



ARTÍCULO ORIGINAL

Diseño de redes de distribución de abastecimiento de agua utilizando métodos racionales complejos e inteligencia artificial en Callqui Grande-Huancavelica

Design of water supply distribution networks using complex rational methods and artificial intelligence in Callqui Grande-Huancavelica

• Hugo Salas¹ • Heydi Quispe² • Jhoans Soto³ • Victor Jurado⁴

¹Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica, Perú.

Correo electrónico: hugo.salas@unh.edu.pe

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1708-4688>

²Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica

Correo electrónico: heydi.quispe@unh.edu.pe

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3781-6236>

³Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica, Perú.

⁴Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica, Perú.

Recibido: 01 Setiembre del 2022 / **Revisado:** 03 Octubre del 2022 / **Aprobado:** 01 Diciembre del 2022 / **Publicado:** 06 Enero del 2023

RESUMEN

El presente proyecto de investigación está enfocado en uno de los problemas de la hidráulica, específicamente el diseño de redes de distribución en sistemas de abastecimiento de agua potable, su importancia radica en la necesidad de una población agrupada de contar con el recurso hídrico para consumo humano. Además, en nuestro país existe una gran población que no tiene acceso y suministro adecuado al agua de calidad originándose una brecha considerable, por lo que vemos de suma importancia el estudio de las metodologías de cálculo para el diseño de redes de distribución como parte del sistema de abastecimiento, para obtener un esquema hidráulico óptimo y funcional en las prestaciones del servicio de agua. Además, se viene impulsando al desarrollo de nuevos métodos de cálculo para el diseño de redes de distribución de agua, en tal sentido consideramos para la presente investigación analizar el uso de los algoritmos genéticos que es una técnica de la inteligencia artificial, como alternativa para el diseño de redes de distribución de agua. Esta técnica de inteligencias artificial junto a otras, viene ganando importancia como alternativa para el diseño, con un objetivo tradicional como es la precisión del cálculo y optimización, obteniéndose resultados alentadores además de las bondades que ofrece ya que no es necesario suponer o asumir valores iterativos, influyendo considerablemente en el tiempo que se tiene que invertir para obtener un diseño óptimo.

Palabras clave: Diseño; Influencia; Abastecimiento de agua.

ABSTRACT

This research project is focused on one of the problems of hydraulics, specifically the design of distribution networks in drinking water supply systems, its importance lies in the need for a grouped population to have water resources for human consumption. In addition, in our country there is a large population that does not have access and adequate supply of quality water, creating a considerable gap, for which we see the study of calculation methodologies for the design of distribution networks as part of the study of great importance. supply system, to obtain an optimal and functional hydraulic scheme in the provision of water service. In addition, the development of new calculation methods for the design of water distribution networks is being promoted, in this sense we consider for the present investigation to analyze the use of genetic algorithms, which is an artificial intelligence technique, as an alternative for the design of water distribution networks. This artificial intelligence technique, along with others, has been gaining importance as an alternative for design, with a traditional objective such as calculation precision and optimization, obtaining encouraging results in addition to the benefits it offers since it is not necessary to assume or assume iterative values. considerably influencing the time that has to be invested to obtain an optimal design.

Keywords: Design; Influence; Water supply.

1. INTRODUCCIÓN

La disponibilidad del agua potable es un problema actual y complejo en el que interviene una serie de factores, por ende, esto se puede ver en la localidad de Callqui Grande – Huancavelica donde la población no cuenta con un buen servicio de agua potable que a su vez engloban la línea de conducción, reservorio, líneas de aducción, entre otros. hecho que se refleja en que las viviendas tienen pocas horas de dotación del servicio.

El sistema de abastecimiento de agua según Rodríguez, (2001, pp.21, 22); Es un conjunto de diversas obras que tienen por objeto suministrar agua a una población en cantidad suficiente, calidad adecuada, presión necesaria y en forma continua el líquido elemento.

Los métodos más utilizados en el análisis y diseño, obedece a dos hechos importantes. En primer lugar, los métodos más modernos están basados en los más antiguos, los cuales en términos matemáticos son más sencillos, pero requieren un mayor número de iteraciones para llegar a un resultado final. En segundo lugar, en el mercado existen programas comerciales basados en diferentes métodos de análisis. Por consiguiente, es importante que los ingenieros encargados del diseño, construcción y operación de redes de acueductos conozcan la base matemática de los programas a su alcance. En orden cronológico se presentarán los siguientes métodos de análisis y diseño de redes cerradas.

- Método de Hardy-Cross con corrección de caudales en los circuitos
- Método de Hardy-Cross con corrección de cabezas en los nodos
- Método de Newton-Raphson
- Método de la teoría lineal
- Método del gradiente hidráulico
- Métodos de inteligencia artificial

El método de Hardy Cross se utilizará para resolver las ecuaciones de cabezas, utilizando para el cálculo de la pérdida por fricción la ecuación de Darcy-Weisbach.

El método de algoritmo genético su objetivo principal es evolucionar a partir de una población de soluciones para un determinado problema, intentando producir nuevas generaciones de soluciones que sean mejores que la anterior. Estos algoritmos operan en un ciclo simple: creación de la población inicial, selección y reproducción. Este último implica una recombinación y mutación del material genético de las soluciones.

El método del gradiente conocido también como método de la red simultánea es ideal para el análisis, diseño y cálculo de redes de distribución de agua potable, considera que al tenerse un flujo permanente se garantiza que se cumpla la ecuación de conservación de la masa en cada uno de los nodos de la red y la ecuación de conservación de la energía en cada uno de los circuitos de ésta.

Villacís, (2014), en su trabajo de investigación: “Análisis comparativo técnico y económico de métodos de cálculo y diseño de redes de agua potable”, en la Universidad Central del Ecuador, Ecuador. Manifiesta: El Método de la Gradiente Hidráulica, es un método de fácil aplicación, pero su uso resulta mucho más efectivo en redes de agua potable con una sola malla, puesto que permite reemplazar varias líneas de agua potable por una sola con diferentes diámetros. El Método de la Gradiente Hidráulica tiene desventaja porque no permite la afinación de los caudales de flujo en las tuberías.

Shanel, (2017), realizó la investigación titulada: “Propuesta de optimización del servicio de la red de distribución de agua potable - RDAP- del Municipio de Madrid, Cundinamarca”, en la Universidad Católica de Colombia, Colombia. Manifiesta: En el desarrollo del modelo de simulación digital de la red calibrada se tuvieron que tomar decisiones ya que no se conoce a cabalidad la red, este fue un proceso arduo por la falta de información como: caudales diarios, accesorios en la red y otros factores que afectan la calibración del modelo, para esto es importante contar con datos más precisos de la red para así mejorar el modelo y que este sea cada vez más parecido a la realidad.

Anchapuri, (2018), realizó la investigación: “Determinación del diámetro óptimo en redes de distribución de agua potable por el método Hardy Cross en el Centro Poblado de Lampa Putuma Pomata-Chucuito-Puno”, en la Universidad Nacional del Altiplano. manifiesta: Se determinó el costo óptimo en el sistema de agua potable en el Centro Poblado de Lampa Putuma. Con un costo de financiamiento mínimo del proyecto según la comparación del presupuesto y análisis de precios unitarios por metro lineal con diferentes diámetros óptimos modelados con el software waterCAD con un costo óptimo de S/. 77,869.93 que corresponde al análisis de precios unitarios que cumple con la eficiencia hidráulica y a la vez es mínimo el costo de financiamiento para este proyecto. Por lo que se considera también que el costo de acuerdo a cotización y más comerciable, recomendable en

marcas es Plastisur con un precio de 149.50 el cual expresa un mayor beneficio económico.

El objetivo es determinar la influencia de usar el método de Hardy Cross, método de gradiente hidráulico y el método de algoritmo genético en el diseño de redes de distribución en sistemas de abastecimiento de agua en la localidad de Callqui Grande -Huancavelica. Por todo ello se pretende contribuir con la presente investigación en el análisis del diseño de redes de distribución usando metodologías aceptadas y validadas, así como evaluar la aplicabilidad de las mismas y el uso de recursos para obtener un resultado óptimo y aceptable

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El tipo de investigación de acuerdo al fin que persigue es de tipo APLICADA; debido a que es considerada como “la investigación que resuelve una problemática de manera rápida”. (Salinas, 2007)

El nivel de investigación será el EXPLICATIVO; según Hernández, Fernández y Baptista (2010), las investigaciones explicativas son más estructuradas que los estudios con los demás alcances y, de hecho, implican los propósitos de estos (exploración, descripción y correlación o asociación).

2.1. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA INVESTIGACION

Para el proyecto de investigación las principales técnicas utilizadas fueron: Fichaje, Observación, Medición.

Los instrumentos utilizados en estas técnicas fueron: Instrumentos Para El Estudio De La Población, Instrumentos Topográficos (Estación Total, Wincha, Prisma, Estacas). Instrumentos Para El Aforo De Caudal. (Recipiente, Cronometro)

2.2. INSTRUMENTOS PARA EL TRABAJO EN GABINETE.

Para ello se valió de software tales como: Python, AutoCAD Civil 3D, WaterGEMS.

2.3. TÉCNICAS Y PROCESAMIENTO DE ANÁLISIS DE DATOS

Realizada la recolección de la información de campo, es necesario analizarlos y ordenarlos de manera que podamos utilizar eficientemente para su procesamiento sistemático, según los requerimientos de cada metodología de cálculo a usar en el diseño de la red de distribución; para ello seguiremos los siguientes pasos:

ORDENAMIENTO DE DATOS: Ordenar la información en tablas de manera que se pueda trabajar ordenada y sistemáticamente, para ello se utilizó la hoja de cálculo de Excel.

CALCULO E IDENTIFICACIÓN DE PARÁMETROS GENERALES: Realizar cálculos previos y determinar condiciones que serán datos generales, independientes a la metodología de cálculo para el diseño.

DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN POR LAS 3 METODOLOGÍAS PLANTEADAS: Para realizar el procesamiento de datos con métodos racionales e inteligencia artificial con los datos obtenidos de la localidad de Callqui Grande y valores asumidos según condición de diseño; usaremos herramientas de apoyo como son el uso de software WaterGEMS y lenguaje de programación interpretado Python.

3. RESULTADOS

3.1. ANÁLISIS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN POR EL METODO DE HARDY CROSS: Para el análisis de la red de distribución objeto de estudio del presente proyecto, en esta parte veremos el uso del método de Hardy Cross con corrección de cabezas, para ello usaremos varias herramientas de cálculo como son la hoja de cálculo Excel, Software de programación interpretado Python, software de dibujo Civil 3D. Del esquema podemos disponer la distribución en tablas, para con ello iniciar los cálculos necesarios, en tal sentido se muestra las siguientes tablas.

Diámetros finales:

Tabla 1

Diámetro de cada tubería

| TUBERIA | Ni | Nf | D (mm) |
|----------------|-----------|-----------|---------------|
| 1 | 1 | 2 | 67.8 |
| 2 | 20 | 19 | 29.4 |
| 3 | 18 | 19 | 38.4 |
| 4 | 26 | 20 | 29.4 |
| 5 | 20 | 9 | 38.4 |
| 6 | 31 | 9 | 29.4 |
| 7 | 9 | 8 | 38.4 |
| 8 | 7 | 8 | 29.4 |
| 9 | 17 | 18 | 29.4 |
| 10 | 26 | 18 | 38.4 |
| 11 | 25 | 26 | 29.4 |
| 12 | 26 | 31 | 38.4 |
| 13 | 30 | 31 | 38.4 |
| 14 | 31 | 7 | 29.4 |
| 15 | 6 | 7 | 38.4 |
| 16 | 30 | 6 | 29.4 |
| 17 | 5 | 6 | 38.4 |
| 18 | 30 | 25 | 29.4 |
| 19 | 29 | 30 | 29.4 |
| 20 | 16 | 17 | 29.4 |
| 21 | 25 | 17 | 38.4 |
| 22 | 24 | 25 | 38.4 |
| 23 | 15 | 16 | 29.4 |
| 24 | 24 | 16 | 29.4 |
| 25 | 23 | 24 | 29.4 |
| 26 | 29 | 24 | 38.4 |
| 27 | 28 | 29 | 29.4 |
| 28 | 29 | 5 | 38.4 |
| 29 | 4 | 5 | 43.4 |
| 30 | 13 | 12 | 38.4 |
| 31 | 13 | 14 | 38.4 |
| 32 | 14 | 15 | 29.4 |
| 33 | 23 | 15 | 29.4 |
| 34 | 22 | 23 | 29.4 |
| 35 | 28 | 23 | 38.4 |
| 36 | 22 | 27 | 29.4 |
| 37 | 27 | 28 | 29.4 |
| 38 | 4 | 28 | 29.4 |
| 39 | 3 | 4 | 43.4 |
| 40 | 2 | 3 | 55.4 |
| 41 | 3 | 27 | 29.4 |
| 42 | 22 | 14 | 38.4 |
| 43 | 21 | 22 | 29.4 |
| 44 | 21 | 11 | 38.4 |
| 45 | 21 | 13 | 29.4 |
| 46 | 2 | 21 | 55.4 |
| 47 | 2 | 10 | 38.4 |
| 48 | 10 | 11 | 38.4 |
| 49 | 11 | 12 | 38.4 |

Presiones finales:

Tabla 2

Presiones en los nodos

| NODO | PRESIÓN (m) |
|-------------|------------------------|
| 1 | 0.00 |
| 2 | 15.24 |
| 3 | 12.04 |
| 4 | 10.00 |
| 5 | 10.00 |
| 6 | 11.52 |
| 7 | 13.53 |
| 8 | 14.51 |
| 9 | 25.48 |
| 10 | 19.20 |
| 11 | 31.85 |
| 12 | 36.07 |
| 13 | 35.83 |
| 14 | 36.38 |
| 15 | 35.69 |
| 16 | 35.56 |
| 17 | 34.56 |
| 18 | 34.50 |
| 19 | 33.90 |
| 20 | 32.52 |
| 21 | 31.20 |
| 22 | 29.46 |
| 23 | 28.02 |
| 24 | 27.47 |
| 25 | 28.54 |
| 26 | 30.33 |
| 27 | 19.87 |
| 28 | 19.76 |
| 29 | 21.65 |
| 30 | 21.61 |
| 31 | 21.55 |

Velocidades finales:

Tabla 3

Velocidades en cada tubería.

| TUBERIA | Ni | Nj | VELOCIDAD (m/s) |
|----------------|-----------|-----------|------------------------|
| 1 | 1 | 2 | 0.528 |
| 2 | 20 | 19 | 0.074 |
| 3 | 18 | 19 | 0.047 |
| 4 | 26 | 20 | 0.047 |
| 5 | 20 | 9 | 0.071 |
| 6 | 31 | 9 | 0.075 |
| 7 | 9 | 8 | 0.07 |
| 8 | 7 | 8 | 0.137 |
| 9 | 17 | 18 | 0.091 |
| 10 | 26 | 18 | 0.018 |
| 11 | 25 | 26 | 0.088 |
| 12 | 26 | 31 | 0.018 |
| 13 | 30 | 31 | 0.071 |
| 14 | 31 | 7 | 0.097 |
| 15 | 6 | 7 | 0.024 |
| 16 | 30 | 6 | 0.133 |
| 17 | 5 | 6 | 0.124 |
| 18 | 30 | 25 | 0.044 |
| 19 | 29 | 30 | 0.172 |
| 20 | 16 | 17 | 0.124 |
| 21 | 25 | 17 | 0.043 |
| 22 | 24 | 25 | 0.155 |
| 23 | 15 | 16 | 0.218 |
| 24 | 24 | 16 | 0.03 |
| 25 | 23 | 24 | 0.222 |
| 26 | 29 | 24 | 0.05 |
| 27 | 28 | 29 | 0.215 |
| 28 | 29 | 5 | 0.17 |
| 29 | 4 | 5 | 0.357 |
| 30 | 13 | 12 | 0.142 |
| 31 | 13 | 14 | 0.193 |
| 32 | 14 | 15 | 0.234 |
| 33 | 23 | 15 | 0.061 |
| 34 | 22 | 23 | 0.229 |
| 35 | 28 | 23 | 0.055 |
| 36 | 22 | 27 | 0.02 |
| 37 | 27 | 28 | 0.219 |
| 38 | 4 | 28 | 0.166 |
| 39 | 3 | 4 | 0.46 |
| 40 | 2 | 3 | 0.399 |
| 41 | 3 | 27 | 0.307 |
| 42 | 22 | 14 | 0.031 |
| 43 | 21 | 22 | 0.336 |
| 44 | 21 | 11 | 0.106 |
| 45 | 21 | 13 | 0.201 |
| 46 | 2 | 21 | 0.246 |
| 47 | 2 | 10 | 0.184 |
| 48 | 10 | 11 | 0.138 |
| 49 | 11 | 12 | 0.203 |

Caudales finales:

Tabla 4

Caudales en cada tubería

| TUBERIA | Ni | Nj | CAUDAL (lps) |
|----------------|-----------|-----------|---------------------|
| 1 | 1 | 2 | 1.906 |
| 2 | 20 | 19 | 0.051 |
| 3 | 18 | 19 | 0.054 |
| 4 | 26 | 20 | 0.032 |
| 5 | 20 | 9 | 0.082 |
| 6 | 31 | 9 | 0.051 |
| 7 | 9 | 8 | -0.081 |
| 8 | 7 | 8 | 0.093 |
| 9 | 17 | 18 | 0.062 |
| 10 | 26 | 18 | 0.021 |
| 11 | 25 | 26 | 0.059 |
| 12 | 26 | 31 | 0.02 |
| 13 | 30 | 31 | 0.083 |
| 14 | 31 | 7 | -0.066 |
| 15 | 6 | 7 | 0.028 |
| 16 | 30 | 6 | -0.09 |
| 17 | 5 | 6 | 0.144 |
| 18 | 30 | 25 | -0.03 |
| 19 | 29 | 30 | 0.117 |
| 20 | 16 | 17 | 0.084 |
| 21 | 25 | 17 | 0.05 |
| 22 | 24 | 25 | 0.179 |
| 23 | 15 | 16 | 0.148 |
| 24 | 24 | 16 | -0.021 |
| 5 | 23 | 24 | 0.151 |
| 26 | 29 | 24 | 0.057 |
| 27 | 28 | 29 | 0.146 |
| 28 | 29 | 5 | -0.197 |
| 29 | 4 | 5 | 0.529 |
| 30 | 13 | 12 | -0.165 |
| 31 | 13 | 14 | 0.224 |
| 32 | 14 | 15 | 0.159 |
| 33 | 23 | 15 | 0.042 |
| 34 | 22 | 23 | 0.155 |
| 35 | 28 | 23 | 0.064 |
| 36 | 22 | 27 | 0.013 |
| 37 | 27 | 28 | 0.149 |
| 38 | 4 | 28 | 0.112 |
| 39 | 3 | 4 | 0.68 |
| 40 | 2 | 3 | 0.962 |
| 41 | 3 | 27 | 0.208 |
| 42 | 22 | 14 | 0.036 |
| 43 | 21 | 22 | 0.228 |
| 44 | 21 | 11 | 0.123 |
| 45 | 21 | 13 | 0.136 |
| 46 | 2 | 21 | 0.594 |
| 47 | 2 | 10 | 0.214 |
| 48 | 10 | 11 | 0.16 |
| 49 | 11 | 12 | 0.235 |

3.2. ANÁLISIS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN POR EL MÉTODO DE GRADIENTE HIDRAULICO

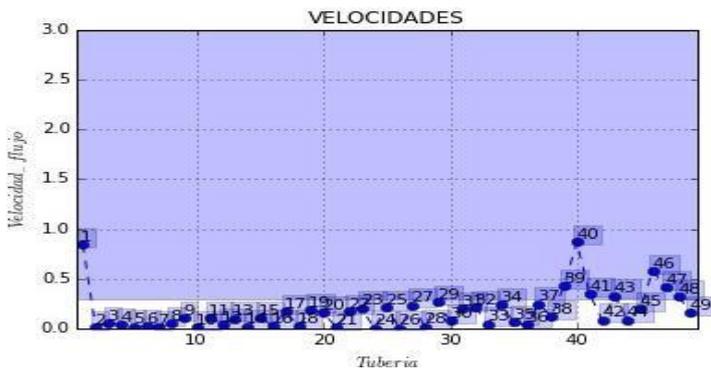
Para el análisis de la red de distribución objeto de estudio del presente proyecto, en esta parte veremos el uso del método de Gradiente Hidráulico, para ello usaremos varias herramientas

de cálculo como son la hoja de cálculo Excel, Software de programación interpretado Python, software de dibujo Civil 3D.

Podemos apreciar gráficamente, los resultados de presión y velocidad, según los rangos mínimos y máximos de la normativa vigente.

Figura 1

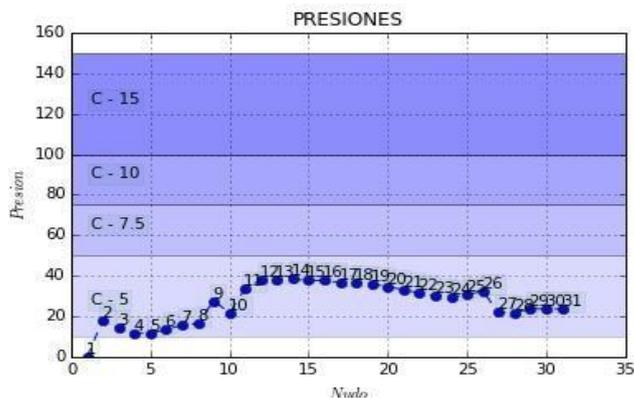
Presión en cada nodo (método de Gradiente Hidráulico)



Pmin= 10m
Pmax= 50m

Figura 2

Velocidad en cada tubería (método de Gradiente Hidráulico)



Vmin= 0.3 m/s
Vmax= 3 m/s

4. DISCUSIÓN

MÉTODO DE HARDY CROSS

Para diseño de la red de distribución de la localidad de Callqui Grande utilizando Hardy Cross, se tomó como base de análisis los datos recolectados en campo tales como la topografía, aforo del caudal en requerimientos en el proceso de cálculo. Del

proceso de cálculo se observó dos etapas a considerar, una de ellas como el diámetro y la presión en cada nodo, todo esto para completar los datos requeridos para el cálculo con la metodología de Hardy Cross. Al finalizar el cálculo se obtuvo resultados de diámetro y presión que cumplen relativamente los requerimientos de la normativa RNE 0.S050, el mismo que nos indica cuando un diseño de red de distribución de agua es aceptable.

Tabla 5*Resultados del cálculo Hardy Cross*

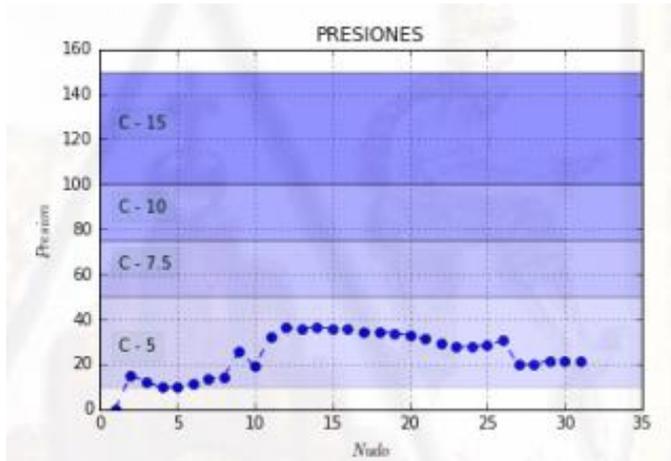
| TUBERIA | L(m) | D(mm) | COSTO | TOTAL |
|---------|--------|-------|----------|-----------|
| 1 | 100.00 | 67.8 | 105.90 | 10590.00 |
| 2 | 18.00 | 29.4 | 24.50 | 441.00 |
| 3 | 57.00 | 38.4 | 36.90 | 2103.30 |
| 4 | 51.00 | 29.4 | 24.50 | 1249.50 |
| 5 | 52.00 | 38.4 | 36.90 | 1918,80 |
| 6 | 49.00 | 29.4 | 24.50 | 1200.50 |
| 7 | 50.00 | 38.4 | 36.90 | 1845.00 |
| 8 | 48.00 | 29.4 | 24.50 | 1176.00 |
| 9 | 52.00 | 29.4 | 24.50 | 1274.00 |
| 10 | 47.00 | 38.4 | 36.90 | 1734.30 |
| 11 | 48.00 | 29.4 | 24,50 | 1176.00 |
| 12 | 52.00 | 38.4 | 36.90 | 1918.80 |
| 13 | 48.00 | 38.4 | 36.90 | 1771.20 |
| 14 | 49.00 | 29.4 | 24.50 | 1200.50 |
| 15 | 48.00 | 38.4 | 36.90 | 1771.20 |
| 16 | 50.00 | 29.4 | 24.50 | 1225.00 |
| 17 | 51.00 | 38.4 | 36.90 | 1881.90 |
| 18 | 53.00 | 29.4 | 24.50 | 1298.50 |
| 19 | 50.00 | 29.4 | 24.50 | 1225.00 |
| 20 | 50.00 | 29.4 | 24.50 | 1225.00 |
| 21 | 66.00 | 38.4 | 36.90 | 2435.40 |
| 22 | 50.00 | 38.4 | 36.90 | 1845.00 |
| 23 | 50.00 | 29.4 | 24.50 | 1176.00 |
| 24 | 48.00 | 29.4 | 24.50 | 1715.00 |
| 25 | 70.00 | 29.4 | 24.50 | 1200.50 |
| 26 | 49.00 | 38.4 | 36.90 | 1918.80 |
| 27 | 52.00 | 29.4 | 24.50 | 1176.00 |
| 28 | 50.00 | 38.4 | 36.90 | 1918.80 |
| 29 | 49.00 | 43.3 | 55.90 | 2739.10 |
| 30 | 52.00 | 38.4 | 36.90 | 1918.80 |
| 31 | 48.00 | 38.4 | 36.90 | 1771.20 |
| 32 | 48.00 | 29.4 | 24.50 | 1176.00 |
| 33 | 74.00 | 29.4 | 24.50 | 1813.00 |
| 34 | 48.00 | 29.4 | 24.50 | 1176.00 |
| 35 | 52.00 | 38.4 | 36.90 | 1918.80 |
| 36 | 50.00 | 29.4 | 24.50 | 1225.00 |
| 37 | 48.00 | 29.4 | 24.50 | 1176.00 |
| 38 | 51.00 | 29.4 | 24.50 | 1249.50 |
| 39 | 79.00 | 43.4 | 55.90 | 2683.20 |
| 40 | 48.00 | 55.4 | 89.90 | 4315.20 |
| 41 | 51.00 | 29.4 | 24.50 | 1249.50 |
| 42 | 79.00 | 38.4 | 36.90 | 2915.10 |
| 43 | 48.00 | 29.4 | 24.50 | 1176.00 |
| 44 | 53.00 | 38.4 | 36.90 | 1955.70 |
| 45 | 84.00 | 29.4 | 24.50 | 2058.00 |
| 46 | 102.00 | 55.4 | 89.90 | 9169.80 |
| 47 | 57.00 | 38.4 | 36.90 | 2103.30 |
| 48 | 102.00 | 38.4 | 36.90 | 3763.80 |
| 49 | 89.00 | 38.4 | 36.90 | 3284.10 |
| | | | Σ | 102374.30 |

Cabe señalar que el proceso de cálculo se hace tedioso a la hora de asumir los diámetros y presiones en cada nodo, ya que para corregir las variaciones de la ecuación de continuidad en cada nodo se tiene que recién evaluar las condiciones de cumplimiento de presiones y cambiar los valores

supuestos, esto hace que se haga más tedioso En cuanto a las condiciones de presión que debe cumplir según Norma, se puede apreciar que en nuestro diseño los nodos se encuentran en el rango aceptable.

Figura 3

Presiones en cada nodo



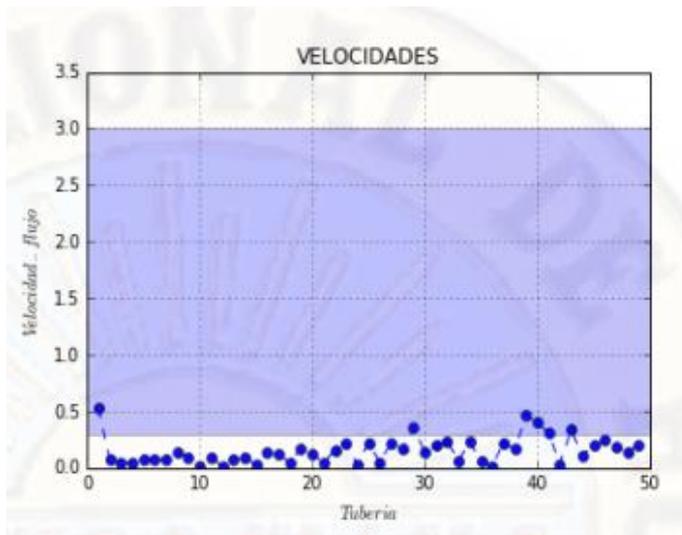
Fuente: resultado grafico en Python.

Con respecto a las velocidades podemos decir que las condiciones se deberían a la cantidad de población que cuenta la localidad de Callqui para

la presente investigación los valores de velocidad tratamos que sea los más lejano a cero para evitar efectos de sedimentación.

Figura 4:

Velocidades en cada tubería



MÉTODO DE GRADIENTE HIDRAULICO

Para diseño por el método de Gradiente Hidráulico, utilizamos como datos de entrada las condiciones

propias como la topografía, aforo del caudal y necesitamos un dato adicional como es el DIAMETRO, valor que asumiremos para obtener los primeros resultados con los que los que

cumplan las condiciones de mínimas y máximas de presión y velocidad según Normativa, del ciclo iterativo obtenemos los siguientes.

Tabla 6

Resultados del cálculo Gradiente Hidráulico

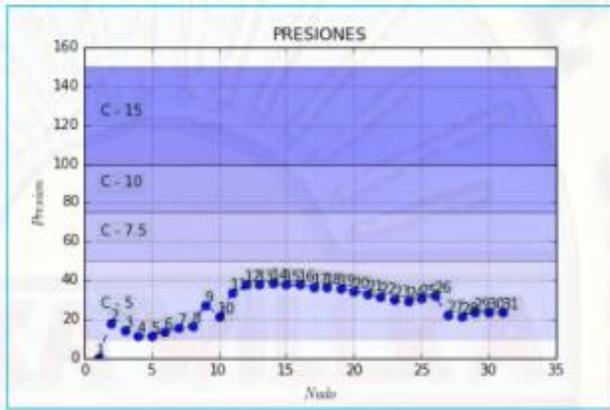
| TUBERI A | L(m) | D(mm) | COST O | TOTA L |
|-------------|-------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | 100.0 | 55.4 | 89.90 | 8990.0 |
| | 0 | | | 0 |
| 2 | 18.00 | 38.4 | 36.90 | 664.20 |
| 3 | 57.00 | 38.4 | 36.90 | 2103.3 |
| | | | | 0 |
| 4 | 51.00 | 38.4 | 36.90 | 1881.9 |
| | | | | 0 |
| 5 | 52.00 | 38.4 | 36.90 | 1918.8 |
| | | | | 0 |
| 6 | 49.00 | 38.4 | 36.90 | 1808.1 |
| | | | | 0 |
| 7 | 50.00 | 38.4 | 36.90 | 1845.0 |
| | | | | 0 |
| 8 | 48.00 | 38.4 | 36.90 | 1771.2 |
| | | | | 0 |
| 9 | 52.00 | 38.4 | 36.90 | 1918.8 |
| | | | | 0 |
| 10 | 47.00 | 38.4 | 36.90 | 1734.3 |
| | | | | 0 |
| 11 | 48.00 | 38.4 | 36.90 | 1771.2 |
| | | | | 0 |
| 12 | 52.00 | 38.4 | 36.90 | 1918.8 |
| | | | | 0 |
| 13 | 48.00 | 38.4 | 36.90 | 1771.2 |
| | | | | 0 |
| 14 | 49.00 | 38.4 | 36.90 | 1808.1 |
| | | | | 0 |
| 15 | 48.00 | 38.4 | 36.90 | 1771.2 |
| | | | | 0 |
| 16 | 50.00 | 38.4 | 36.90 | 1845.0 |
| | | | | 0 |
| 17 | 51.00 | 38.4 | 36.90 | 1881.9 |
| | | | | 0 |
| 18 | 53.00 | 38.4 | 36.90 | 1955.7 |
| | | | | 0 |
| 19 | 50.00 | 38.4 | 36.90 | 1845.0 |
| | | | | 0 |
| 20 | 50.00 | 38.4 | 36.90 | 1845.0 |
| | | | | 0 |
| 21 | 66.00 | 38.4 | 36.90 | 2435.4 |
| | | | | 0 |
| 22 | 50.00 | 38.4 | 36.90 | 1845.0 |
| | | | | 0 |
| 23 | 50.00 | 38.4 | 36.90 | 1771.2 |
| | | | | 0 |
| 24 | 48.00 | 38.4 | 36.90 | 2583.0 |
| | | | | 0 |
| 25 | 70.00 | 38.4 | 36.90 | 1808.1 |
| | | | | 0 |

| | | | | |
|----|-------|------|-------|--------|
| 26 | 49.00 | 38.4 | 36.90 | 1918.8 |
| | | | | 0 |
| 27 | 52.00 | 38.4 | 36.90 | 1771.2 |
| | | | | 0 |
| 28 | 50.00 | 38.4 | 36.90 | 1845.0 |
| | | | | 0 |
| 29 | 49.00 | 38.3 | 36.90 | 1808.1 |
| | | | | 0 |
| 30 | 52.00 | 29.4 | 24.50 | 1254.0 |
| | | | | 0 |
| 31 | 48.00 | 38.4 | 36.90 | 1771.2 |
| | | | | 0 |
| 32 | 48.00 | 38.4 | 36.90 | 1171.2 |
| | | | | 0 |
| 33 | 74.00 | 38.4 | 36.90 | 2730.6 |
| | | | | 0 |
| 34 | 48.00 | 38.4 | 36.90 | 1171.2 |
| | | | | 0 |
| 35 | 52.00 | 38.4 | 36.90 | 1918.8 |
| | | | | 0 |
| 36 | 50.00 | 38.4 | 36.90 | 1845.0 |
| | | | | 0 |
| 37 | 48.00 | 38.4 | 36.90 | 1171.2 |
| | | | | 0 |
| 38 | 51.00 | 38.4 | 36.90 | 1881.9 |
| | | | | 0 |
| 39 | 79.00 | 38.4 | 36.90 | 1771.2 |
| | | | | 0 |
| 40 | 48.00 | 38.4 | 36.90 | 1771.2 |
| | | | | 0 |
| 41 | 51.00 | 38.4 | 36.90 | 1881.9 |
| | | | | 0 |
| 42 | 79.00 | 38.4 | 36.90 | 2915.1 |
| | | | | 0 |
| 43 | 48.00 | 38.4 | 36.90 | 1771.2 |
| | | | | 0 |
| 44 | 53.00 | 29.4 | 24.50 | 1298.5 |
| | | | | 0 |
| 45 | 84.00 | 38.4 | 36.90 | 3099.6 |
| | | | | 0 |
| 46 | 102.0 | 38.4 | 36.90 | 3763.8 |
| | 0 | | | 0 |
| 47 | 57.00 | 29.4 | 24.50 | 1396.5 |
| | | | | 0 |
| 48 | 102.0 | 29.4 | 24.50 | 2499.0 |
| | 0 | | | 0 |
| 49 | 89.00 | 29.4 | 24.50 | 2180.5 |
| | | | | 0 |

En cuanto a las condiciones de presión que debe cumplir según Norma, se puede apreciar que en nuestro diseño los nodos se encuentran en el rango aceptable, por lo que no se tuvo algún inconveniente en cumplir estos valores.

Figura 5

Presiones en cada nodo

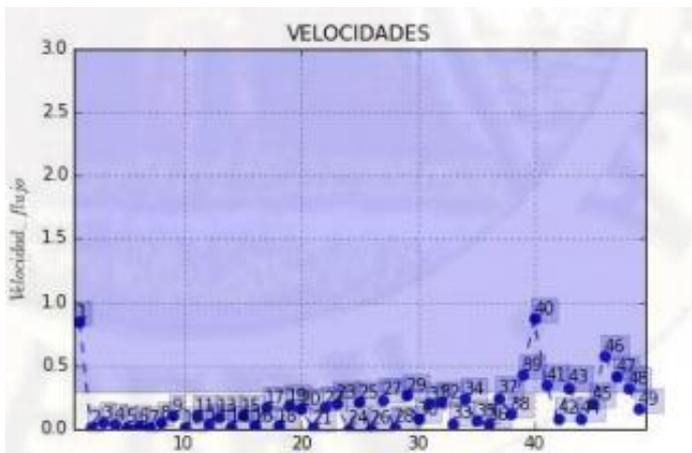


Con respecto a las velocidades podemos decir que las condiciones se deberían a la cantidad de población que cuenta la localidad de Callqui para

la presente investigación los valores de velocidad tratamos que sea los más lejano a cero para evitar efectos de sedimentación.

Figura 6

Velocidades en cada tubería



MÉTODO DEL ALGORITMO GENÉTICO

En caso del método de Algoritmo genético, utilizamos como datos de entrada las condiciones propias como la topografía, aforo del caudal en captación, dato de población actual y otros, así

mismos valores de obtener los resultados, ya que esta no requiere asumir valores como los otros métodos evaluados, solamente ingresar los rangos de valores obteniendo como resultados los siguientes:

Tabla 7*Resultados del cálculo Inteligencia Artificial*

| TUBERIA | L(m) | D(mm) | COSTO | TOTAL |
|---------|--------|-------|----------|----------|
| 1 | 100.00 | 55.4 | 89.90 | 8990.00 |
| 2 | 18.00 | 29.4 | 24.50 | 441.00 |
| 3 | 57.00 | 29.4 | 24.50 | 1396.50 |
| 4 | 51.00 | 29.4 | 24.50 | 1249.50 |
| 5 | 52.00 | 29.4 | 24.50 | 1274.00 |
| 6 | 49.00 | 38.4 | 36.90 | 1808.10 |
| 7 | 50.00 | 29.4 | 24.50 | 1225.00 |
| 8 | 48.00 | 29.4 | 24.50 | 1176.00 |
| 9 | 52.00 | 29.4 | 24.50 | 1274.00 |
| 10 | 47.00 | 29.4 | 24.50 | 1151.50 |
| 11 | 48.00 | 29.4 | 24.50 | 1176.00 |
| 12 | 52.00 | 29.4 | 24.50 | 1274.00 |
| 13 | 48.00 | 29.4 | 24.50 | 1176.00 |
| 14 | 49.00 | 29.4 | 24.50 | 1200.50 |
| 15 | 48.00 | 29.4 | 24.50 | 1176.00 |
| 16 | 50.00 | 29.4 | 24.50 | 1225.00 |
| 17 | 51.00 | 29.4 | 24.50 | 1249.50 |
| 18 | 53.00 | 29.4 | 24.50 | 1298.50 |
| 19 | 50.00 | 29.4 | 24.50 | 1225.00 |
| 20 | 50.00 | 29.4 | 24.50 | 1225.00 |
| 21 | 66.00 | 29.4 | 24.50 | 1617.00 |
| 22 | 50.00 | 29.4 | 24.50 | 1225.00 |
| 23 | 50.00 | 29.4 | 24.50 | 1776.00 |
| 24 | 48.00 | 29.4 | 24.50 | 1715.00 |
| 25 | 70.00 | 29.4 | 24.50 | 1200.50 |
| 26 | 49.00 | 29.4 | 24.50 | 1274.00 |
| 27 | 52.00 | 29.4 | 24.50 | 1176.00 |
| 28 | 50.00 | 29.4 | 24.50 | 1225.00 |
| 29 | 49.00 | 29.4 | 24.50 | 1808.10 |
| 30 | 52.00 | 29.4 | 24.50 | 1274.00 |
| 31 | 48.00 | 29.4 | 24.50 | 1176.00 |
| 32 | 48.00 | 38.4 | 36.90 | 1771.20 |
| 33 | 74.00 | 38.4 | 36.90 | 2730.60 |
| 34 | 48.00 | 29.4 | 24.50 | 1176.00 |
| 35 | 52.00 | 29.4 | 24.50 | 1274.00 |
| 36 | 50.00 | 29.4 | 24.50 | 1225.00 |
| 37 | 48.00 | 29.4 | 24.50 | 1176.00 |
| 38 | 51.00 | 29.4 | 24.50 | 1249.00 |
| 39 | 79.00 | 29.4 | 24.50 | 1176.00 |
| 40 | 48.00 | 43.4 | 55.90 | 2683.20 |
| 41 | 51.00 | 29.4 | 24.50 | 1249.50 |
| 42 | 79.00 | 29.4 | 24.50 | 1935.50 |
| 43 | 48.00 | 38.4 | 36.90 | 1771.20 |
| 44 | 53.00 | 29.4 | 24.50 | 1298.50 |
| 45 | 84.00 | 29.4 | 24.50 | 2058.00 |
| 46 | 102.00 | 29.4 | 24.50 | 2499.00 |
| 47 | 57.00 | 29.4 | 24.50 | 1396.50 |
| 48 | 102.00 | 29.4 | 24.50 | 2499.00 |
| 49 | 89.00 | 29.4 | 24.50 | 2180.50 |
| | | | Σ | 78426,90 |

En cuanto a las condiciones de presión que debe cumplir según Norma, se puede apreciar que en nuestro diseño los nodos se encuentran en el rango

aceptable, por lo que no se tuvo algún inconveniente en cumplir Así también de las velocidades podemos decir que las condiciones

fueron alcanzados en su totalidad, por lo que según consulta a expertos se debería a la cantidad de población que cuenta la localidad de Callqui para la presente investigación los valores de velocidad tratamos que sea lo más lejano a cero para evitar efectos de sedimentación.

5. CONCLUSIÓN

Para el trabajo de investigación de diseño del sistema de abastecimiento de agua en la localidad de Callqui Grande - Huancavelica se utilizó el lenguaje de programación Python, el software de AutoCAD civil 3D y Wáter GEMS. trabajo se definen los tipos de redes, sus componentes y las funciones principales que éstas desarrollan. Una vez entendida la problemática, se explica el modelo (ALGORITMO GENÉTICO) que incluye las ecuaciones de conservación de masa y energía, propias de las redes hidráulicas. Las características del modelo hacen de los diámetros, ya que éstos deben ser escogidos de entre los disponibles en una. Y a la no linealidad de las ecuaciones de conservación de masa y energía.

El uso del método de Hardy Cross para el diseño de la red de distribución de agua desventajas, llevando muchos ciclos iterativos según las condiciones de valor asumido inicialmente así como el proceso de cálculo se hace tedioso a la hora de asumir los diámetros y presiones en cada nodo, ya que para corregir las variaciones de la ecuación de continuidad en cada nodo se tiene que realizar muchos ciclos iterativos hasta que esta tienda a cero, esto hace que se haga más tedioso obtener un diseño óptimo, los cuales para la presente investigación no influencia considerable en las horas-hombre que se tiene que invertir para obtener un resultado favorable, del resultado final se obtuvo 2737.0 ml de tubería de PVC en 49 tramos y con un costo en tuberías de S/. 102,374.30.

Para el método de gradiente hidráulico, se concluye que el uso de este influye significativamente en el diseño de la red de distribución, en cuanto a la obtención del diámetro optimo y en consecuencia el costo que conlleva, ya que en el proceso de cálculo se observó que la metodología usada por Gradiente Hidráulico tiene

imitaciones en el tiempo de cálculo ya que el proceso de cambiar el diámetro que el cálculo se extienda en cuanto a horas hombre que se tiene que invertir para realizar el diseño. Esta metodología no proporciona diámetros optimizados en referencia a costo mínimo, por lo que los resultados obtenidos resultan de la experiencia del diseñador y criterios del mismo, del resultado final se obtuvo 2737.0 ml de tubería de PVC en 49 tramos y con un costo en tuberías de S/. 101,918.10.

Con el método de algoritmo genético se observó un mejor desempeño que los métodos racionales complejos utilizados, los resultados indicaron que la metodología de los algoritmos genéticos influye significativamente en el diseño de redes de distribución de agua además la facilidad de converger para obtener diámetros optimizados teniendo un mayor porcentaje de confiabilidad, precisión y menor probabilidad de fallas que estimó 2737.0 ml de tubería de PVC en 49 respecto a los otros dos métodos racionales de diseño que se limitan a verificar condiciones hidráulicas y no pretenden optimizar el diseño de la red de agua potable.

6. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Anchapuri, (2018), *Determinación del diámetro optimo en redes de distribución de agua potable por el método Hardy Cross en el Centro Poblado de Lamp Putuma Pomata-Chucuito-Puno, Perú: Universidad Nacional del Altiplano.*
- Arocha S. (1997). *“Abastecimiento de agua”.* Venezuela. *Universidad Central de Venezuela.*
- Cesar E. (1994). *“Abastecimiento de agua potable”.* México. *Universidad Nacional Autónoma de México.*
- Dávila, (2017), *“Relación entre redes cerradas y el sistema de abastecimiento de agua potable de la localidad de Caja – Huancavelica”, Perú: Universidad Peruana Los Andes.*
- Huayra y Layme, (2018), *“Comparación de atributos del softwar’s Python con Watercad –Sewercad, en el diseño de suministro de agua potable en el Centro Poblado de Silva -Acoria - Huancavelica”, Perú: Universidad Nacional de Huancavelica.*

- López, (2003), *“Diseño de redes de distribución de agua potable de mínimo costo con algoritmo genético”*, Colombia: Universidad de los Andes.
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2006). *“Reglamento Nacional de Edificaciones”*. Lima, Perú.
- Mora, (2012), *“Diseño de redes de distribución de agua mediante algoritmos evolutivos análisis de eficiencia”*, España: Universidad Politécnica de Valencia.
- Rodriguez P. (2001). *“Abastecimiento de agua”*. México. Instituto Tecnológico de Oaxaca.
- Romero, (2013), *“problemas en redes de abastecimiento de agua potable”*, México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Saldarriaga J. (2001). *“Hidráulica de tuberías”*. Colombia. Editorial Emma Ariza H.
- Shanel, (2017), *“Propuesta de optimización del servicio de la red de distribución de agua potable -RDAP- del Municipio de Madrid, Cundinamarca”*, Colombia: Universidad Católica de Colombia.
- Valle, (2014), *“Optimización del diseño de redes de distribución de agua potable, usando algoritmos genéticos con tres funciones objetivo. Caso: Viñani-Tacna”*, Perú: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.
- Villacís, (2014), *“Análisis comparativo técnico y económico de métodos de cálculo y diseño de redes de agua potable”*, Ecuador: Universidad Central del Ecuador.
- Villegas, (2017), *“Metodología computarizada de dimensionamiento de redes de agua potable”*, Perú: Universidad de Piura.