

TELEMEDICIÓN Y CONTROL REMOTO DE UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN Y TRANSPORTE DE AGUA

Fernando Pillon, proyectos@face.coop, laboratorio@udemmm.edu.ar,
fernando.pillon@gmail.com, Coordinador Oficina de Proyectos FACE y Jefe
Laboratorio Mecánica UdeMM; Mariano Iglesias, Gte. de Mto., COSERIA y Prof.
Adjunto Arquitectura de Control UNLPam, iglesiasmariano@yahoo.com.ar.

Resumen:

El sistema de abastecimiento de agua corriente en una población del centro de la República Argentina puede estar constituido por pozos de bombeo, acueductos de transporte, sistemas de almacenamiento en cisternas, tanques, lagunas u otros, tratamiento y redes de distribución a los usuarios. El sistema completo incluye todos los equipos, materiales, servicios auxiliares e instrumentación necesaria para poder prestar el servicio de provisión de agua corriente. Teniendo en cuenta una operatoria de jornada completa, criticidad del servicio público y distancias que encarecen costos de operación y tiempos de respuestas contar con una herramienta que brinde información para predecir eventos constituye una clave en la administración de recursos del prestador. En el presente trabajo, tomando como ejemplo una población del norte de la provincia de La Pampa, mostraremos las ventajas de contar con un modelo hidráulico junto con el balance de materia y energía para analizar los escenarios de la demandas, proponer una arquitectura de control para ejecutar las estrategias y analizar los beneficios a obtener.

Palabras clave: Sistema de control, acueducto, mantenimiento, prevención de fallas, demanda de agua, almacenamiento de agua, efecto capacitivo de cisterna.

Introducción

Un acuífero de reposición natural repone su reserva de agua mediante lluvia. Como suele suceder en los pozos de agua y de extracción de otros fluidos presentan niveles de líquido en el reservorio considerados ideales para la explotación. De esta manera, son evitados efectos indeseados en la calidad química del agua como la inclusión de arcilla, concentración de sales o presencia de sólidos. Los niveles ideales, permiten también que las bombas sumergidas trabajen lo más cercano posible al punto de mayor rendimiento. El agua en el acuífero de baja profundidad como el de nuestro estudio cuenta con tres grandes demandas. La primera considerada es el bombeo para satisfacer los requerimientos de la población, la segunda la agricultura o la vegetación del terreno y la tercera la evaporación y las fugas por el terreno.

Poder abastecer a una población de agua implica cumplir con los requisitos del Código Alimentario [1] o al menos con lo pautado en cuanto a composición química y calidad microbiológica propuesta a los usuarios. Además implica también satisfacer la demanda de caudal a la presión mínima acordada en el punto de entrega.

Para extraer el agua del pozo, el sistema bajo estudio emplea bombas sumergibles. Esto implica que para reparar una falla en la bomba debe ser retirada la misma del pozo, dejándolo fuera de producción por un intervalo de tiempo. Si bien puede contarse con un equipo similar en reserva, el evento es indeseado al igual que los costos que ello acarrea.

En la operación de bombeo de pozos debería considerarse con especial énfasis el tiempo de reposición o comúnmente denominado tiempo de descanso del pozo para que este mantenga las condiciones originales con las que fue excavado. Las bombas de inyección al acueducto de transporte requieren de un ajuste tal que no haya efectos hidráulicos indeseados como que una actúe de limitante de otra o como freno hidráulico.

El acueducto como sistema de cañerías tiene sus propios límites de operación. Por ejemplo, el rango de velocidades, debe estar acotado para evitar erosiones o pulsaciones, máxima presión de operación admisible y un método de puesta en marcha y parada.

El sistema de almacenamiento busca filtrar los picos de consumo dados por la demanda. El tanque o cisterna de almacenamiento actúan con efecto capacitivo tales que permiten utilizar las bombas de producción o de inyección a la red en un entorno acotado. Al acotar los parámetros hidráulicos de operación de la bomba quedan también fijados los eléctricos del motor. Esto permite mantener los parámetros de consumo eléctrico acotados en un rango evitando fallas comunes de sobrecalentamiento. Es importante tener en cuenta la interacción de la parte hidráulica con la eléctrica porque todo las ventajas de operación acotada en parámetros presenta un beneficios en la otra. Operar una bomba fuera del punto hidráulico de diseño traerá problemas mecánicos, pero seguramente antes habrá una falla en la parte eléctrica del motor.

Al igual que la calidad del pozo, el sistema de almacenamiento se controla con niveles.

El armado del modelo hidráulico permite conocer los parámetros que deben cumplir bombas, válvulas y alturas de columna de líquidos para satisfacer al balance de materia y energía que representan los ingresos de agua y la demanda por parte de los usuarios. De aquí serán obtenidos los valores a cumplir por los equipos. Estos serán los valores deseados o set points (SP) del sistema de control. La telemedición permitirá el posterior seguimiento de las variables en tiempo real del sistema y con la operación remota hacer los ajustes necesarios para que el sistema presente las variables en valores lo más acorde al momento particular.

El análisis de las variables en el tiempo mediante cartas de control debería permitir la obtención de conclusiones. Una herramienta inmediata de aplicación es el control estadístico de procesos.

El agua antes de ser inyectada a la distribución requiere cloración y análisis fisicoquímicos y microbiológicos frecuentes adicionales a los que realiza el ente de control. En otras locaciones, el agua puede requerir de filtrado.

Objetivos

- Modelar hidráulicamente un sistema de producción mediante extracción de agua de pozo y su transporte hasta el punto de almacenamiento.
- Proponer una estrategia de control y operación basada en una arquitectura de telemedición y telecontrol.
- Analizar y proponer beneficios con la implantación de dicho sistema.

Alcance

Los límites del presente estudio parten de los diecisiete pozos de producción de agua, el acueducto de transporte, las cisternas, bombas de elevación y tanques de almacenamiento, desde donde es abastecida la red. La demanda de agua es considerada como un único caudal a satisfacer. Quedan excluidos del estudio del comportamiento

de la red de distribución, efectos físicos de la estructura del pozo, estudios dinámicos del sistema.

La figura 1 representa el esquema del sistema bajo estudio.

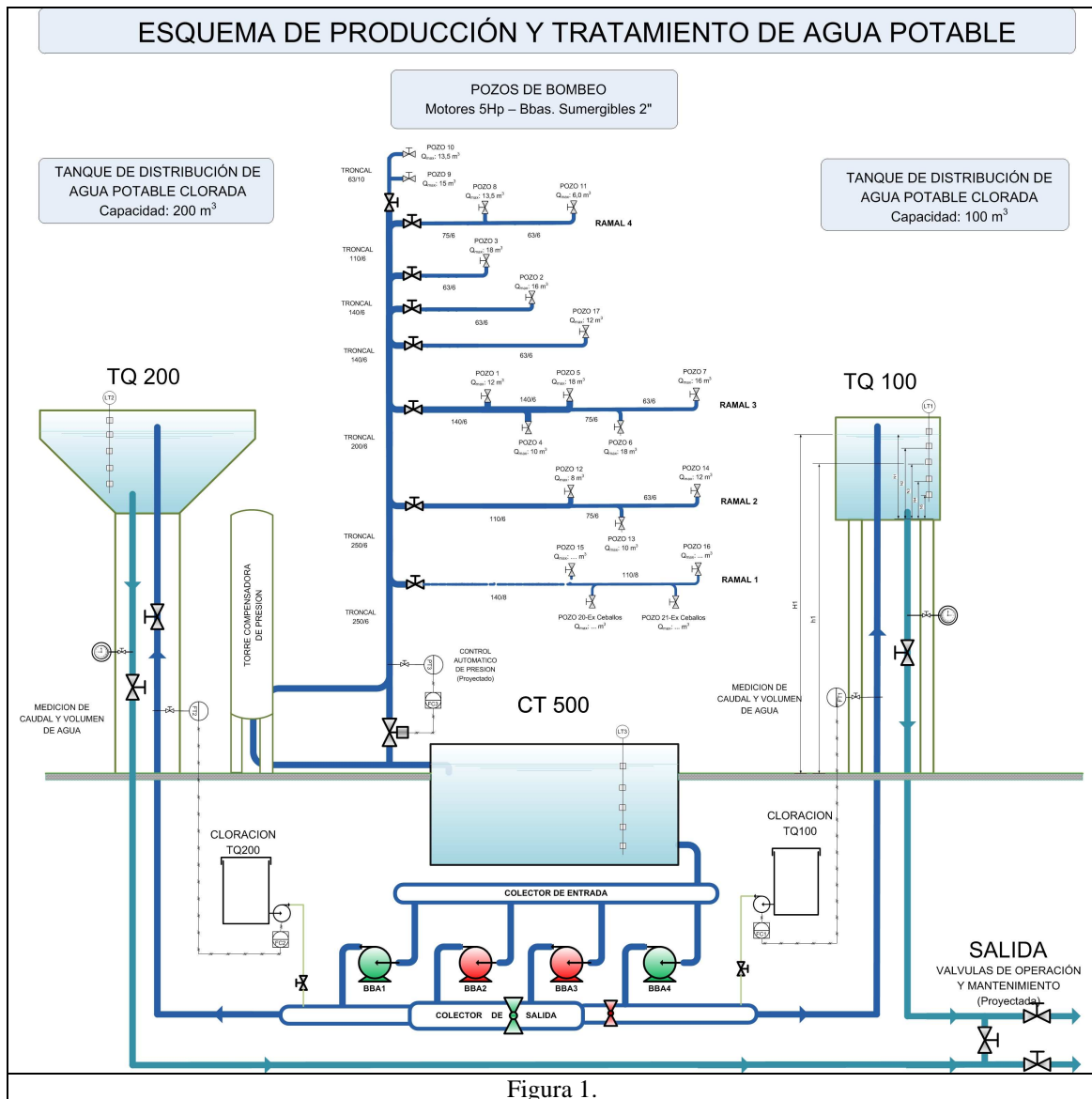


Figura 1.

Materiales y métodos

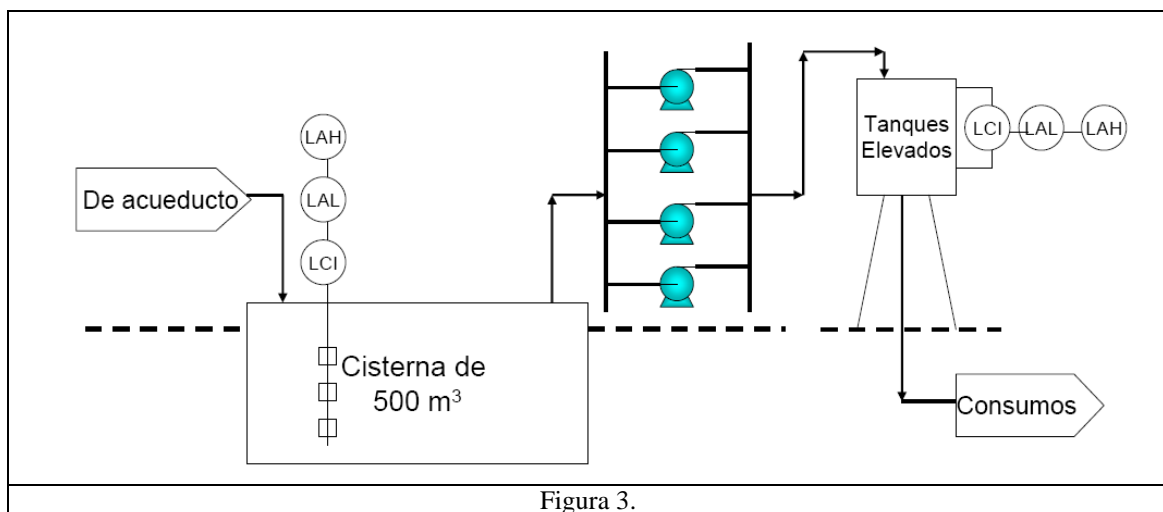
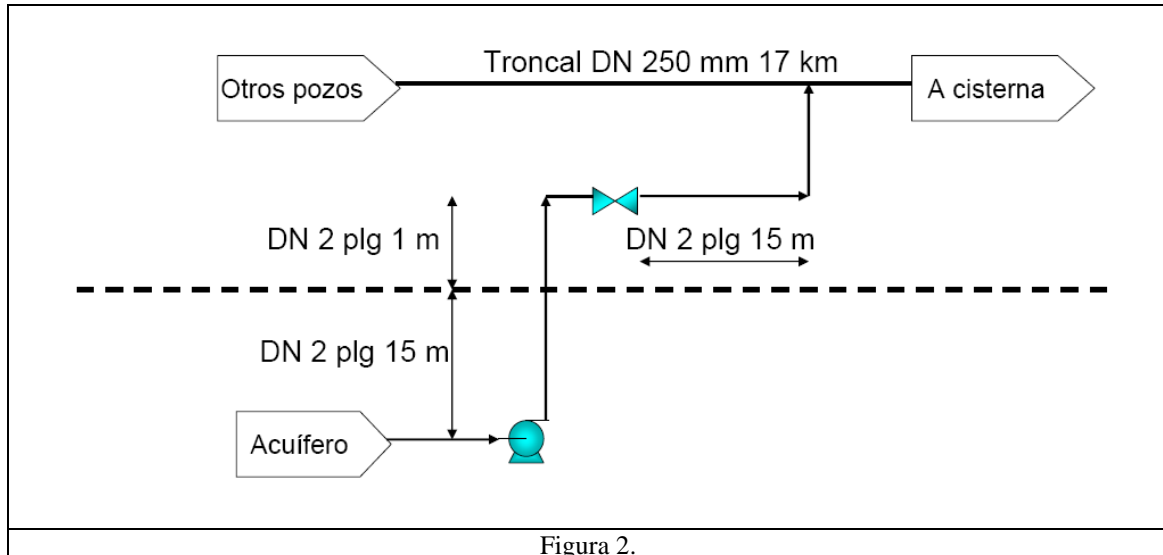
La ecuación de Bernoulli y las relaciones del factor de fricción con el número de Reynolds permiten resolver las condiciones hidráulicas del sistema. [2] [3].

Los principios de la termodinámica permiten cerrar el balance de materia y energía. [4].

Arquitectura de control desde elementos sensores primarios a equipos electrónicos para la ejecución de las estrategias de control [5] [7] [8] [9].

Modelo propuesto

El esquema de modelo hidráulico es presentado en las figura 2 y la figura 3. En la primera son mostradas las partes elementales para la simulación de las bombas de pozo y en la siguiente la parte correspondientes al almacenamiento.

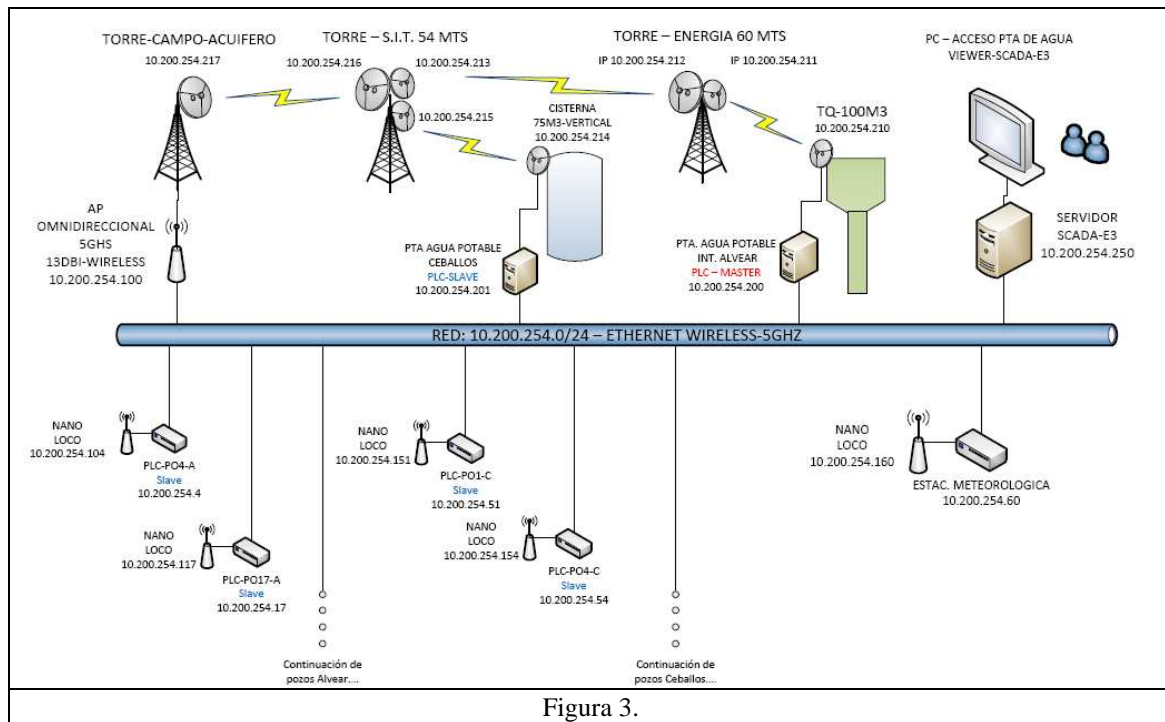


Hipótesis asumidas:

- Simulación hidráulica en estado estacionario y sensibilidad con variación de estados estacionarios sucesivos.
- Los diecisiete pozos cuentan con bombas Rotorpump ST4-6014.
- Las bombas de tanques y cisternas tiene configuración una en operación y otra en reserva, IRUMA Modelo 360 de 13 HP.
- Todas las cañerías son PVC-SR17.
- El acueducto es considerado un tramo de cañería recta al cual le son adicionados accesorios como codos. Las válvulas de bloqueo están en posición abierta y sin aporte de una mayor fricción.
- Máximo caudal de consumo diario 2.500 m³/d y mínimo de 900 m³/d.

- No son tenidas en cuenta pérdidas por evaporación en almacenamiento.

La arquitectura de control es mostrada en la figura 3.



Hipótesis asumidas:

- Todos los instrumentos y equipos presentados son asumidos como ideales.
- Quedan contemplados para una etapa de ingeniería de detalle o constructiva la eliminación de interferencias para tendido de cables o transmisión de las señales.
- Inexistencia de problemas para la alimentación de energía de equipos.
- La banda libre de 5,8 GHz permite realizar la transmisión de datos requerida.

Caso de estudio: Respuesta de cisterna de almacenamiento.

El sistema bajo estudio en este caso de estudio puede resumirse en la figura 4.

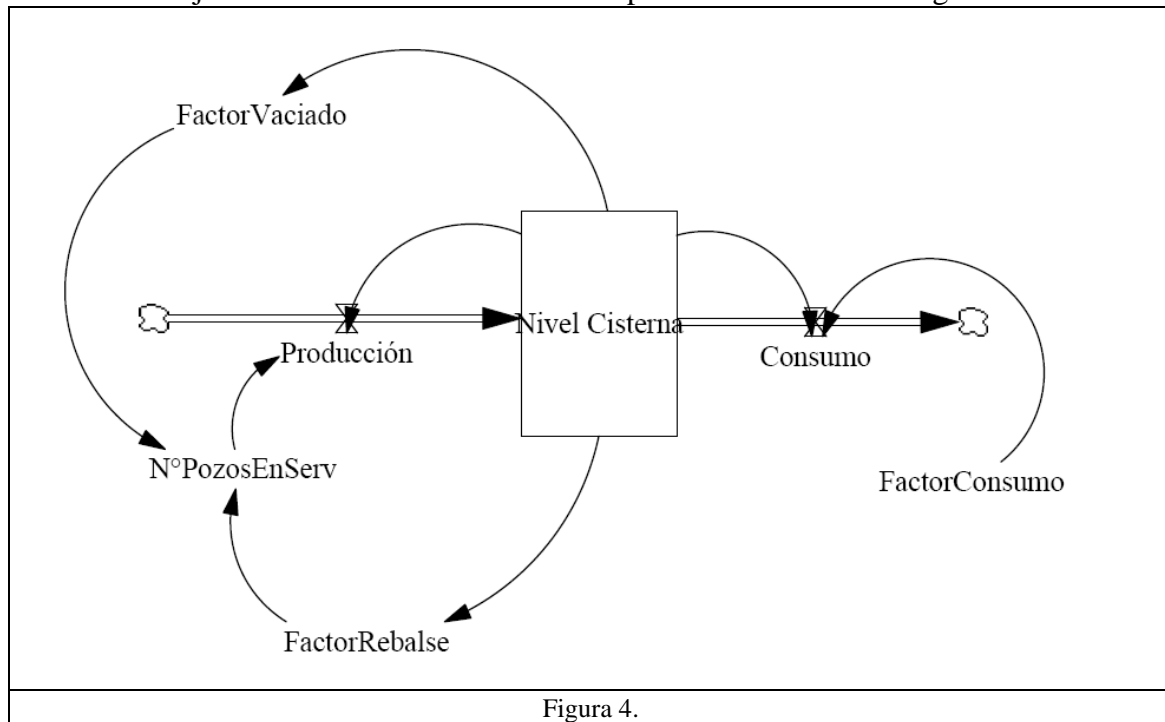


Figura 4.

La capacidad total de almacenamiento de agua para la distribución es de 800m³, constituidos por una cisterna subterránea de 500m³ y dos tanques elevados de 200 y 100 m³ cada uno. A los efectos de la simulación se considera el volumen total.

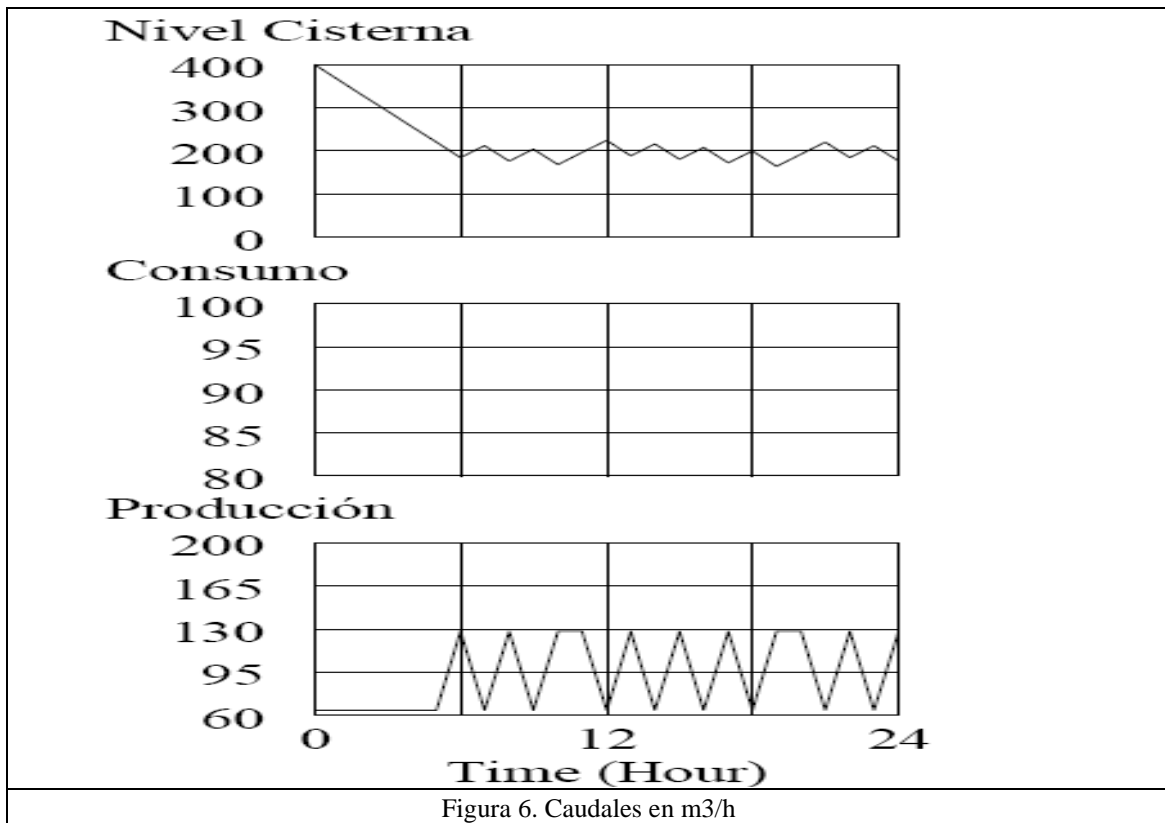
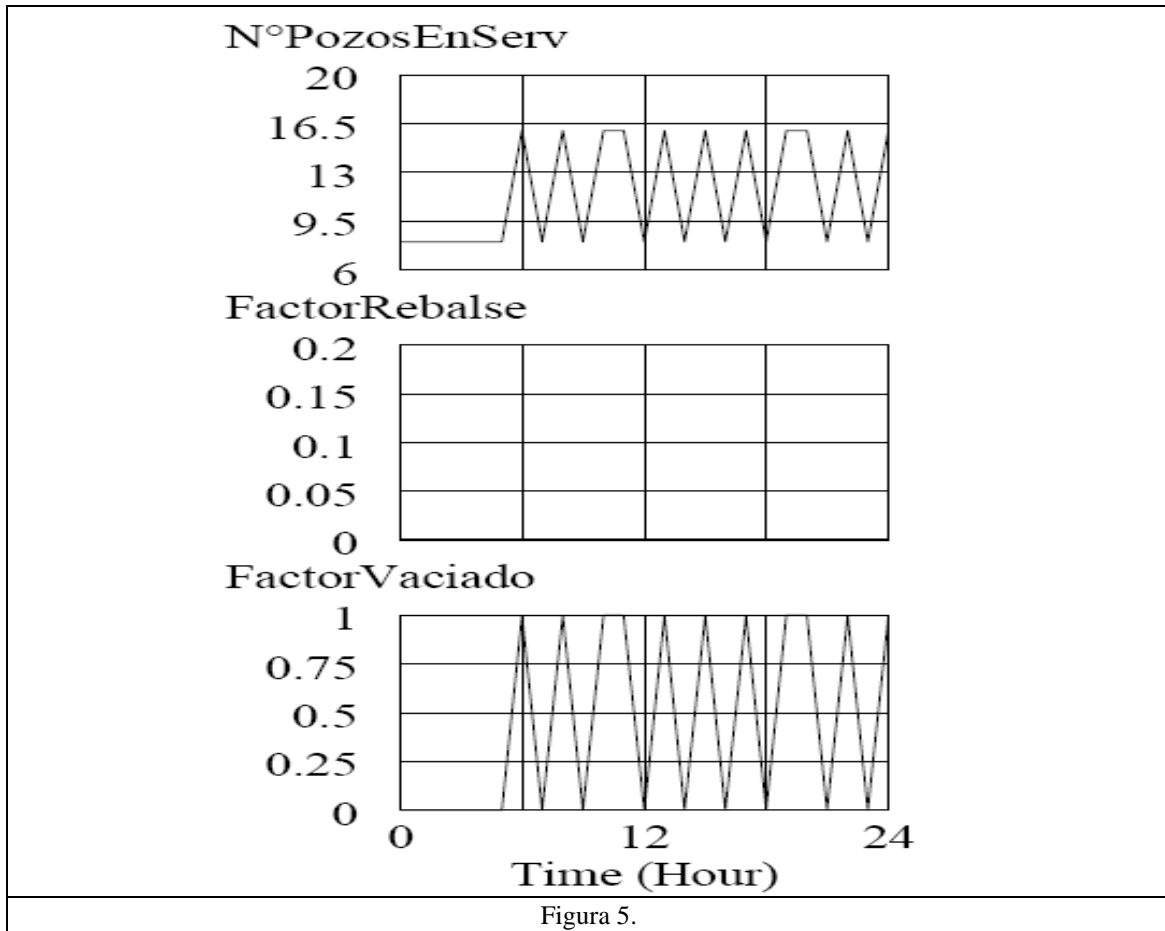
Para resolver el estado transiente de las diferentes situaciones dadas por el consumo, se recurrió a la dinámica de sistemas y el software VENSIM [10].

El esquema de la figura 4 muestra la corriente de Producción constituida por el aporte del agua de los pozos, el Nivel Cisterna (valor inicial de 400 m³) da en cada instante el estado del sistema de acumulación y los consumos representantes de la demanda de agua por parte de los usuarios. Mediante una lógica de condicionales simples, la variable FactorRebalse interroga al Nivel Cisterna si está por encima de los 750m³. En caso afirmativo reduce el NºPozosEnServ (número de pozos en servicio) a 2. Un trabajo similar realiza FactorVaciado con un límite inferior a 200m³, poniendo en marcha 16 pozos.

Para este caso es asumido un consumo de 2400m³/d distribuidos homogéneamente en las 24 horas del día y que cada pozo entra en servicio con 8m³/día.

Resultados:

Los gráficos de las figuras 5 a 6 permiten observar la evolución del sistema con la lógica propuesta y el desempeño del modelo.



Análisis de los resultados

El gráfico de la figura 5 permite observar las oscilaciones para el número de pozos en servicio y que el sistema nunca llega a una situación de rebalse. Esto está acorde con estar muy cerca en el máximo de consumo de 2500m³/d.

La figura 6 permite ver claramente las oscilaciones del volumen de agua acumulado. Al permanecer constante el consumo las oscilaciones vienen dadas por la forma de cómo ajustar el número de pozos en servicio o trabajar sobre las bombas variando alguno de sus parámetros eléctricos como por ejemplo la frecuencia. Cabe resaltar que los parámetros eléctricos de las bombas de pozo deben satisfacer a la demanda. Queda entonces resuelta la forma de calcular los valores de punto deseado (Sep Point) para un futuro sistema de control junto con sus valores de alarma.

A un máximo consumo de 100m³/h con una reserva de máxima en 800m³ el tiempo para reponer el sistema, ante una falla imprevista o una tarea de mantenimiento programada es inferior a las 6h. Esto es debido a que la alarma por bajo nivel es de 200m³. Queda entonces planteado el interrogante por la necesidad de una mayor capacidad de almacenamiento para atender un pico de consumo o poder hacer los mantenimientos programados sin afectar servicios esenciales como por ejemplo un hospital.

Conclusiones

El planteo de un problema de transporte de agua, sentó las bases para elaborar los modelos con los cuales el sistema se puede controlar y a futuro operar. También presenta las bases de ampliación del sistema actual como su optimización.

Un análisis del balance de materia teniendo en cuenta valores mínimos permitió concluir, bajo una condición de operación dada, calcular el tiempo máximo para poder acometer una tarea de mantenimiento programado o ante imprevisto el máximo tiempo de prestación de servicio. Ello dispara el interrogante de incrementar la capacidad de almacenamiento o no.

La base mostrada en el presente trabajo permite encarar futuros análisis tales como operar las bombas con variadores de frecuencia para los motores de las bombas o la colocación de una válvula aguas abajo del tanque elevado. Cerrando el lazo con las bombas de elevación permitiría mantener la presión constante en la red para evitar largos periodos de falta de suministro de agua.

Referencias

1. Código alimentario nacional.
2. AFT Fathom Details, disponible en <http://www.aft.com/products/fathom/details>.
3. Fluid of Fluids Through valves, Fittings and Pipe, CRANE, Technical Paper N0. 410M, Seventh Printing – March 1998.
4. Introducción a la termodinámica en ingeniería química, J. M. Smith, H. C. Van Ness, McGraw-Hill, Inc., ISBN 968-422-287-4.
5. Perry's Chemical Engineer's Handbook, Seventh Edition, Copyright © 1997. Exclusive rights by The McGraw-Hill Companies, Inc., ISBN 0-07-115448-5.

6. HYDROCARBONS CONDENSATION IN GAS PIPELINES, A modeling approach, Pillon-Cocco-Romano-Riverós, PSIG Annual Meeting 2007, 07B1.
7. Medición de Caudal, Endress+Hauser, primera edición española, ISBN 3-9520220-5-5.
8. Teoría y práctica de medición de niveles, Wim van Kamp, Endress+Hauser, decimonovena edición 2005.
9. Ingeniería de control moderna, K. Ogata, Prentice Hall, ISBN 970-17-0048-1.
10. VENSIM PLE PLUS, User's guide version 4, 1988-1999 Ventana Systems Inc.



www.dinamica-de-sistemas.com

Libros

Cursos Online



[Ejercicios](#)



[Curso Básico Intensivo en Dinámica de Sistemas](#)



[Avanzado](#)



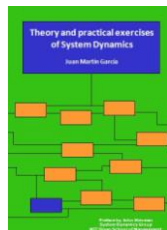
[Curso Superior en creación de modelos de simulación](#)



[Conceptos](#)



[Modelos de simulación en ecología y medioambiente](#)



[English](#)



[Planificación de empresas con modelos de simulación](#)



[Português](#)



[System Thinking aplicado al Project Management](#)