hammer, public services in Cordoba.

INTRODUCCIÓN

La ciudad de Córdoba es la capital de la Provincia de Córdoba, Argentina. Se encuentra situada en la Región Centro. Esta ciudad es la más poblada (1.565.112 INDEC 2022), después de Buenos Aires, y es un importante centro cultural, económico, educativo, financiero y de entretenimiento.

La zona sur de la ciudad concentra hoy 44 emprendimientos residenciales, lo que ha significado el desarrollo de más de 3.800 lotes y 1.000 departamentos. La oferta de viviendas se multiplicó en los últimos 20 años, lo que se refleja tanto en una expansión del ejido urbano, como en la cantidad y variedad de las urbanizaciones desarrolladas en la zona. Este desarrollo explosivo provoca el déficit de la estructura existente que requiere nuevas obras a fin de satisfacer esta nueva demanda.

Se presenta a continuación el diseño y cálculo de una nueva estación de bombeo para el suministro de agua potable a la zona suroeste de la ciudad (Figura 1). Se analizan el comportamiento hidráulico a régimen permanente y a régimen impermanente con los requerimientos de diseño que imponen los resultados de estos análisis.

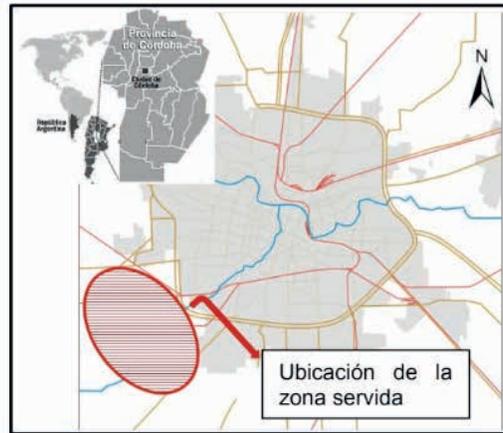


Figura 1. Zona de ubicación de nuevos emprendimientos en relación al ejido urbano

PLANTEO DEL PROBLEMA

Aguas Cordobesas es la empresa concesionaria del servicio de agua potable para la ciudad de Córdoba. El sistema de agua para la ciudad tiene como zona de abastecimiento a las cuencas altas de los ríos Suquía y Los Molinos. Estas cuencas se encuentran actualmente reguladas por los diques San Roque y Los Molinos respectivamente. Por medio de distintos canales y conductos de envergadura, el agua cruda es recolectada de esos embalses para ser volcadas en las Plantas Potabilizadoras Suquía y Los Molinos respectivamente, donde es realizado el proceso de potabilización. (ver figura 2).

Cada planta potabilizadora abastece de agua a un sector de la ciudad que recibe el nombre de sistema. El agua producida por la planta Suquía (sistema Suquía) alimenta la zona norte del río Suquía y el oeste de la Cañada con una capacidad de abastecimiento de 5 m³/s, mientras que la planta Los Molinos (Sistema Los Molinos) al sector sureste de la ciudad con una capacidad de abastecimiento de 2 m³/s (Figura 3)

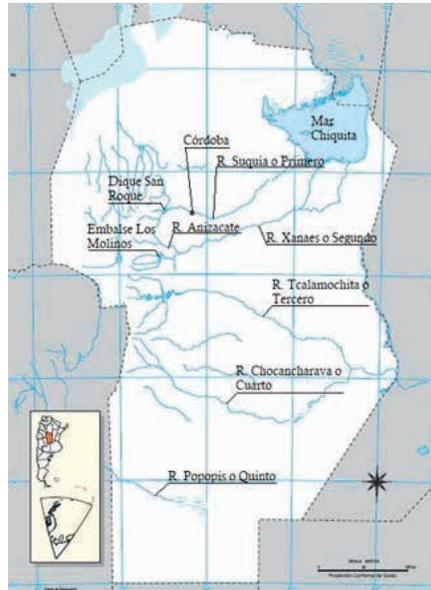


Figura 2. Ubicación del Dique San Roque y Los Molinos

Cada planta potabilizadora abastece de agua a un sector de la ciudad que recibe el nombre de sistema. El agua producida por la planta Suquía (sistema Suquía) alimenta la zona norte del río Suquía y el oeste de la Cañada con una capacidad de abastecimiento de $5 \text{ m}^3/\text{s}$, mientras que la planta Los Molinos (Sistema Los Molinos) al sector sureste de la ciudad con una capacidad de abastecimiento de $2 \text{ m}^3/\text{s}$ (Figura 3)

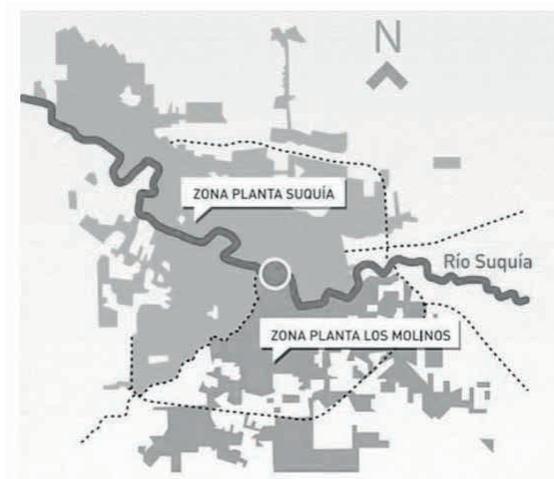


Figura 3. Sectores de la Ciudad de Córdoba servidos por las plantas potabilizadoras de Aguas Cordobesas (<https://www.multimediodider.com.ar/>)

El servicio prestado por la empresa para la zona sureste requiere disponer de obras adicionales (nueva estación de bombeo y acueducto) para satisfacer los nuevos desarrollos inmobiliarios planteados.

ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

De acuerdo con las pautas de diseño se desarrollaron una serie de alternativas para la estación elevadora denominada por su ubicación Manantiales (EB Manantiales).

Primera alternativa: Se planteó una obra en una sola etapa donde el caudal mínimo resultaba de 200 m³/h y el caudal máximo de 1000 m³/h a una presión de 55 m.c.a. Para este esquema se calculó el equipo electromecánico, se diseñó el manifold de aspiración e impulsión con sus pérdidas de carga y esfuerzos en los distintos accesorios confeccionando un esquema de bombas de 3 +1, se efectuaron planos de plantas y corte de la estación elevadora.

Segunda alternativa: En esta nueva alternativa se planteó un sistema de 4 + 1 es decir 4 bombas de funcionamiento + 1 de reserva divididos en tres etapas. En una primera etapa se colocarían 2+1 (tres equipos) Esto es en base a lo planteado por Aguas de no tener sistemas de 1+1. Este equipo podría entregar en un comienzo los 200 m³/h y como máximo estaría llegando a 750 m³/h a 65 m.c.a. En la segunda etapa se adicionaría una nueva bomba quedando conformado un esquema 3+1 y finalmente en la tercera etapa se colocaría un equipo más completando el esquema 4 + 1 con una capacidad máxima de bombeo de 3000 m³/h.

Estas alternativas exigían bombas de rango muy amplio y al problema de manejo de bajos caudales de arranque se sumaba la restricción debido a que la prestataria no aceptaba sistemas de 1+1. Se planteó entonces la opción de incorporar los caudales de una estación de bombeo ubicada físicamente cerca (estación Carrara) que debía ser repotenciada para dar solución a la demanda actual de otro subsector. Con esta opción sólo se necesitaba la nueva estación y se seguía trabajando con la Estación Carrara en las mismas condiciones.

De este análisis permitió establecer un esquema que permitiera trabajar con el mismo equipamiento. La alternativa planteada con esos condicionantes se desarrolla en el siguiente punto y fue la finalmente seleccionada.

ESQUEMA DE LA ESTACIÓN

La obra que se desarrolló y se encuentra en su etapa de finalización de obra, consiste en la construcción de una Nueva Estación Elevadora de Presión (EB Manantiales). La obra dispondrá de una aducción en diámetro 1000 mm y un conducto de impulsión de 900 mm. La estación dispondrá un caudal de diseño que se dividirá en tres etapas acompañando

el crecimiento de las urbanizaciones proyectadas en este sector de la ciudad de Córdoba (Tabla 1). En la etapa final se prevé un caudal pico de 3000 m³/h.

Etapa	Q pico (m ³ /h)	Qvalle (m ³ /h)	Presión de salida – presión de entrada (m.c.a)
1° etapa	1500	400	65
2° etapa	2250	600	65
3° etapa	3000	800	65

Tabla 1. Condiciones de diseño

El sistema de bombeo se compone de cinco bombas (4+1) que se irán instalando en las 3 etapas según el siguiente esquema.

Primera etapa: Corresponde al comienzo de la operación de la EB donde se colocarían 3 electrobombas en un esquema (2+1) con estos equipos se garantizaría un caudal mínimo al comienzo de 400 m³/h. El caudal máximo que podría entregar la estación al final de la primera etapa sería de 1500 m³/h a 65 m.c.a.

Segunda etapa: Se colocará un nuevo equipo similar a los colocados en la primera etapa quedando la EB con un esquema de (3+1) pudiendo entregar la misma, un caudal máximo de 2250 m³/h a 65 m.c.a. y un caudal mínimo de 600 m³/h.

Tercera etapa: En esta instancia, se colocará un nuevo equipo similar a los colocados en las etapas anteriores quedando la EB con un esquema de (4+1) pudiendo entregar la misma, un caudal máximo de 3000 m³/h a 65 m.c.a. y un caudal mínimo de 800 m³/h en la siguiente imagen se puede observar la configuración de la estación elevadora con las tres etapas desarrolladas.

SELECCIÓN DEL EQUIPO ELECTROMECAÁNICO

Luego de definidas las etapas de ejecución de la estación elevadora se procedió a efectuar la selección de equipo electromecánico, para lo cual se trató de que la selección permita colocar un solo tipo de equipo para todas las etapas de expansión de la estación elevadora, facilitando esto, el trabajo de mantenimiento futuro de la estación.

Por otra parte, y atento a la potencia importante del equipamiento se analizaron varias alternativas de distintas marcas comerciales, por otra parte, se verificó el valor del NPSH resultando el mismo para el punto de funcionamiento de 3,80 m, encontrándose la presión en el tramo de aspiración por encima a este valor descartándose por tal motivo el problema de cavitación en la máquina. Cada una de las máquinas dispone en su punto de funcionamiento una potencia de 159,24 kW disponiendo la estación de un tablero general donde para cada una de las máquinas se ha colocado un sistema de arranque suave a fin de reducir los consumos de corriente durante el arranque, repercutiendo esto directamente

en el dimensionado del generador de emergencia que dispone la EB.

El diseño de los conductos de admisión e impulsión se efectuaron considerando la premisa de mantener las velocidades dentro de rangos admisibles (en el orden de 1 m/s) a fin de reducir a un mínimo las pérdidas de carga. Respecto de los cambios de alineación se realizaron mediante curvas las cuales se efectuaron en una relación entre radio de curvatura y diámetro igual a 2, colaborando esto con la reducción de los coeficientes de pérdidas de carga de igual manera las convergencias y expansiones se proyectaron con ángulos inferiores a los 12°.

ANÁLISIS BAJO RÉGIMEN IMPERMANENTE

Una instalación hidráulica es un sistema dinámico y rara vez se halla en estado estacionario, ya que las condiciones de funcionamiento que determinan las variables hidráulicas varían en el tiempo con una mayor o menor rapidez. El análisis o los diseños adecuados de una instalación pasan por conocer la respuesta temporal de las variables hidráulicas de la instalación con el fin de evitar situaciones indeseables como: Presiones excesivamente altas o excesivamente bajas; Movimientos y vibraciones de las tuberías; Velocidades excesivamente bajas.

El comportamiento dinámico de la instalación, denominado transitorio, puede estar producido por diferentes causas que suelen además determinar la naturaleza del transitorio. Dichas causas pueden ser: una maniobra del operador, una mala selección de un componente, un acontecimiento externo a la instalación, problemas que se generan lentamente o de manera inadvertida, etc.

Sobre algunas de las causas anteriores el diseñador o el operador puede tener cierto control, como por ejemplo el arranque o parada de las turbomáquinas (bombas) y el cierre o apertura de las válvulas. Por el contrario, existen causas sobre las que no existe control alguno, tales como el corte del suministro eléctrico o la rotura de una tubería.

Para evaluar los efectos de un cierre brusco de válvulas con su consecuente exceso de presión en el acueducto y rotura, se ha implementado el cálculo de la sobrepresión producida por el fenómeno de golpe de ariete por la operación inadecuada de las válvulas que vinculan el nuevo acueducto que comienza desde la entrada de bombeo con diámetro 900 mm.

El primer tramo se desarrolla desde una distancia aproximada de 100m previo al ingreso a la EB. El segundo tramo va desde la EB hasta un nodo ubicado aproximadamente a 210m de la misma. Estas distancias se corresponden con puntos en que se colocarán los mecanismos de operación y cierre. La Figura 3 presenta los distintos elementos que integran el sistema simulado.

El primer tramo de conducto (C1) se ejecutará en PRFV hasta la curva denominada NODO 3, punto a partir del cual el material de la misma será ACERO (conducto C2). Hasta

el NODO 8 la conducción se mantendrá en ACERO (C3) y a partir del mismo continuará en PRFV.

El caudal de verificación corresponde al valor pico para el final del periodo de diseño indicado en el informe precedente cuyo valor es 3000 m³/h. La presión de entrada en el Nodo inicial serán 10 mca, el mínimo estipulado de carga dentro del ejido urbano. La bomba deberá incrementar esta presión en 65 mca siendo la presión total aproximada a la salida de la estación de 75 mca.

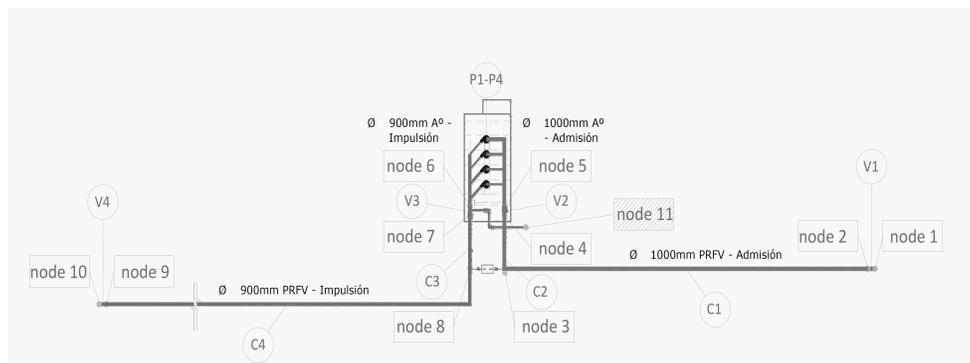


Figura 4. Tramos de conducción simulados bajo régimen impermanente

Donde se indican dos nudos de forma consecutiva (Ejemplo: NODO 4 - 5) es porque entre los mismos se ubicará un elemento de operación, de protección o de derivación.

La descripción de cada conducto se presenta a continuación

TRAMOS	LONG. (m)	H máx. (m)	Mat.	Diám. (mm)	Q (l/s)
C1: Nodo 2-Nodo 3	100	10	PRFV	1000	833
C2: Nodo 3-Nodo 4	34	10	A°	1000	833
C3: Nodo 7-Nodo 8	34	75	A°	900	833
C4: Nodo 8-Nodo 9	210	75	PRFV	900	833

Tabla 2. Descripción de cada conducto

RESOLUCIÓN CON MODELO COMPUTACIONAL: WHAMO

WHAMO (Water Hammer and Mass Oscillation) fue desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos para realizar simulaciones que ayuden a mitigar los efectos del golpe de ariete y flujo oscilatorio en redes que transportan fluidos como agua y combustible. El modelo consideró el caudal de operación de 3000 m³/h (833 l/s). Las características elásticas e inerciales del grupo motor – bomba fueron estimados en base

a estaciones análogas del gráfico de Karman-Knapp (Knapp, 1937). En primera instancia no se incluyó ninguna válvula de alivio (VA) o anticipadora de onda (VAO). La máxima variación simulada se observó para un tiempo de cierre de 2 segundos en el NODO 9 (aproximadamente 210 m sobre el conducto de impulsión) previo a la válvula V4 donde la presión total alcanzó 139.96 mca (Figura 5).

CÁLCULO DE ESFUERZOS EN CAMBIO DE ALINEACIONES

Luego de analizados los distintos escenarios de funcionamiento bajo régimen permanente e impermanente, se contrastaron las presiones y velocidades desarrollados en los distintos tramos de las conducciones conjuntamente con la exigencia indicada en el pliego de especificaciones técnicas respecto de la presión de prueba de la tubería.

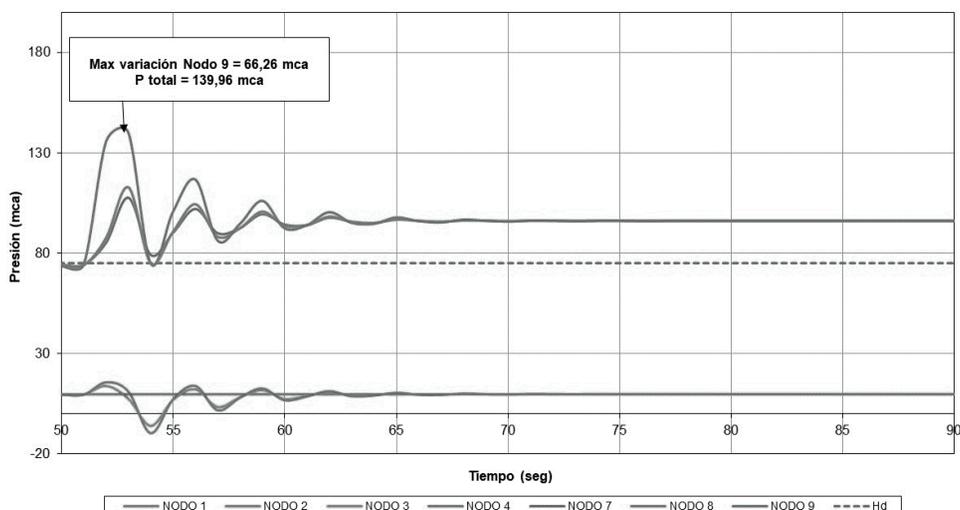


Figura 5. Diagrama de Presiones. Cierre de válvula V4, $T_c=2$ s - $Q=833$ l/s.

Luego de comparar todos los valores y teniendo en cuenta que para las velocidades desarrolladas dentro de las conducciones, el término de la ecuación del cálculo del esfuerzo debido a la velocidad resulta muy inferior respecto del término de las presiones, por tal motivo la condición más desfavorable para el cálculo de los esfuerzos en los cambios de alineaciones, cambios de diámetros y extremos de las conducciones resultó la presión estática de 10 kg/cm^2 que se encuentra especificado en el pliego de especificaciones técnicas.

Las ecuaciones utilizadas para la determinación de los esfuerzos según las dos direcciones resultaron.

$$F_x = (P * A + \rho * Q * V) * (1 - \cos \varphi)$$

$$F_y = (P * A + \rho * Q * V) * (\sin \varphi)$$

Donde: F_x = Fuerza de equilibrio en la dirección X (N), F_y = Fuerza de equilibrio en la dirección Y (N), P = Presión interna (Pa), A = Área de la sección del conducto (m^2), φ = Ángulo de cambio de alineación de la cañería, ρ = Densidad del fluido, Q = Caudal en el interior de la cañería (m^3/s), V = Velocidad en el interior de la cañería (m/s).

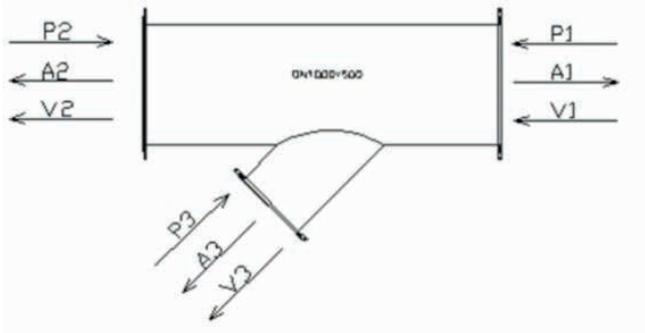


Figura 6.- Diagrama vectorial de cuerpo libre de accesorio tipo.

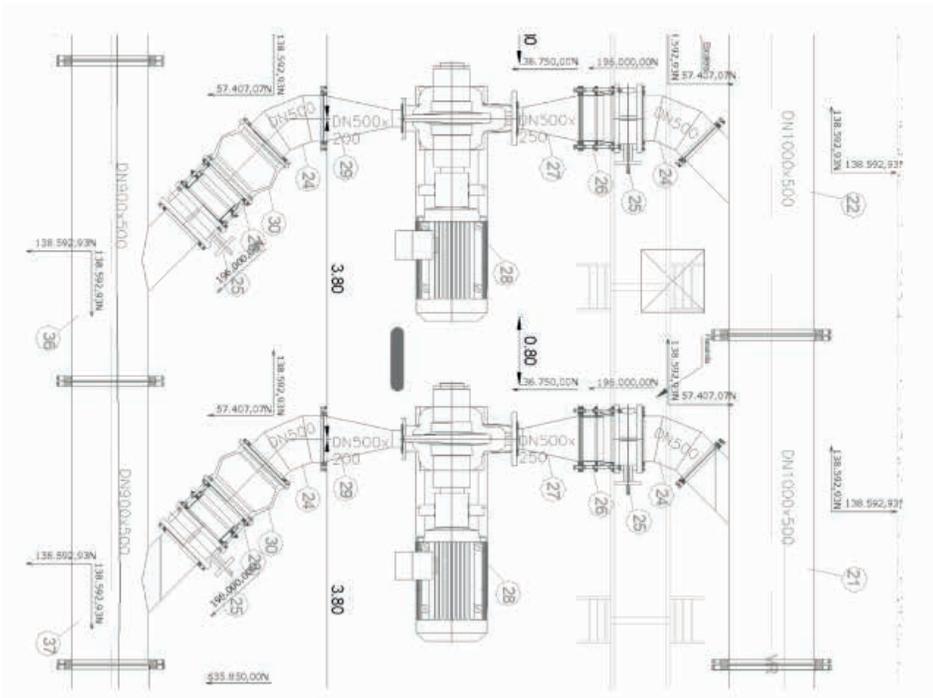


Figura 7.- Diagrama vectorial de esfuerzos en accesorios.

Con la determinación de los esfuerzos en cada accesorio de la estación elevadora se confeccionó un plano vectorial indicando el sentido e intensidad de las componentes de los esfuerzos y la resultante de los mismos. Dicho plano sirvió de base para el cálculo estructural de los anclajes de los accesorios, pudiéndose indicar en líneas generales que los esfuerzos fueron tomados a través de pilotes a flexión realizando la transferencia del esfuerzo de la tubería a la fundación mediante un cabezal superior de hormigón armado y las bridas de acero correspondiente para fijar los accesorios.

En la figura 7 se presentan un sector del plano vectorial de los esfuerzos determinados:

TRAZADO DEL PERFIL HIDRÁULICO

Con el caudal de diseño correspondiente a la etapa N°3 se determinaron las pérdidas de carga en los distintos tramos de tuberías y accesorios (válvulas, curvas, ramales, etc.). Para el cálculo de la pérdida de carga en los tramos rectos, se utilizó la expresión de Darcy Weisbach.

$$hf = \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2 * g} * f$$

Donde: hf= Pérdida de carga (m), L= Longitud de la tubería (m), D = Diámetro de la tubería (m), V = Velocidad del fluido dentro de la tubería (m/s) y, f = Factor de fricción

Para el caso de las pérdidas de accesorios se utilizó la siguiente expresión:

$$J = \xi * \frac{V^2}{2 * g}$$

Donde: V = Velocidad del fluido dentro de la tubería (m/s) y, ξ = Coeficiente de pérdida de acuerdo con el accesorio

Con los valores de las pérdidas obtenidas con las expresiones anteriores y a partir de la altura manométrica de ingreso a la estación se trazó el perfil hidráulico de la misma tal como se puede advertir en la siguiente imagen.

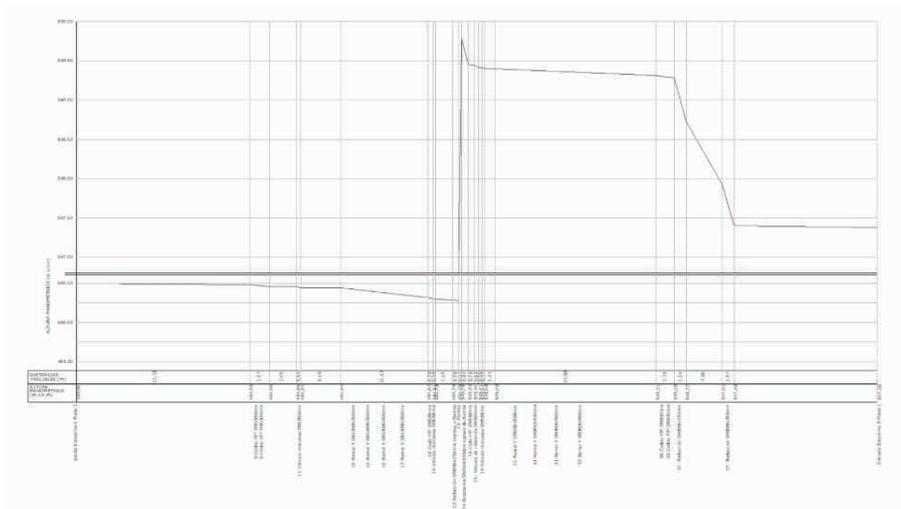


Figura 8.- Diagrama del perfil hidráulico a través de la estación elevadora.

VÁLVULA DE ALIVIO RÁPIDO (VAR)

Con el objeto de mantener las presiones dentro de niveles normales ante los distintos escenarios de funcionamiento, se colocó una VAR, la cual se setea para una sobre presión del 10% respecto de la presión en régimen permanente. Para el diseño y selección de esta válvula se realizaron las siguientes consideraciones para la etapa del montaje que garantizarán un correcto funcionamiento.

La válvula se coloca en derivación en TE, aguas abajo de la válvula de retención, disponiéndose aguas arriba de la misma de una válvula de aislamiento tipo mariposa.

Aguas arriba de la mencionada válvula de aislamiento y sobre la tubería y sobre el manifold principal de impulsión se coloca una cupla metálica de $\frac{1}{2}$ " sobre la cual se montará el manómetro para la lectura de la presión.

Para garantizar la correcta evacuación del agua a derivar, el tubo de descarga de la VAR se dimensionó el conducto de descarga garantizando que la velocidad en el interior no supere el valor de 4 m/seg durante la operación del equipo.

CAUDALÍMETRO ELECTROMAGNÉTICO

Con el objeto de disponer de un aforo preciso a la salida de la estación elevadora se instaló un caudalímetro electromagnético. Respecto del diseño de esta unidad y atento al escalonamiento que experimentará la estación elevadora a lo largo de su vida útil, se seleccionaron dos caudalímetros colocándose para la primera y segunda etapa un caudalímetro de 450 mm mientras que para la tercera etapa el caudalímetro será reemplazado por uno de 600 mm. Con este cambio de configuración se trató de disponer en todo momento de una lectura precisa para el caudal que se esté impulsando ya que en

este tipo de instrumental la precisión se encuentra directamente vinculada a la velocidad dentro del equipo.

VÁLVULA DE AIRE (VA)

Otro de los elementos de operación que se dispone en la EB resultan las VA, las cuales se colocarán en derivación tanto en su tramo de aspiración como de impulsión, resultando dichas unidades de triple efecto (aire, vacío y purga), las cuales se le ha adicionado el dispositivo arrestador de golpe de ariete que permite mitigar el fenómeno de golpe de ariete durante el régimen impermanente.

Para dimensionar estos dispositivos se tuvo en cuenta los cambios de presión y temperatura del fluido en la conducción, ya que son los que ocasionan la liberación del aire, con este valor se ingresó a la curva de descarga de aire de las válvulas y se seleccionó la que dispone del caudal acorde al requerimiento calculado. Por otra parte, se verificó también la condición de ingreso de aire a la tubería para este caso particular, ingresando en el gráfico correspondiente.

CONCLUSIONES

El marcado desarrollo de los barrios del sector sur de la ciudad de Córdoba generó la necesidad de nuevas obras de infraestructura para brindar un servicio de calidad a los nuevos habitantes. Dentro de la infraestructura mencionada se encuentra el servicio de agua potable que actualmente se encuentra concesionado pro la empresa aguas Cordobesas S.A. y quien, dentro de su planificación, ha incluido la construcción de una EB que brinde una caudal y presión adecuada para las nuevas urbanizaciones de la zona.

La estación planteada para solucionar el problema del crecimiento de la Ciudad, dispondrá de una serie de ampliaciones a lo largo del tiempo permitiendo adaptarse en etapas a este crecimiento y realizar las inversiones a medida que sean requeridas. El esquema final de bombeo planteado será de (4+1) con una potencia instalada de aproximadamente 635 kW.

La EB tomará agua proveniente de un acueducto de 1000 mm que se desarrolla por calle Impira hasta la margen del arroyo La Cañada, incrementando la presión hasta 65 m.c.a. y lo impulsará por un nuevo acueducto a construir sobre el sector oeste de calle Impira que será el encargado de abastecer a las nuevas urbanizaciones. El cálculo de la sobrepresión en la línea de conducción permitió definir la clase de los nuevos tramos de conducción y verificar la sobre resistencia de los conductos proyectados para las condiciones de operación. Con los valores obtenidos de la modelación del transitorio se observó que para los conductos de impulsión de clase 10 se estaría al límite de la clase del conducto incluyendo la sobre resistencia del 40%. Para alejarse del límite de resistencia,

se coloca una válvula anticipadora de onda (VAO) y se adopta un conducto de impulsión de clase 16 para el primer tramo de impulsión. Con los resultados de los cálculos en régimen permanente y transitorios se seleccionaron los elementos de operación del sistema necesarios para su correcta operación.

REFERENCIAS

Aguas Cordobesas. **Master Plan Manantiales II**, 2017.

Knapp, R. T. **Complete Characteristics of Centrifugal Pumps and Their Use in the Prediction of Transient Behavior**. Transactions of the A.S.M.E. pp. 683-689, 1937.

<https://www.multimediodider.com.ar/>

INDEC (2022). **Estadística y censos**. <https://www.indec.gob.ar/>

US Army Corps of Engineers. **Water Hammer and Mass Oscillation (WHAMO) 3.0 User's Manual**, 1998.