

Sectorización de una red de agua potable utilizando el método de elemento finito Sectorization of a drinking water network using the finite element method

I. H. Ocadiz-Parra ^a, J. E. Cerón-Carballo ^{b,*}, L. G. Lizárraga-Mendiola ^b, H. I. Navarro-Gómez ^b,
I. E. Castañeda-Robles ^b, M. Guerrero-Rodríguez ^b

^a Alumno de Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 42184, Pachuca, Hidalgo, México.
^b Área Académica de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 42184, Pachuca, Hidalgo, México.

Resumen

El sistema de abastecimiento de agua potable consiste en una serie de tuberías necesarias para proporcionar un sistema eficiente, a través de la cual se deben suministrar en forma óptima y segura la dotación de acuerdo a la densidad de población proyectada. La zona de estudio se ubica en la localidad de Francisco Villa en el municipio de Santiago Tulantepec, Hidalgo. En este documento se presenta el procedimiento para el diseño de un sistema de almacenamiento local de tipo perenne, por medio del método de elementos finitos. La base de este análisis es el nivel piezométrico de la red existente, por medio de la dotación y el volumen de almacenamiento de un tanque elevado. Así mismo, con los resultados obtenidos se garantiza el gasto al 100%. Este análisis permite confirmar que el sistema de almacenamiento actual de tipo intermitente es ineficiente, mientras que el sistema propuesto de tipo perenne garantiza la continuidad en el servicio de abastecimiento.

Palabras Clave: Uso Consuntivo, Red Hidráulica, Método analítico, Tanque elevado, Nivel piezométrico.

Abstract

The drinking water supply system consists of a series of pipes necessary to provide an efficient system, through which the endowment must be optimally and safely supplied according to the projected population density. The study area is located in the town of Francisco Villa in the municipality of Santiago Tulantepec, Hidalgo. This document presents the procedure for the design of a perennial local storage system, through the finite element method. The basis of this analysis is the piezometric level of the existing network, through the provision and storage volume of an elevated tank. Likewise, with the results obtained, the cost is 100% guaranteed. This analysis allows us to confirm that the current intermittent storage system is inefficient, while the proposed perennial system guarantees continuity in the supply service.

Keywords: Consumptive Use, Hydraulic Network, Analytical Method, Elevated Tank, Piezometric Level.

1. Introducción

Un sistema de almacenamiento de agua potable en México está constituido en su gran mayoría por tanques de gran capacidad (Moliá, 1987), ubicados en las partes de mayor elevación de un territorio determinado.

Las redes de conducción para verter el agua potable [AP] de los sistemas de almacenamiento se fabrican de dos formas; la primera es por bombeo y la segunda es por gravedad (Normas, 2015). Esta segunda forma, utiliza la elevación a la cual están ubicados los depósitos de almacenamiento para distribuir el agua por medio de una red hídrica (Estrada, 2014).

El líquido circula por la red hídrica prevista desde el tanque regulador general con capacidad suficiente para dar servicio a los depósitos individuales, la fuerza de llegada a dichos depósitos y la presión interna en la red debe ser regulada de acuerdo con la cantidad, intensidad y volumen del líquido utilizando un análisis de consumo (Huaquisto, 2019).

Además, es importante conocer el caudal o volumen de agua que pasa por la sección transversal de un conducto, este se puede medir en el dominio temporal, cuantificado por unidad volumétrica, en metros cúbicos por segundo (Cedillo, 2019).

La dotación es la cantidad de agua asignada a cada habitante, considerando todos los consumos de los servicios y las pérdidas físicas que existen en cualquier sistema de

*Autor para la correspondencia: jesus_ceronc@uaeh.edu.mx

Correo electrónico: oc338795@uaeh.edu.mx, ([Irving Hilario Ocadiz-Parra](mailto:Irving_Hilario_Ocadiz-Parra@uaeh.edu.mx)), jesus_ceronc@uaeh.edu.mx, ([Jesús Emmanuel Cerón-Carballo](mailto:Jesus_Emanuel_Ceron-Carballo@uaeh.edu.mx)), mendiola@uaeh.edu.mx, ([Liliana Guadalupe Lizárraga-Mendiola](mailto:Liliana_Guadalupe_Lizarraga-Mendiola@uaeh.edu.mx)), humberto_navarro@uaeh.edu.mx, ([Humberto Iván Navarro-Gómez](mailto:Humberto_Ivan_Navarro-Gomez@uaeh.edu.mx)), ivan_castaneda@uaeh.edu.mx, ([Iván Erick Castañeda-Robles](mailto:Ivan_Erick_Castaneda-Robles@uaeh.edu.mx)), mgr@uaeh.edu.mx, ([Mauricio Guerrero-Rodríguez](mailto:Mauricio_Guerrero-Rodriguez@uaeh.edu.mx))

distribución, su unidad es en litro – habitante – día, en este trabajo se realiza el análisis de la dotación de agua potable [ADAP] simultáneamente en dos sistemas, el primero; de una red general existente y el segundo; la propuesta de separación de una red local considerando la población de un sector de la zona de estudio (CONAGUA, 2020).

El caudal o gasto genera presión en las paredes de los ductos, el nivel de aguas máximas ordinarias [NAMO], es el máximo nivel con que se puede operar un depósito para satisfacer las demandas. En el caso de que el nivel disminuya puede llegar a tener el nivel mínimo de operación [NAMINO], la diferencia entre ambos niveles es el volumen útil, sin embargo, cuando se sobrepasa el NAMO, puede llegar a alcanzar un nivel de aguas máxima extraordinaria [NAME], por consiguiente, el gasto supera las condiciones de servicio y la presión en los ductos puede dañar su integridad física, lo anterior esta normado en (CONAGUA, 2020).

El nivel freático es la altura física que tiene una columna de agua, y nivel piezométrico es la altura o nivel que tendría el agua si se dejara subir o bajar, por lo tanto, a dicho nivel se le llama elevación y es la cota o altura que indica el valor numérico del agua en un punto con respecto al nivel del mar, o algún otro nivel de referencia, este valor se expresa en metros sobre el nivel del mar (msnm) (SIAPA, 2014).

Regularmente la problemática en las poblaciones de México en relación a la dotación de agua a las viviendas no radica en los niveles que alcanzan los depósitos de almacenamiento, tampoco en la disposición o capacidad de estos, por lo contrario, depende en gran medida de los gastos de operación de la red de distribución, en la capacidad del caudal en dar servicio a los requerimientos de la población y muchas veces al otorgamiento de servicios combinados dependiendo del uso de suelo de suministro, en estudios recientes se puede conocer datos importantes utilizando sistemas de información geográfica como se realizó en (Martínez, 2002).

Es por ello que la dotación normada de proyecto no aplica en desarrollos habitacionales multifamiliares de dos y tres niveles, como lo es la zona de estudio de esta investigación, de tal forma, que la dotación se adapta a las condiciones cambiantes de la población, como, por ejemplo, se logra inferir que cada lote habitacional considere 4 habitantes, además, que cada habitante consume 100 lt/día, esto puede funcionar si el estudio se centrara en dichas condiciones, sin embargo, en la zona de estudio, existen lotes habitacionales multifamiliares con dotaciones que van desde magnitudes de 100 Lt/Hab/Día, hasta 400 Lt/Hab/Día, datos encontrados del estudio realizado por la SEMARNAT en zonas de México, utilizando la normativa reciente (SEMARNAT, 2009).

La red se inicia con la línea de conducción al conjunto de tuberías, estaciones de bombeo y dispositivos de control, que permiten el transporte del agua desde una fuente de abastecimiento, hasta el sitio donde será regulada y posteriormente distribuida. La conducción por bombeo se requiere cuando la fuente de abastecimiento tiene una altura piezométrica menor a la requerida en el punto de entrega, es decir, se encuentra en un nivel inferior al del tanque de

regulación o la red de distribución, para ello se pueden realizar una evaluación del comportamiento hidráulico, como el que realizó (Pereyra, 2018).

La conducción por gravedad se requiere cuando la fuente de abastecimiento tiene una altura piezométrica mayor a la requerida en el punto de entrega, es decir, se encuentra en un nivel superior al del tanque de regulación o la red de distribución. La conducción mixta es una combinación de conducción por bombeo en una primera parte y una conducción por gravedad en una segunda parte o viceversa de acuerdo a la gestión del agua se puede clasificar en domestica urbana y realizar un estudio como lo hizo (Ojeda, 2014).

El método intermitente, también llamado método de tandeos de distribución de agua potable [AP], se aplica debido a; crecimiento poblacional, pérdidas de presión, incremento de la red o fallas constantes (CMAS, 2019), consiste en interrumpir el suministro de AP durante algunas horas del día, durante días enteros o en casos extremos en semanas completas, por consiguiente, el aplicar este método resulta molesto a los usuarios de una red hidráulica (Doria, 2014).

Los gastos máximo diario y máximo horario, son los requeridos para satisfacer las necesidades de la población en un día de máximo consumo, y a la hora de máximo consumo en un año tipo, respectivamente como lo indica el Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (CONAGUA, 2020). La aportación es el volumen diario de agua entregado por dotación de agua potable de 4.5 habitantes por lote (Jiménez, 2016). El gasto mínimo corresponde a la descarga de un excusado de 6 litros, dando un gasto de 1.0 Lt/seg. Este será el gasto mínimo al inicio de dotación. El gasto máximo instantáneo es el valor máximo de abasto, que se puede presentar en un instante dado. Su valor, es el producto de multiplicar el gasto medio de dotación por un coeficiente de variación (AMH, 2021).

1.1. Tanque elevado

Los tanques elevados son aquellos cuya base está por encima del nivel del suelo, se pueden construir de concreto o de acero estructural y se sustenta a partir de una estructura (Pereyra, 2018). Su capacidad de volumen permite dotar de AP a una población pequeña. La localización central permite que decrezcan las pérdidas por fricción y equilibra presiones, se ubica en un sitio céntrico de la población o área por servir a las presiones uniformes tanto en los periodos de mínima como de máxima demanda, también sirve como sistema regulador de la dotación de proyecto, sistema de almacenamiento y sistema de distribución de AP.

1.2. Método de elemento finito.

El Método de elemento finito [MEF] consiste en determinar las condiciones de frontera de la geometría en el área de estudio (Cerón, 2020), para dar solución y determinar las incógnitas por medio de las funciones de interpolación, además, se utiliza para calcular la capacidad de volumen y la dotación de proyecto del tanque elevado, utilizado como sistema regulador de agua potable.

2. Sistema Hidráulico

2.1. Sistema de distribución actual

La zona de estudio se encuentra en el Valle de Tulancingo, con una altitud de 2174 metros sobre el nivel del mar [msnm]. Se localiza a una distancia de 51 kilómetros de Pachuca de Soto, capital de estado de Hidalgo, el terreno es de tipo lomerío ubicado en la región del Panuco, dentro de la cuenca del río Moctezuma, en la subcuenca del río Metztlán, su clima es semiseco templado con temperatura de 15 grados centígrados y tiene una precipitación pluvial al año de 500 a 850 milímetros.

De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2020 del INEGI; la ciudad tiene una población de 17,449 habitantes. Principalmente se abastecen de agua potable de un tanque regulador mostrado en la **Figura 1**.



Figura 1: Imagen del sistema de almacenamiento de agua potable.
Elaboración propia

Dicho tanque de almacenamiento cuenta con una elevación piezométrica de 2220 metros sobre el nivel del mar, con medidas en la base de la construcción de 14.5 y 15 metros, en la parte inferior de la losa, se encuentran 4 respiraderos por lado para liberar la presión, su volumen es de 652.5 metros cúbicos. tiene un suministro de una red de conducción de AP, que emana de un manantial, como se observa en la **Figura 2**, ubicado a 5 kilómetros de distancia, en la zona de Ventoquipa.

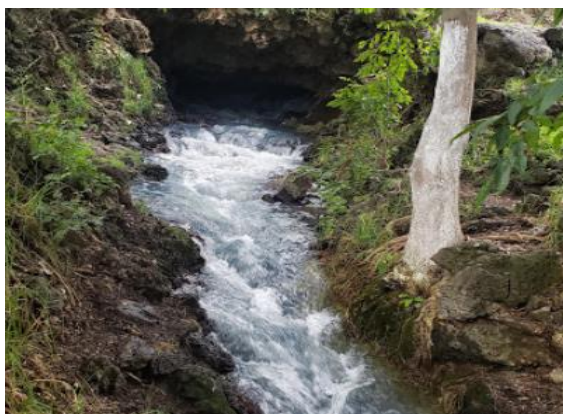


Figura 2: Imagen del sistema de dotación de agua potable.
Elaboración propia

En la comunidad el agua potable [AP] se distribuye con una red general construida a base de dos tramos, el primera se

construyó con tubería de acero galvanizado y 8 pulgadas de diámetro. La segunda con material tipo policloruro de vinilo (PVC) y 8 pulgadas de diámetro, las tomas domiciliarias de 3/4 de pulgada de diámetro con manguera de polietileno de alta densidad (CONAGUA, 2020), como se observa en la **Figura 3**.



Figura 3: Imagen del sistema de distribución de agua potable.
Elaboración propia

2.2. Sistema intermitente

La problemática de la zona de estudio se presenta debido a la aplicación del método intermitente de suministro de AP, como se observa en la **Figura 4**, las líneas muestran los días del calendario que se dota de forma directa [MD] el agua a los habitantes, esto ocurre debido a que, la capacidad de almacenamiento del tanque de concreto es insuficiente, por consiguiente, de igual manera es incapaz de dotar a la red de AP a la población proyecto de la zona de estudio.

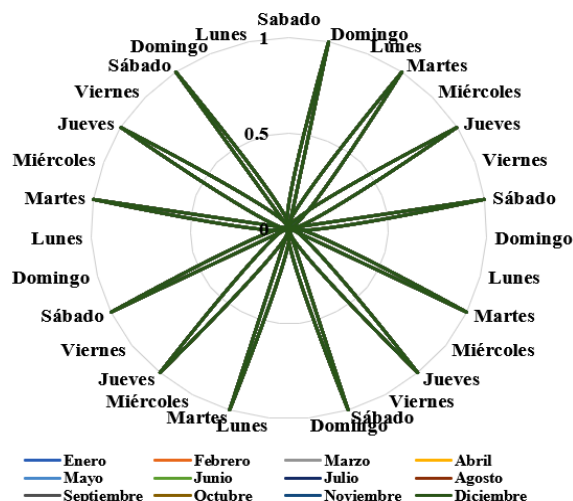


Figura 4: Grafica del sistema de distribución directo [Tandeos].
Elaboración propia

2.3. Sistema de distribución perenne

La propuesta de construir un sistema de distribución de agua potable de tipo perenne, para que dote a la red de estudio todos los días del calendario de forma indirecta [MI], es por medio de la construcción de un tanque elevado. por consiguiente, se propone construir un sistema de almacenamiento local, como se observa en la **Figura 5**, y ubicarlo en Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, específicamente en la colonia Francisco Villa, en la intersección de las calles Fernando Montes de Oca y Juan Escutia, como se observa en la **Figura 6**. (SIAPA, 2014). El objetivo general es utilizar un método analítico para determinar tres incógnitas; la primera es ubicar el nivel piezométrico de descarga [NPD], mostrado en la **Figura 5**, el segundo es determinar el volumen del tanque elevado para evitar el método de tandeos, esto se logra utilizando los datos de la **Figura 4** y el tercero es determinar la dotación de la población proyecto de los 75 predios, realizando un estudio de sitio.

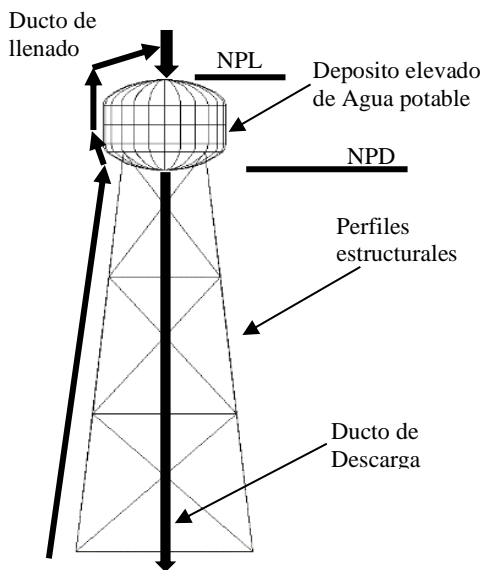


Figura 5: Representación del sistema de almacenamiento local de AP.

La capacidad de dicho tanque servirá para dotar de AP a un sector de la población, la cual es delimitada por una superficie de 6.85 hectáreas, en donde se ubican 75 predios, distribuidos en 10 manzanas con 10 avenidas y 32 tramos de la red local, en la colonia Francisco Villa perteneciente al municipio Santiago Tulantepec, Hidalgo, como se observa en la **Figura 6**.



Figura 6: Imagen de la ubicación del sistema de almacenamiento de agua potable.
Elaboración propia

El objetivo del sistema de almacenamiento de agua en un tanque elevado es mitigar el efecto de abasto intermitente que afecta a la comunidad, este sistema está ubicado en un espacio público usado como parque y ocupa una superficie de 100 metros cuadrados (Ojeda, 2014).

3. Métodos y materiales

3.1. Método de muestreo.

Este proceso se realizó considerando la información que presenta el sistema de distribución general, realizando mediciones diarias durante el periodo comprendido del año 2020 al año 2022, el proceso consistió en utilizar 3 diferentes recipientes graduados de diferentes capacidades. El primero fue un recipiente cilíndrico graduado a 19 litros, el segundo un recipiente graduado de 60 litros y el tercero un recipiente graduado de 250 litros, el muestreo se realizó en diez diferentes descargas domiciliarias ubicadas una en cada manzana dentro de la zona de estudio (IMTA, 1992).

3.2. Esquema matemático

El esquema matemático, considera cuatro variables de las cuales el nivel piezométrico corresponde a la zona de estudio, como se observa en la **Figura 7**; esta variable la determinan una condicionante que es el gasto debido a la dotación requerida general (d_j) y la longitud del tramo de la red de distribución del método perenne (L_i) (CONAGUA, 2020).

El gasto corresponde a la etapa condicionante, creando el vector de condición [$\varphi_{(i,j)}$], y finalmente el volumen de tramo condicionado y la dotación correspondientes a la etapa del sistema de control [S ; $Control(d, v)$], como una alternativa de solución, así como lo realiza (Sepúlveda, 2013), como se observa en la **Figura 7**.

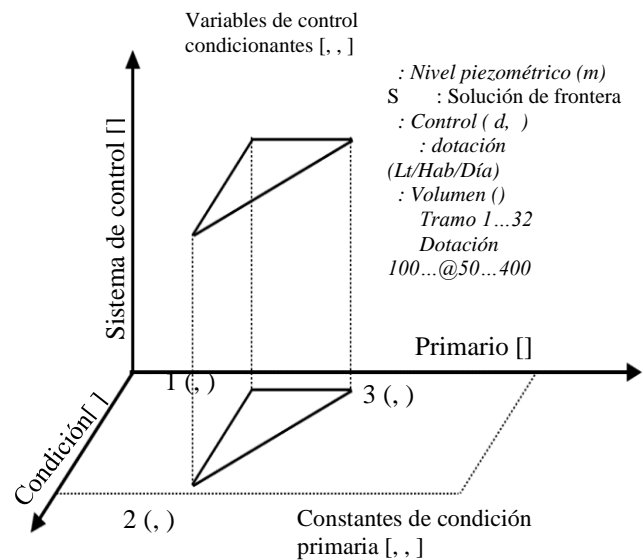


Figura 7: Esquema matemático del Modelo [ADAP].
Elaboración propia

3.3. Gasto para diseño de la Red

Los gastos de diseño que se consideran en los proyectos de agua potable son: el gasto medio, mínimo, máximo instantáneo y máximo extraordinario. Para el cálculo de los gastos de diseño en las redes de agua potable, se puede consultar el libro Datos Básicos del MAPAS (CONAGUA, 2022). Se establece el criterio de valorar el gasto de dotación de AP. Los gastos de diseño que se emplean se determinan con la **Ecución 1**.

$$\begin{aligned}
 Q_{Md} &= C_{Vd} Q_{med} & Q_{Md} &= C_{Vh} Q_{Md} \\
 Q_{med} &= \frac{P D}{86400} & Sa &= \frac{P D}{1000} \\
 \varphi : \text{Gasto unitario} &= \frac{Q_{med}}{\text{Longitud de la red}}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Dónde:

- Q_{Md} : Representa el gasto máximo diario en l/s.
- Q_{Mh} : Representa el gasto máximo horario en l/s.
- C_{Vd} : Representa el coeficiente de variación diaria (1.2).
- C_{Vh} : Representa el coeficiente de variación horaria (1.5).
- Q_{med} : Representa el Gasto medio diario en l/s.
- P : Representa el Número de Habitantes.
- D : Representa la Dotación en un día.

$$\begin{aligned}
 N_i^{(e)} &= \frac{1}{2A_e} (a_i + b_i x + c_i y) \\
 N_i(x, y)q_i &= N_1 \mu_{MG} + N_2 \mu_{MD} + N_3 \mu_{MI} \\
 \varphi_{(i,j)} &= N_1 MG_{(i,j)} + N_2 MD_{(i,j)} + N_3 MI_{(i,j)}
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Donde:

$N_i^{(e)}$:	Representa las funciones de forma.
A_e :	Representa la superficie del espacio muestral.
a, b, c:	Son las constantes de la geometría triangular.
N_1, N_2, N_3 :	Son las funciones de contorno para interpolar.
$MG_{(i,j)}$ $MD_{(i,j)}$ y $MI_{(i,j)}$	Son los datos de la longitud, gasto y nivel piezométrico del método general [MG], método directo actual [MD] y método indirecto [MI] utilizando el tanque elevado.
$\varphi_{(i,j)}$:	Representa el valor interpolado del MEF.

3.4. Medición de la Red de diseño

Actualmente el sistema de almacenamiento funciona con la capacidad perenne suficiente para dotar a un sector de la población total, por lo tanto, se procedió a realizar la medición de la red existente, Primeramente, se realizó la medición de la longitud de la red de conducción [MG] (5441.88 metros lineales), en segundo lugar, se midió la red de distribución de suministro perenne [MD] (4051.88 metros lineales), y en tercer

lugar se realizó la medición en campo de la longitud de la red de distribución de la red local [MI] (2661.88 metros lineales), (Normas, 2015). Por otro lado, se realizó el procedimiento de obtención de datos de proyecto, considerando la **Ecución 1**, dichos datos se muestran en la **Tabla 1,2 y 3**.

En la **Tabla 1**, se observa la dotación proyecto, el nivel piezométrico, el gasto y la longitud del sistema de almacenamiento y distribución general del sector considerando nula interrupción de AP (Moliá, 1987).

Tabla 1: Funciones de forma ADAP [Perene]

Dotación (d)	Nivel (μ)	Gasto (φ)	Longitud (L)
Lt/Hab/Día	Mts	L.P.S.	ML
100	16	0.0061	5441.88
150	24	0.0092	5441.88
200	32	0.0123	5441.88
250	40	0.0153	5441.88
300	48	0.0184	5441.88
350	56	0.0214	5441.88
400	64	0.0245	5441.88

En la **Tabla 2**, se observa la dotación proyecto, el nivel piezométrico, el gasto y la longitud del sistema de almacenamiento y distribución general de la red total de la población, considerando interrupción de AP (Cedillo, 2019).

Tabla 2: Funciones de forma ADAP [MD]

Dotación (d)	Nivel (μ)	Gasto (φ)	Longitud (L)
Lt/Hab/Día	Mts	L.P.S.	ML
100	6.8571	0.0035	4051.8800
150	10.2857	0.0053	4051.8800
200	13.7143	0.0071	4051.8800
250	17.1429	0.0088	4051.8800
300	20.5714	0.0106	4051.8800
350	24.0000	0.0123	4051.8800
400	27.4286	0.0141	4051.8800

En la **Tabla 3**, se observa la dotación proyecto, el nivel piezométrico, el gasto y la longitud del sistema de almacenamiento y distribución local considerando nula interrupción de AP.

Tabla 3. Funciones de forma ADAP [MI]

Dotación (d)	Nivel (μ)	Gasto (φ)	Longitud (L)
Lt/Hab/Día	Mts	L.P.S.	ML
100	0.3915	0.0003	2661.8800
150	0.5873	0.0005	2661.8800
200	0.7830	0.0006	2661.8800
250	0.9788	0.0008	2661.8800
300	1.1745	0.0009	2661.8800

350	1.3703	0.0011	2661.8800
400	1.5660	0.0012	2661.8800

encuentra por debajo de requerimientos por consiguiente toma de 150 Lt/Hab/Día.

Además, se realizó la contabilización de viviendas y habitantes de la zona de estudio y se identificó el gasto, por medio de la toma de muestras cronometradas.

Para ello se utiliza un análisis de dotación, control de gastos y determinación de capacidades por medio de un método analítico de elementos finitos.

4. Análisis

4.1. Análisis de la Muestra.

La primera medición se llevó a cabo en diferentes horarios, con datos muestrales del lugar, vertiendo cronometradamente agua en los recipientes graduados, obtenido el análisis mostrado en la **Figura 8**. Se realizaron toma de lecturas de gasto en diez viviendas, una en cada manzana de la zona de estudio, encontrando valores máximos con magnitud de **0.00035 L.P.S.**, en horarios de las 03:00 a las 04:00 a.m., como se muestran en la **Figura 8**.

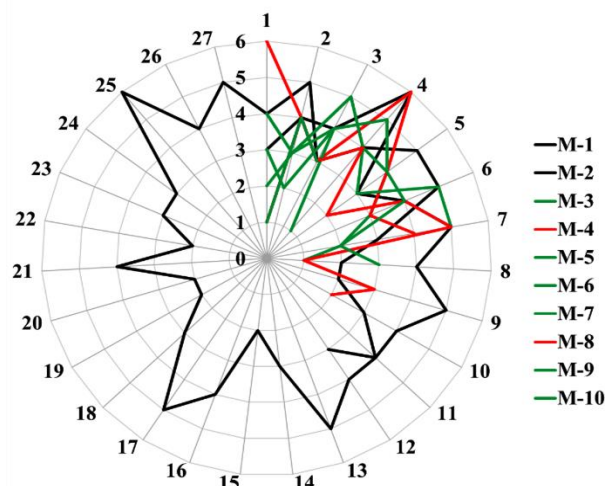


Figura 9: Grafica de habitantes en cada vivienda de las diez manzanas.
Elaboración propia

4.2. Procesamiento de información

El procesamiento se realiza en tres etapas, en la primera se realiza el análisis de la etapa primaria, por lo tanto, se identifican los niveles piezométricos de la red de conducción en el MD y de la red de distribución local.

En la segunda etapa se realiza el análisis de las variables condicionantes, por lo tanto, se identifican los gastos de la red de distribución general y de la red de distribución que ocupa el sistema de almacenamiento local y

En la tercera etapa, se identifica la dotación y el volumen del sistema de almacenamiento y regulación regional y del sistema de regulación y almacenamiento local, en las tres etapas se utiliza la **Ecuación 2**, (SEMARNAT, 2009).

Las funciones de forma se generan a partir de la variable de la altura piezométrica y la condición del gasto unitario, las magnitudes de ambas variables forman la frontera de análisis y procesamiento de información (Cerón, 2020).

Se realizó primeramente la representación gráfica de los habitantes en cada vivienda de las diez manzanas de la zona de estudio, en total son 87 viviendas con 307 habitantes y **3.5** habitantes por vivienda con una dotación de 150 Lt/Hab/Día (SIAPA, 2014),

El análisis de los datos determinados de la zona de estudio, son procesados y con esta información se calcula el gasto

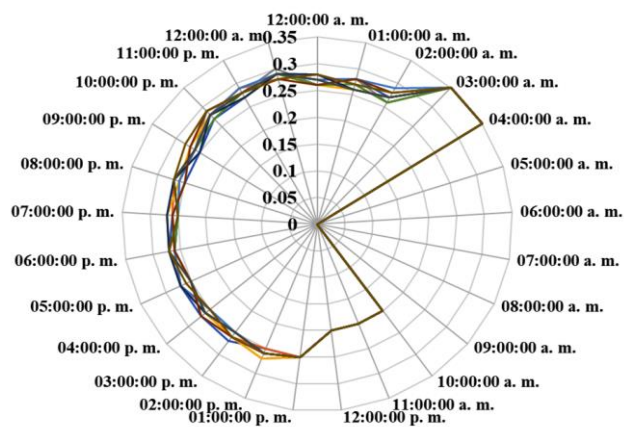


Figura 8: Grafica de lecturas de gasto (10^{-3} LPS) en diez viviendas.
Elaboración propia

Se realizó un análisis de la población proyecto a nivel encuesta, la zona de estudio está delimitada considerando 10 manzanas, en donde se contabiliza un total de 307 habitantes, por consiguiente, se determina la cantidad de habitantes en cada vivienda, encontrando valores máximos de **6 habitantes por vivienda**, como se observa en la **Figura 9**.

Dicha información es conservadora debido al horario de toma de lecturas, debido a la demanda de la red, por lo tanto, se considera una presión y gasto mínimo de operación.

Además, los valores se mantienen uniformes con magnitudes de 0.00025 a 0.00030 L.P.S., con una dotación calculada de 85.7 Lt/Hab/Día (Huaquisto, 2019), dicho dato se

unitario, incorporando para este fin a la **Ecuación 1**, esto se puede observar en la **Tabla 4**, (CONAGUA, 2022).

Tabla 4. Datos de proyecto ADAP [MI] (1 día)

Numero de lotes [NL]	87.000	
Población proyecto [P]	304.500	
Habitantes por vivienda	3.5	
Dotación [d]	150.00	Lt/Hab/Día
Gasto medio= [Qm]	0.5286	L. P.S.
Gasto máximo d. = [Qmd]	0.6344	L. P.S.
Gasto máximo h. = [Qmh]	0.9516	L. P.S.
Longitud total de la red = [L]	2661.88	M.L.
Gasto unitario= [Φ]	0.00036	L. P.S.
Sistema de almacenamiento [Sa]	46	m3

La población proyecto se determina con el número de lotes y la dotación, utilizando la **Ecuación 2**, el sistema de almacenamiento de la red local es una propuesta de volumen para un día de suministro de AP. Por otro lado, el gasto mostrado en la **Tabla 4**, es similar en magnitud al mostrado en la **Figura 7**, por lo tanto, se realizó la modificación de la población proyecto, en el caso de empatar el gasto unitario (Huaquisto, 2019).

Tabla 5. Datos de proyecto ADAP [MI] (2 días)

Numero de lotes [NL]	87.000	
Población proyecto [P]	304.500	
Habitantes por vivienda	3.5	
Dotación [d]	302.50	Lt/Hab/Día
Gasto medio= [Qm]	1.0661	L. P.S.
Gasto máximo d. = [Qmd]	1.2793	L. P.S.
Gasto máximo h. = [Qmh]	1.9190	L. P.S.
Longitud total de la red = [L]	2661.88	M.L.
Gasto unitario= [Φ]	0.00072	L. P.S.
Sistema de almacenamiento [Sa]	92	m3

Para la dotación constante de AP, se analiza incrementar el gasto, así mismo, se pretende utilizar la misma magnitud del gasto y a su vez nulificar el sistema de distribución directo, como se observa en la **Figura 8**, (Doria, 2014).

Por otro lado, si se incrementa, permanece la dotación con el mismo valor y aumenta la población de atención, se eleva el volumen del sistema de almacenamiento local, dando como resultado un aumento proporcional al gasto muestreado medio, incrementándose en 200% el volumen de la **Tabla 4**.

Con esta información se genera la **Tabla 5**, así mismo, se analiza el resultado en la gráfica de valoración del nivel piezométrico determinado al momento de aplicar el método de elemento finito (Diakite, 2020).

5. Resultados

Para realizar la comparativa de la etapa primaria se toma en cuenta los niveles piezométricos de la zona de estudio, los niveles del sistema de almacenamiento general y la propuesta de nivel del sistema de almacenamiento local (Zhao, 2022).

Para la comparativa de la etapa condicionante se toma en consideración el gasto diseñado del sistema de distribución general simulando la dotación perenne, el gasto diseñado del sistema de distribución general intermitente y el gasto diseñado del sistema de distribución local simulando la dotación perenne (Fan, 2013).

La información que muestra la Tabla 5, es representativa y da solución al gasto requerido de 0.00072 LPS, cumpliendo con el suministro de AP en dos días, con ello se determina la dotación que es de 302.5 Lt/Hab/Día, con este dato sirve para realizar el análisis de suficiencia, para ingresar a la gráfica correspondiente a dicha dotación como se observa en la **Figura 10**.

Para la comparativa de la etapa de control del sistema, se construye la simulación de las tres etapas utilizando las variables determinadas con la **Ecuación 2**, como se observa en la **Figura 10**, (Obisesan, 2016).

Se utiliza las variables de volumen y determinado con datos de la dotación con siete escenarios (100, 150, 200, 250, 300, 350 y 400) Lts/Hab/Dia, (Chinwendu, 2017).

5.1. Grafica de dotación

Para la regulación del sistema ADAP se realizó la **Figura 10**, en la cual, muestra la comparación del gasto y del nivel piezométrico, incorporando la longitud en todos y en cada uno de los treinta y dos tramos de la red de distribución de la zona de estudio, (Cabrera-béjar, 2012).

5.2. Evaluación Diagnostica

Se realiza una evaluación diagnostica con la finalidad de tener claridad en el aporte de la presente investigación, y resaltar los hallazgos mostrados de los factores observados en la **Figura 10**.

Por consiguiente, la dotación proyecto determinada para dar abasto a dos días es de 302.50 Lt/Hab/Día, se considera como cierta, si y solo si, empata el gasto promedio de la **Figura 7** y el valor medio de 0.00025 L.P.S., obtenido del muestreo, con estos datos se ingresa a las gráficas de la **Figura 10** (Avilés-polanco, 2010).

Por lo tanto, se realiza el diseño del gasto medio considerando la población proyecto, el análisis determina un volumen de 92 m³, del sistema de almacenamiento, información mostrada en la **Tabla 5**, lo cual demuestra por qué se aplica el método de tandeos, debido a la insuficiencia de agua para suministrar a la población actualmente, (Rodríguez, 2021).

Actualmente la determinación de la dotación, gasto y volumen debe ser análogo al comportamiento de la red de distribución local, (Estrada, 2014), con el objetivo de nulificar el método de tandeo debido a la población proyecto (Cortés, 2000), finalmente, esto se logra incorporando una dinámica controlada (Arellano, 2020), de la dotación y previniendo los

volúmenes de almacenamiento a que son sometidos en los niveles piezométricos, como se observa en la **Figura 10** y en la **Tabla 5**,(Nava, 2019) .

Se toma el valor mayor de dotación y se ingresa a la gráfica de dotación de 350, se traza la línea verde como se observa en la Figura 10.

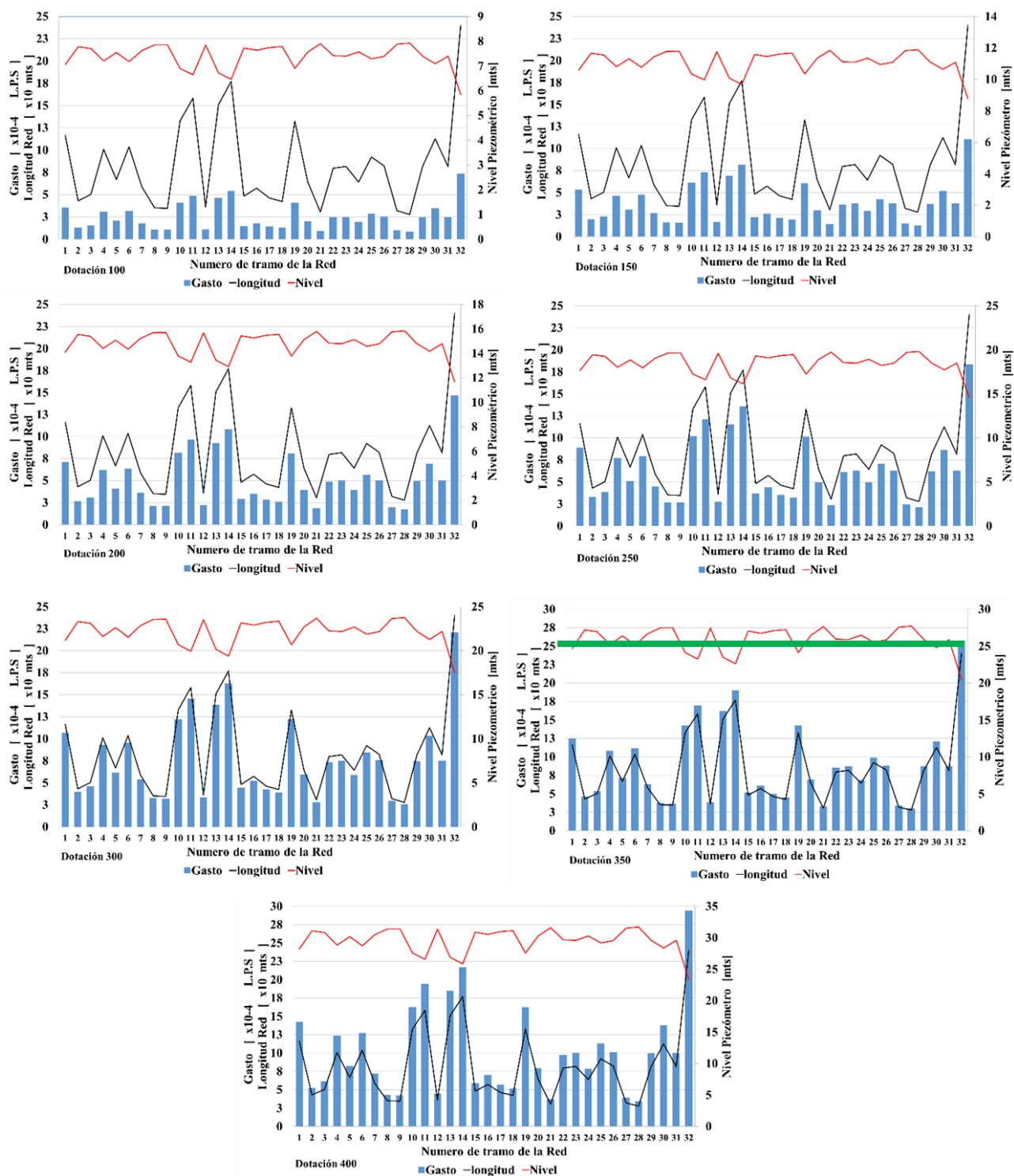


Figura 10: Grafica del sistema de control ADAP.
Elaboración propia

6. Conclusiones

En este trabajo de investigación se realizó el diseño del sistema de almacenamiento local aplicando el método indirecto perenne, comparando los métodos MI y MD.

La valoración de nulificar el sistema de distribución general intermitente se logra aplicando la evaluación diagnóstica con una dotación de 350 Lt/Hab/Día, utilizando los gastos de proyecto para suministrar AP en dos días, en consecuencia, se anula aplicar la metodología intermitente, esto se logró utilizando los datos históricos con un periodo de retorno de 20 años.

La obtención de resultados implementando la metodología concluye con las ventajas siguientes:

1. El diseño del sistema de almacenamiento local es necesario, sin embargo, la magnitud de la dotación de 150 Lt/Hab/Día, para dar suministro a los 32 tramos, representa la suficiencia necesaria para solo un día de suministro, en consecuencia, se incrementa al doble, debido a la interrupción actual de dos días.
2. El gasto promedio obtenido de la muestra representa el 18% del gasto suministrado en comparación con el gasto promedio diario determinado en el proyecto ADAP [MI], al implementar el sistema de almacenamiento local.
3. El volumen de almacenamiento local tiene una magnitud de 46 metros cúbicos suministrando AP de forma perenne durante un día, por consiguiente, dicha magnitud duplicada, impacta de forma directa en la eliminación del tandeo en la comunidad.
4. La dotación obtenida con la estadística da como resultado siete gráficas, por consiguiente, se selecciona el nivel piezométrico [NPD] óptimo para suministrar AP, en el cual se representa la eficiencia requerida para cubrir la totalidad de la red de distribución local. El método perene con una dotación de 350 Lt/Hab/Día, con un gasto unitario adecuado y 25 metros de altura, alienta a la localidad a implementar un almacenamiento local de tipo elevado.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a la colaboración del grupo de investigación ingeniería civil forense y el cuerpo académico ingeniería civil sustentable y tecnología de materiales, del área académica de ingeniería y arquitectura, (ICBI), Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo por su apoyo para la realización de la presente investigación.us agradecimientos hasta la aceptación del manuscrito.

Referencias

- AMH. (2021). *Tláloc, la revista oficial de la Asociación Mexicana de Hidráulica*. 47.
- Arellano, A. (2020). *Modelos de regresión lineal para predecir el consumo de agua potable*. 3(1), 27–36.
- Avilés-polanco, G. (2010). *Valoración económica del servicio hidrológico del acuífero de La Paz, b. c. s. : Una valoración contingente del uso de agua municipal*. 21, 103–127.
- Cabrera-béjar, J. A. (2012). *Modelación de redes de distribución de agua con suministro intermitente*. III, 5–25.
- Cedillo, D. (2019). *Cómo calcular la dotación de agua actual y futura de una población menor a 2500 habitantes*. 1–5.
- Cerón, J. (2020). Cálculo de la resistencia del suelo al interpolarlo con el MEF. *Padi*, 8(15), 7–13. <https://doi.org/https://doi.org/10.29057/icbi.v8i15.4974>
- Chinwendu, O. G. (2017). *Households Vulnerability and Adaptation to Climate Variability Induced Water Stress on Downstream Kaduna River Basin*. 247–267. <https://doi.org/10.4236/ajcc.2017.62013>
- CMAS. (2019). *Sistema de tandeos, Xalapa* (p. 3).
- CONAGUA. (2020). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*.
- CONAGUA. (2022). *Biblioteca Digital de MAPAS*. <https://www.gob.mx/conagua/documentos/biblioteca-digital-de-mapas>
- Cortés, F. I. A. (2000). *Modelación numérica de la advección y dispersión e solutos en redes de distribución de agua potable*.
- Diakite, H. (2020). *Comparative Study Between Gender Bias in Household Water Conservation and Management in Commune of Pelengana*. 38–47. <https://doi.org/10.7176/JRDM/63-05>
- Doria, M. F. (2014). *Bottled Water Versus Tap Water : Understanding Consumers' Preferences*. July 2006. <https://doi.org/10.2166/wh.2006.008>
- Estrada, H. (2014). *Programa de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía*.
- Fan, L. (2013). *Factors Affecting Domestic Water Consumption in Rural Households upon Access to Improved Water Supply : Insights from the Wei River Basin , China*. 8(8), 9. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0071977>
- Huaquisto, S. (2019). *Análisis del consumo de agua potable en el centro poblado de salcedo, Puno*. 19(1), 133–144. <https://doi.org/10.23881/idupbo.019.1-9i>
- IMTA. (1992). *Manual de aforos*.
- Jiménez, M. (2016). *Manual para el diseño de sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario*.
- Martínez, J. (2002). *Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica a la gestión técnica de redes de distribución de agua potable*.
- Moliá, R. (1987). *Abastecimiento y saneamiento urbanos*.
- Nava, A. (2019). *Tanque y red de distribución en la localidad de jaralillo*.
- Normas, L. (2015). *Normas y Lineamientos Técnicos para las Instalaciones de Agua Potable*.
- Obisesan, A. (2016). *Factors Affecting Water Supply in Owah-Abbi , Delta State*. July, 137–146.
- Ojeda, A. (2014). *Gestión del agua doméstica urbana en Hermosillo (Sonora, México)*. 23, 147–164.
- Pereyra, V. (2018). *Evaluación del comportamiento hidráulico de redes de distribución de agua potable, mediante métodos computacionales convencionales en el Distrito de Chupaca*.
- Rodríguez, W. (2021). *Modelación hidráulica y calibración de redes de distribución de agua potable*. 0(4), 1–41. <https://doi.org/10.24850/jtyca-2021-04-01>
- SEMARNAT. (2009). *Estadísticas del Agua de la Región*. 162.
- Sepúlveda, T. (2013). *Alternativa de solución para el sistema de abastecimiento de agua potable en la zona conurbada (zapata-renacimiento) en el Municipio de Acapulco, Guerrero*.
- SIAPA. (2014). *Criterios Básicos de Diseño, Dotaciones de agua potable*. 25.
- Zhao, T. (2022). *Domestic Water Consumption and Its Influencing Factors in the Yellow River Basin Based on Logarithmic Mean Divisia Index and Decoupling Theory*. 14.