



ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS
CONSTRUCTIVOS DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA EN EL
DEPARTAMENTO DE ÁNCASH

Línea de investigación:
**Desarrollo urbano-rural, catastro, prevención de riesgos, hidráulica y
geotecnia**

Tesis para optar el grado académico de Doctor en Ingeniería Civil

Autor

Jesus Sedano, Carlos Alberto

Asesor

Jave Nakayo, Jorge Leonardo
ORCID: 0000-0003-3536-881X

Jurado

Cancho Zuñiga, Gerardo Enrique
Aroquipa Velásquez, Héctor
Díaz García, Martin Fernando

Lima - Perú

2024

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA EN EL DEPARTAMENTO DE ÁNCASH

INFORME DE ORIGINALIDAD

23%

INDICE DE SIMILITUD

22%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	13%
2	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	repositorio.uchile.cl Fuente de Internet	1%
4	repositorio.uniandes.edu.co Fuente de Internet	1%
5	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
6	repositorio.upla.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	www.hycproyectos.com Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.upao.edu.pe Fuente de Internet	<1%



Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA OPTIMIZACIÓN DE
PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE LAS REDES DE
DISTRIBUCIÓN DE AGUA EN EL DEPARTAMENTO DE
ÁNCASH

Línea de investigación:

Desarrollo urbano-rural, Catastro, Prevención de riesgos, Hidráulica y geotecnia

Tesis para optar el grado académico de
Doctor en Ingeniería Civil

Autor

Jesus Sedano, Carlos Alberto

Asesor

Jave Nakayo, Jorge Leonardo
ORCID: 0000-0003-3536-881X

Jurado

Cancho Zuñiga, Gerardo Enrique
Aroquipa Velásquez, Héctor
Díaz García, Martin Fernando

Lima - Perú
2024

DEDICATORIA

A Dios por sobre todas las cosas, a mi familia, por su amor y apoyo incondicional durante todo mi camino académico. A mi asesor; por su guía experta y paciencia infinita en cada paso de mi investigación.

Bach. Carlos Alberto Jesus Sedano

AGRADECIMIENTO

Quiero dar gracias a Dios por darme la vida, la salud y la fe para alcanzar esta meta. Él ha sido mi fortaleza en los momentos difíciles y mi guía en los momentos decisivos. Asimismo, a mi asesor de tesis, por su valiosa orientación, sus críticas constructivas y su constante motivación durante todo el proceso de investigación.

Bach. Carlos Alberto Jesus Sedano

ÍNDICE

RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	10
I. INTRODUCCIÓN	ix
1.1 Planteamiento del problema.....	13
1.2 Descripción del problema	14
1.3 Formulación del problema.....	15
Problema general.....	15
Problemas específicos.....	15
1.4 Antecedentes.....	16
1.5 Justificación de la investigación	29
1.6 Limitaciones de la investigación	29
1.7 Objetivos de la investigación.....	29
Objetivo general.....	29
Objetivos específicos	30
1.8 Hipótesis.....	30
Hipótesis general.....	30
Hipótesis específicas.....	30
II. MARCO TEÓRICO	32
2.1. Marco conceptual	32
Inteligencia Artificial	32
Optimización de procesos constructivos	42
III. MÉTODO	47
3.1. Tipo de investigación	47
3.2. Población y muestra	47

3.3. Operacionalización de variables	48
3.4. Instrumentos.....	48
3.5. Procedimientos	49
3.6. Análisis de datos.....	50
IV. RESULTADOS	51
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	98
VI. CONCLUSIONES	103
VII. RECOMENDACIONES.....	105
VIII. REFERENCIAS	106
IX. ANEXOS	116

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables	48
Tabla 2. Sectorización de la zona urbana de la localidad de Huallanca.....	52
Tabla 3. Resumen del estado de la infraestructura actual, de abastecimiento de agua. (Con calificaciones de: bueno, regular y malo).....	54
Tabla 4. Cantidad de vivienda por cada barrio y/ sector, dentro de la zona urbana de la localidad de Huallanca.....	55
Tabla 5. Cálculo de caudal Otros Usos	57
Tabla 6. Cálculo de los Caudales de Diseño	57
Tabla 7. Caudales Unitarios por tramo y nodos de la red de agua potable	58
Tabla 8. Características de la tubería para agua fría a presión NTP 399.002:2015.....	62
Tabla 9. Resumen de las tuberías consideradas con sus respectivos metrados, precio unitario y costo total	63
Tabla 10. Precios totales de tuberías con respecto al diámetro.....	65
Tabla 11. Resultados de las presiones de la RDAP método tradicional y método Superficie óptima de gradiente hidráulico.....	66
Tabla 12. Restricción Hidráulica que cumplen la Normativa (Presión).....	67
Tabla 13. Resultados de velocidades método tradicional y método Superficie óptima de gradiente hidráulico	68
Tabla 14. Restricción Hidráulica que cumplen la Normativa (Velocidad).....	69
Tabla 15. Resultados del RDAP con los diámetros según el método tradicional VS método SOGH	70
Tabla 16. Costos de la red de distribución de agua potable método Superficie óptima de gradiente hidráulico	71

Tabla 17. Resultados de las presiones de la RDAP Método tradicional y método Programación por restricciones.....	73
Tabla 18. Resultados de velocidades métodos tradicional y método Programación por restricciones.....	74
Tabla 19. Resultados de los diámetros según los métodos tradicional y Programación por restricciones.....	76
Tabla 20. Costo total de obra método tradicional y por Programación por restricciones	78
Tabla 21. Resultados de las presiones de la RDAP Método tradicional y método del Algoritmo genético	81
Tabla 22. Resultados de velocidades métodos tradicional y método del Algoritmo genético.	83
Tabla 23. Resultados de la velocidad método del Algoritmo genético	84
Tabla 24. Resultados de los diámetros según el método tradicional y Algoritmo genético	85
Tabla 25. Costo total de obra metodología tradicional y metodología del algoritmo genético	86
Tabla 26. Resultados de las presiones de la RDAP método tradicional y método Optimización combinatoria.....	88
Tabla 27. Resultados de la velocidad Método tradicional y método Optimización combinatoria	90
Tabla 28. Resultados de los diámetros según el método tradicional y método Optimización combinatoria.....	92
Tabla 29. Costos de la obra método Tradicional y método Optimización combinatorio.....	93
Tabla 30. Resumen en el costo de ejecución de la obra con los diversos métodos	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Influencia de la Superficie óptima de gradiente hidráulico en la presión	67
Figura 2. Influencia de la Superficie óptima de gradiente hidráulico en la velocidad	69
Figura 3. Influencia de la Programación por restricciones en la presión	74
Figura 4. Influencia de la Programación por Restricciones en la velocidad.....	76
Figura 5. Influencia de la Programación por restricciones en el costo de ejecución de obra ..	78
Figura 6. Influencia de la dimensión los Algoritmos genéticos en la presión	82
Figura 7. Influencia de los Algoritmos genéticos en la velocidad.....	84
Figura 8. Influencia de los Algoritmos genéticos en el costo de ejecución de obra.....	87
Figura 9. Influencia de la Optimización Combinatoria en la presión.....	89
Figura 10. Influencia de la Optimización Combinatoria en la velocidad	91
Figura 11. Influencia de la Optimización Combinatoria en el costo de la ejecución de Obra.	94
Figura 12. Rentabilidad de la Inteligencia Artificial en la presión	95
Figura 13. Influencia de la Inteligencia artificial en la velocidad	96
Figura 14. La Inteligencia Artificial en el costo de ejecución de obra de RDAP	97

RESUMEN

El presente trabajo tuvo por **Objetivo:** Determinar de qué manera influye la inteligencia artificial en la optimización de los procesos constructivos de las redes de distribución de agua en el departamento de Áncash, en el año 2023. **Método:** La investigación fue aplicada, de enfoque cuantitativo, de nivel explicativo y de diseño experimental. La población estuvo constituida por las redes de distribución de agua del distrito de Huallanca de la provincia Bolognesi, departamento de Áncash. La muestra estuvo conformada por las redes de distribución de agua de la zona urbana de Huallanca. Tuvo un muestreo no probabilístico del tipo por conveniencia. **Resultados:** Utilizando el método SOGH en el diseño de la red de agua potable de la localidad urbana de Huallanca, se obtendría un costo total de obra de S/ 820,082.17 soles y con el método tradicional de S/ 965,728.10 soles concluyendo que se ahorraría un monto total de S/ 145,645.93 soles. En el caso tradicional se tendrá que aumentar una válvula reductora de presión para cumplir estrictamente la normativa y esto también afectará en el costo total de la obra. Estos valores no incluyen la operación y mantenimiento de la RDAP en el tiempo, teniendo en cuenta que la vida útil de una red de agua potable es de 20 años. **Conclusión:** La principal conclusión fue, que la Inteligencia Artificial influye en el diseño de la red de distribución de agua potable como el parámetro costo, diámetros, presión y velocidades.

Palabras clave: Inteligencia artificial, procesos constructivos, redes de distribución.

ABSTRACT

The objective of this work was: To determine the influence of artificial intelligence in the optimization of the construction processes of water distribution networks in the department of Ancash, in the year 2023. Method: The research was applied, with a quantitative approach, explanatory level and experimental design. The population consisted of the water distribution networks of the district of Huallanca in the province of Bolognesi, department of Ancash. The sample consisted of the water distribution networks of the urban area of Huallanca. It had a non-probabilistic convenience sampling. Results: Using the SOGH method in the design of the drinking water network in the urban area of Huallanca, the total cost of the work would be S/. 820,082.17 soles and with the traditional method S/. 965,728.10 soles, concluding that a total amount of S/. 145,645.93 soles would be saved. In the traditional case, a pressure reducing valve will have to be added to strictly comply with the regulations and this will also affect the total cost of the work. These values do not include the operation and maintenance of the RDAP over time, taking into account that the useful life of a drinking water network is 20 years. Conclusion: The main conclusion was that Artificial Intelligence influences the design of the drinking water distribution network as the cost parameter, diameters, pressure and velocities.

Key words: Artificial intelligence, construction processes, distribution networks.

I. INTRODUCCIÓN

La demanda de agua ha aumentado en todo el mundo a un ritmo del 1% anual durante la década de 1980, según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Cultura, las Ciencias y la Educación (UNESCO, 2018). Esto sugiere que, para el 2050, la cantidad de agua consumida habrá aumentado un treinta por ciento. Además, más de dos millones de personas residen en países con un suministro de agua inadecuado, y miles de personas sufren escasez aguda de agua durante al menos un mes al año. Además, el 10% de la población vive en zonas sin acceso a instalaciones sanitarias, estos niveles de escasez aumentarán a medida que los efectos del cambio climático incrementen la demanda de agua. La forma en que se almacena y distribuye el agua entre una población afecta directamente a su disponibilidad. El séptimo Objetivo de Desarrollo del Milenio (ODM), que presentaron los representantes de la Organización Mundial de la Salud (OMS) en el 2017, consiste en proporcionar a todos los habitantes del planeta agua potable mejorada de una sola fuente. A nivel regional, entre zonas rurales y urbanas y, lo que es más importante, entre ricos y pobres, los avances hacia este objetivo han sido desiguales. Debido al rápido crecimiento urbano y a la falta de medidas gubernamentales para gestionarlo, en los últimos años se ha producido una importante expansión de las zonas urbanas que carecen de agua potable y saneamiento mejorado. Estos servicios no están disponibles en las zonas rurales debido a su difícil topografía, a los altos índices de pobreza y pobreza extrema y a las limitaciones financieras de los gobiernos locales. La implantación de estos servicios y la calidad de vida de los residentes mejorarán sin duda con el uso de estrategias alternativas de financiación y gestión, así como con la revisión de tecnologías y alternativas utilizadas en otros contextos, como los modelos exitosos de gestión público-privada. Además, reducir los gastos relacionados con la prestación de estos servicios.

En el numeral I.- Introducción, se realiza el planteamiento, descripción y formulación del problema, se mencionan los antecedentes del tema a investigar, se describe la justificación,

limitaciones y se plantean los objetivos e hipótesis.

En el numeral II.- Marco Teórico, se presenta el marco conceptual en el que se desarrolla los conceptos y teorías generales, las bases teóricas especializadas, todos ellos relacionados al tema de investigación.

En el numeral III.- Método, se desarrolla el tipo de investigación, describe la población y muestra, se realiza la operacionalización de las variables, se describen los instrumentos de medición utilizados en la investigación, se describen los procedimientos y se realiza el análisis de datos previamente procesados.

En el numeral IV.- Resultados, se presenta los resultados de la investigación.

En el numeral V.- Discusión de resultados, muestra las discusiones que se demostró en los resultados.

En el numeral VI. - Conclusiones, se presentan las conclusiones obtenidas en la investigación.

En el numeral VII.- Recomendaciones, se muestran las recomendaciones halladas en la investigación.

En el numeral VIII.- Referencias, son utilizadas en la presente investigación.

En el numeral IX.- Anexos; se adjunta información adicional de sustento de la investigación.

1.1 Planteamiento del problema

Dada la limitada disponibilidad de estos recursos, la gestión eficaz de los mismos es esencial en el sector del agua potable a escala mundial. Especialmente en países en vías de desarrollo como Colombia, donde la financiación del transporte de agua debe asignarse adecuadamente para atender a las comunidades. Por ello, fomentar una óptima operación y mantenimiento de los sistemas de distribución de agua potable es esencial para mejorar el desempeño del servicio tanto en cantidad como en calidad. Para lograrlo, es importante priorizar los programas de mantenimiento preventivo y crear un manual de funcionamiento del sistema. Para ello, es necesario aplicar modelos informáticos que reflejen fielmente la realidad. En ingeniería hidráulica, el rediseño de una red es una tarea poco común porque la mayoría de las ciudades cuentan con sistemas de distribución de agua potable (Gómez, 2021).

Por el contrario, cada vez son más los trabajos que apoyan las tareas de gestión integral de la distribución de agua utilizando modelos preexistentes. Pero para que la modelización matemática de un RDAP sea una herramienta útil y funcional para la explotación del sistema, es necesario modelizar fielmente el prototipo actual. El modelo hidráulico actual debe calibrarse para recibir esta representación. El proceso de calibración consiste en comparar los resultados del modelo con los datos de campo y realizar las correcciones necesarias para garantizar que ambos conjuntos de resultados coinciden. A lo largo de este proceso, se realizan comparaciones entre los resultados del modelo y los datos de campo para hacer los ajustes necesarios que garanticen la coherencia. Como técnicas de calibración se pueden utilizar tanto técnicas de optimización manuales como formales, en las que el modelizado investiga de manera informal los posibles parámetros del modelo. El desarrollo de un marco de calibración suele seguir los siguientes pasos: El proceso consta de cuatro pasos: (1) definir las variables, coeficientes y ecuaciones del modelo; (2) elegir una función objetivo para evaluar la calidad de la calibración; (3) elegir el conjunto de datos que se utilizará en el proceso de calibración;

y (4) elegir un esquema de optimización o manual para cambiar los valores de los coeficientes con el fin de reducir la función objetivo (Gómez, 2021).

Los déficits cualitativos de vivienda, definidos como material irreversible, hacinamiento o servicios básicos inadecuados, afectan al 21% de los hogares rurales (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2017), los datos fueron tomados de la Encuesta Nacional de Programas Presupuestarios, realizada entre 2014 y 2016. Además de no tener acceso a electricidad pública, alcantarillado dentro y fuera de sus viviendas, ni letrina, este último grupo se identifica porque su agua proviene de ríos, acequias, manantiales u otras fuentes. En contraste, los datos indican que la disponibilidad del servicio de agua a través de la red pública varía en un 19,2% en las zonas rurales como en el departamento de Junín. En materia de agua y saneamiento, Perú ha alcanzado todos los Objetivos de Desarrollo del Milenio en los últimos diez años, incluyendo el acceso seguro a redes de agua potable y alcantarillado. Será difícil alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible para el 2030 porque aún existe una brecha significativa en la prestación de servicios de saneamiento más seguros y mejores en las zonas rurales. El Estado está tomando medidas para generalizar los servicios de saneamiento, pero hay dos retos que debe superar: la falta de financiación y las deficiencias en la gestión social y técnica.

1.2 Descripción del problema

La viabilidad de muchos proyectos de saneamiento se ve cuestionada por el hecho de que aún están en curso. En la provincia de Bolognesi; el distrito de Huallanca no cuenta con iniciativas eficaces de gestión de agua y saneamiento. Los principales indicadores de este problema son los limitados recursos financieros de que disponen los gobiernos locales rurales para la ejecución de proyectos de agua y saneamiento, la ausencia de resolución de conflictos sociales en la gestión de los proyectos, la falta de formación en gestión de proyectos para los planificadores y gestores

de proyectos de los gobiernos locales, y la falta de participación del sector privado en el diseño, ejecución y cierre de estos proyectos. Algunas de las posibles causas son los limitados recursos financieros del Estado, las enormes necesidades de la población, la insuficiencia de recursos financieros de los gobiernos regionales y locales, la dispersión de la cantidad de viviendas en las zonas rurales, los bajos niveles de ingresos de los pobladores, la falta de capacidad técnica de los funcionarios para la gestión de proyectos, la falta de claridad del marco legal que permita la participación de un operador privado y la ausencia de un operador privado.

1.3 Formulación del problema

Problema general

¿De qué manera influye la inteligencia artificial en la optimización de los procesos constructivos de las redes de distribución de agua en Áncash, 2023?

Problemas específicos

- a) ¿De qué manera influye la superficie óptima de gradiente hidráulico en la optimización de los procesos constructivos de las redes de distribución de agua en Áncash, 2023?

- b) ¿De qué manera influye la programación por restricciones en la optimización de los procesos constructivos de las redes de distribución de agua en Áncash, 2023?

- c) ¿De qué manera influyen los algoritmos genéticos en la optimización de los procesos constructivos de las redes de distribución de agua en Áncash, 2023?

- d) ¿De qué manera influye la optimización combinatoria en la optimización de los procesos constructivos de las redes de distribución de agua en Áncash, 2023?

1.4 Antecedentes

Antecedentes Internacionales

Los objetivos de Eenda Works (2022), eran mejorar la recogida de datos en sus instalaciones y ejercer un mayor control sobre el agua no registrada. Este estudio de diseño experimental aplicó métodos cuantitativos. La población fue la red de distribución de una comuna de Santiago de Chile; la muestra se conformó mediante un censo y un muestreo no probabilístico. La observación estructurada fue el método empleado y los instrumentos fueron los formularios de recolección de datos. Las principales conclusiones afirmaron que las entidades gestoras de la red tendrán acceso a datos observados fiables. Tanto a nivel de sensores como de bases de datos, estos datos serán útiles para detectar y resolver anomalías en los patrones de consumo o en caso de que no se disponga de datos de lectura. deben desarrollar dispositivos que localicen fugas en la red con precisión y de forma automática. De forma similar, HYDROLEAKS 2.0 ha sugerido desarrollar nuevas herramientas de IA que utilicen modelos de alta resolución temporal y espacial que tengan en cuenta tanto las fugas aparentes como las reales para calcular las fugas en los operadores de agua. El proyecto concluyó que la red de suministro debía crearse como un gemelo digital. Neurite ha adaptado sus soluciones de inteligencia artificial para que funcionen con la información de los modelos matemáticos y almacenes de datos de la red de distribución de agua de BGEO. Los datos se recopilaban y analizaron utilizando la plataforma digital desarrollada por Createch Solutions. Como resultado, los operadores del ciclo del agua ya han experimentado importantes mejoras operativas y financieras, así como una reducción de los esfuerzos de gestión de la red.

Gómez (2021), pretendía desarrollar un algoritmo para calibrar una red de distribución de agua potable utilizando diversas técnicas de IA. El estudio utilizó una metodología cuantitativa para estudiar la implementación real del diseño experimental. Diez generaciones, cada una con cinco miembros, constituían la población. La muestra se tomó mediante una técnica de muestreo no probabilístico. El método utilizado fue la observación estructurada, y los instrumentos, los formularios de recogida de datos. El principal resultado fue el cambio porcentual de la demanda inicial en relación con la calibración. Es evidente que el cambio está disperso por toda la red, con valores que oscilan entre el -40% y el 40%. Se ilustra el cambio porcentual de la rugosidad inicial y la relación de calibrado. Es evidente la distribución del cambio en toda la red, con valores que oscilan entre el 100% y el 400%. la comparación de los cambios porcentuales de los coeficientes de pérdidas menores de las tuberías calibradas y de las tuberías originales. Se observa que el cambio está disperso por toda la red y tiene valores entre el 100% y el 700%. El estudio llega a la conclusión de que debe realizarse un análisis para la instrumentación de las redes de distribución de agua potable con el fin de elegir los elementos instrumentados de forma eficiente. Se pueden conseguir mejores resultados de calibración ya que estos métodos permiten seleccionar los puntos de medida de forma eficiente.

Lastra (2021), se propuso demostrar la viabilidad de las estrategias integradas en tiempo real en las redes de drenaje urbano y las plantas de tratamiento de aguas residuales. Las estrategias se diseñaron para reducir las cargas contaminantes, así como la frecuencia y el volumen de los vertidos del sistema unitario. Este estudio fue de naturaleza cuantitativa y empleó una metodología de diseño experimental aplicado. Las aguas residuales del Canal de Isabel II sirvieron de población, y en el recuento se empleó un

muestreo no probabilístico. La observación estructurada fue el método utilizado, y los formularios de recogida de datos fueron los instrumentos. Las principales conclusiones indican que las precipitaciones se verán afectadas por el cambio climático en un plazo de diez años. En concreto, se descubrió que, para todos los valores del escenario climático, el factor climático aumentará una media del 13% en el horizonte 2037-2068 en relación con los valores actuales. En consecuencia, el periodo de retorno de una infraestructura será más corto de lo previsto. La finalidad de los aliviaderos es verter las aguas residuales en masas de agua no urbanizadas. Cada aliviadero se evaluó durante al menos un episodio de precipitaciones tras un periodo de sequía prolongado y otro entre dos aguaceros. De este modo, se caracterizaron los sedimentos arrojados al alcantarillado, la contaminación arrastrada por la escorrentía superficial y los vertidos regulares de toda la población. Esto permitió describir las pautas de comportamiento de la población en relación con la contaminación que aportaba la cuenca y, lo que es más importante, el impacto de la contaminación superficial, causada sobre todo por la limpieza de las vías de transporte, los residuos sólidos urbanos, los residuos orgánicos y el lavado de las calles. Según las conclusiones del estudio, se emplea un algoritmo de aprendizaje supervisado para garantizar que la tarea de reconocimiento de patrones se realiza correctamente. Un conjunto de datos de entrenamiento clasificados manualmente sirve como punto de partida del algoritmo.

Aguilar y Obando (2020), pretendían ofrecer una visión general de los avances tecnológicos inminentes en este ámbito de investigación, junto con técnicas para la estimación de la calidad y los parámetros del agua. La naturaleza de esta investigación de diseño experimental fue cuantitativa. La muestra, extraída de un muestreo no probabilístico y de un censo, fue la población de Peak River en Malasia. La observación

estructurada fue el método y los formularios de recogida de datos fueron las herramientas. Las principales conclusiones demostraron que el agua potable, un recurso natural finito, es esencial para la supervivencia humana y de otras especies. Alrededor del 70% de nuestro planeta está formado por agua, pero sólo el 3% de esa agua es agua dulce, encontrándose la mayor parte del agua dulce en los casquetes polares y en las aguas subterráneas. Según la revisión bibliográfica, NR, MVS y Anfis tienen la mayor aplicabilidad a los recursos hídricos (36%, 24% y 16%, respectivamente); la aplicación de otros tipos de estrategias es responsable del 24% restante. La modelización híbrida produce mejores resultados y se comporta notablemente mejor que las técnicas de previsión tradicionales. Aunque la estimación de la calidad del agua almacenada ha demostrado ser poco frecuente, los procedimientos de control de este tipo de embalses pueden beneficiarse de saber cuánto tiempo puede permanecer una masa de agua en las condiciones previstas.

Desarrollar un sistema de monitorización automatizado que pudiera anticipar episodios de contaminación en las redes de distribución de agua fue el objetivo de la investigación en inteligencia artificial de Andrés (2015). En el estudio se aplicó una metodología cuantitativa para analizar el diseño experimental en funcionamiento. La población fue una red neuronal artificial con umbrales dinámicos tipo perceptrón, y la muestra fue un muestreo no probabilístico basado en datos censales. Los instrumentos fueron formularios de recogida de datos y el método, la observación estructurada. Según las principales conclusiones, el índice de turbidez sería de 0,5 si el valor de turbidez del agua fuera de 6,5, lo que indica que está medio turbia. Miligramos de oxígeno por litro (mg O₂/l) es la unidad de medida del índice desarrollado para la variable oxígeno disuelto, que se muestra junto con las etiquetas semánticas correspondientes al valor que

adquiere. En 144 pruebas de simulación realizadas con el software de la plataforma LabView, la neurona también funciona satisfactoriamente. El ejemplo dado demuestra cómo se asignan valores generados aleatoriamente a cada variable de la capa de entrada y se evalúan posteriormente en cinco funciones de umbral distintas. A continuación, se activa la variable correspondiente en función de los intervalos introducidos en esa capa. Así, el intervalo ideal de 1 se alcanzó con los valores de turbidez, cloro residual libre, oxígeno disuelto y temperatura, mientras que se produjo una salida de 0,25 para la conductividad eléctrica y de 0,5 para el pH. Los resultados de la investigación indican que el modelo de predicción se somete a un entrenamiento continuo mediante la utilización de datos de series temporales. En concreto, el estudio empleó 72 series de datos de cinco minutos o seis horas para cada variable. Además, la frecuencia de entrenamiento de los datos de las series temporales puede modificarse. Los valores de referencia utilizados vienen determinados por la legislación de referencia de cada país y pueden diferir.

Motta y Moreno (2021), en su tesis, "Optimización del coste de una carcasa VIS mediante un algoritmo de evolución diferencial", tuvieron como objetivo encontrar el hormigón menos costoso necesario para construir los pilares de un complejo de viviendas sociales teniendo en cuenta las restricciones de desplazamiento máximo. Este estudio no experimental y descriptivo tenía una base cuantitativa. La población de la vivienda prototipo se determinó por sus atributos mecánicos y físicos, mientras que la muestra se creó mediante muestreo no probabilístico y datos censales. La observación estructurada fue el método y los formularios de recogida de datos fueron las herramientas. Los principales hallazgos fueron que el desplazamiento aceptable de la Norma Colombiana Sismorresistente limita el algoritmo, estableciendo específicamente que la deriva máxima

para cualquier piso no puede exceder el 1,0% de la altura del piso. 0,025 metros, o 2,5 centímetros, fue el límite establecido para definir la restricción de desplazamiento porque la estructura analizada tiene 2,50 metros de altura. Está claro que los precios han cambiado significativamente desde 2016. Se han producido cambios significativos en la economía del país, entre los que destaca la subida del Impuesto sobre el Valor Añadido (IVA) del 16% al 19%. Se incurrió en costes adicionales debido a los elevados aranceles a la importación de Clinker, un insumo necesario para la producción, y al coste del transporte desde los puertos hasta las instalaciones de fabricación. El precio del hormigón varía porque los constructores eligen distintos tipos de hormigón (concretera) para sus proyectos en función de factores como la oferta y la demanda, la calidad y el soporte. Por lo tanto, determinar la forma más eficaz de utilizar este material es crucial desde el principio hasta el final del proyecto. Si se reevaluara la resistencia de diseño del hormigón y se optimizara la sección transversal mínima de las columnas, se podría gastar un 39,3% menos de dinero en su construcción. Esto sugiere que la optimización es más eficiente que el plan original tanto estructural como económicamente.

En la tesis de Fonseca (2018), "Propuesta para la optimización de procesos constructivos en sistemas de mampostería estructural, para la construcción de vivienda multifamiliar VIS, a través de la implementación de BIM", se observaron los siguientes temas: ¿Qué preocupaciones tienen los proyectos de vivienda multifamiliar VIS en Colombia con respecto a la gestión y supervisión?. El objetivo de este estudio fue presentar un modelo metodológico que utiliza el modelamiento de información de construcción (BIM) para mejorar la productividad, calidad y rentabilidad de los procesos constructivos de los proyectos de vivienda multifamiliar VIS que utilizan sistemas constructivos de mampostería estructural. En este estudio no experimental se empleó un

diseño cuantitativo descriptivo. Se utilizó un muestreo no probabilístico y un censo para crear la muestra, y los proyectos de vivienda multifamiliar VIS sirvieron como población. Se utilizaron como instrumentos formularios de recolección de datos y el método de observación estructurada. Los resultados primarios mostraron una diferencia porcentual variable entre las cantidades extraídas utilizando el software BIM y el método tradicional. Por ejemplo, las vigas de hormigón de 12 cm por 10 cm experimentaron un aumento del 76,9%, pero las vigas de 12 cm por 15 cm experimentaron una disminución del 85,3%. Esto se debe al descubrimiento de que los diseños suministrados no señalaban con precisión la ubicación de cada uno de estos componentes durante la creación de los distintos modelos 3D. A pesar del presupuesto, hubo un 9,7%, un 18,8% e incluso un 50% menos de instalaciones de fontanería, electricidad y telecomunicaciones, respectivamente. El proceso de construcción no siempre cumple con los más altos estándares de calidad, a pesar de que los proyectos de vivienda multifamiliar VIS se vienen discutiendo desde hace algún tiempo en Colombia. Muchos factores, entre ellos la insuficiente supervisión durante el proceso de construcción y la falta de coordinación en las etapas de diseño previas al inicio de la construcción, son los culpables de esto, que en proyectos de este tipo se traduce en grandes sobrecostos y reprocesos.

Antecedentes Nacionales

En un esfuerzo por abordar de forma más directa, rápida y precisa los problemas e impactos relacionados con la acuicultura, Betalleluz et al. (2022), revisaron las diversas técnicas metodológicas, modelos, algoritmos, software y dispositivos utilizados dentro de los sistemas de inteligencia artificial, aprendizaje automático y aprendizaje profundo durante los últimos 20 años. Este estudio tuvo un nivel explicativo, un diseño experimental y métodos cuantitativos. La muestra fue un censo de muestreo no

probabilístico, y la población fueron las granjas acuícolas. Los formularios de recogida de datos sirvieron de instrumentos, y la observación estructurada fue el método empleado. Las principales conclusiones indicaron que el uso de redes neuronales artificiales en el análisis multivariante de procesos y resultados va en aumento. Las redes neuronales se han desarrollado rápidamente en los últimos años para optimizar procesos. La aplicación de la tecnología de control de procesos en la acuicultura tiene en cuenta una serie de factores productivos, medioambientales y socioeconómicos. La aplicación del aprendizaje automático, la inteligencia artificial y las redes neuronales ha ampliado la definición de inteligencia en acuicultura y mejorado la optimización de parámetros críticos como la temperatura y el oxígeno disuelto.

El objetivo de Canaza et al. (2022), era crear un modelo de predicción de la potabilidad del agua basado en árboles de decisión. En este estudio de diseño experimental se aplicaron métodos cuantitativos. Se muestrearon 3276 muestras de agua divididas de forma no probabilística, y la población fue un dataset obtenido de Kaggle. Los formularios de recogida de datos fueron las herramientas, y la observación estructurada fue la técnica. Los resultados primarios indicaron que la técnica elegida para limpiar el conjunto de datos fue la eliminación de datos, que representó el 23% del total porque no tuvo efectos perjudiciales en la coherencia del conjunto de datos. Además, la potabilidad del agua se evaluó mediante un árbol de decisión. Los datos se dividieron en dos conjuntos: entrenamiento y prueba, que representaron el 20% y el 80% de los datos totales, respectivamente. A diferencia del modelo presentado en trabajos relacionados, que utilizaba una técnica de clasificación, se descubrió que podía definir un modelo capaz de pronosticar la potabilidad del agua.

La visualización del estado de los sistemas hidrológicos en tiempo real mediante algoritmos de inteligencia artificial fue el objetivo de SEDAPAL (2021). Con un enfoque cuantitativo, un diseño experimental y un nivel explicativo, se aplica este estudio. La población estuvo conformada por los modelos hidrológicos de aguas superficiales, aguas subterráneas y la red de estaciones hidrometeorológicas, mientras que la muestra fue un censo de muestreo no probabilístico. Las herramientas fueron los formularios de recolección de datos, y el método fue la observación estructurada. Con la asistencia técnica del MINAM y el BID, nuestra organización participó en el proyecto como principal operador del sistema. Lanzamos la herramienta HydroBID, que analiza Big Data de la red de estaciones hidrometeorológicas, aguas superficiales y modelos hidrológicos de aguas subterráneas utilizando algoritmos de inteligencia artificial. Como resultado, podemos actualizar los balances hídricos en las cuencas pertinentes y realizar nuevas simulaciones para estudiar diferentes escenarios que impliquen variaciones en la oferta y la demanda de agua. La segunda fase del proyecto, actualmente en curso, nos permitirá desarrollar un sistema operativo de apoyo a la toma de decisiones sobre el sistema de abastecimiento y regulación de agua bruta para las ciudades de Callao y Lima. Se comprobó que la detección temprana podría ahorrar agua y dinero en la red de agua potable utilizando la tecnología de aprendizaje automático y la solución de reparación temprana de Takadō. Se estima que se habrían ahorrado 675.000 USD si las fugas descubiertas en el proyecto piloto no se hubieran descubierto en el plazo de un año. La escalabilidad del proyecto está siendo evaluada actualmente a nivel corporativo por las Direcciones Operativas.

Blanco (2018), tuvo como objetivo desarrollar una red neuronal artificial para facilitar la eliminación de cobre(II) de las aguas mediante el uso de biopolímeros. El entrenamiento de la red con parámetros característicos del proceso químico incluyó tiempo de agitación, frecuencia, pH, masa de perlas de quitosano reticuladas con glutaraldehído, concentración de glutaraldehído utilizada para la reticulación y concentración inicial de cobre. En este estudio se aplicaron métodos cuantitativos, un diseño experimental y un nivel explicativo. El muestreo no probabilístico consistió en extraer el cobre del agua desionizada. ALS Life Sciences Perú constituyó la población. Las herramientas fueron los medios de recogida de datos, y el método empleado fue la observación estructurada. Se encontró que 16 capas ocultas producían un %MSE aceptable (10% de error de entrenamiento), por lo que este fue el número de capas ocultas que se utilizaron en el análisis. Aunque cabría pensar que con más capas ocultas se obtendría un mejor error de predicción, se pudo optar por una RNA con 20 capas ocultas. Esto se debe al hecho de que el número mínimo de capas necesarias para obtener un error aceptable es necesario para maximizar los recursos computacionales. El objetivo es siempre que el error del modelo converja lo más cerca posible del 0%, y cuantas más capas tenga la red, más tiempo se tardará en alcanzar este objetivo. En la validación del modelo de RNA (6 - 16 - 1), la primera epoch presenta el mejor rendimiento al alcanzar el valor de 3,44% de error. Se observa que el valor del gradiente de la función de correspondencia experimental-predictiva toma un mínimo constante en la época 4 y aumenta hasta $5,3932 \times 10^{-13}$ en la época 7 (el valor de parada de la iteración es 1×10^{-13}). Encontramos que tres valores son mayores que el error del 20%. Se espera un máximo del 5% de los datos totales, o 4 puntos de datos ($74 \times 5\% = 3,7$), ya que el modelo RNA (6 - 16 - 1) es predictivo con un 95% de confianza, y hay exactamente 3 puntos de datos que están fuera de especificación (error superior al 20%). El control estadístico del

proceso queda demostrado por el cumplimiento de la restricción de significación del modelo ($\alpha = 0,05$). En las pruebas de sorción realizadas en laboratorio con agua desionizada contaminada intencionadamente con una solución de Cu (II), la preparación de microesferas de quitosano reticulado con glutaraldehído dio buenos resultados.

Las redes neuronales artificiales (RNA) fueron entrenadas y validadas durante 11 meses utilizando datos de Jar Test, según Peña (2016). Posteriormente, el proceso de potabilización de SEDAM Huancayo empleó estas RNA para optimizar, controlar y predecir la dosificación de coagulantes. Este fue un estudio cuantitativo que empleó un enfoque de diseño experimental aplicado. Se utilizó una técnica de muestreo no probabilístico basada en un censo para seleccionar una muestra de la población de la subcuenca del río Shullcas. Los formularios de recogida de datos sirvieron de instrumentos en la técnica de observación estructurada. Encontrar la dosis ideal de coagulante de sulfato de aluminio para el tratamiento del agua potable implicó desarrollar y evaluar una serie de parámetros físicos y químicos de entrada. Éstos fueron los principales resultados. Los resultados incluyeron una tasa de determinación de la formación del 96,9% y una tasa de error de formación del 3,73%. Según estos resultados, la predicción de la red neuronal y las pruebas reales de laboratorio muestran una correlación del 98,4%, es decir, casi el 100%. Al analizar el impacto y la importancia de los factores de entrada a la red que afectan a la red neuronal de regresión generalizada (GNR) durante las pruebas, el entrenamiento y la predicción, el color, la turbidez y el pH resultaron ser los factores más importantes debido a la variabilidad de sus registros históricos.

Álvarez y Yacupaico (2021), abordaron el siguiente tema en su tesis, "Diagramas de ruta optimizados y propuesta de mejora en la ejecución de ítems de la institución educativa, Yanaquero - Huasmín - Celendín - Cajamarca, 2020". ¿La institución educativa Yanaquero - Huasmín - Celendín - Cajamarca, 2020 tiene la capacidad de optimizar el tiempo de ejecución de sus ítems? El estudio tuvo como objetivo optimizar los diagramas de ruta para la construcción de la institución educativa Yanaquero-Huasmín-Celendín-Cajamarca, 2020. Se empleó un enfoque cuantitativo en un estudio transversal, descriptivo, no experimental y explicativo. Utilizando una técnica de muestreo no probabilístico y un censo, la población fue la Institución Educativa Yanaquero. Los instrumentos fueron los formularios de recolección de datos y el método la observación estructurada. En este ítem de zapatas, la distancia real total medida fue de 216,81 metros, mientras que la distancia optimizada resultó ser de 142,37 metros. En la partida "Zapatas" se alcanzó un tiempo total optimizado de 4 minutos y 29 segundos, frente a un tiempo real de 6 minutos y 51 segundos, lo que indica una optimización del 34,55%. Los principales resultados son los siguientes En la partida "Columnas" se alcanzó una optimización del 41,48%. Frente a la distancia total optimizada de 156,81 metros, que en realidad era de 261,56 metros. Fueron 8 minutos y 02 segundos, y no los 4 minutos y 42 segundos optimizados. El elemento "Columnas" demostró una optimización del 41,37%. El elemento "Muros de mampostería" presentó los siguientes datos: distancia total real de 160,25 m; distancia total optimizada de 95,21 m; tiempo total real de 4 minutos y 46 segundos; tiempo total optimizado de 2 minutos y 48 segundos. El cronometraje de las mejores aplicaciones de muros, pilares, losas más ligeras, enlucido y pintura permitió realizar plenamente la hipótesis. Los tiempos más rápidos fueron del 34,55%, 41,49%, 41,26%, 43,44%, 51,06% y 49,29%, respectivamente, en comparación con los tiempos reales. Según los diagramas de ejecución reales, las distancias totales de

los elementos de cimentación, pilar, muro, losa aligerada, enlucido y pintura son 216,81 m en 06'51", 261,56 m en 08'02", 160,25 m en 04'46", 375,87 m en 11'49", 194,88 m en 5'31" y 288,68 m en 4'42".

El problema fue reconocido por Cubas y Gómez en el 2020, cuando escribieron su tesis, "Propuesta de gestión para optimizar los factores que influyen en la productividad de la industria de la construcción en Nuevo Chimbote". ¿Cómo el plan de gestión maximizará los elementos que inciden en la productividad de la industria de la construcción de Nuevo Chimbote? El objetivo fue determinar si el plan de gestión optimizará los elementos que inciden en la productividad de la industria de la construcción de Nuevo Chimbote. El estudio fue cuantitativo, transversal, descriptivo y no experimental. La muestra censal no probabilística estuvo constituida por siete obras de construcción. Se emplearon formularios de recogida de datos como instrumentos en el proceso de observación estructurada. Las principales conclusiones mostraron que el 36% y el 53% del total, es decir, el 89% de los factores relacionados con una incidencia alta y muy alta, eran tiempos de inactividad de la maquinaria causados por ausencias del trabajo. Por el contrario, se consideró que la maquinaria de baja calidad era un factor de incidencia muy alta en el 32% de los casos y en el 61% de los casos, lo que suponía el 93% de la consideración. Así pues, los dos factores más frecuentes que afectan a la maquinaria durante la ejecución de las obras son el tiempo de inactividad por falta de frentes de trabajo y el mal estado de la maquinaria. El 82% de los factores tenidos en cuenta están relacionados con el desorden que existe actualmente en la organización. Estos factores se desglosan en un 46% de factores con una incidencia alta y un 36% de factores con una incidencia muy alta. Asimismo, una incidencia alta de déficit de empatía supone el 36% de la consideración del equipo de trabajo, y una incidencia muy alta de

déficit de empatía supone el 57% de la consideración, para un total del 93% de la consideración. Como resultado, la falta de empatía del equipo y el estado actual del trastorno laboral son los factores más incidentes en el lugar de trabajo. Se descubrió que el 86% de los factores tenidos en cuenta afectaban al estado de ánimo de los trabajadores en el trabajo, con un 61% y un 25% de los factores calificados como de incidencia alta o muy alta, respectivamente. Por lo tanto, los factores externos que afectan a los estados mentales de los trabajadores son el componente más importante de la mano de obra de la construcción.

1.5 Justificación de la investigación

Los resultados de este estudio demuestran que, a pesar de la falta de financiamiento por parte del gobierno provincial o regional, es factible manejar alternativas de optimización en la ejecución de obras de saneamiento en el departamento de Ancash, principalmente en el distrito de Huallanca, y así beneficiar a la población local. El presente estudio se realizó con la finalidad de optimizar los procesos de construcción de redes de distribución de agua mediante un adecuado análisis de inteligencia artificial.

1.6 Limitaciones de la investigación

La investigación no tuvo limitaciones importantes.

1.7 Objetivos de la investigación

Objetivo general

Determinar de qué manera influye la inteligencia artificial en la optimización de los procesos constructivos de las redes de distribución de agua en Ancash, 2023.

Objetivos específicos

- a) Analizar de qué manera influye la superficie óptima de gradiente hidráulico en la optimización de los procesos constructivos de las redes de distribución de agua en Áncash, 2023.

- b) Analizar de qué manera influye la programación por restricciones en la optimización de los procesos constructivos de las redes de distribución de agua en Áncash, 2023.

- c) Analizar de qué manera influyen los algoritmos genéticos en la optimización de los procesos constructivos de las redes de distribución de agua en Áncash, 2023.

- d) Analizar de qué manera influye la optimización combinatoria en la optimización de los procesos constructivos de las redes de distribución de agua en Áncash, 2023.

1.8 Hipótesis

Hipótesis general

La inteligencia artificial influye de manera favorable en la optimización de los procesos constructivos de las redes de distribución de agua en Áncash, 2023.

Hipótesis específicas

- a) La superficie óptima de gradiente hidráulico influye de manera favorable en la optimización de los procesos constructivos de las redes de distribución de agua en Áncash, 2023.

- b) La programación por restricciones influye de manera favorable en la optimización de los procesos constructivos de las redes de distribución de agua en Áncash, 2023.

- c) Los algoritmos genéticos influyen de manera favorable en la optimización de los procesos constructivos de las redes de distribución de agua en Áncash, 2023.

- d) La optimización combinatoria influye de manera favorable en la optimización de los procesos constructivos de las redes de distribución de agua en Áncash, 2023.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Marco conceptual

Inteligencia Artificial

- **Definición**

La inteligencia artificial es cada vez más popular como sustituto del diseño, según Soto y Jurado (2021). Puede alcanzar objetivos de diseño tradicionales como la precisión de cálculo y la optimización, y también puede producir resultados positivos porque elimina la necesidad de suposiciones o valores iterativos, lo que reduce significativamente la cantidad de tiempo necesario para crear un diseño ideal. Según ellos, este campo de estudio se centra en la creación de programas informáticos que puedan llevar a cabo funciones mentales como el aprendizaje y el razonamiento lógico. Según el Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2022), la inteligencia artificial está permitiendo soluciones que agilizan y facilitan la prestación de servicios, lo que supone una transformación significativa en el sector del agua y el saneamiento.

Según el Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2022), “la inteligencia artificial influye en el diseño de las redes de distribución de agua potable, incluidos los parámetros de costes, diámetros, presión y velocidades”. La inteligencia artificial es la ciencia y la inteligencia de construir máquinas inteligentes, en particular software inteligente, según Fernández (2019). La IA está relacionada con el esfuerzo similar de utilizar ordenadores para comprender la inteligencia humana, pero no se limita a técnicas observables biológicamente.

- **Proceso de calibración de la inteligencia artificial**

Gómez (2021), menciona que se realiza una comparación entre el modelo computacional y el prototipo para determinar los valores reales del último. Esta comparación se realiza a través de las medidas de caudales y presiones tomadas en la red. Lo ideal sería ser capaz de medir el caudal y presión en todos los elementos, sin embargo, debido a los costos de

los equipos de medición esto resulta imposible. Se instrumenta algunos puntos sensibles de la red para determinar el comportamiento general del sistema. A la serie de medidas realizadas se les conoce como curvas de masa para el caudal y energía para la presión.

- ***Identificación de puntos de medición***

Gómez (2021), menciona que el proceso de calibración requiere de la medición de caudal y presión en algunos puntos del sistema. Específicamente en puntos sensibles de la red. Debido a los costos elevados de los equipos de medición y su implementación en campo se requiere optimizar la ubicación y cantidad de estos puntos de modo que se obtenga el comportamiento general del sistema sin incurrir en costos excesivos.

- ***Matriz de sensibilidad***

Según Gómez (2021), la identificación de puntos de medición a través de la sensibilidad de la red presenta una metodología en la cual se cuantifica la variación de la rugosidad y demanda de la red con respecto a los cambios de presión y caudal de cada elemento del sistema.

- ***Análisis geométrico***

Según Gómez (2021), es un tema tratado para determinar diferentes cualidades topológicas de una red. Se basa en diferentes medidas como la conectividad, cercanía, intermediación, entre otras para determinar la importancia de los elementos de una red.

- ***Entropía impulsada por presión***

Según Gómez (2021), consiste en realizar simulaciones en diferentes escenarios de fuga y comportamientos variables en las demandas a través del análisis impulsado por presión. Acto

seguido calcular la entropía de estos escenarios para cada nodo y de esta manera cuantificar cual es el nodo más sensible a diferentes comportamientos en la red.

- ***Topología y sensibilidad de la red para presión***

En la metodología de sensibilidad de la red, se implementa dos métodos para la ubicación de los puntos de presión. En primer lugar, a través de la topología se divide la red en secciones, en los puntos claves donde existe inclusión de masa en el sistema o válvulas de cierre. Acto seguido, en cada sección se realiza un análisis de sensibilidad independiente para ubicar los nodos más sensibles. Es importante resaltar que esta metodología solo aplica para ubicar los puntos de instrumentación de presión en los nodos. Luego, la sensibilidad se calcula con la teoría de la entropía. Además, se incluye una función de costos en el cálculo de los puntos. En esta se puede identificar los diferentes componentes nodos más relevantes para cada subsección de la red (Gómez, 2021).

- ***Fractalidad***

El método de fractalidad, expone una metodología en la cual se aplican las propiedades de los fractales los diferentes elementos de la red. Para esto aplica una malla sobre la red a analizar para permitir aproximar las propiedades de los fractales en el análisis. A través de esto se busca clasificar las regiones de la malla, este proceso mejora sus resultados al amplificar la densidad de la red para hallar los puntos precisos (Gómez, 2021).

- ***Algorítmicos genéticos***

Los algoritmos genéticos son otra alternativa implementada en el análisis de sensibilidad de una red. Se implementan algoritmos genéticos para probar la cantidad y

ubicación de los nodos. Este proceso se realiza hasta que se tiene un punto óptimo según la función objetivo establecida por el modelador (Gómez, 2021).

- ***Formas de la inteligencia artificial para implementar el proceso de calibración***

Gómez (2021), menciona que entre las formas de la inteligencia artificial, se tiene a los sistemas expertos, las redes neuronales, los algoritmos genéticos, “machine learning”, “data mining”, entre otros.

- ***Proceso de calibración de una red de distribución de agua potable a través de inteligencia artificial***

Gómez (2021), indica que se hace parte de la rama de la hidro informática, el proceso de calibración forma parte de los campos de sistemas de apoyo de decisiones y modelación y gestión de activos urbanos, en los que se busca integrar diversas tecnologías de adquisición de datos para fundamentar modelos físicamente basados, modelos de datos y modelos basados en agentes o usuarios. Con el fin de hacer mejores predicciones basadas en procesos con menos incertidumbre.

- ***Hidro informática***

Según Gómez (2021), se utiliza la modelización, simulación y tecnología de la información y las comunicaciones para ayudar a resolver los problemas de la hidráulica.

• **Implementación de la inteligencia artificial**

Se explora la aplicación de los instrumentos y sistemas existentes, utilizados predominantemente por profesionales e ingenieros del agua, a instrumentos y sistemas que puedan ser utilizados por una amplia gama de interesados en el agua, incluida la población en

general. Se involucran tanto la instrumentación de campo como los diferentes softwares de procesamiento de datos para ejecutar la labor (Gómez, 2021). Refleja que el proceso de calibración cuenta con múltiples campos involucrados con el objetivo de realizar una aproximación a la realidad a través de datos obtenidos con instrumentación y sistemas de diferentes niveles, para asistir a la modelación y gestión de activos urbanos.

- **Algoritmos de la inteligencia artificial**

Gómez (2021), menciona que son una combinación de algoritmos que tienen el objetivo de replicar las capacidades de razonamiento y resolución de problemas del ser humano. Permite automatizar el aprendizaje y la toma de decisiones para lograr la resolución de problemas de una manera adecuada y eficiente. Puede utilizarse para investigar el espacio de soluciones de las variables mencionadas anteriormente e identificar una solución adecuada, lo que lo hace aplicable a la calibración de redes de distribución de agua potable.

- **Sistemas expertos de la inteligencia artificial**

Los sistemas expertos son un sistema que emula el razonamiento humano a través de la tomado de decisiones, existen diferentes tipos de sistemas expertos, dependiendo del campo de aplicación en el que se implementen. Los sistemas expertos permiten emular las decisiones de un modelador experto en su área de conocimiento (Gómez, 2021).

- **Inteligencia artificial en el diseño de redes de agua potable**

- ***Modelo de solución***

Un problema de optimización combinatoria que modele el diseño de redes de distribución de agua potable debe utilizar los diámetros de cada tubería de la red como variables de decisión (Saldarriaga, 2016).

- ***Diseño de la red de distribución de agua***

Para suministrar la cantidad necesaria de agua a los clientes a una presión suficiente, con la calidad requerida (un factor crucial por razones de salud y seguridad) y de forma fiable, es decir, continua, económica y sostenible, los sistemas de distribución de agua están formados por una red interconectada de fuentes, tuberías, bombas, depósitos y válvulas (Saldarriaga, 2016).

- ***Metodología de superficie de la gradiente hidráulica***

Los sistemas de tuberías de flujo presurizado con cualquier topología o fuente de suministro pueden diseñarse utilizando la metodología de diseño Surface Optimal Gradient Hydraulics (SOGH). Estos sistemas incluyen redes de riego por presión, redes contra incendios de edificios, redes de distribución de agua potable, redes abiertas y cerradas, y redes de riego a presión. A continuación, se indican las etapas que componen la metodología (Saldarriaga, 2016):

- ✓ La medida de la separación entre los nodos y la fuente.
- ✓ Asigna las fuentes a los diámetros iniciales de los nodos.
- ✓ Calcular la desviación ideal.
- ✓ Ejecutar una simulación hidráulica para hallar la dirección y los caudales.
- ✓ Determinar la LGH ideal para cada nodo calculando la superficie de gradiente hidráulico óptimo.
- ✓ Se puede determinar la altura piezométrica óptima en cada nodo utilizando una función que tenga en cuenta la distancia calculada en el punto anterior.
- ✓ La pérdida de energía objetivo para cada tubería debe ser la diferencia entre las alturas piezométricas inicial y final de los nodos.
- ✓ Para conocer los caudales en cada tubería de la red, se debe realizar una simulación

hidráulica utilizando los diagramas de caudal, los diámetros reales y las pérdidas de energía.

- ✓ A partir del diagrama de flujo correspondiente al diseño simple de la tubería y de los caudales y pérdidas calculados, se determinará el diámetro de cada tubería.
- ✓ Repita el proceso iterativamente hasta que la discrepancia entre las alturas piezométricas medida e ideal sea inferior al error máximo permitido.
- ✓ Calcule los diámetros en relación con los diámetros comerciales.

- ***Metodología programación por restricciones***

La programación con restricciones (PC) utiliza este método computacional de vanguardia, conocido como diseño RDAPS. La IA es un campo que utiliza la inferencia y el razonamiento para resolver problemas complejos. Según este paradigma, las instancias múltiples de un problema de satisfacción de restricciones constituyen problemas de optimización combinatoria, que pueden resolverse de la manera descrita a continuación (Saldarriaga, 2016).

- ***Método algoritmo genético (AG) aplicado al diseño de RDAPs***

Para el diseño óptimo de RDAP, puede emplearse una arquitectura aditiva generalizada (GA) básica. Se distingue por el procedimiento de selección de la noria, que elige individuos (o redes) basándose en una probabilidad de selección inversamente proporcional al valor de la función de coste. Además, la primera generación de individuos se produce mediante un proceso aleatorio (Saldarriaga, 2016).

- ***Método optimización combinatoria***

Saldarriaga (2016), afirma que el objetivo es integrar varios algoritmos que afectan a la identificación de una superficie de presión ideal, AG y PR en un sistema que pueda utilizar la

salida de cada algoritmo para mejorar los resultados y estimar el diseño de coste mínimo de las redes de distribución de agua potable.

- **Inteligencia artificial y patrones de consumo de agua**

Futurenviro (2021), indica que se permite conocer con minuciosidad cuál es el destino final del consumo de agua potable en las viviendas, por la descomposición en sus componentes esenciales en cuanto a tipo de uso. Puede darse respuesta a cuestiones concretas sobre el uso que las familias dan al agua que se les suministra y los factores que determinan dicho uso. Mediante la instalación de contadores de elevada precisión y a partir de las lecturas registradas, pueden obtenerse con gran detalle de manera continua las curvas de consumo de caudal de cada domicilio.

- **Modelo con algoritmos de Inteligencia Artificial**

Las redes neuronales, las máquinas de vectores soporte, los árboles de impulso de gradiente y los sistemas neuro difusos son algunos de los algoritmos más eficaces para la predicción de fallos (Cubillos, 2022).

- ***Preprocesamiento de la base de datos***

Dado que los modelos de aprendizaje automático son algoritmos que aprenden de los datos, el paso de preprocesamiento es crucial para garantizar que la base de datos no contenga errores y esté en el formato correcto (Cubillos, 2022):

✓ **Construcción de la base de datos.** La red completa en su configuración actual sirve de base para los datos utilizados; es decir, tenemos una matriz en la que cada fila representa una tubería del sistema, suponiendo que todas las tuberías están operativas (es decir, que no hay fallos en la red) (Cubillos, 2022).

✓ **Curación de los datos.** La base de datos debe vaciarse antes de la modelización, dejando sólo las columnas necesarias para la predicción de fallos, es decir, las variables explicativas del modelo. Estas variables incluyen elementos como el diámetro, la longitud, la edad, el tipo de suelo, la profundidad, el pH del agua transportada, los fallos ocurridos en el pasado, etc. Elimine todas las columnas relacionadas con cualquier tipo de ubicación (calles, coordenadas, municipios, etc.) (Cubillos, 2022).

✓ **Re-muestreo de los datos en muestras desbalanceadas.** Cuando existe un desequilibrio en la cantidad de datos vinculados a cada clase en la muestra, se dice que está desequilibrada. Esto permite definir una "clase mayoritaria" y una "clase minoritaria" (clasificación binaria) (Cubillos, 2022).

✓ **Construcción de los sets de entrenamiento y testeo.** La modelización se realiza una vez definidos los conjuntos de entrenamiento y prueba. El 75% de los datos se utilizan para entrenar el modelo y el 25% para probarlo. Si la base de datos está desequilibrada, la información se clasifica en función del nivel de avería para evitar que los conjuntos se limiten a tuberías en buen estado (Cubillos, 2022).

✓ **Selección de hiperparámetros del modelo.** Cada algoritmo posee un conjunto de hiperparámetros que determinan la capacidad predictiva final de cada modelo. El núcleo de una máquina de vectores soporte, la cantidad de neuronas en las capas ocultas de una red neuronal y otros componentes son ejemplos de estos hiperparámetros. Se define una cuadrícula con valores potenciales para cada uno de los hiperparámetros de los algoritmos estudiados (Cubillos, 2022). El método del proceso de selección consiste en ajustar el algoritmo con todas las combinaciones potenciales de hiperparámetros para esta cuadrícula y los conjuntos de

entrenamiento previamente definidos. La validación cruzada se utiliza para cada configuración de datos; esto implica dividir el conjunto de entrenamiento en k subconjuntos y entrenarlo con $k - 1$.

- ***Modelo de deterioro con Gradient Boosting***

Uno de los métodos de ensemble (estrategias de combinación de modelos) utilizados en el aprendizaje automático es el gradient boosting. El proceso consiste en construir una regresión aditiva ajustando gradualmente los pseudo residuos actuales, que representan el gradiente de la función de pérdida que hay que minimizar, a una función básica (aprendiz base) (Cubillos, 2022).

- ***Modelo de deterioro con Perceptrón Multicapa***

Las redes neuronales son modelos de aprendizaje con estructura de capas, según Cubillos (2022), y su nombre alude a la neurobiología. En la arquitectura específica de estos modelos se distinguen tres tipos diferentes de capas:

- ✓ Input layer o capa de entrada: es la que recibe los datos de entrada al modelo.
- ✓ Hidden layers o capas intermedias: reciben información desde la capa de entrada o desde otras capas intermedias.
- ✓ Output layer o capa de salida: combina la información entregada por la última capa intermedia para generar la predicción.

Las neuronas, o unidades, componen cada capa de la estructura y están interconectadas con las unidades de la capa superior y de la capa inferior. Los "pesos" son los valores que controlan estas conexiones (Cubillos, 2022).

- ***Modelo de deterioro con Máquina de Vector de Apoyo***

Cubillos (2022), afirma que la máquina de vectores de soporte (SVM) es un algoritmo de inteligencia artificial diseñado para clasificar objetos en dos o más clases con el menor error posible. Para ello, cada objeto de la muestra se utiliza como un vector de n dimensiones, donde $x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, y la clase a la que pertenece el objeto se indica mediante la etiqueta "s". Cuando se aplica a un espacio k -dimensional, la ecuación $\langle w, x \rangle + b = 0$ define un hiperplano, que es un grupo de vectores en \mathbb{R}^{k-1} que divide el espacio en dos secciones, una a cada lado.

- ***Caso de estudio***

Según Cubillos (2022), los eventos de discontinuidad se encuentran en los datos de fallas en la red de distribución de agua potable que el sistema de transparencia solicitó enviar a la Superintendencia de Servicios Sanitarios, organismo que proporcionó los reportes de indicadores de calidad del servicio (PR013).

Optimización de procesos constructivos

• **Definición**

El objetivo de la optimización de procesos es eliminar el mayor número posible de gastos innecesarios del ciclo de producción, incluidos mano de obra, suministros y equipos. El controlador debe cartografiar cada proceso organizativo para obtener una comprensión realista y analítica de las operaciones de la empresa en este escenario. En este análisis del ciclo de trabajo se identifican los puntos críticos principales (H&C Proyectos de Ingeniería construimos confianza, 2021).

Una vez identificados los puntos críticos y los puntos débiles detectados durante la auditoría de obra civil, se toman en consideración los mejores enfoques para finalizar las

tareas. También se identifican las acciones fallidas. Esta es la primera etapa que permitirá planificar correctamente el proyecto para cumplir todos los plazos, especificaciones, requisitos legales y otros factores necesarios para su finalización con éxito (H&C Proyectos de Ingeniería construimos confianza, 2021).

De ahí que la optimización sea el proceso de racionalización de los procedimientos empresariales, teniendo en cuenta al mismo tiempo a los distintos miembros del personal y departamentos. Pero la normalización de tareas es sólo una pequeña parte de la optimización. Optimiza las ventajas de un mayor rendimiento y una mayor productividad abordando todas las facetas de la medición, cuantificación y seguimiento del ciclo de producción. Antes de iniciar el proceso de optimización, hay que identificar todos los procesos que benefician a la empresa. Se trata de las actividades que más recursos requieren, tanto en dinero como en mano de obra. Además, es crucial identificar los principales cuellos de botella de la producción, es decir, todos los procesos que impiden a la empresa alcanzar niveles superiores.

De este modo, al identificar las necesidades, se dispone de soluciones más sofisticadas e integradas para el tipo de inversión adecuado, lo que permite simplificar las tareas, estandarizar los procesos y reducir notablemente la probabilidad de errores o retrabajos (H&C Proyectos de Ingeniería construimos confianza, 2021).

- **Reducción de costos**

El uso prudente de los recursos es un componente clave en la optimización del proceso de construcción civil. El despilfarro suele estar relacionado con el uso de materiales, herramientas y tiempo, factores todos ellos que elevan considerablemente los costes de una organización. Por lo tanto, el objetivo de la reducción de costes es conseguir que las acciones sean independientes y eficientes mediante la optimización del proceso de producción. Ello repercute favorablemente en la tasa de productividad de la obra y en la utilización de los

recursos (H&C Proyectos de Ingeniería construimos confianza, 2021). Además, una distribución adecuada de la mano de obra garantiza que ningún empleado esté ocioso durante las horas de trabajo, que son las adecuadas para completar las tareas. Eliminar las tareas que se llevan a cabo por el simple defecto de la ejecución continua es decir, tareas que no tienen influencia directa en el proceso de producción es otra preocupación crucial.

- **Aumento de la productividad**

El aumento de la productividad es el resultado final de la optimización de los procesos cuando se gestionan adecuadamente los recursos materiales y humanos. Esto implica principalmente rediseños, mejora de la comunicación, ajuste de las estrategias de ejecución e integración sectorial. Hacer más en menos tiempo o reducir los residuos para crear un entorno más productivo es uno de los conceptos básicos (H&C Proyectos de Ingeniería construimos confianza, 2021).

- **Tipos de la optimización de los procesos constructivos**

Se tiene la optimización de la mano de obra, equipos y materiales (Bermúdez y Carbajal, 2017):

- ***Optimización de la mano de obra***

La eficacia de las obras puede demostrarse mediante índices de cumplimiento utilizando Last Planner, herramientas de control y seguimiento de la actividad -en este caso, los muros anclados-. Además, como estos elementos son cruciales para el camino crítico y el coste, es posible identificar elementos o actividades muy variables y tomar las medidas necesarias. Estos objetos deben ser identificados y, a continuación, posiblemente optimizados (Bermúdez y Carbajal, 2017). Existen dos tipos de herramientas de análisis: los gráficos de balance y los estudios de primera ejecución. En los párrafos siguientes se analizan las ventajas

de utilizar gráficos de balance e instrumentos de estudio de la primera ejecución para la optimización de la mano de obra y el control del rendimiento.

- ***Optimización de los equipos***

En esta sección se describe el proceso de optimización de la maquinaria, el encofrado de muros y otras herramientas utilizadas habitualmente en la excavación y construcción de sótanos (Bermúdez y Carbajal, 2017).

• **Comparativo de maquinarias**

La maquinaria pesada se elige cuidadosamente en función de las condiciones ambientales y las exigencias del trabajo para maximizar la productividad. Las grandes obras de construcción pueden emplear varias máquinas (como retroexcavadoras y excavadoras) para diversas funciones, como transporte, corte y perfilado, y excavación. Para encontrar la mejor máquina para obtener la mayor producción en las condiciones de trabajo dadas, se realizará un análisis de las dimensiones, características técnicas, costes y rendimiento de cada máquina (Bermúdez y Carbajal, 2017). Las excavadoras, que se utilizan para cortar y dar forma al terreno con gran potencia y capacidad, y las retroexcavadoras, que son herramientas especializadas utilizadas para excavaciones a pequeña escala, son las máquinas que se examinarán.

En lugar de las excavadoras sobre orugas que se accionan mediante correas o cadenas metálicas, examinaremos las máquinas con ruedas de goma. Esto se debe a las características del terreno, que facilitan el desplazamiento incluso con tantas rocas de distintos tamaños en la zona. Los proyectos de terrenos amplios deben tener esto en cuenta, como los que sirvieron de referencia para la recogida de datos de esta tesis. Las excavadoras de cinta de orugas, sin embargo, eran necesarias para proyectos con espacio limitado, ya que renuncian a la

velocidad a cambio de una mayor movilidad sobre terrenos irregulares.

- *Optimización de los materiales*

Se examinan los presupuestos, presupuestos y demás documentación pertinente para determinar qué materiales eran los más representativos en términos de costes antes de elaborar una lista de todos los materiales utilizados en el proyecto. Se analizan las materias primas, el equipo y la mano de obra necesarios para fabricar los materiales representativos, teniendo en cuenta que estén fácilmente disponibles y sean pertinentes para la zona de trabajo (Rave y Villegas, 2011). Un ejemplo de los datos sobre el bloque de hormigón que buscamos: cantidad de cemento utilizada en cada bloque de hormigón. cantidad de arena utilizada en cada bloque de hormigón. uso de agua para cada bloque de hormigón. instrucciones paso a paso necesarias para conseguir que el bloque tenga la resistencia deseada. Tiempo de fraguado. Capacidad de producción o rendimiento.

A partir de la información anterior y tras conseguir listas de precios de los materiales de interés de proveedores locales, se crea una tabla comparativa para determinar qué opción es más rentable para este tipo de proyecto: fabricar el material in situ o comprarlo. En un esfuerzo por concienciar a las empresas constructoras sobre el posible ahorro de costes en materiales de construcción, hemos querido compartir una serie de reflexiones y conclusiones basadas en los resultados de la tabla comparativa (Rave y Villegas, 2011).

III. MÉTODO

3.1. Tipo de investigación

Quezada (2015), define la investigación aplicada como aquella que trata de abordar un problema específico, ya sea social o empresarial. Al encontrar una solución, se pueden evitar futuras molestias, mejorar los procedimientos y mejorar la vida y el trabajo de los implicados. Uno de los aspectos de la investigación aplicada que cabe mencionar es que se centra en resolver problemas reales en lugar de inventar o elaborar teorías no demostradas. Del mismo modo, para producir resultados positivos, se basa en conocimientos teóricos. Por ende, la presente investigación fue de tipo aplicada y de diseño experimental.

Enfoque de investigación: Cuantitativo.

Alcance de investigación: Explicativo

Diseño de investigación: Experimental.

3.2. Población y muestra

Población

Se deben investigar los componentes de la población, pero al ser tantos es difícil o imposible hacerlo. En consecuencia, se obtiene la muestra representativa de la población (Sánchez, 2019). Las redes de distribución de agua del distrito de Huallanca en la provincia de Bolognesi del departamento de Ancash conformaron la población.

Muestra

Sólo un pequeño porcentaje de la población representa el objeto de investigación y es capaz de proporcionar información sobre su estado (Sánchez, 2019). Las redes de distribución de agua de la zona urbana de Huallanca, ubicada en el distrito de Huallanca

de la provincia de Bolognesi en el departamento de Ancash, conformaron la muestra. Se utilizó un muestreo por conveniencia no probabilístico.

3.3. Operacionalización de variables

Tabla 1
Operacionalización de variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores
Variable Independiente Inteligencia artificial	Según el (Banco Interamericano de Desarrollo [BID], 2022), la inteligencia artificial está permitiendo soluciones que agilizan y facilitan la prestación de servicios, lo que supone una transformación significativa en el sector del agua y el saneamiento.	La inteligencia artificial se evaluó mediante la superficie óptima de gradiente hidráulico, programación por restricciones, algoritmos genéticos y optimización combinatoria.	Superficie óptima de gradiente hidráulico	Cálculo de distancias Ecuaciones de caída de LGH ideal
			Programación por restricciones	Validez de la solución
			Algoritmos genéticos	Búsqueda aleatoria por el espacio de solución
			Optimización Combinatoria	Diseño de costo mínimo
Variable Dependiente Optimización de procesos constructivos	Conjunto de acciones que tiene como objetivo reducir considerablemente los gastos y bienes innecesarios, tanto en equipos y materiales como a recursos humanos para el ciclo productivo de la construcción (H&C Proyectos de Ingeniería construimos confianza, 2021).	La optimización de procesos constructivos se evaluó mediante la optimización de la mano de obra, optimización de los equipos y la optimización de los materiales.	Optimización de la mano de obra	Cartas balance First run study
			Optimización de los equipos	Comparativo de máquinas
			Optimización de los materiales	Materias primas

3.4. Instrumentos

Técnicas de recolección de datos

Las técnicas de investigación son un conjunto de métodos que los investigadores emplean para lograr objetivos específicos o abordar un tema determinado, según Silvestre y Huamán (2019). Debido a que se aplica en escenarios de diagnóstico y clasificación

basados en taxonomías o tipologías previamente desarrolladas -lo que significa que las categorías de observación ya están codificadas-, se optó por la técnica de observación estructurada. Según esto, la observación sistemática es un método de registro menos adaptable que la observación participante. En la presente investigación se utilizó la técnica de la observación estructurada.

Instrumento

Las fichas de recogida de datos fueron instrumentos utilizados en el proceso de investigación para recopilar datos. La ficha consta de un conjunto de preguntas sobre las variables investigadas que se elaboraron teniendo en cuenta los objetivos de la investigación (Silvestre y Huamán, 2019).

3.5. Procedimientos

Tanto el período de diseño como la estimación del abastecimiento de agua necesario para la población se terminaron de acuerdo con la proyección de la población. De acuerdo con el plan de desarrollo urbano de la zona urbana de Huallanca, también se levantó el área de estudio y se crearon proyecciones de calles, avenidas y calles. Mediante el cálculo del flujo en otros usos, se realizó un análisis de las variaciones de consumo. Se realizó un análisis de las características topológicas, caudales unitarios y nodos de la red del sistema de distribución de agua, ya que los datos fueron recopilados mediante trabajo de campo y gabinete. A continuación, estos caudales se analizaron utilizando tanto métodos convencionales como inteligencia artificial.

3.6. Análisis de datos

Para analizar e interpretar los datos, se propuso un análisis exhaustivo, basado en el seguimiento y la comprensión de los hechos mediante la identificación de categorías básicas en las descripciones de los hechos proporcionadas por los diversos instrumentos utilizados en la investigación cuantitativa. Se trabajó discriminando y atendiendo los análisis de acuerdo con las dimensiones e indicadores registrados en el instrumento.

IV. RESULTADOS

Los hallazgos más significativos de la investigación se presentan en este capítulo, que muestra cómo la inteligencia artificial puede optimizar los procesos de construcción de redes de distribución de agua en el departamento de Ancash. La información derivada de estos resultados ayudará a los gobiernos locales, regionales e incluso privados a introducir mejoras en este ámbito de interés. El objetivo principal de este estudio es conocer cómo afecta la inteligencia artificial a la optimización del proceso de construcción de la red de distribución de agua del departamento de Ancash 2023. Para ello, presentaremos de forma lógica y objetiva las conclusiones de la recopilación de datos, que se verán reforzadas por un análisis estadístico de los mismos. Éstos se presentan en forma de tablas y figuras, se examinan en el contexto de las teorías propuestas y se muestran sus valores calculados. Tenga en cuenta que en este capítulo sólo se incluyen las tablas más significativas y pertinentes que nos permitirán confirmar o refutar cada una de las hipótesis sugeridas. Es fundamental tener esto en cuenta.

Localización del proyecto

El presente proyecto se encuentra ubicado en el distrito de Huallanca, Provincia de Bolognesi, departamento de Ancash.

- Departamento : Ancash
- Provincia : Bolognesi
- Distrito : Huallanca
- UBIGEO del distrito : 020508
- Localidad : Zona urbana de Huallanca
- UBIGEO del C.P. : 124495
- Altitud : 3641 m.s.n.m.
- Superficie : 873.39 km²

Ubicación Geográfica UTM - Zona urbana de Huallanca – Distrito de Huallanca

Latitud: 9° 53' 51.02" S

Longitud: 76° 56' 23.35" W

Sectorización

La ciudad de Huallanca esta sectorizada en cuatro sectores claramente diferenciados (N, S, E, O), por su ubicación, por sus características físicas y por la compatibilidad socio económica de sus habitantes, están conformadas a su vez por 17 barrios y/o juntas vecinales que son los encargadas de su administración, gestión y coordinación con las instituciones públicas y privadas que en coordinación con la Municipalidad Distrital, velan por los intereses y el bienestar de los vecinos y ciudadanos de toda la población Huallanquina, a continuación se muestra el siguiente cuadro de barrios.

Tabla 2

Sectorización de la zona urbana de la localidad de Huallanca

N°	Huallanca	Barrio	Sector
1		Chinlillin (Sagrado Corazón de Jesús)	Oeste
2		Huarupampa	Central
3		Santa Rosa	Norte
4		Apolo	Norte
5		Lima	Sur
6		San Cristóbal (Los Ángeles y Los Eucaliptos)	Este
7		Liberato Chashin	Sur
8	Zona urbana del	Las Flores	Sur
9	distrito de	Centro	Central
10	Huallanca	La Toma	Sur
11		Carmen Alto	Central
12		Virgen del Carmen	Central
13		Miraflores	Sur
14		Vista Alegre	Sur
15		Ichic Huallanca	Sur
16		Leoncio Prado	Central
17		28 de Julio	Este

Las autoridades y vecinos de los 17 barrios vienen trabajando con las autoridades de la Municipalidad Distrital de Huallanca para determinar la mejor línea de acción para mejorar y ampliar la accesibilidad a los servicios de saneamiento básico. En respuesta a esta solicitud, se llevó a cabo un examen exhaustivo de las condiciones actuales relativas al suministro de agua potable, alcantarillado y servicios de tratamiento de aguas residuales. Actualmente existen ocho sistemas de agua potable en el distrito de Huallanca. La construcción de los sistemas Yuraccyacu, Apolo, San Cristóbal y Vista Alegre se inició en 1996; la captación 1 del sistema Santa Cruz se construyó aproximadamente en 1985; los sistemas Chashin, Shillirumi y Apolo se construyeron en 2010 y 2011, respectivamente. Las tablas siguientes proporcionan información específica sobre la zona de abastecimiento de cada sistema. Sin embargo, existe una brecha de cobertura para la atención domiciliaria, lo que significa que el suministro no puede seguir el ritmo de la creciente demanda de la población.

También existe un problema con la cobertura del servicio de alcantarillado sanitario; en algunos lugares, la rotura de las tuberías provoca malos olores y la propagación de enfermedades. Las redes de colectores y buzones tienen unos treinta años y no reciben mantenimiento periódico. La captación de Santa Cruz es la única del área metropolitana que cuenta con una planta de tratamiento de agua potable, de los seis sistemas de agua potable distintos. El agua con cloro en los depósitos es la única que manejan los otros cinco sistemas de agua. Además, las encuestas realizadas en el marco de la evaluación muestran que, durante la estación seca, el agua sólo está disponible entre 4 y 6 horas al día, y que, durante las crecidas, el agua está turbia y contiene sólidos en suspensión.

El 95% de los habitantes de Huallanca tiene acceso a conexiones domiciliarias y redes públicas de agua potable, pero el suministro aún no es óptimo ni continuo en toda la red. Antes de que el agua se utilice como agua potable, es necesaria una planta de pretratamiento. De forma similar al agua, se cree que el 95% de la población tiene acceso al servicio de

alcantarillado, que se está renovando gradualmente debido a lo anticuado de la red. En este caso, también se requiere una planta de tratamiento final de aguas residuales para evitar que éstas se viertan al río, lo que aumentaría el riesgo de brotes infecciosos en la ciudad de Huallanca.

Tabla 3

Resumen del estado de la infraestructura actual, de abastecimiento de agua (Con calificaciones de: bueno, regular y malo)

Barrios beneficiarios	Sistema y obras	Estado	Edad (años)	Aporte		Nivel de servicio	
						Sistema Conducción	Red Distribución
Yuraccyacu							
Virgen del Carmen	Captación 1	Malo	20	1.15	Lps	Mal (20 años)	Malo (30 años)
	Reservorio 1	Malo	20	5	M3		
	Reservorio 2	Malo	20	30	M3		
Santa Cruz							
Centro, Las Flores, Santa Rosa, Huarupampa, Leoncio Prado, Lima, La Tomas, Miraflores, 28 de Julio y Carmen Alto	Captación 1	Regular	3	13.6	Lps	Regular (3 años)	Malo (30 años)
	Desarenador 1	Bueno	3	-			
	Reservorio 1	Bueno	3	500	M3		
	P. de Tratamiento	Bueno	3			-	
	Captación 2	Malo	30	3.01	Lps		
Desarenador 2	Malo	30		-	Mal (30 años)		
Reservorio 2	Malo	30	200	M3			
Chashin							
Chashin	Captación 1	Bueno	6	0.78	Lps	Bueno (6 años)	Malo (6 años)
	Captación 2	Regular	6	0.8	Lps		
	Reservorio 1	Bueno	6	20	M3		
San Cristobal							
San Cristóbal	Captación 1	Malo	20	3	Lps	Mal (20 años)	Regular (20 años)
	Reservorio 1	Malo	20	75	M3		
Apolo							
Apolo	Captación 1	Malo	20	0.53	Lps	Mal (20 años)	Regular (20 años)
	Reservorio 1	Malo	20	8	M3		
Vista Alegre							
Vista Alegre	Captación 1	Malo	12	4.35	Lps	Mal (12 años)	Malo (12 años)
	Reservorio 1	Regular	20	100	M3		
Shillirumi							
Ichic Huallanca	Captación 1	Malo	15	1.99	Lps	Mal (15 años)	Malo (20 años)
	Reservorio 1	Malo	15	8	M3		
Chinllillin							
Chinllillin	Captación 1	Bueno	5	1.88	Lps	Bueno (5 años)	Regular (05 años)
	Captación 2	Bueno	5	0.49	Lps		
	Captación 3	Bueno	5	0.76	Lps		
	Reservorio 1	Regular	5	40	M3		

Tabla 4

Cantidad de vivienda por cada barrio y/ sector, dentro de la zona urbana de la localidad de Huallanca

Nº	Nombre del sistema de agua	Barrio y/o sector	Total	Cantidad de viviendas	Otras conexiones sociales
1	Yuraccyacu	Virgen del Carmen	44	44	0
2		Centro	124	120	4
3		Las Flores	67	67	0
4		Santa Rosa	203	200	3
5		Huarupampa	193	191	2
6	Santa Cruz -	Leoncio Prado	150	148	2
7	Matash	Lima	186	178	8
8		La Toma	96	95	1
9		Miraflores	86	85	1
10		28 de Julio	38	33	5
11		Carmen Alto	113	107	6
12	Chashin	Chashin	44	43	1
13	San Cristóbal	San Cristóbal	136	136	0
14	Apolo	Apolo	81	81	0
15	Vista Alegre	Vista Alegre	57	57	0
16	Shillirumi	Ichic Huallanca	48	48	0
17	Chinllillin	Chinllillin	40	39	1
Total		17	1706	1672	34

Parámetros de diseño

Periodo de diseño

Para las redes de distribución de agua potable, el periodo de diseño es de 20 años y se basa en factores como la vulnerabilidad, el crecimiento de la población, la economía de escala y la vida útil de la estructura (RM-192-2018-VIVIENDA, 2018).

Población

Para proyectar la población según el método aritmético se han tenido en cuenta los siguientes factores.

$$Pd = Pi * \left(1 + \frac{r * t}{100}\right)$$

Donde:

Pi : Población inicial (habitantes)

Pd : población futura (habitantes)³

R : tasa de crecimiento anual (%)

T : Periodo de diseño (años)

A partir de la lista de beneficiarios proporcionada por la Junta Administradora de la Junta Urbana de Saneamiento de Huallanca, se incluyó en el estudio a un total de 542 residentes. La forma en que el INEI confirmó la tasa de crecimiento anual se muestra en el siguiente cuadro. Dado que es negativa, se elegirá el valor de (r=0). En veinte años, la población estará constituida por 542 individuos.

Dotación

Dado que existen opciones tecnológicas de sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano y saneamiento en el área rural y el centro poblado cuenta con sistema de alcantarillado, se utilizará una dotación de 100 l/hab/día de acuerdo con la norma técnica de diseño. Adicionalmente, los mataderos municipales, puestos de salud, módulos lecheros y centros educativos se encuentran entre las dotaciones especiales que se rigen por las normas nacionales de construcción RM-192-2018-VIVIENDA.

Variaciones de consumo

Para el cálculo de las variaciones de consumo se utilizan las fórmulas recogidas en el RNE y en la RM-192-2018-VIVIENDA. Nuestra red de agua potable tendrá un caudal de diseño de 1,4 l/seg, o el consumo máximo horario (Qmh).

$$Qp = Q_{población} + Q_{otros usos} = \frac{Dot * Pd}{86400}$$

$$Qmd = 1.3 * Qp$$

$$Q_{md} = 2 * Q_p$$

Q_p : Caudal promedio diario anual en l/s

Q_{pob} : Caudal poblacional

Q_{ousos} : Caudal otros usos

Dot : Dotación

P_d : Población de diseño

Q_{md} : Consumo máximo diario

Q_{mh} : Consumo máximo horario

Tabla 5

Cálculo de caudal Otros Usos

N°	Descripción	Beneficiarios	Cantidad	Consumo Lit/hab/día	Total Lit/día
1	I.E inicial	alumnos	21	20	460
2	I.E primaria	alumnos	45	20	940
3	I.E secundaria	alumnos	47	25	1075
4	Puesto de salud	consultorio	4	500	1500
5	Modulo lechero	1000 l/leche x día	1	1500	1500
6	Camal municipal	por animal	3	500	2000
Total de consumo (l/Día)					7495
Total de consumo (L/Seg)					0.09

Tabla 6

Cálculo de los Caudales de Diseño

Símbolo	Cantidad	Und
$Q_{población} =$	0.61	L/S:
$Q_{otros usos} =$	0.09	L/S:
$Q_m =$	0.70	L/S:
$Q_{md} =$	0.91	L/S:
$Q_{mh} =$	1.40	L/S:

Levantamiento topográfico

La Gerencia del Servicio de Saneamiento sirvió de guía para un levantamiento topográfico que se realizó en la zona urbana de Huallanca. Esto permitió identificar el reservorio existente y el crecimiento previsto de la red de distribución de agua potable. Con la ayuda de una estación total y trabajadores capacitados, se realizó un levantamiento topográfico para este proyecto con el fin de mapear el terreno e identificar características clave como la ubicación de edificios estatales, postes de electricidad, granjas lecheras y viviendas habitadas.

Características topológicas

Una vez concluido el levantamiento topográfico, se estableció la red de agua potable y se designó como cerrada. Para el desarrollo de las redes de agua potable que abastecerían a cada vivienda dentro de la zona de influencia, se tuvo que considerar el RNE y la RM-192-2018-VIVIENDA. Cabe mencionar que se requirió el trazo de la red de agua para conocer la longitud total de la red.

Caudal unitario

La nomenclatura de tramos y nudos es visible junto con los caudales unitarios y las distancias correspondientes. La red de agua potable tiene una longitud de 9.863,34 metros y un caudal de diseño de 1,40 l/s.

Tabla 7

Caudales Unitarios por tramo y nodos de la red de agua potable

Tramo	DE	A	Longitud (m)	qi (lps)	Tramo	DE	A	Longitud (m)	qi (lps)
Tr-1	R-1	J-1	1004.30	0.1428	Tr-42	J-26	J-29	116.40	0.0164
Tr-2	J-1	J-2	100.20	0.0143	Tr-43	J-26	J-27	112.50	0.0162
Tr-3	J-1	J-3	112.80	0.0164	Tr-44	J-27	J-28	118.20	0.0167
Tr-4	J-1	J-4	111.24	0.0158	Tr-45	J-28	J-43	104.20	0.0151
Tr-5	J-4	J-5	112.50	0.0164	Tr-46	J-29	J-28	113.10	0.0161
Tr-6	J-4	J-7	113.20	0.0165	Tr-47	J-29	J-42	104.60	0.015

Tr-7	J-4	J-9	110.10	0.0158	Tr-48	J-30	J-29	117.90	0.0168
Tr-8	J-5	J-6	56.10	0.0075	Tr-49	J-30	J-40	105.00	0.015
Tr-9	J-5	J-10	113.00	0.016	Tr-50	J-30	J-31	107.90	0.0151
Tr-10	J-7	J-8	110.70	0.0159	Tr-51	J-31	J-35	106.70	0.0151
Tr-11	J-8	J-17	108,2	0.0156	Tr-52	J-31	J-32	84.90	0.0118
Tr-12	J-9	J-8	114.90	0.0165	Tr-53	J-32	J-33	111.30	0.0157
Tr-13	J-9	J-16	109.80	0.0154	Tr-54	J-33	J-34	308.70	0.0453
Tr-14	J-9	J-10	116.80	0.0165	Tr-56	J-40	J-35	112.50	0.0151
Tr-15	J-10	J-15	104.30	0.0153	Tr-55	J-35	J-33	114.30	0.0158
Tr-16	J-10	J-11	74.80	0.0113	Tr-57	J-35	J-36	192.30	0.027
Tr-17	J-11	J-12	117.20	0.0159	Tr-58	J-36	J-37	48.00	0.0067
Tr-18	J-15	J-12	103.80	0.015	Tr-59	J-37	J-38	52.60	0.0072
Tr-19	J-12	J-13	44.36	0.0059	Tr-60	J-37	J-39	91.70	0.0129
Tr-20	J-13	J-21	74.00	0.02	Tr-61	J-40	J-41	116.50	0.0168
Tr-21	J-13	J-14	57.00	0.0084	Tr-62	J-42	J-43	120.50	0.016
Tr-22	J-15	J-20	114.80	0.016	Tr-63	J-43	J-46	118.60	0.017
Tr-23	J-16	J-15	117.10	0.0166	Tr-64	J-43	J-44	114.80	0.0165
Tr-24	J-16	J-19	112.60	0.0162	Tr-65	J-44	J-45	120.40	0.0171
Tr-25	J-16	J-17	114.30	0.0165	Tr-66	J-45	J-50	112.80	0.0164
Tr-26	J-17	J-18	115.80	0.0163	Tr-67	J-46	J-45	118.90	0.0164
Tr-27	J-18	J-27	118.40	0.0162	Tr-68	J-46	J-47	117.20	0.0157
Tr-28	J-19	J-18	119.54	0.0163	Tr-69	J-46	J-48	115.60	0.0163
Tr-29	J-19	J-26	110.70	0.017	Tr-70	J-48	J-49	106.90	0.0155
Tr-30	J-19	J-20	117.20	0.0167	Tr-71	J-48	J-53	103.80	0.0151
Tr-31	J-20	J-25	120.10	0.0159	Tr-72	J-48	J-50	114.80	0.0164
Tr-32	J-20	J-21	104.00	0.0152	Tr-73	J-50	J-51	116.40	0.0151
Tr-33	J-21	J-24	108.70	0.0157	Tr-74	J-51	J-52	118.30	0.0143
Tr-34	J-21	J-22	32.80	0.004	Tr-75	J-51	J-57	116.80	0.017
Tr-35	J-22	J-23	115.10	0.0163	Tr-76	J-53	J-51	119.70	0.0164
Tr-36	J-23	J-32	116.30	0.0167	Tr-77	J-53	J-54	114.50	0.0167
Tr-37	J-24	J-23	55.00	0.0077	Tr-78	J-54	J-55	80.20	0.0086
Tr-38	J-24	J-31	114.00	0.0161	Tr-79	J-54	J-56	205.60	0.029
Tr-39	J-25	J-24	102.30	0.0152	Tr-80	J-54	J-57	117.80	0.0163
Tr-40	J-25	J-30	114.50	0.0162	Tr-81	J-57	J-58	269.40	0.0384
Tr-41	J-26	J-25	116.70	0.0167					

Dado que estos caudales se derivan de valores de campo y de obras de gabinete, se seleccionarán tanto por inteligencia artificial como por el método convencional.

Inteligencia artificial

Habrá que considerar nuevas limitaciones o criterios para tener en cuenta la inteligencia artificial, como:

Restricciones

Restricciones hidráulicas

Conservación de la masa

El caudal requerido en un nodo debe ser igual al caudal que entra en ese nodo menos el caudal que sale de él.

$$\sum_{J=1}^{NT_i} Q_{ij} - Q_{Di} = 0$$

NT_i = Número de tubos de llegada al nudo i.

Q_{ij} = Caudal que pasas por la tubería ij hacia el nudo i desde el nudo j.

Q_{Di} = Caudal demandado en el nudo i.

Modelizaremos los distintos escenarios en los programas Redes 2015 y WaterCad ya que estos programas tienen en cuenta estas ecuaciones.

Conservación de la energía en cada circuito

Las pérdidas totales de energía de cualquier circuito deben ser iguales a cero o, si hay una bomba, a la energía que suministra.

$$\sum_{J=1}^{Nt'_i} h_{fij} + \sum_{J=1}^{NT'_i} h_{mij} = 0$$

Nt'_i = Número de tubos del circuito

h_{fij} = Pérdida de energía por fricción en el tubo j en el circuito i.

h_{mij} = Pérdida menores de energía en el tubo j del circuito i.

Presión mínima y máxima en los nudos de la red

Cada nodo de la red debe tener una presión superior a un umbral determinado.

$$Mn(P_i) \geq Pmin$$

P_i = Presión en el i-ésimo nudo de la red (i pertenece al intervalo [1, N_n])

M_n = Numero de nudos en la red

P_{min} = Presión mínima dada por norma

En la red o línea de suministro de agua, la presión estática no puede ser superior a 60 m.c.a. y la presión mínima de servicio no puede ser inferior a 5.c.m.a. En la red de agua potable, se necesita una presión mínima de 5.c.m.a. (Normas técnicas de diseño, 2018).

Velocidades Admisibles

Se requiere una velocidad mínima de 0,60 m/s. Nunca debe ser inferior 0,30 m/s, y la velocidad máxima permitida es 3 m/s (Normas técnicas de diseño, 2018).

Restricciones Comerciales

Tipo de tubería

La Norma Técnica de Diseño especifica cómo deben cooperar entre sí las tuberías y accesorios de PVC que componen las redes de distribución de agua potable. Tras una revisión de las diversas características de las tuberías de presión para redes de distribución de agua potable, se determinó que dos normas -NTP 399.002:2015 y NTP-ISO 4422 unión flexible- eran compatibles. Se seleccionó la NTP 399.002:2015 para otorgarle un peso adicional debido a su caudal relativamente bajo y a sus diámetros más pequeños.

Tras conocer las especificaciones de la tubería de presión de agua fría NTP 399.002:2015 para nuestra investigación, decidimos utilizar tubería de clase 10 SDR 21144 PSI (10 bar). El punto más bajo del embalse se encuentra a 3610,80 metros sobre el nivel del mar, y su presión de carga estática es de 66,30 metros (66,30 pies) sobre el nivel del mar.

Conjunto discreto de diámetros

Sólo se pueden asignar valores a los diámetros ofrecidos por fabricantes de tuberías.

Esto se puede expresar mediante la expresión siguiente:

$$D_i \in CD_{com}$$

i = Pertenece al intervalo $[1, N_n]$.

D_i = Diámetro del i -ésimo del tubo.

CD_{com} = Conjunto de diámetro comerciales disponibles por el fabricante de tuberías

Nicoll, Pavco, Plastic y Tiger eran algunas de las marcas de tuberías comerciales cuyos diámetros internos comprobamos. Según nuestros datos, los diámetros internos de los tubos no cambiaron, a pesar de que cambiaron sus diámetros externos. Pudimos mantener la coherencia en nuestro cálculo de diseño para todas las marcas peruanas. Las redes de agua potable en redes cerradas deben tener un diámetro mínimo de una pulgada.

Tabla 8

Características de la tubería para agua fría a presión NTP 399.002:2015

Diámetro Exterior		Longitud		Clase 5 SDR 41 72 PSI (5 bar)		Clase 7.5 SDR 27.7 108 PSI (7.5 bar)		Clase 10 SDR 21 145 PSI (10 bar)		Clase 15 SDR 14.3 215 PSI (15 bar)	
Nominal	Real	Total	Útil	Espesor	Peso	Espesor	Peso	Espesor	Peso	Espesor	Peso
(Pulg)	(mm)	(metros)	(metros)	(mm)	(Kg/ tubo)	(mm)	(Kg/ tubo)	(mm)	(Kg/ tubo)	(mm)	(Kg/ tubo)
1/2" (I)	21.0	5.00	4.97	-	-	-	-	(^o) 1.8	0.841	1.8	0.841
3/4" (I)	26.5	5.00	4.96	-	-	-	-	(^o) 1.8	1.082	1.8	1.082
1	33.0	5.00	4.96	-	-	-	-	(^o) 1.8	1.365	2.3	1.717
1 1/4"	42.0	5.00	4.96	-	-	1.8	1.758	(^o) 2.0	1.943	(^o) 2.9	2.755
1 1/2"	48.0	5.00	4.96	-	-	(^o) 1.8	2.020	(^o) 2.3	2.554	(^o) 3.3	3.584
2	60.0	5.00	4.95	(^o) 1.8	2.544	(^o) 2.2	3.088	(^o) 2.9	4.021	(^o) 4.2	5.692
2 1/2"	73.0	5.00	4.94	(^o) 1.8	3.111	(^o) 2.6	4.444	(^o) 3.5	5.905	(^o) 5.1	8.407
3	88.5	5.00	4.93	(^o) 2.2	4.608	(^o) 3.2	6.625	(^o) 4.2	8.593	(^o) 6.2	12.385
4	114.0	5.00	4.90	(^o) 2.2	7.562	(^o) 4.1	10.944	(^o) 5.4	14.244	8.0	20.597
6	168.0	5.00	4.86	(^o) 4.1	16.326	(^o) 6.1	23.995	(^o) 8.0	31.099	11.7	44.432
8	219.0	5.00	4.82	5.3	27.519	7.9	40.521	10.4	52.713	15.3	75.73
10	273.0	5.00	4.77	6.7	43.353	9.9	63.290	13.0	82.130	19.0	117.269
12	323.0	5.00	4.73	7.9	60.487	11.7	75.585	15.4	98.105	22.5	164.301

Nota. (I) Sello Sedapal para 21mm y 26.5mm según especificación técnica SEDAPAL.

Cálculo hidráulico método tradicional

El diseño tradicional se terminó utilizando el programa WATERCAD versión V8I (serie 6). Antes de ejecutar el programa, es necesario configurar el Sistema Internacional (SI), que utilizaremos en este caso, y las ecuaciones de diseño. La clase 10 y la tubería aplicada NTP 399.002: 2015 son la clase y el tipo de tuberías que identificaremos utilizando el enfoque de Hazzen Williams. Para realizar el cálculo hidráulico, el consultor hizo suposiciones sobre los diámetros para el programa WATERCAD V8i. Para ello fue necesario dibujar y alimentar las características topográficas y topológicas de las tuberías y nodos.

Para el diseño de la red de agua potable se utilizó el cálculo hidráulico del centro urbano de Huallanca. La experiencia del consultor con diferentes diámetros permitió elaborar el siguiente resumen. En este estudio se debe considerar el costo total de una tubería, incluyendo el movimiento de tierras (excavación de zanjas, refino y nivelación, encamado, relleno y compactación y disposición del material sobrante), suministro e instalación de tuberías y trabajos preparatorios.

Tabla 9

Resumen de las tuberías consideradas con sus respectivos metrados, precio unitario y costo total

Descripción	Und	Precio*ml (S/)	Total
Tubería PVC-SP NTP 399.002 C-10 DN=2 1/2"	1,785.30	74.8	133540.44
Tubería PVC-SP NTP 399.002 C-10 DN=2 "	2,498.70	72.3	180656.01
Tubería PVC-SP NTP 399.002 C-10 DN=1 1/2 "	3,599.80	68.34	246010.33
Tubería PVC-SP NTP 399.002 C-10 DN=1 "	1,992.20	65.8	131086.76
Costo de la red total			S/691,293.54

La superficie óptima de gradiente hidráulico en la optimización de los procesos constructivos de las redes de distribución de agua en el departamento de Áncash

Datos topográficos y topológicos

Para el diseño de la red de agua potable se utilizó el software REDES 2015 mediante el método de la mejor superficie de gradiente hidráulico. Para ello se dibujaron y/o introdujeron los nudos, tuberías y depósitos de la red de distribución de agua potable, así como los caudales unitarios, cotas y coordenadas correspondientes a cada uno de ellos (RDAP). Tras la introducción completa de todos los valores en el software REDES 2015, se requirieron los siguientes datos.

Determinar la tendencia de los costos de una red de agua potable.

- El mercado y la ubicación influyen mucho en el precio de la tubería. En este caso, Ancash tuvo en cuenta los presupuestos de los principales distribuidores, como Nicoll, Pavco y Tuboplas.
- Los trabajos preparatorios, el movimiento de tierras (excavación de zanjas, nivelación y refinado, relleno, suministro e instalación de tuberías) y la instalación de tuberías deben incluirse en los costes de instalación.

Para diseñar el RDAP es necesario determinar los diámetros y tipos de tuberías que se van a utilizar -en este caso, tuberías NTP 399.002:2015 clase 10-, así como el coeficiente y el exponente de la función de coste.

$$C_{tubo} = K * L_{tubo} * D_{tubo}^x$$

C_{tubo} : Costo de la tubería

L_{tubo} : Longitud de la tubería

D_{tubo} : Diámetro de la tubería

K : Coeficiente (valores calculados de la ecuación) $k=34.939$

X : Exponente (valores calculados de la ecuación) $x=0.1738$

A continuación, se desglosan por diámetros los costes del expediente técnico en revisión; a partir de estas cifras, debemos calcular la función de costes que requerirá el software REDES 2015.

Tabla 10
Precios totales de tuberías con respecto al diámetro

D Comercial (Pulg)	D Exterior (mm)	D Interno (mm)	Precio (Soles)
1"	33	29.4	63.77
1 1/2"	48	43.4	65.8
2"	60	54.2	69.15
2 1/2"	73	66	73.75

A continuación, utilizando la metodología representada en la figura de los parámetros solicitados, calculamos utilizando la superficie de gradiente hidráulico óptimo.

Seleccionar el método de Superficie de Gradiente Hidráulico Óptimo del módulo de diseño. Seleccionar la ecuación de Hazen Williams y la Superficie Cuadrática en el cuadro de diálogo que aparece, aconseja el ingeniero Juan Saldarriaga. A continuación, aparece una lista de diámetros. Los diámetros seleccionados se utilizan para generar el Tipo NTP 399.002 C-10:2015. El coeficiente de mínima presión y resistencia al fluido (C), así como los coeficientes de la ecuación de costes.

El software REDES 2015 arrojó un costo de red de 566,734.27 soles luego de calcular la deflexión, presión, velocidades mínimas y costo global del RDAP.

Resultados del método Superficie óptima de gradiente hidráulico en la presión de los nodos

Contrastamos los efectos de presión de nodo del método de superficie óptima de gradiente hidráulico con los valores de presión de todo el RDAP para el método tradicional.

Tabla 11

Resultados de las presiones de la RDAP método tradicional y método Superficie óptima de gradiente hidráulico

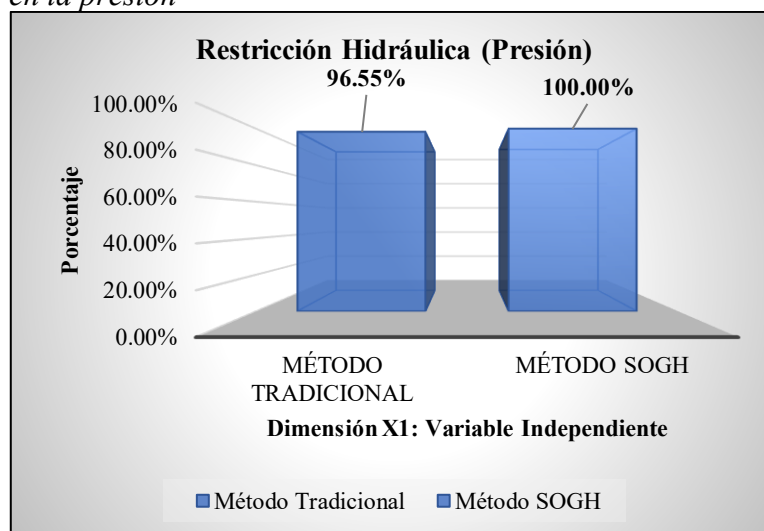
ID	Método Tradicional (m.c.a)	Método SOGH (m.c.a)	ID	Método Tradicional (m.c.a)	Método SOGH (m.c.a)
1	24.57	11.09	30	41.82	16.18
2	25.68	7.82	31	43.68	16.98
3	25.44	7.69	32	44.57	17.82
4	26.28	10.31	33	47.18	19.74
5	28.31	11.10	34	55.95	26.69
6	28.55	10.81	35	46.24	18.86
7	26.20	2.99	36	50.81	22.23
8	28.76	4.96	37	51.20	22.43
9	28.91	7.80	38	51.65	22.43
10	30.23	8.04	39	53.48	24.25
11	31.62	8.06	40	44.99	18.55
12	35.21	10.90	41	46.05	18.91
13	36.32	11.72	42	46.67	20.10
14	38.21	9.18	43	43.84	16.56
15	32.96	9.78	44	44.28	16.24
16	31.65	8.04	45	47.38	18.57
17	32.12	7.19	46	46.99	18.22
18	34.53	9.26	47	45.40	13.69
19	35.42	10.97	48	49.68	20.27
20	35.98	11.88	49	47.21	15.58
21	37.87	12.74	50	50.39	20.90
22	38.52	13.47	51	52.78	22.68
23	41.87	15.9	52	54.23	22.18
24	41.08	15.16	53	52.07	22.04
25	38.86	13.96	54	54.86	24.23
26	38.29	13.08	55	56.55	24.97
27	37.98	12.05	56	58.38	26.69
28	41.20	14.56	57	61.12	25.86
29	40.91	14.95	58	62.74	30.61

Tras revisar la presión y la normativa vigente, se determinó que 56 tramos de tubería de PVC eran conformes con el método tradicional y que 58 tramos de tubería de PVC eran conformes con el diseño mediante el método de superficie de gradiente hidráulico óptimo.

Tabla 12
Restricción Hidráulica que cumplen la Normativa (Presión)

Método	Nº tramos	Porcentajes
Método Tradicional	56	96.55%
Método Superficie óptima de gradiente hidráulico	58	100.00%

Figura 1
Influencia de la Superficie óptima de gradiente hidráulico en la presión



El método superficial óptimo de gradiente hidráulico cumple con toda la normativa aplicable en Perú, mientras que el método tradicional sólo cumple con el 96,55% de los tramos del RDAP. Utilizando el método tradicional, la presión en los nudos 57 y 58 del RDAP era de 60,12 mca y 62,74 mca, respectivamente. Es necesario instalar una válvula reductora de presión o una cámara de alivio de presión porque no se cumplen los 2,74 mca y 1,12 mca de la normativa vigente.

Resultados del método Superficie óptima de gradiente hidráulico en la velocidad de los tramos de tubería

El impacto de las restricciones hidráulicas en el diseño del RDAP, como la velocidad, es otro parámetro a tener en cuenta. Para ello se han comparado el método convencional y el método de superficie de gradiente hidráulico óptimo, que muestra los valores de velocidad de todo el RDAP.

Tabla 13

Resultados de velocidades método tradicional y método Superficie óptima de gradiente hidráulico

Tramo		Método Tradicional (m/s)	Método SOGH (m/s)	Tramo		Método tradicional (m/s)	Método SOGH (m/s)
R-1	J-1	0.42	2.0628	J-26	J-29	0.08	0.1030
J-1	J-2	0.03	0.0093	J-26	J-27	0.05	-0.0095
J-1	J-3	0.03	0.0108	J-27	J-28	0.08	0.0976
J-1	J-4	0.37	0.7924	J-28	J-43	0.09	0.0989
J-4	J-5	0.14	0.207	J-29	J-28	0.04	-0.022
J-4	J-7	0.13	0.1605	J-29	J-42	0.06	0.0617
J-4	J-9	0.20	0.366	J-30	J-29	0.02	-0.0002
J-5	J-6	0.02	0.0032	J-30	J-40	0.05	0.0179
J-5	J-10	0.13	0.178	J-30	J-31	0.03	0.0116
J-7	J-8	0.12	0.1408	J-31	J-35	0.05	0.0298
J-8	J-17	0.14	0.129	J-31	J-32	0.02	0.0057
J-9	J-8	0.05	-0.2567	J-32	J-33	0.05	0.0294
J-9	J-16	0.15	0.1963	J-33	J-34	0.08	0.0162
J-9	J-10	0.08	0.1228	J-40	J-35	0.03	0.0046
J-10	J-15	0.11	0.2543	J-35	J-33	0.02	0.0008
J-10	J-11	0.09	0.0119	J-35	J-36	0.09	0.0199
J-11	J-12	0.09	0.0055	J-36	J-37	0.05	0.0095
J-15	J-12	0.06	0.4096	J-37	J-38	0.02	0.0026
J-12	J-13	0.08	0.089	J-37	J-39	0.03	0.0045
J-13	J-21	0.10	0.0769	J-40	J-41	0.03	0.0061
J-13	J-14	0.03	0.0038	J-42	J-43	0.08	0.0522
J-15	J-20	0.09	0.127	J-43	J-46	0.11	0.0575
J-16	J-15	0.05	0	J-43	J-44	0.09	0.0732
J-16	J-19	0.14	0.1556	J-44	J-45	0.08	0.0630
J-16	J-17	0.01	-0.0207	J-45	J-50	0.09	0.0497
J-17	J-18	0.11	0.1227	J-46	J-45	0.02	-0.0019
J-18	J-27	0.09	0.1098	J-46	J-47	0.03	0.0057
J-19	J-18	0.02	-0.0105	J-46	J-48	0.09	0.0405
J-19	J-26	0.10	0.1277	J-48	J-49	0.03	0.0056

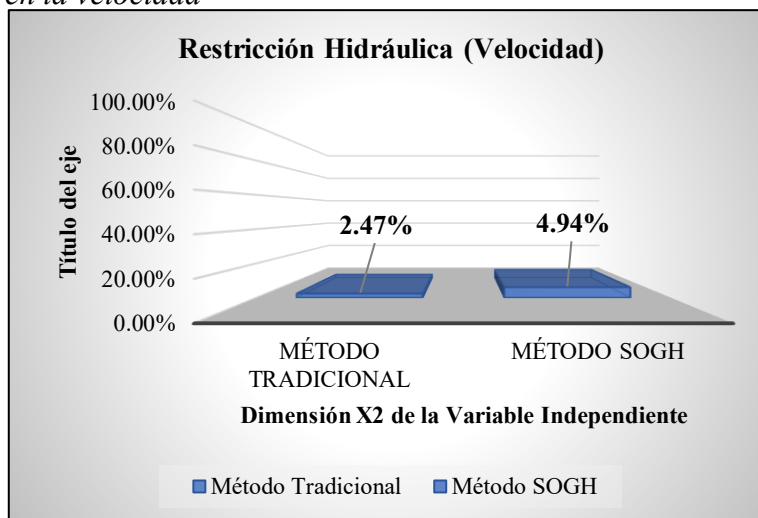
J-19	J-20	0.05	0	J-48	J-53	0.07	0.0269
J-20	J-25	0.09	0.0587	J-48	J-50	0.01	-0.0005
J-20	J-21	0.07	0.0445	J-50	J-51	0.07	0.0368
J-21	J-24	0.07	0.0549	J-51	J-52	0.03	0.0046
J-21	J-22	0.06	0.0505	J-51	J-57	0.05	0.0218
J-22	J-23	0.08	0.0470	J-53	J-51	0.02	0.0014
J-23	J-32	0.06	0.0371	J-53	J-54	0.04	0.0192
J-24	J-23	0.03	0.0029	J-54	J-55	0.02	0.0028
J-24	J-31	0.05	0.0387	J-54	J-56	0.05	0.0091
J-25	J-24	0.03	0.0028	J-54	J-57	0.02	-0.002
J-25	J-30	0.07	0.0382	J-57	J-58	0.07	0.0113
J-26	J-25	0.03	0				

Tras la documentación necesaria, se comprobó que, de los 81 tramos de tuberías de PVC de nuestra red de agua potable, 4 empleaban el método de superficie de gradiente hidráulico óptimo y 2 el método tradicional para cumplir la normativa vigente.

Tabla 14
Restricción Hidráulica que cumplen la Normativa (Velocidad)

Método	Nº tramos	Porcentajes
Método Tradicional	2	2.47%
Método SOGH	4	4.94%

Figura 2
Influencia de la Superficie óptima de gradiente hidráulico en la velocidad



El método de la superficie óptima cumple la normativa vigente en un 4,94%, mientras que el método tradicional del gradiente hidráulico la cumple en un 2,47%, como se muestra en la figura anterior y en la tabla de restricciones hidráulicas.

Resultados del Costos de la RDAP con el método SOGH

La comparación del mejor método de superficie de gradiente hidráulico con el diseño tradicional era necesaria para evaluar el impacto financiero del RDAP. Aquí están los resultados de los diferentes diámetros obtenidos en el diseño RDAP utilizando los dos métodos mencionados anteriormente. Es importante señalar que el cálculo hidráulico del método tradicional se realizó utilizando el software WATERCAD V8i, mientras que el método de superficie de gradiente hidráulico óptimo se realizó utilizando REDES 2015.

Tabla 15
Resultados del RDAP con los diámetros según el método tradicional VS método SOGH

Tramo		Método Tradicional (mm)	Método SOGH (mm)	Tramo		Método Tradicional (mm)	Método SOGH (mm)
R-1	J-1	76.10	48.12	J-26	J-29	68.00	27.98
J-1	J-2	29.50	7.45	J-26	J-27	54.40	11.32
J-1	J-3	29.70	7.81	J-27	J-28	54.40	28.49
J-1	J-4	66.20	46.82	J-28	J-43	54.40	29.15
J-4	J-5	54.40	29.22	J-29	J-28	54.40	15.87
J-4	J-7	54.40	18.84	J-29	J-42	66.20	23.79
J-4	J-9	66.20	27.58	J-30	J-29	54.40	2.28
J-5	J-6	29.60	7.19	J-30	J-40	43.60	14.91
J-5	J-10	54.40	21.85	J-30	J-31	43.60	11.89
J-7	J-8	54.40	29.72	J-31	J-35	43.60	18.47
J-8	J-17	54.40	29.30	J-31	J-32	43.60	16.35
J-9	J-8	43.60	9.78	J-32	J-33	43.60	18.65
J-9	J-16	66.20	25.68	J-33	J-34	29.60	15.97
J-9	J-10	43.60	25.87	J-40	J-35	43.60	8.78
J-10	J-15	54.40	35.19	J-35	J-33	43.60	8.56
J-10	J-11	43.50	9.48	J-35	J-36	29.60	16.45
J-11	J-12	43.60	8.79	J-36	J-37	29.60	12.82
J-15	J-12	43.60	24.82	J-37	J-38	29.60	7.06
J-12	J-13	43.60	25.47	J-37	J-39	29.60	9.89
J-13	J-21	43.60	24.30	J-40	J-41	29.60	10.56
J-13	J-14	29.60	4.90	J-42	J-43	54.40	22.86
J-15	J-20	54.40	28.10	J-43	J-46	43.60	20.92

J-16	J-15	43.60	1.20	J-43	J-44	54.40	26.22
J-16	J-19	66.20	30.86	J-44	J-45	54.40	25.46
J-16	J-17	43.60	14.15	J-45	J-50	43.60	24.03
J-17	J-18	54.40	29.37	J-46	J-45	43.60	11.76
J-18	J-27	54.40	28.87	J-46	J-47	29.60	7.67
J-19	J-18	54.40	11.28	J-46	J-48	43.60	21.88
J-19	J-26	66.20	29.44	J-48	J-49	29.60	8.02
J-19	J-20	54.40	1.68	J-48	J-53	43.60	19.29
J-20	J-25	54.40	21.76	J-48	J-50	43.60	6.29
J-20	J-21	43.40	18.79	J-50	J-51	43.50	22.04
J-21	J-24	43.60	21.99	J-51	J-52	29.60	7.95
J-21	J-22	43.60	32.10	J-51	J-57	43.60	18.57
J-22	J-23	43.60	20.89	J-53	J-51	43.60	9.18
J-23	J-32	43.60	19.72	J-53	J-54	43.60	17.35
J-24	J-23	43.60	11.88	J-54	J-55	29.60	6.72
J-24	J-31	43.60	19.79	J-54	J-56	29.60	13.59
J-25	J-24	43.60	6.78	J-54	J-57	43.60	7.99
J-25	J-30	54.40	19.23	J-57	J-58	29.60	15.28
J-26	J-25	54.40	1.09				

Los 81 segmentos de tubería de PVC de la red, cada uno con un diámetro único establecido por un proceso diferente, son visibles, lo que afecta al precio de la red de distribución de agua potable. El siguiente cuadro fue elaborado después de determinar los presupuestos de trabajo de cada técnica para investigar los efectos de los diámetros.

Tabla 16

Costos de la red de distribución de agua potable método Superficie óptima de gradiente hidráulico

Estructura del Presupuesto	Método tradicional	Método SOGH
Costo Directo	691,293.54	566,734.27
Gastos Generales (11.0%)	76,042.29	62,340.77
Utilidad (6.0%)	41,477.61	34,004.06
Subtotal	808,813.44	663,079.10
IGV (18%)	145,586.42	119,354.24
Costo de obra	954,399.86	782,433.33
Supervisión (5%)	47,719.99	39,121.67
Costo Total De Obra	1,002,119.85	821,555.00

Es evidente que durante la fase de diseño de la red de agua potable para la localidad urbana de Huallanca, emplear el método de la Superficie Óptima de Gradiente Hidráulico en lugar del enfoque convencional resultaría en un ahorro total de S/ 180,564.85 en costos de construcción. El precio del método convencional habría sido de S/ 1 002 119,85. En el escenario convencional, la adición de una válvula reductora de presión requerirá un estricto cumplimiento de las normas, lo que afectará al coste total del proyecto. Teniendo en cuenta que una red de agua potable tiene una vida útil de 20 años, estas cifras no tienen en cuenta el mantenimiento y el funcionamiento continuo de la ETA.

La programación por restricciones en la optimización de los procesos constructivos de las redes de distribución de agua en el departamento de Áncash

Para los valores topográficos y topológicos se han introducido las coordenadas X, Y, Z, el caudal unitario y el método de superficie óptima del gradiente hidráulico; estos valores estarán en unidades internacionales. El menú desplegable de diseño nos permitirá seleccionar el método de aumento o disminución de diámetros. A continuación hay que seleccionar la ecuación hidráulica a aplicar (Hazen-Wiliams en este caso). Para el diseño de la RDAP se han determinado los tipos y diámetros de tubería (NTP 399.002:2015 clase 10), así como el coeficiente y exponente de la función de costes.

$$C_{tubo} = K * L_{tubo} * D_{tubo}^x$$

C_{tubo} : Costo de la tubería

L_{tubo} : Longitud de la tubería

D_{tubo} : Diámetro de la tubería

K : Coeficiente (valores calculados de la ecuación) $k=34.939$

X : Exponente (valores calculados de la ecuación) $x=0.1738$

Tras indicar todos los valores, el software Networks 2015 utilizó el método de programación de restricciones para pasar al diseño correspondiente.

Resultados del método Programación por restricciones en la presión de los nodos

Presentamos los valores de presión de todo el RDAP para evaluar las diferencias de presión en los nodos entre el método tradicional y el método de programación de restricciones (RP).

Tabla 17

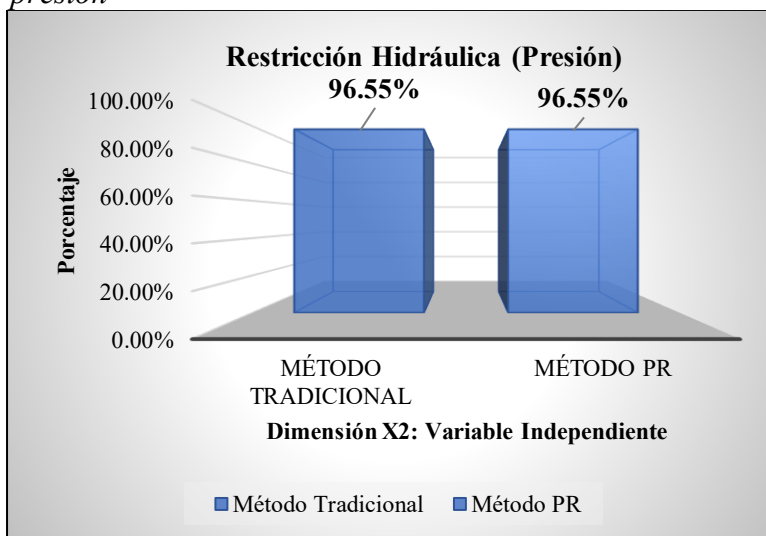
Resultados de las presiones de la RDAP Método tradicional y método Programación por restricciones

ID	Método Tradicional (m.c.a.)	Método Programación por restricciones (m.c.a.)	ID	Método Tradicional (m.c.a.)	Método Programación por restricciones (m.c.a.)
1	25.01	24.98	30	42.17	41.34
2	25.43	24.74	31	43.65	43.10
3	25.26	24.61	32	44.63	43.98
4	26.17	25.45	33	47.21	46.62
5	28.31	27.66	34	55.94	55.49
6	28.52	27.86	35	46.24	45.70
7	26.14	25.47	36	50.73	50.26
8	28.75	28.12	37	51.19	50.73
9	28.85	28.21	38	51.64	51.18
10	30.17	29.55	39	53.47	53.02
11	31.59	30.98	40	44.99	44.42
12	35.12	34.53	41	46.06	45.51
13	36.28	35.69	42	46.67	46.12
14	38.10	37.44	43	43.85	43.29
15	32.97	32.28	44	44.28	43.75
16	31.65	31.02	45	47.38	46.87
17	32.10	31.02	46	46.99	46.48
18	34.44	33.84	47	45.32	44.81
19	35.36	34.77	48	49.68	49.20
20	35.97	35.35	49	47.22	46.73
21	37.85	37.26	50	50.38	49.92
22	38.59	38.05	51	52.76	52.31
23	41.85	41.29	52	54.12	53.67
24	41.05	40.48	53	52.03	51.57
25	38.85	38.28	54	54.85	54.41
26	38.26	37.68	55	56.55	56.12
27	37.96	37.38	56	58.32	57.90
28	41.19	40.63	57	60.78	60.10
29	40.99	40.34	58	62.60	62.25

Un análisis de las presiones y las regulaciones actuales mostró que tanto el método de programación restringida como el método tradicional cumplían 56 de los 58 nodos, es decir, el 96,55% del número total de nodos.

Figura 3

Influencia de la Programación por restricciones en la presión



Resultados del método Programación por restricciones en la velocidad de los tramos de tubería

El impacto de las restricciones hidráulicas en el diseño del RDAP, incluida la velocidad. Para ello compararemos el método de programación restringida y el método tradicional, por ello presentamos valores de velocidad para todo el RDAP.

Tabla 18

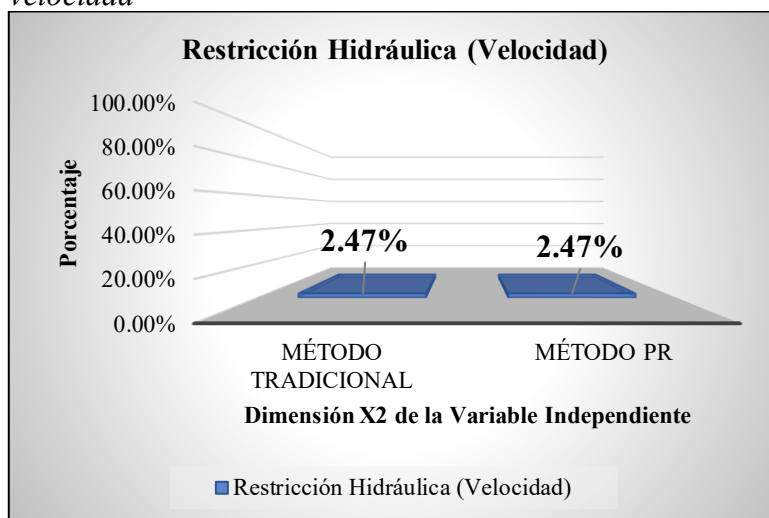
Resultados de velocidades métodos tradicional y método Programación por restricciones

Tramo	Método Tradicional (m/s)	Método PR (m/s)	Tramo	Método Tradicional (m/s)	Método PR (m/s)
R-1 J-1	0.42	0.410	J-26 J-29	0.08	0.049
J-1 J-2	0.03	0.005	J-26 J-27	0.02	0.008
J-1 J-3	0.03	0.006	J-27 J-28	0.09	0.053
J-1 J-4	0.37	0.359	J-28 J-43	0.10	0.064
J-4 J-5	0.14	0.110	J-29 J-28	0.04	0.04

J-4	J-7	0.13	0.103	J-29	J-42	0.05	0.049
J-4	J-9	0.20	0.145	J-30	J-29	0.02	0.031
J-5	J-6	0.02	0.003	J-30	J-40	0.05	0.017
J-5	J-10	0.13	0.103	J-30	J-31	0.03	0.012
J-7	J-8	0.12	0.099	J-31	J-35	0.05	0.03
J-8	J-17	0.13	0.089	J-31	J-32	0.02	0.007
J-9	J-8	0.04	-0.001	J-32	J-33	0.05	0.022
J-9	J-16	0.15	0.092	J-33	J-34	0.08	0.014
J-9	J-10	0.08	0.049	J-40	J-35	0.03	0.007
J-10	J-15	0.11	0.079	J-35	J-33	0.02	0.003
J-10	J-11	0.09	0.063	J-35	J-36	0.08	0.017
J-11	J-12	0.07	0.061	J-36	J-37	0.05	0.009
J-15	J-12	0.05	0.023	J-37	J-38	0.02	0.003
J-12	J-13	0.10	0.074	J-37	J-39	0.03	0.004
J-13	J-21	0.09	0.069	J-40	J-41	0.03	0.005
J-13	J-14	0.02	0.003	J-42	J-43	0.08	0.044
J-15	J-20	0.10	0.071	J-43	J-46	0.11	0.056
J-16	J-15	0.05	0.024	J-43	J-44	0.09	0.043
J-16	J-19	0.12	0.072	J-44	J-45	0.08	0.038
J-16	J-17	0.01	0.010	J-45	J-50	0.09	0.037
J-17	J-18	0.11	0.072	J-46	J-45	0.02	-0.010
J-18	J-27	0.10	0.057	J-46	J-47	0.03	0.006
J-19	J-18	0.02	0.007	J-46	J-48	0.09	0.038
J-19	J-26	0.10	0.056	J-48	J-49	0.03	0.006
J-19	J-20	0.04	0.018	J-48	J-53	0.07	0.028
J-20	J-25	0.09	0.053	J-48	J-50	0.02	0.002
J-20	J-21	0.06	0.025	J-50	J-51	0.08	0.028
J-21	J-24	0.07	0.046	J-51	J-52	0.03	0.005
J-21	J-22	0.06	0.041	J-51	J-57	0.05	0.019
J-22	J-23	0.06	0.040	J-53	J-51	0.01	0.005
J-23	J-32	0.06	0.035	J-53	J-54	0.05	0.020
J-24	J-23	0.03	0.003	J-54	J-55	0.02	0.003
J-24	J-31	0.06	0.037	J-54	J-56	0.05	0.009
J-25	J-24	0.04	0.003	J-54	J-57	0.02	0.005
J-25	J-30	0.07	0.038	J-57	J-58	0.07	0.012
J-26	J-25	0.03	0.005				

Al recopilar los datos, se descubrió que, cuando se medían tanto por el método PR como por el tradicional, 2 de los 81 tramos de tuberías de PVC de la red de agua potable cumplían la normativa según lo prescrito.

Figura 4
Influencia de la Programación por Restricciones en la velocidad



Sólo dos oleoductos, es decir, el 2,47% en ambos métodos, de los 81 tramos de oleoducto, cumplen las normas vigentes.

Resultados del método Programación por restricciones con respecto al Costos total de obra

Es necesario comparar el diseño tradicional para analizar el efecto del método de programación de restricciones en el coste global de los RDAP. Se muestran los resultados obtenidos con los dos métodos anteriores para los distintos diámetros. Cabe señalar que para el cálculo hidráulico en el método tradicional se utilizó WATERCAD V8i, mientras que para el método de programación de restricciones se utilizó REDES 2015.

Tabla 19

Resultados de los diámetros según los métodos tradicional y Programación por restricciones

Tramo	Método Tradicional (mm)	Método PR (mm)	Tramo	Método Tradicional (mm)	Método PR (mm)
R-1 J-1	67.20	66	J-26 J-29	67.20	66
J-1 J-2	29.50	66	J-26 J-27	54.30	66
J-1 J-3	29.50	66	J-27 J-28	54.30	66
J-1 J-4	66.10	66	J-28 J-43	54.30	66

J-4	J-5	54.30	66	J-29	J-28	54.30	66
J-4	J-7	54.40	66	J-29	J-42	66.10	66
J-4	J-9	66.20	66	J-30	J-29	54.30	66
J-5	J-6	29.60	66	J-30	J-40	43.50	66
J-5	J-10	54.40	66	J-30	J-31	43.50	66
J-7	J-8	54.40	66	J-31	J-35	43.50	66
J-8	J-17	54.40	66	J-31	J-32	43.50	66
J-9	J-8	43.40	66	J-32	J-33	43.50	66
J-9	J-16	66.20	66	J-33	J-34	29.50	66
J-9	J-10	43.50	66	J-40	J-35	43.50	66
J-10	J-15	54.30	66	J-35	J-33	43.50	66
J-10	J-11	43.50	66	J-35	J-36	29.50	66
J-11	J-12	43.50	66	J-36	J-37	29.50	66
J-15	J-12	43.50	66	J-37	J-38	29.50	66
J-12	J-13	43.50	66	J-37	J-39	29.50	66
J-13	J-21	43.50	66	J-40	J-41	29.50	66
J-13	J-14	29.50	66	J-42	J-43	54.30	66
J-15	J-20	54.20	66	J-43	J-46	43.50	66
J-16	J-15	43.60	66	J-43	J-44	54.30	66
J-16	J-19	66.20	66	J-44	J-45	54.30	66
J-16	J-17	43.50	66	J-45	J-50	43.50	66
J-17	J-18	54.30	66	J-46	J-45	43.50	66
J-18	J-27	54.30	66	J-46	J-47	29.50	66
J-19	J-18	54.30	66	J-46	J-48	43.50	66
J-19	J-26	66.10	66	J-48	J-49	29.50	66
J-19	J-20	54.30	66	J-48	J-53	43.50	66
J-20	J-25	54.30	66	J-48	J-50	43.50	66
J-20	J-21	43.50	66	J-50	J-51	43.50	66
J-21	J-24	43.50	66	J-51	J-52	29.50	66
J-21	J-22	43.50	66	J-51	J-57	43.50	66
J-22	J-23	43.50	66	J-53	J-51	43.50	66
J-23	J-32	43.50	66	J-53	J-54	43.50	66
J-24	J-23	43.50	66	J-54	J-55	29.50	66
J-24	J-31	43.50	66	J-54	J-56	29.50	66
J-25	J-24	43.50	66	J-54	J-57	43.50	66
J-25	J-30	54.30	66	J-57	J-58	29.50	66
J-26	J-25	54.30	66				

Los 81 tramos de tuberías de PVC de la red, cada uno con un diámetro diferente que se ha calculado utilizando las técnicas adecuadas, afectarán al coste de la red de distribución de agua potable. El resultado de la estimación del coste de cada técnica y del análisis de la influencia de los diámetros es la tabla a continuación.

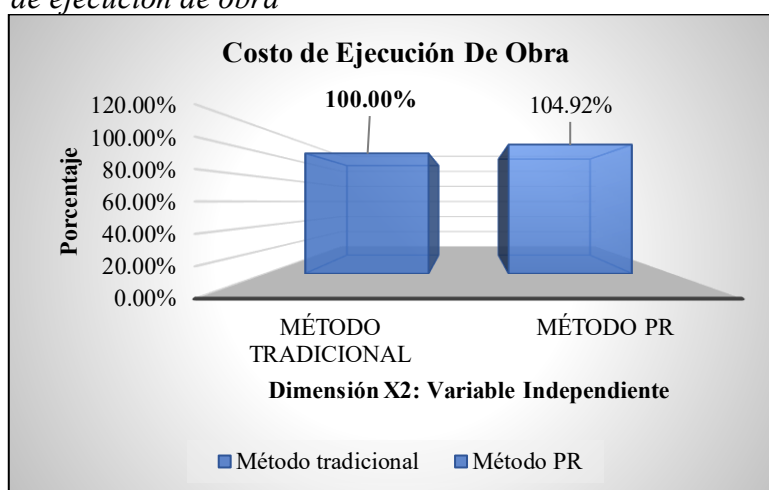
Tabla 20

Costo total de obra método tradicional y por Programación por restricciones

Estructura del Presupuesto	Método tradicional	Método Programación por restricciones
Costo Directo	691,293.54	725,334.97
Gastos Generales (11.0%)	76,042.29	79,786.85
Utilidad (6.0%)	41,477.61	43,520.10
Subtotal	808,813.44	848,641.91
IGV (18%)	145,586.42	152,755.54
Costo de obra	954,399.86	1,001,397.46
Supervisión (5%)	47,719.99	50,069.87
Costo Total De Obra	1,002,119.85	1,051,467.33

Figura 5

Influencia de la Programación por restricciones en el costo de ejecución de obra



El diseño de la red de agua potable en la localidad urbana de Huallanca costará S/ 1 051 467,33 soles utilizando el método de programación restringida y S/ 1 002 119,85 utilizando el método tradicional. Esto demuestra que el costo del método RP es superior en S/ 49,347.48 al del método tradicional.

El costo del sistema se incrementa en 4,92% cuando se combina la inteligencia artificial con el enfoque de programación de restricciones, a diferencia de la ejecución del método tradicional.

Los algoritmos genéticos en la optimización de los procesos constructivos de las redes de distribución de agua en el departamento de Áncash

Los algoritmos genéticos influyen porque los individuos (o redes) se seleccionan mediante un proceso aleatorio o rutinario. El valor de la función de coste es inversamente proporcional a la probabilidad de elección. Los AG se distinguen por categorizar internamente a los miembros de una generación en función de sus costes y del grado de cumplimiento de las limitaciones establecidas.

Programa WaterCad.

Al igual que el cálculo RDAP realizado por el método convencional, el diseño se completó utilizando el programa WATERCAD V8i. Como la unidad de trabajo, el Sistema Internacional (SI) requiere el método de Hazen-Williams que se utilizará para establecer las ecuaciones de diseño antes de que el programa podría comenzar. Los tipos y clases de tuberías que tuvimos que seleccionar fueron NTP 399.002: 2015 y Clase 10. A la hora de dibujar e introducir en el programa las características topográficas y topológicas de las tuberías y nudos, hubo que partir de unos diámetros predeterminados para ellos. Los nodos, tuberías y depósitos se representaron en el diseño, junto con las medidas, coordenadas y caudales unitarios comparables para el RDAP completo.

El menú desplegable Darwin Designer del software WATER CAD y el análisis de la barra de herramientas emplearon un algoritmo genético para generar el RDAP. A estas alturas, había que aplicar todas las restricciones hidráulicas y comerciales, incluidas las relativas a materiales, clases y tipos de tuberías, presiones mínimas y máximas, y velocidades. Además, el programa necesitaba para el cálculo correspondiente el diámetro, los costes, el material y la constante de Hazen Williams.

Tras determinar cuál era la mejor solución, construimos un escenario en el que todos los cálculos se muestran en ventana de dibujo con todo preparado. Para facilitar la comprensión, se examinaron conjuntamente los resultados obtenidos con los dos programas informáticos.

Programa Redes 2015

Para introducir los datos topográficos y topológicos, incluido el flujo unitario y las coordenadas X, Y y Z, se utilizó un enfoque similar a las metodologías anteriores. A estos datos se les aplicaron unidades internacionales. El diseño del menú desplegable eligió Hazen-Williams como ecuación hidráulica y la metodología del Algoritmo Genético. Teniendo en cuenta que las técnicas de cálculo anteriores suponían un diámetro de red uniforme, se dibujaron nodos, tuberías y embalses para todo el diseño del RDAP junto con sus elevaciones, coordenadas y caudales unitarios correspondientes.

La red de agua potable que se construyó anteriormente tiene todas sus coordenadas y caudales introducidos. La selección del tipo de Ecuación Hidráulica de Hazen Williams, la Asignación de Probabilidad Escalonada, la Configuración Aleatoria del Vector Inicial y el método de Recombinación Hiperplana vinieron después de finalizar el menú desplegable, la barra de herramientas y la opción Algoritmo Genético. Además, se introdujeron el coeficiente de Hazen Williams, la presión mínima, los diámetros y tipos de tuberías comerciales admisibles para el RDAP y los coeficientes de la ecuación de costes. A la hora de considerar el tamaño de la población, el número de generaciones, la probabilidad de mutaciones, la constante de reproducción, el coste de construcción y el coste de diseño, Juan Saldarriaga sugiere utilizar estos valores para obtener los mejores resultados.

Resultados del método de Algoritmos genéticos en la presión de los nodos

Después de determinar que nos podrían ofrecer esta calidad para el diseño RDAP utilizando el método de Algoritmo Genético, examinamos tanto WATERCAD y REDES 2015. Los valores de presión de todo el RDAP se muestran a continuación después de examinar cómo el método de Algoritmo Genético (GA) afectó a la presión en los nodos y compararlo con el método convencional.

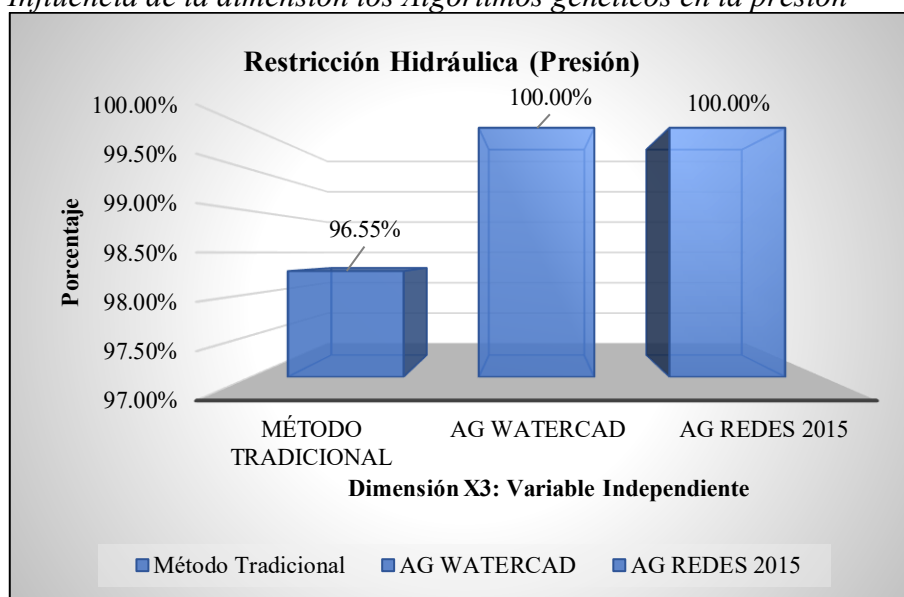
Tabla 21

Resultados de las presiones de la RDAP Método tradicional y método del Algoritmo genético

ID	Método Tradicional (m.c.a.)	Algoritmo Genético		ID	Método Tradicional (m.c.a.)	Algoritmo Genético	
		WATERCAD (m.c.a.)	REDES 2015 (m.c.a.)			WATERCAD (m.c.a.)	REDES 2015 (m.c.a.)
1	24.71	5.08	18.47	30	41.82	20.95	33.21
2	25.42	5.79	19.24	31	43.71	22.85	35.08
3	25.23	5.60	19.07	32	44.60	23.72	35.96
4	26.10	6.50	17.97	33	47.17	26.31	38.60
5	28.33	8.04	20.06	34	55.94	35.10	47.46
6	28.51	8.25	20.26	35	46.25	25.40	37.68
7	26.12	5.92	17.75	36	50.74	29.89	42.23
8	28.75	8.51	20.38	37	51.20	30.35	42.70
9	28.85	8.58	20.45	38	51.65	30.79	43.23
10	30.17	9.93	21.82	39	53.48	32.64	44.99
11	31.59	11.36	23.16	40	44.97	24.14	36.40
12	35.17	14.74	26.69	41	46.06	25.23	37.49
13	36.30	15.69	27.74	42	46.68	25.74	38.51
14	38.10	17.42	29.47	43	43.85	22.84	35.06
15	32.99	12.57	24.47	44	44.29	23.22	35.48
16	31.67	11.34	23.23	45	47.39	26.31	38.57
17	32.11	11.79	23.29	46	46.99	25.88	38.18
18	34.45	13.84	25.95	47	45.35	24.22	36.52
19	35.36	14.80	26.90	48	49.68	28.42	40.70
20	35.95	15.35	27.40	49	47.40	25.95	38.22
21	37.85	17.29	29.28	50	50.39	29.14	41.40
22	38.59	17.99	30.03	51	52.77	31.49	43.78
23	41.88	21.10	33.29	52	54.14	32.85	45.14
24	41.09	20.32	32.48	53	52.05	30.76	43.04
25	38.85	18.12	30.25	54	54.86	33.58	45.90
26	38.27	17.55	29.67	55	56.55	35.28	47.58
27	37.99	17.23	29.29	56	58.36	37.05	49.36
28	41.19	20.28	32.49	57	61.48	35.21	47.50
29	40.89	20.05	32.23	58	62.72	41.37	53.63

Basándose en el análisis de presiones y en la normativa vigente, el método convencional utilizó 56 nodos, es decir, el 96,55% del número total de secciones de tubería, mientras que el método del Algoritmo Genético utilizó 58 nodos, es decir, el 100% del número total de secciones de tubería.

Figura 6
Influencia de la dimensión los Algoritmos genéticos en la presión



Resultados del método del Algoritmo genético en la velocidad de los tramos de tubería

Proporcionamos los valores de velocidad en todo el RDAP ya que las restricciones hidráulicas, incluida la velocidad, y su impacto en el diseño del RDAP se contrastarán entre el método tradicional y el método del Algoritmo Genético. Los resultados de velocidad para los métodos RP y convencional se muestran en la tabla.

Tabla 22*Resultados de velocidades métodos tradicional y método del Algoritmo genético*

Tramo	Método Tradicional (m/s)	Algoritmo Genético		Tramo	Método Tradicional (m/s)	Algoritmo Genético			
		WATERCAD (m.c.a.)	REDES 2015 (m.c.a.)			WATERCAD (m.c.a.)	REDES 2015 (m.c.a.)		
R-1	J-1	0.48	0.97	0.64	J-26	J-29	0.09	0.20	0.64
J-1	J-2	8.03	0.04	0.01	J-26	J-27	0.02	0.10	0.02
J-1	J-3	0.03	0.03	0.03	J-27	J-28	0.09	0.19	0.03
J-1	J-4	0.38	0.38	0.85	J-28	J-43	0.10	0.21	0.85
J-4	J-5	0.15	0.40	0.24	J-29	J-28	0.05	0.14	0.24
J-4	J-7	0.15	0.48	0.29	J-29	J-42	0.06	0.15	0.31
J-4	J-9	0.21	0.41	0.32	J-30	J-29	0.02	0.03	0.33
J-5	J-6	0.03	0.03	0.02	J-30	J-40	0.05	0.03	0.03
J-5	J-10	0.15	0.09	0.21	J-30	J-31	0.05	0.09	0.24
J-7	J-8	0.14	0.21	0.13	J-31	J-35	0.06	0.10	0.14
J-8	J-17	0.14	0.21	0.12	J-31	J-32	0.03	0.05	0.12
J-9	J-8	0.05	0.08	0.08	J-32	J-33	0.05	0.10	0.08
J-9	J-16	0.16	0.20	0.19	J-33	J-34	0.08	0.08	0.18
J-9	J-10	0.09	0.03	0.06	J-40	J-35	0.03	0.06	0.06
J-10	J-15	0.12	0.17	0.15	J-35	J-33	0.02	0.03	0.13
J-10	J-11	0.10	0.07	0.16	J-35	J-36	0.09	0.09	0.17
J-11	J-12	0.09	0.21	0.05	J-36	J-37	0.06	0.06	0.06
J-15	J-12	0.06	0.15	0.07	J-37	J-38	0.02	0.02	0.04
J-12	J-13	0.31	0.39	0.28	J-37	J-39	0.06	0.04	0.27
J-13	J-21	0.10	0.08	0.12	J-40	J-41	0.06	0.03	0.13
J-13	J-14	0.01	0.03	0.03	J-42	J-43	0.08	0.14	0.02
J-15	J-20	0.08	0.25	0.17	J-43	J-46	0.11	0.18	0.18
J-16	J-15	0.06	0.13	0.08	J-43	J-44	0.09	0.17	0.09
J-16	J-19	0.13	0.25	0.18	J-44	J-45	0.08	0.10	0.92
J-16	J-17	0.05	0.02	0.14	J-45	J-50	0.09	0.20	0.15
J-17	J-18	0.12	0.30	0.19	J-46	J-45	0.02	0.09	0.19
J-18	J-27	0.08	0.25	0.19	J-46	J-47	0.03	0.02	0.20
J-19	J-18	0.02	0.05	-0.07	J-46	J-48	0.10	0.20	0.08
J-19	J-26	0.11	0.21	0.20	J-48	J-49	0.03	0.03	0.21
J-19	J-20	0.05	0.09	0.17	J-48	J-53	0.07	0.10	0.18
J-20	J-25	0.10	0.20	0.12	J-48	J-50	0.02	0.07	0.12
J-20	J-21	0.07	0.03	0.07	J-50	J-51	0.08	0.11	0.08
J-21	J-24	0.08	0.21	0.12	J-51	J-52	0.04	0.03	0.12
J-21	J-22	0.07	0.11	0.10	J-51	J-57	0.06	0.04	0.11
J-22	J-23	0.07	0.20	0.09	J-53	J-51	0.02	0.05	0.10
J-23	J-32	0.07	0.12	0.06	J-53	J-54	0.06	0.05	0.07
J-24	J-23	0.04	0.04	0.03	J-54	J-55	0.03	0.03	0.04
J-24	J-31	0.07	0.14	0.05	J-54	J-56	0.05	0.06	0.07
J-25	J-24	0.05	0.08	0.05	J-54	J-57	0.03	0.03	0.04
J-25	J-30	0.08	0.15	0.09	J-57	J-58	0.08	0.05	0.06
J-26	J-25	0.04	0.05	0.07					

Tras la recogida de datos, se pudo confirmar que los siguientes procedimientos para 81 segmentos de tuberías PVC en la red de agua potable -utilizados tanto el método AG como el método tradicional- difieren entre sí.

Tabla 23

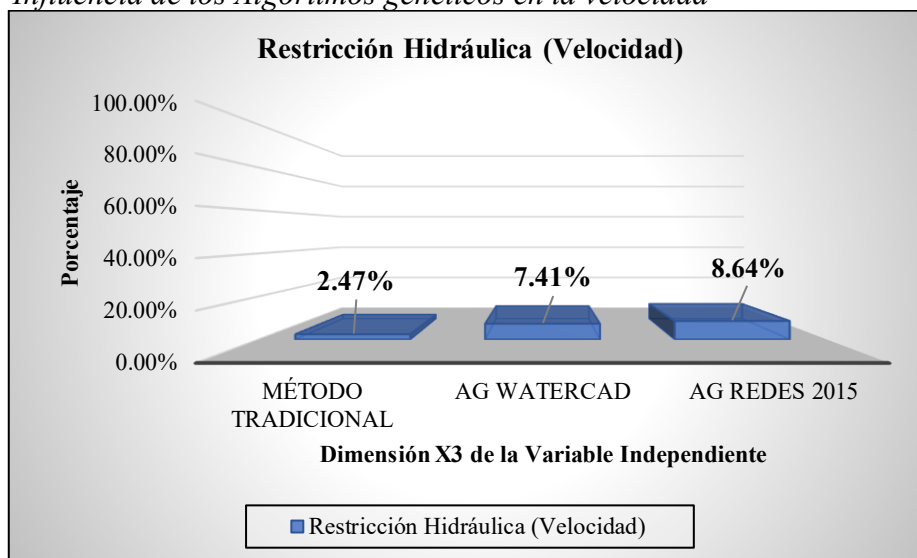
Resultados de la velocidad método del Algoritmo genético

Método	Nº tramos	Porcentajes
Método Tradicional	3	3.70%
AG WATERCAD	6	7.41%
AG REDES 2015	8	9.88%

Como demuestra el método AG, las redes de distribución se comportan mejor en las secciones que cumplen la normativa -seis secciones utilizando el software WATERCAD y ocho secciones utilizando el software REDES 2015- que en el método tradicional.

Figura 7

Influencia de los Algoritmos genéticos en la velocidad



Utilizando el enfoque de los algoritmos genéticos, el 7,41% y el 8,64% de los 81 tramos de tuberías cumplen las normas, frente a sólo el 2,47% de los tramos en general que las cumplen.

Resultados del método de Algoritmos genéticos con respecto al Costos total de obra

Para determinar el efecto del enfoque del Algoritmo Genético en el coste total de la construcción del RDAP, era esencial compararlo con el diseño tradicional. El software utilizado para el enfoque de Algoritmo Genético fue REDES 2015 y WATERCAD, mientras que WATERCAD V8i se utilizó para el cálculo hidráulico del enfoque convencional. Estos detalles son dignos de mención. Así, se muestran los resultados respectivos de los dos métodos para los distintos diámetros. Resultados para el diámetro utilizando un algoritmo genético, además de los métodos tradicionales.

Tabla 24

Resultados de los diámetros según el método tradicional y Algoritmo genético

Tramo	Método Tradicional (mm)	Algoritmo Genético		Tramo	Método Tradicional (mm)	Algoritmo Genético			
		WATERCAD (m.c.a.)	REDES 2015 (m.c.a.)			WATERCAD (m.c.a.)	REDES 2015 (m.c.a.)		
R-1	J-1	67.20	43.60	54.40	J-26	J-29	66.20	43.60	29.60
J-1	J-2	29.42	29.60	66.20	J-26	J-27	54.40	54.40	29.60
J-1	J-3	29.43	43.60	43.42	J-27	J-28	54.40	29.60	43.60
J-1	J-4	66.10	66.20	43.42	J-28	J-43	54.40	43.60	43.60
J-4	J-5	54.40	29.60	43.42	J-29	J-28	54.40	43.60	43.60
J-4	J-7	55.40	43.60	43.42	J-29	J-42	66.20	29.60	54.40
J-4	J-9	66.20	29.60	43.42	J-30	J-29	54.40	66.20	43.60
J-5	J-6	29.60	43.60	29.42	J-30	J-40	43.60	66.20	43.60
J-5	J-10	54.40	66.20	43.44	J-30	J-31	43.60	29.60	29.60
J-7	J-8	54.40	66.20	66.20	J-31	J-35	43.60	29.60	43.60
J-8	J-17	54.40	54.40	66.20	J-31	J-32	43.60	29.60	43.60
J-9	J-8	43.60	66.20	29.60	J-32	J-33	43.60	29.60	66.20
J-9	J-16	66.20	54.40	66.20	J-33	J-34	29.60	29.60	43.60
J-9	J-10	43.60	43.60	54.40	J-40	J-35	43.60	29.60	43.60
J-10	J-15	54.40	29.60	29.60	J-35	J-33	43.60	29.60	43.60
J-10	J-11	43.60	54.40	29.60	J-35	J-36	29.60	29.60	43.60
J-11	J-12	43.60	29.60	54.40	J-36	J-37	29.60	29.60	66.20
J-15	J-12	43.40	43.60	54.40	J-37	J-38	29.60	29.60	43.60
J-12	J-13	43.40	29.60	29.60	J-37	J-39	29.60	29.60	43.60
J-13	J-21	43.50	66.20	43.40	J-40	J-41	29.60	43.60	43.60
J-13	J-14	29.60	29.60	66.20	J-42	J-43	54.40	29.60	29.60
J-15	J-20	54.40	29.60	29.40	J-43	J-46	43.60	29.60	43.60
J-16	J-15	43.60	54.40	54.40	J-43	J-44	54.40	43.60	43.60
J-16	J-19	66.10	29.60	66.20	J-44	J-45	54.40	54.40	43.60
J-16	J-17	43.60	29.60	43.60	J-45	J-50	43.60	29.60	29.60
J-17	J-18	54.40	43.60	29.60	J-46	J-45	43.60	29.60	29.60
J-18	J-27	54.30	43.60	29.60	J-46	J-47	29.60	54.40	43.60
J-19	J-18	54.20	43.60	29.60	J-46	J-48	43.60	29.60	29.60

J-19	J-26	66.20	29.60	43.60	J-48	J-49	29.60	54.40	29.60
J-19	J-20	54.40	29.60	43.60	J-48	J-53	43.60	43.60	43.60
J-20	J-25	54.40	29.60	43.60	J-48	J-50	43.60	29.60	43.60
J-20	J-21	43.60	54.40	54.40	J-50	J-51	43.60	29.60	43.60
J-21	J-24	43.60	29.60	43.60	J-51	J-52	29.60	54.40	43.60
J-21	J-22	43.60	43.60	43.60	J-51	J-57	43.60	66.20	43.60
J-22	J-23	43.60	29.60	43.60	J-53	J-51	43.60	54.40	43.60
J-23	J-32	43.60	29.60	43.60	J-53	J-54	43.60	43.60	43.60
J-24	J-23	43.60	43.60	43.60	J-54	J-55	29.60	29.60	43.60
J-24	J-31	43.60	43.60	66.20	J-54	J-56	29.60	29.60	29.60
J-25	J-24	4360	29.60	43.40	J-54	J-57	43.60	43.60	29.60
J-25	J-30	54.40	29.60	66.20	J-57	J-58	29.60	43.60	29.60
J-26	J-25	54.40	43.60	66.20					

Los 81 segmentos de tuberías de PVC de la red son visibles; cada uno tiene un diámetro único que se estableció utilizando una técnica diferente. Esto afectará al precio de la red de distribución de agua potable. La siguiente tabla es el resultado de calcular el presupuesto de trabajo de cada técnica para analizar el impacto de los diámetros.

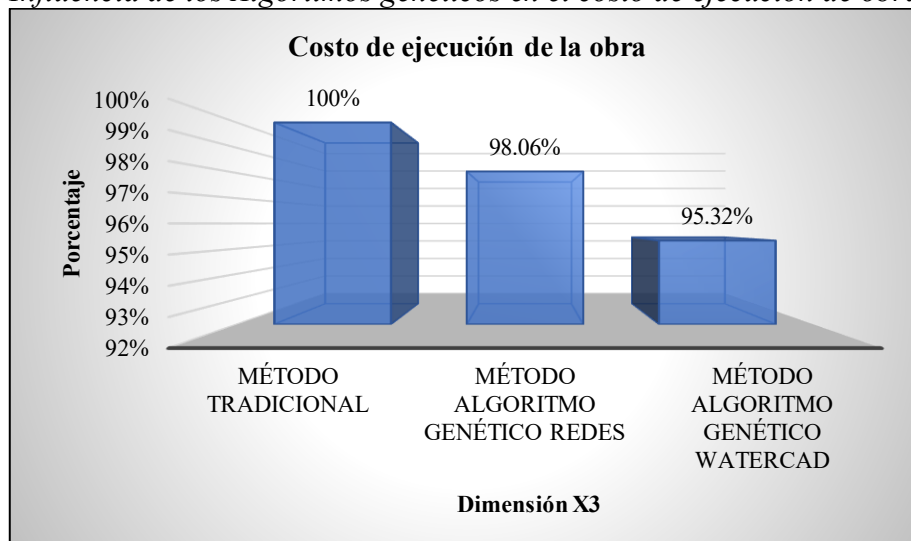
Tabla 25

Costo total de obra metodología tradicional y metodología del algoritmo genético

Estructura del Presupuesto	Método tradicional	Método Algoritmo genético REDES	Método Algoritmo genético WATERCAD
Costo Directo	691,293.54	677,859.41	658,923.73
Gastos Generales (11.0%)	76,042.29	74,564.54	72,481.61
Utilidad (6.0%)	41,477.61	40,671.56	39,535.42
Sub total	808,813.44	793,095.51	770,940.76
IGV (18%)	145,586.42	142,757.19	138,769.34
Costo de obra	954,399.86	935,852.70	909,710.10
Supervisión (5%)	47,719.99	46,792.64	45,485.51
Costo Total De Obra	1,002,119.85	982,645.34	955,195.61

Figura 8

Influencia de los Algoritmos genéticos en el costo de ejecución de obra



Cuando se diseñó la red de agua potable de la localidad urbana de Huallanca utilizando el método del Algoritmo Genético, el costo total de la obra ascendió a S/ 982,645.34 utilizando el software REDES 2015, S/ 955,195.61 utilizando WATERCAD, y S/ 1002,119.85 utilizando el método tradicional. Esto indica que el método del Algoritmo Genético es más rentable en S/ 19,474.52 y S/ 46,924.25 soles, respectivamente. Dependiendo del software utilizado para su cálculo, el monto utilizando inteligencia artificial -más especialmente, el método del Algoritmo Genético- es más económico en 1.94% y 4.68%.

La optimización combinatoria en la optimización de los procesos constructivos de las redes de distribución de agua en el departamento de Áncash

Los efectos de este enfoque se investigaron con REDES 2015. Los valores de topografía y topología, como las coordenadas X, Y y Z y el flujo unitario, se introdujeron utilizando los mismos procedimientos que antes. Expresamos estos valores en términos de unidades internacionales. Seleccionamos el menú desplegable de diseño y elegimos la metodología del Algoritmo Genético basado en las ecuaciones hidráulicas de Hazen-Williams.

El diseño comenzó dibujando los nudos, tuberías y embalses de toda la RDAP, junto con sus correspondientes cotas, coordenadas y caudales unitarios, ya que las técnicas de cálculo anteriores suponían un diámetro uniforme para la red. El resultado final se muestra en la figura generada por el programa REDES 2015. Una vez elegida la opción "Diseño rápido" en el menú desplegable "diseño", el usuario introducía los diámetros comerciales y los tipos de tuberías que se iban a utilizar en el RDAP, los coeficientes de la ecuación de costes, la presión mínima y la ecuación de Hazen Williams como tipo de ecuación de diseño. A continuación, el programa calcula la configuración ideal del sistema.

Resultados del método Optimización combinatoria en la presión de los nodos

Se ha comprobado que dos programas, WATERCAD y REDES 2015, proporcionan esta cualidad para el diseño del RDAP mediante el método del algoritmo genético, por lo que se ha investigado utilizando ambos. Se muestran los valores de presión para todo el RDAP después de comparar los resultados del análisis del impacto del método de Optimización Combinatoria (CO) con respecto a la presión en los nodos con el método tradicional.

Tabla 26

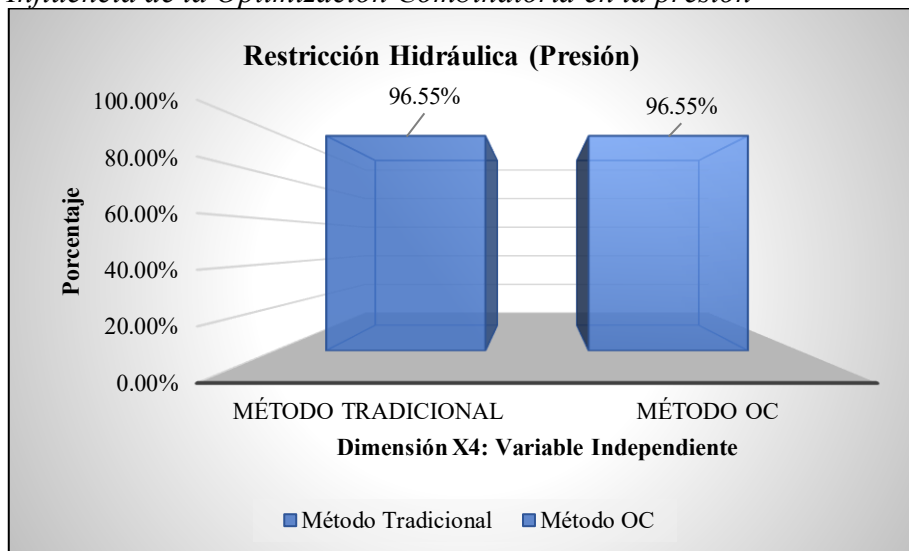
Resultados de las presiones de la RDAP método tradicional y método Optimización combinatoria

ID	Método Tradicional (m.c.a.)	Método Optimización combinatoria (m.c.a.)	ID	Método Tradicional (m.c.a.)	Método Optimización combinatoria (m.c.a.)
1	24.74	24.14	30	41.80	42.24
2	25.34	24.74	31	43.65	43.10
3	25.16	24.58	32	44.54	43.99
4	26.08	25.42	33	47.17	46.63
5	28.31	27.67	34	55.94	55.51
6	28.41	27.87	35	46.25	45.71
7	26.13	25.48	36	50.74	50.27
8	28.75	28.12	37	51.20	50.74
9	28.85	28.22	38	51.65	51.19
10	30.18	29.56	39	53.48	53.04
11	31.60	30.99	40	44.97	44.43

12	35.15	34.53	41	46.06	45.52
13	36.29	35.70	42	46.68	46.13
14	38.20	37.44	43	43.85	43.31
15	32.89	32.30	44	44.28	43.76
16	31.65	31.03	45	47.39	46.88
17	32.11	31.03	46	46.99	46.49
18	34.44	33.85	47	45.33	44.82
19	35.37	34.75	48	49.69	49.21
20	35.95	35.36	49	47.22	46.74
21	37.85	37.27	50	50.39	49.92
22	38.60	38.03	51	52.75	52.31
23	41.86	41.30	52	54.14	53.67
24	41.06	40.48	53	52.05	51.58
25	38.86	38.28	54	54.87	54.41
26	38.27	37.68	55	56.57	56.12
27	37.97	37.39	56	58.33	57.91
28	41.20	40.64	57	60.49	61.04
29	40.89	40.34	58	62.31	62.22

Tanto el enfoque convencional como el método de Optimización Combinatoria cumplieron el 96,55% de los 58 nodos totales, según un análisis de la presión y la normativa vigente, con 56 nodos de los 58 totales.

Figura 9
Influencia de la Optimización Combinatoria en la presión



Resultados del método Optimización combinatoria en la velocidad de los tramos de tubería

Se compararon las restricciones hidráulicas, como la velocidad, y sus efectos en el diseño del RDAP entre el enfoque convencional y el método de optimización combinatoria.

Tabla 27

Resultados de la velocidad Método tradicional y método Optimización combinatoria

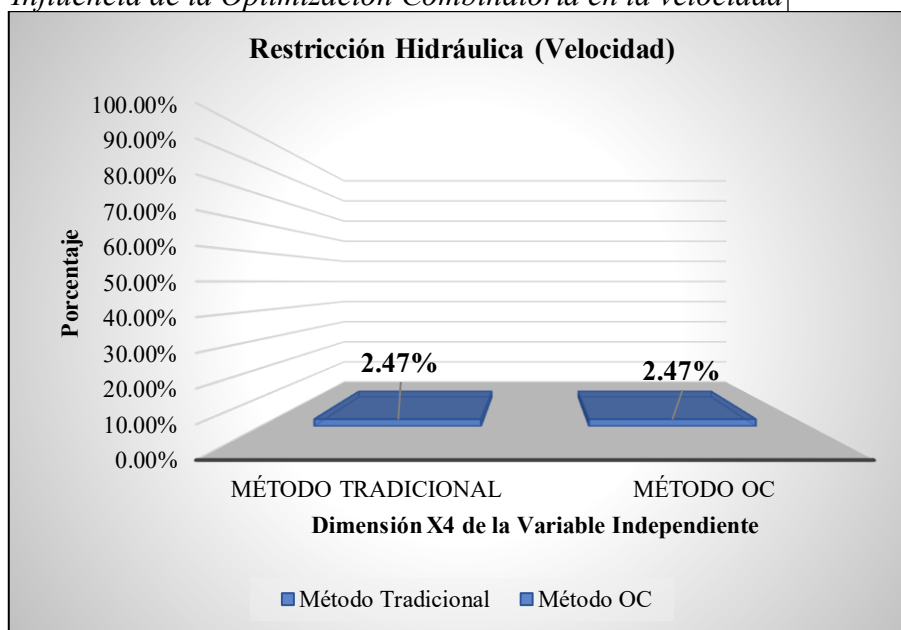
Tramo		Método Tradicional (l/s)	Método Optimización combinatoria (l/s)	Tramo		Método Tradicional (l/s)	Método Optimización combinatoria (l/s.)
R-1	J-1	0.43	0.411	J-26	J-29	0.09	0.050
J-1	J-2	0.04	0.006	J-26	J-27	0.02	0.008
J-1	J-3	0.04	0.007	J-27	J-28	0.09	0.054
J-1	J-4	0.38	0.360	J-28	J-43	0.10	0.065
J-4	J-5	0.25	0.210	J-29	J-28	0.05	-0.04
J-4	J-7	0.14	0.104	J-29	J-42	0.07	0.050
J-4	J-9	0.21	0.146	J-30	J-29	0.03	-0.031
J-5	J-6	0.03	0.004	J-30	J-40	0.06	0.017
J-5	J-10	0.14	0.103	J-30	J-31	0.02	-0.013
J-7	J-8	0.13	0.099	J-31	J-35	0.04	0.022
J-8	J-17	0.14	0.091	J-31	J-32	0.01	-0.007
J-9	J-8	0.05	-0.005	J-32	J-33	0.04	0.023
J-9	J-16	0.16	0.092	J-33	J-34	0.07	0.015
J-9	J-10	0.09	0.050	J-40	J-35	0.02	0.008
J-10	J-15	0.13	0.080	J-35	J-33	0.03	0.004
J-10	J-11	0.11	0.064	J-35	J-36	0.10	0.018
J-11	J-12	0.09	0.061	J-36	J-37	0.06	0.010
J-15	J-12	0.06	0.024	J-37	J-38	0.03	0.004
J-12	J-13	0.11	0.074	J-37	J-39	0.05	0.006
J-13	J-21	0.09	0.070	J-40	J-41	0.07	0.007
J-13	J-14	0.03	0.004	J-42	J-43	0.11	0.045
J-15	J-20	0.11	0.071	J-43	J-46	0.13	0.057
J-16	J-15	0.06	0.025	J-43	J-44	0.12	0.045
J-16	J-19	0.13	0.073	J-44	J-45	0.11	0.039
J-16	J-17	0.03	0.011	J-45	J-50	0.12	0.038
J-17	J-18	0.12	0.072	J-46	J-45	0.05	-0.011
J-18	J-27	0.10	0.058	J-46	J-47	0.06	0.007
J-19	J-18	0.02	0.008	J-46	J-48	0.12	0.039
J-19	J-26	0.11	0.057	J-48	J-49	0.06	0.007
J-19	J-20	0.05	0.019	J-48	J-53	0.10	0.029
J-20	J-25	0.10	0.054	J-48	J-50	0.04	-0.003
J-20	J-21	0.07	0.026	J-50	J-51	0.10	0.029
J-21	J-24	0.08	0.047	J-51	J-52	0.02	0.006
J-21	J-22	0.07	0.042	J-51	J-57	0.06	0.020
J-22	J-23	0.07	0.041	J-53	J-51	0.02	0.006
J-23	J-32	0.07	0.036	J-53	J-54	0.06	0.021
J-24	J-23	0.04	0.004	J-54	J-55	0.03	0.004
J-24	J-31	0.07	0.038	J-54	J-56	0.06	0.010

J-25	J-24	0.05	0.004	J-54	J-57	0.03	-0.005
J-25	J-30	0.08	0.039	J-57	J-58	0.08	0.013
J-26	J-25	0.04	-0.008				

Una vez recopilados los datos, se descubrió que, utilizando tanto el enfoque convencional como el método de Optimización Combinatoria, 2 de los 81 tramos de tuberías PVC de nuestra red de agua potable cumplían la normativa vigente.

Figura 10

Influencia de la Optimización Combinatoria en la velocidad



Sólo dos oleoductos, es decir, el 2,47% en ambos métodos, de los 81 tramos de oleoducto, cumplen las normas vigentes.

Resultados del método de Optimización combinatoria con respecto al Costos total de obra

Para evaluar el efecto del método CO en el coste global de construcción de los RDAP, será necesario compararlo con el diseño tradicional. Mostramos los resultados de los distintos diámetros adquiridos utilizando las dos técnicas mencionadas anteriormente. Cabe mencionar

que se utilizó REDES 2015 para el método de optimización combinatoria y WATERCAD V8i para el cálculo hidráulico del método tradicional.

Tabla 28

Resultados de los diámetros según el método tradicional y método Optimización combinatoria

Tramo		Método Tradicional (m.c.a.)	Método Optimización combinatoria (m.c.a.)	Tramo		Método Tradicional (m.c.a.)	Método Optimización combinatoria (m.c.a.)
R-1	J-1	66.20	66	J-26	J-29	66.20	66
J-1	J-2	29.60	66	J-26	J-27	54.40	66
J-1	J-3	29.60	66	J-27	J-28	54.40	66
J-1	J-4	66.20	66	J-28	J-43	54.40	66
J-4	J-5	54.40	66	J-29	J-28	54.40	66
J-4	J-7	54.40	66	J-29	J-42	66.20	66
J-4	J-9	66.20	66	J-30	J-29	54.40	66
J-5	J-6	29.60	66	J-30	J-40	43.60	66
J-5	J-10	54.40	66	J-30	J-31	43.60	66
J-7	J-8	54.40	66	J-31	J-35	43.60	66
J-8	J-17	54.40	66	J-31	J-32	43.60	66
J-9	J-8	43.60	66	J-32	J-33	43.60	66
J-9	J-16	66.20	66	J-33	J-34	29.60	66
J-9	J-10	43.60	66	J-40	J-35	43.60	66
J-10	J-15	54.40	66	J-35	J-33	43.60	66
J-10	J-11	43.60	66	J-35	J-36	29.60	66
J-11	J-12	43.60	66	J-36	J-37	29.60	66
J-15	J-12	43.60	66	J-37	J-38	29.60	66
J-12	J-13	43.60	66	J-37	J-39	29.60	66
J-13	J-21	43.60	66	J-40	J-41	29.60	66
J-13	J-14	29.60	66	J-42	J-43	54.40	66
J-15	J-20	54.40	66	J-43	J-46	43.60	66
J-16	J-15	43.60	66	J-43	J-44	54.40	66
J-16	J-19	66.20	66	J-44	J-45	54.40	66
J-16	J-17	43.60	66	J-45	J-50	43.60	66
J-17	J-18	54.40	66	J-46	J-45	43.60	66
J-18	J-27	54.40	66	J-46	J-47	29.60	66
J-19	J-18	54.40	66	J-46	J-48	43.60	66
J-19	J-26	66.20	66	J-48	J-49	29.60	66
J-19	J-20	54.40	66	J-48	J-53	43.60	66
J-20	J-25	54.40	66	J-48	J-50	43.60	66
J-20	J-21	43.60	66	J-50	J-51	43.60	66
J-21	J-24	43.60	66	J-51	J-52	29.60	66
J-21	J-22	43.60	66	J-51	J-57	43.60	66
J-22	J-23	43.60	66	J-53	J-51	43.60	66
J-23	J-32	43.60	66	J-53	J-54	43.60	66
J-24	J-23	43.60	66	J-54	J-55	29.60	66
J-24	J-31	43.60	66	J-54	J-56	29.60	66
J-25	J-24	43.60	66	J-54	J-57	43.60	66

J-25	J-30	54.40	66	J-57	J-58	29.60	66
J-26	J-25	54.40	66				

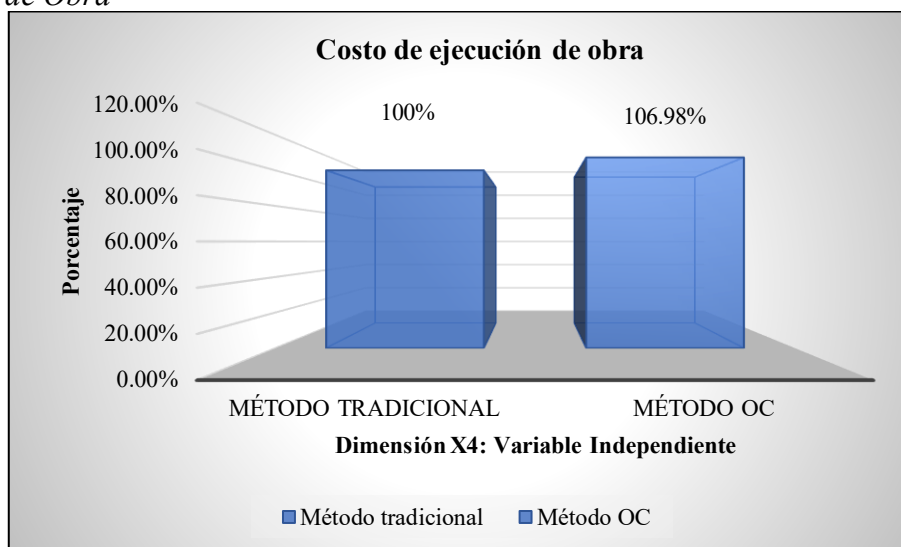
Como puede observarse, la red está compuesta por 81 segmentos de tuberías de PVC de diámetros variables que se han calculado utilizando los métodos adecuados. El coste de la red de distribución de agua potable se verá afectado por estos diámetros. Para examinar la repercusión de los diámetros, elaboró el presupuesto de trabajo de cada método y el resultado fue el cuadro siguiente.

Tabla 29
Costos de la obra método Tradicional y método Optimización combinatorio

Estructura del Presupuesto	Método tradicional	Método Optimización combinatoria
Costo Directo	691,293.54	739,571.05
Gastos Generales (11.0%)	76,042.29	81,352.82
Utilidad (6.0%)	41,477.61	44,374.26
Sub total	808,813.44	865,298.13
IGV (18%)	145,586.42	155,753.66
Costo de obra	954,399.86	1,021,051.79
Supervisión (5%)	47,719.99	51,052.59
Costo Total De Obra	1,002,119.85	1,072,104.38

Figura 11

Influencia de la Optimización Combinatoria en el costo de la ejecución de Obra



El enfoque de Optimización Combinatoria arrojó un costo total de S/ 1 072 104,38 soles para el diseño de la red de agua potable de la localidad urbana de Huallanca, frente a S/ 1 002 119,85 soles del método tradicional. Esto indica que el método de Optimización Combinatoria es más caro, ya que cuesta S/ 69,984.53 soles. Al utilizar el método PR, que utiliza inteligencia artificial, el sistema se encarece en 6,98% respecto al costo de ejecución del método tradicional.

La inteligencia artificial en la optimización de los procesos constructivos de las redes de distribución de agua en el departamento de Áncash

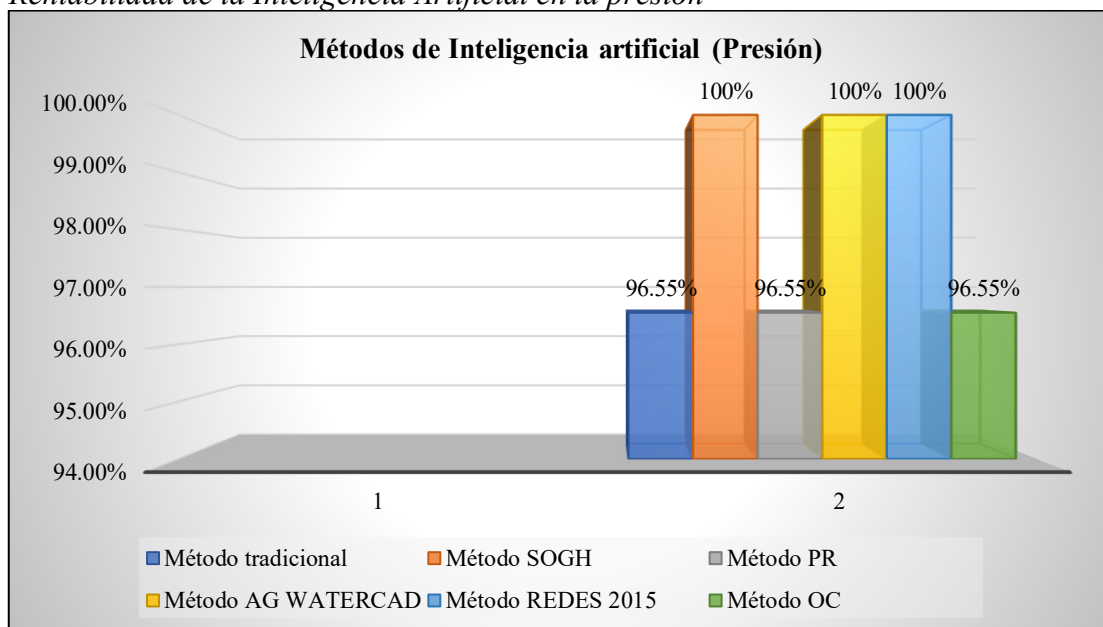
Resultados Inteligencia Artificial en la presión de los nodos

Se observó utilizando tanto WATERCAD y REDES 2015, los dos programas que se encontraron para proporcionar esta característica para el diseño RDAP con AI. Utilizando los datos de presión de los nodos, se realizó un análisis de inteligencia artificial y se comparó con el enfoque convencional. La superficie de gradiente hidráulico óptimo, los algoritmos genéticos, la programación de restricciones y la optimización combinatoria son los cuatro

enfoques que, según el ingeniero Saldarriaga, tiene en cuenta la inteligencia artificial. En la creación de estos cálculos y metodología se utilizó el software REDES2015.

El diseño de la RDAP del centro urbano de Huallanca está obviamente impactado por la inteligencia artificial. Todos los enfoques se comportan mejor o igual que los métodos convencionales cuando los resultados se comparan directamente con los requisitos de presión máxima y mínima exigidos por la normativa. Los mejores resultados se obtuvieron utilizando el método SOGH junto con el Algoritmo Genético que cumplió al 100%.

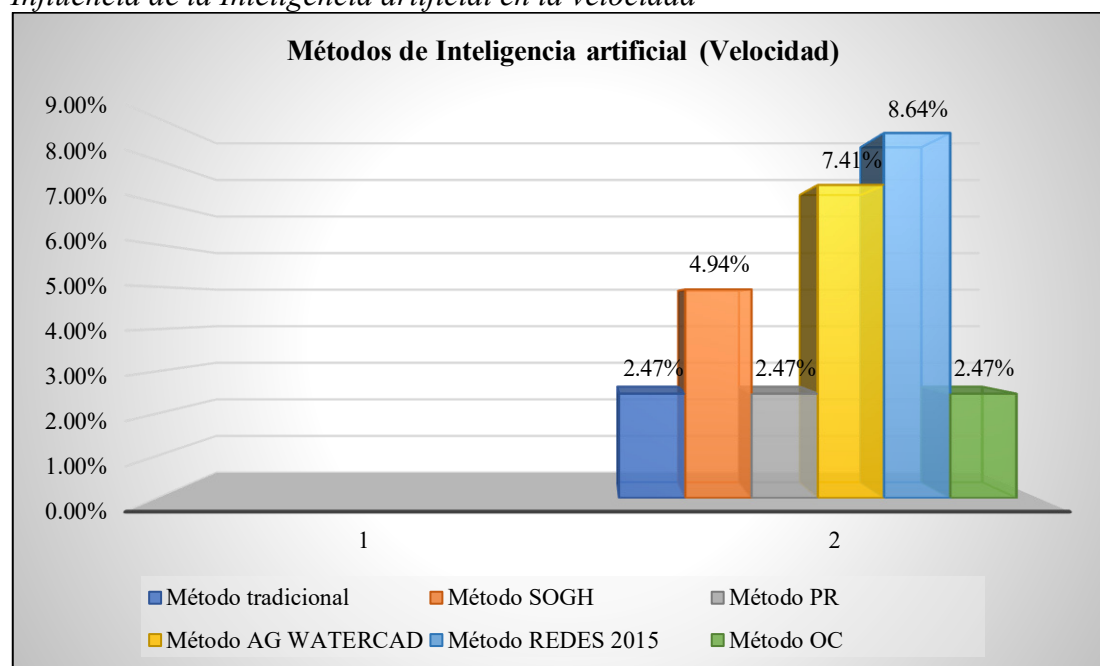
Figura 12
Rentabilidad de la Inteligencia Artificial en la presión



Influencia de la Inteligencia Artificial en la velocidad de los tramos

En este caso, el análisis de las variables de velocidad demuestra claramente el impacto de la inteligencia aérea en el diseño de un RDAP.

Figura 13
Influencia de la Inteligencia artificial en la velocidad



Según el enfoque, la inteligencia artificial puede aumentar la velocidad entre un 2,47% y un 8,64%. Cabe destacar que la inteligencia artificial aumentó las velocidades en la mayoría de los tramos.

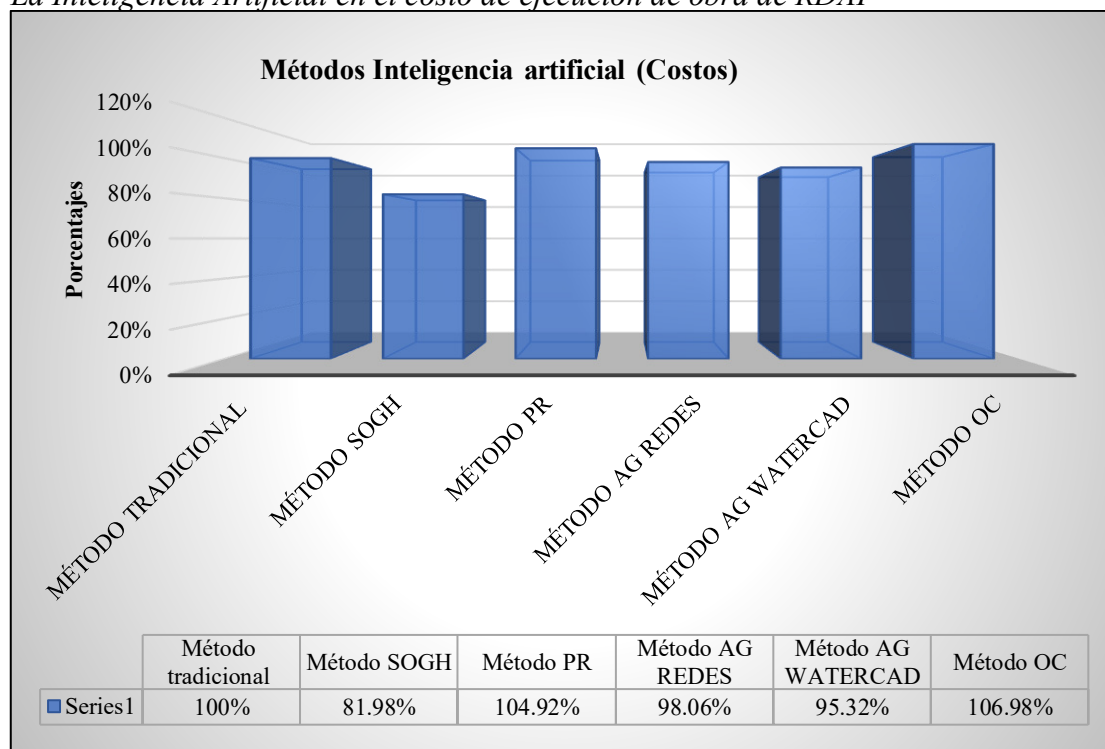
Influencia de la Inteligencia Artificial con respecto al Costos total de obra

La importancia de la inteligencia aérea en el diseño de RDAP quedó demostrada en este caso por el examen de la variación de costes basada en métodos de IA. El coste del RDAP y el presupuesto global de la red debían determinarse contando los diámetros procedentes del cálculo hidráulico, sección por sección. Tras evaluar el impacto de los diámetros y calcular el coste de cada método, se elaboró la siguiente tabla.

Tabla 30*Resumen en el costo de ejecución de la obra con los diversos métodos*

Método	Costo de la obra	Comparación	Condición	Representación % del costo
Método tradicional	1,002,119.85	Monto base	Referencia	100%
Método SOGH	821,555.00	180,564.85	Disminuyó el costo	81.98%
Método PR	1,051,467.33	-49,347.48	Aumentó el costo	104.92%
Método AG REDES	982,645.34	19,474.51	Disminuyó el costo	98.06%
Método AG WATERCAD	955,195.61	46,924.24	Disminuyó el costo	95.32%
Método OC	1,072,104.38	-69,984.53	Aumentó el costo	106.98%

Se aprecia en la tabla anterior, que hay métodos que encarecieron la red y métodos que economizan el costo de la ejecución de obra. Siendo uno de los favorables el método de Superficie óptima de gradiente hidráulico con un monto inferior del monto base.

Figura 14*La Inteligencia Artificial en el costo de ejecución de obra de RDAP*

De la verificación del comportamiento de la inteligencia artificial se deduce que algunos enfoques son más rentables a la hora de diseñar el RDAP de Huallanca.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para recoger los datos de esta investigación se utilizó la técnica de la observación estructurada. Cuando la misma muestra de datos es evaluada por el mismo evaluador en dos contextos distintos, la estabilidad temporal es la concordancia encontrada en los resultados de las pruebas. El periodo de diseño se completó de acuerdo con la proyección de población, y se calculó el suministro de agua necesario para la población. Además, se analizaron los caudales unitarios y los nodos de la red de distribución de agua, y se calculó el caudal en otros usos para analizar las variaciones del consumo.

Discusión 1:

Cuando se diseña la red de agua potable de la localidad urbana de Huallanca utilizando el método de superficie óptima de gradiente hidráulico, el costo total de la obra es de S/. 821,555.00 soles, frente a los S/. 1,002,119.85 soles del método tradicional. De acuerdo a esto, se conservaría S/. 180,564.85. Para cumplir estrictamente con la normativa en el caso tradicional, será necesario añadir una válvula reductora de presión, lo que también repercutirá en el costo total de la obra. Dado que una red de agua potable tiene una vida útil de veinte años, estos valores no tienen en cuenta la explotación y el mantenimiento de la RDAP a lo largo del tiempo. Según Lazarte (2020), el uso de la iteración matricial numérica para determinar los caudales hace más eficiente el diseño del gradiente hidráulico en la red de distribución de agua potable. Para obtener los caudales por el método matricial de gradiente hidráulico, los siguientes errores de cierre deben ser iguales a 0,000 de la diferencia de la matriz $[A]_{113} - [A]_{14}$. Estos valores ya se determinan mediante cálculo. También se siguen las normas nacionales de construcción en lo que respecta a las velocidades calculadas, que se sitúan entre 0,36 y 0,80 m/s y dentro del intervalo de 0,3 a 3,0 m/s; además, también se respetan las presiones mínimas y máximas, que se sitúan entre 17,02 y 37,93 m.c.a. y dentro del intervalo

de 10 y 50 m. La calidad de servicio de la red de distribución de agua mejora significativamente con estos valores computados de forma más rápida y completa. Los resultados de la tesis de Madrid (2014), indican que para determinar las presiones superficiales ideales es necesario definir los siguientes elementos: la línea de gradiente hidráulico (LGH) en cada fuente de suministro; la presión mínima requerida en los nudos; la distancia entre cada nudo de consumo y las fuentes de suministro; y, en cuarto lugar, una ecuación que indique la caída de carga piezométrica entre cada nudo, desde la fuente de suministro hasta el nudo más alejado. Los dos primeros puntos son fáciles de determinar porque la LGH de las fuentes depende de dónde se encuentren en la red y de cuál sea la condición de presión mínima en cada nudo. No obstante, para determinar la cabecera se puede utilizar la siguiente lista de técnicas. A esto se refiere el tercer punto. De forma similar, Galvis et al. (2010), afirman que la metodología del gradiente hidráulico óptimo superficial (SOGH) para el diseño de RDAP amplía la idea de la LGH ideal de un sistema de distribución e identifica los diámetros de tubería que conducen a la LGH con el fin de producir un diseño de coste casi mínimo.

Discusión 2:

El enfoque de programación restringida resultó en un costo total de S/ 1 051 467,33 soles para el diseño de la red de agua potable en la localidad urbana de Huallanca, comparado con S/ 1 002 119,85 para el método tradicional. Esto demuestra que el enfoque de programación con restricciones es más costoso con S/ 49,347.48. La cantidad de inteligencia artificial -y el método de programación de restricciones en particular- incrementa el costo del sistema en relación con el costo de llevar a cabo el método convencional. Según Pandofil et al. (2017), la red debe ofrecer constantemente este servicio en la cantidad necesaria, a la presión adecuada y con la calidad necesaria. Dado que existe la posibilidad de que varíen las conexiones entre sus distintos componentes, el comportamiento y el diseño de la red de distribución son complejos.

Diseñar una red que satisfaga las restricciones específicas de presión y caudal a un coste razonable es un reto importante, teniendo en cuenta la importancia de la distribución de agua. La optimización de una red de distribución de agua consta de tres etapas principales: (1) Topológica, en la que el nivel de decisión táctica incluye el control de bombas y válvulas; (2) Diseño de la red, en la que el nivel de decisión táctica incluye variables como el diámetro y la rugosidad de las tuberías; y (3) Planificación, en la que el nivel de decisión táctica incluye conexiones, bombas, válvulas y depósitos. Uno de los principales obstáculos para que la población alcance un desarrollo sostenible, tal y como recomiendan los instrumentos de planificación nacional, regional y local, es la gestión de los recursos hídricos en la cuenca del río Mantaro, que no garantiza la seguridad hídrica para satisfacer la demanda actual de agua de la población y la agricultura, según Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2021. Por otro lado, la falta de regulación y/o la inadecuada gestión del recurso hace que los sectores agrícolas experimenten un déficit hídrico. Debido a que la cantidad de agua necesaria para el uso consuntivo en la cuenca (1.228,1 Hm³/año) es inferior a la oferta total (12.189 Hm³/año), los resultados del balance demuestran que no existe déficit a escala de cuenca.

Discusión 3:

El costo del proyecto de diseño de la red de agua potable para la localidad urbana de Huallanca, utilizando el método del Algoritmo Genético, fue de S/ 982,645.34 para el software REDES 2015 y S/ 955,195.61 para WATERCAD. Comparativamente, S/ 1 002 119,85 soles fue el costo del método tradicional. Estos resultados demuestran la mayor economía del enfoque de Algoritmos Genéticos, con costos de S/ 19,474.51 y 46,924.24, respectivamente. El software utilizado determinará cuánto se puede calcular de forma más rentable mediante el uso de la inteligencia artificial y, más concretamente, de la técnica de los Algoritmos Genéticos. Se han demostrado las ventajas del algoritmo genético multiobjetivo de ordenación no

dominada (NSGA-II) para el diseño óptimo de redes de distribución de agua potable con la fiabilidad y el coste resilientes como dos funciones objetivo, según las conclusiones de la tesis de Ricra y Tunque (2022). Por lo tanto, el proceso iterativo de selección de diámetros del algoritmo puede simultáneamente ahorrar costes y aumentar la fiabilidad porque sigue las restricciones hidráulicas de presiones y velocidades en OE.050. Los componentes de diversificación del algoritmo genético multiobjetivo son una de las principales razones de su excelente rendimiento. La utilización eficaz de dos componentes -ordenación rápida y distancia de aglomeración- permitió alcanzar un equilibrio favorable entre las funciones objetivo de coste robusto y fiabilidad. La utilización de este algoritmo de optimización proporcionó en última instancia una variedad de opciones para la selección de la red de distribución de acuerdo con los requisitos técnicos. La aplicación de algoritmos genéticos a la solución de redes de distribución de agua produjo un conjunto de soluciones, según Alfaro et al. (2018). Finalmente, el diseñador debe elegir una de las soluciones de entre un conjunto de redes de distribución de agua en función de dos funciones objetivo: maximización de la fiabilidad y minimización de costes. Se obtuvo una solución menos costosa y una fiabilidad de 0,497 para la red de Hanói. A pesar de la apariencia, Martínez (2019), sostiene en su tesis que los obstáculos pueden superarse una vez adquiridos estos datos. No hay que desdeñar que los algoritmos genéticos tienen fallos inherentes que exigen métodos particulares para intentar resolverlos. Quedarse estancado en un mínimo o máximo local y no encontrar una solución mejor es un buen ejemplo de este tipo de problemas. En un esfuerzo por mitigar estos inconvenientes, las estrategias de partición promueven una mayor diversidad genética, entre otras cosas. Intentaremos probar los efectos positivos de aplicar estas prácticas basándonos en estos conocimientos y en la presunción de que estamos ajustando adecuadamente otros parámetros cruciales.

Discusión 4:

En el diseño de la red de agua potable de la localidad urbana de Huallanca, el método de Optimización Combinatoria tuvo un costo total de S/ 1,072,104.38, mientras que el método tradicional tuvo un costo total de S/ 1,002,119.85. Esto ilustra el mayor costo del método de Optimización Combinatoria en S/ 69,984.53 soles. Esto ilustra el mayor costo del método de Optimización Combinatoria de S/69,984.53 soles. El costo de ejecución del sistema es mayor con más inteligencia artificial que con el enfoque convencional, especialmente cuando se utiliza el método de Optimización Combinatoria. Será necesario comparar los resultados con el diseño tradicional para evaluar el impacto del método CO en el costo global de construcción de los RDAP, según los resultados de la tesis de Ricra y Tunque (2022). Se muestran los resultados para los distintos diámetros obtenidos con las dos técnicas mencionadas anteriormente. Cabe destacar que para el cálculo hidráulico en el método tradicional se utilizó el software WATERCAD V8i, mientras que en el método de Optimización Combinatoria se utilizó el software REDES 2015. Por este motivo, los resultados de la optimización combinatoria difirieron de los del método convencional en cuanto a presiones y velocidades. En cuanto al presupuesto de trabajo, alcanzó un valor adicional de S/69,955.54 soles, convirtiéndose en uno de los métodos menos efectivos; no obstante, no se observa que el número de instancias de seguimiento de las pautas se haya incrementado en comparación con el reglamento. Quevedo (2017), encontró que la complejidad del problema combinatorio NP-Hard está relacionada con la optimización de una red de agua. Esto sugiere que no hay forma de resolverlo de manera determinista. Sin embargo, los métodos especializados que cumplen las restricciones (presión y velocidad) y tienen tiempos de cálculo razonables pueden ayudar a alcanzar valores aceptables para los objetivos previstos (menor coste y mayor fiabilidad) y la configuración del diámetro. Al optimizar una red de agua, los algoritmos genéticos multiobjetivo pueden resolver este tipo de problema combinatorio NP-Hard.

VI. CONCLUSIONES

- 6.1. En cuanto al método de la superficie óptima de gradiente hidráulico se tiene que influye de manera favorable en la optimización de los procesos constructivos de las redes de distribución de agua en Áncash debido a que en cuanto a la presión cumplió al 100% respecto al 96.55% del método tradicional, en cuanto a la velocidad de los tramos de tubería el método SOGH cumple en un porcentaje del 4.94%, que es mayor al porcentaje del método tradicional que es 2.47%. Asimismo, en cuanto a los costos para la ejecución de la obra para el método del SOGH tiene un monto menor que el método tradicional.
- 6.2. En cuanto al método de la Programación por restricciones se tiene que no influye de manera favorable en la optimización de los procesos constructivos de las redes de distribución de agua en Áncash, ya que en cuanto a la presión ambos métodos cumplen al 96.55%, en cuanto a la velocidad ambos métodos cumplen al 2.47% y respecto al costo de ejecución de la obra el método de programación por restricciones resulta más costoso que el método tradicional.
- 6.3. En cuanto al método de los algoritmos genéticos se tiene que influye de manera favorable en la optimización de los procesos constructivos de las redes de distribución de agua en Áncash, debido a que en cuanto a la presión cumplió al 100% respecto al 96.55% del método tradicional, en cuanto a la velocidad de los tramos de tubería el método SOGH cumple en un porcentaje del 7.41% con el programa REDES y 8.64% con el programa WATERCAD, que en ambos casos son mayores al porcentaje del método tradicional que es 2.47%. Asimismo, en cuanto a los costos para la ejecución de la obra para el método de Algoritmos genéticos tiene un monto menor que el método tradicional.

- 6.4. En cuanto al método de la Optimización combinatoria se tiene que no influye de manera favorable en la optimización de los procesos constructivos de las redes de distribución de agua en Áncash, debido a que en cuanto a la presión tanto este método como el método tradicional cumplen al 96.55%, en cuanto a la velocidad de los tramos de tubería el método OC y el método tradicional cumplen al 2.47%. Asimismo, en cuanto a los costos para la ejecución de la obra para el método del OC tiene un monto mayor que el método tradicional.
- 6.5. Se concluye que la inteligencia artificial influye de manera favorable en la optimización de los procesos constructivos de las redes de distribución de agua en Áncash y lo hace de manera favorable con los métodos de Superficie óptima de gradiente hidráulico y con el método de algoritmos genéticos.

VII. RECOMENDACIONES

- 7.1. Se recomienda utilizar la SOGH como una herramienta complementaria a otras técnicas de optimización, como los algoritmos genéticos, la programación lineal o el análisis multicriterio, para obtener soluciones más robustas y eficientes.
- 7.2. Se recomienda validar e implementar los resultados obtenidos con la programación por restricciones mediante simulaciones hidráulicas, análisis de sensibilidad y pruebas de campo, para verificar el cumplimiento de las restricciones y los criterios de optimización.
- 7.3. Es importante aplicar los algoritmos genéticos a diferentes casos de estudio, con distintas características topológicas y de demanda, para evaluar su efectividad y compararla con otros métodos de diseño. Aplicar a diversos ámbitos, entre ellos la optimización de los procesos constructivos de las redes de distribución de agua, que consiste en diseñar y ejecutar las obras hidráulicas necesarias para garantizar el suministro adecuado de agua potable a una población.

VIII. REFERENCIAS

- Aguilar, A. y Obando, F. (2021). Aprendizaje automático para la predicción de calidad de agua potable [en línea]. Ingeniera en Automatización Industrial [fecha de consulta: 18 de agosto de 2018]. Disponible en: <https://biblat.unam.mx/es/revista/ingeniare/articulo/aprendizaje-automatico-para-la-prediccion-de-calidad-kde-agua-potable>
- Alfaro, L., Avendaño, C., Pino, E. y Quevedo, V. (2018). Aplicación de algoritmos genéticos SPEA & MAGNO para diseño óptimo de redes de distribución de agua, Viñani, Tacna. Tacna. Documento Ejecutivo Producto 8.
- Álvarez, M. y Yacupaico, W. R. (2021). Diagramas de recorrido optimizado y propuesta de mejora en la ejecución de partidas de la institución educativa, Yanaquero – Huasmín – Celendín - Cajamarca, 2020. [Tesis de maestría, Universidad Privada del Norte]. Repositorio institucional de la Universidad Privada del Norte. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/27930?show=full>
- Andrés, F. (2015). Desarrollo de software y diseño de un sistema automatizado para monitoreo y predicción de eventos de contaminación en sistemas de distribución de agua, utilizando inteligencia artificial. Tesis (Magister en Ciencias). Oaxaca de Juárez: Instituto Politécnico Nacional. pp. 89 [fecha de consulta: 15 de octubre de 2022]. Disponible en: http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx:8080/xmlui/handle/LITER_CIIDIROAX/230

Autoridad Nacional del Agua [ANA] (2021). Plan de gestión de recursos hídricos de la Cuenca Mantaro. Perú. Documento Ejecutivo Producto 8.

Banco Interamericano de Desarrollo [BID] (2022). Inteligencia artificial para mejorar los servicios de saneamiento. [fecha de consulta: 15 de octubre de 2022]. Disponible en: <https://www.virtualpro.co/noticias/inteligencia-artificial-para-mejorar-los-servicios-de-saneamiento>

Bermúdez, D. L. y Carbajal, G., (2017). First Run study y optimización de procesos en la construcción de muros anclados. [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio institucional de la Pontificia Universidad Católica del Perú. <https://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/147509>

Betalleluz, I., Inga, M. y Vásquez, W. (2022). Inteligencia Artificial en acuicultura: fundamentos, aplicaciones y perspectivas futuras [en línea]. Universidad Nacional de Trujillo. [fecha de consulta: 18 de agosto de 2018]. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2077-99172022000100079&script=sci_abstract#:~:text=Adem%C3%A1s%2C%20se%20explican%20los%20fundamentos%20de%20la%20inteligencia,el%20grado%20de%20pigmentaci%C3%B3n%20en%20salmones%20y%20truchas

Blanco, M. (2018). Redes neuronales artificiales aplicadas a la remoción de cobre en agua utilizando quitosano entrecruzado con glutaraldehído. Tesis (Maestro en Ingeniería y en Ciencias Químicas). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería. pp. 109 [fecha de

consulta: 15 de octubre de 2022]. Disponible en:
<https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3252316?show=full>

Canaza, A., Choqueneira, P., Onque, S. y Zevallos, A. (2022). Modelo predictivo de la potabilidad del agua mediante un árbol de decisión en Inteligencia Artificial [en línea]. Revista Innovación y Software. [fecha de consulta: 18 de agosto de 2018]. Disponible en:

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8587597#:~:text=En%20este%20tra bajo%20se%20plante%C3%B3%20como%20objetivo%20utilizar,de%20agua%20div ididas%20por%20la%20variable%20de%20potabilidad.>

Carrasco, S. (2017). Metodología de la investigación científica. Pautas metodológicas para diseñar y elaborar el proyecto de investigación. 2da ed. Editorial San Marcos.

Cifuentes, G. y Godoy, A. (2018). Mejoramiento de la red de distribución del sistema de acueducto Auacact en la localidad de ciudad Bolívar mediante modelación en Epanet - Bogotá D.C. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Bogotá: Universidad Católica de Colombia. pp. 122 [fecha de consulta: 15 de octubre de 2022]. Disponible en:
<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/22578/1/DOCUMENTO%20-%20MEJORAMIENTO%20ACUEDUCTO%20AUACACT-ESPECIAL.%20RECURSOS%20HIDRICOS.pdf>

Condeña, J. I. (2018). Optimización del diseño y proceso constructivo del puente Bella Unión - Lima. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Federico Villarreal]. Repositorio

institucional de la Universidad Nacional Federico Villarreal.
<http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/2617>

Cubas, Y. X. y Gomez, J. R. (2020). Propuesta de gestión que permita optimizar los factores que inciden en la productividad de la industria de construcción en Nuevo Chimbote. [Tesis de maestría, Universidad Privada Antenor Orrego]. Repositorio institucional de la Universidad Privada Antenor Orrego.
<https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/7028>

Cubillos, M. (2022). Modelo de deterioro en tuberías de agua potable con métodos probabilísticos y de inteligencia artificial. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Santiago de Chile: Universidad de Chile. pp. 97 [fecha de consulta: 15 de octubre de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/185944>

Eenda works. (2022). Termina el proyecto Hydroleaks, centrado en el cálculo de las fugas a través de Inteligencia Artificial [en línea]. Eendas Works. [fecha de consulta: 18 de agosto de 2018]. Disponible en: <https://www.aguasresiduales.info/revista/noticias/termina-el-proyecto-hydroleaks-centrado-en-el-calc-xOC1A>

Fernández, J. (2019). Diseño de un sistema experto para mejorar la toma de decisiones en obras hidráulicas para agua potable. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Huaraz: Universidad San Pedro. pp. 131 [fecha de consulta: 15 de octubre de 2022]. Disponible en: <http://repositorio.usanpedro.edu.pe/handle/USANPEDRO/14322>

Fonseca, R. A. (2018). Propuesta para la optimización de los procesos constructivos en sistemas de mampostería estructural, para la construcción de vivienda multifamiliar VIS, mediante la implementación de BIM. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/68683>

Futurenviro (2021). Inteligencia artificial y sistemas inteligentes en el ciclo integral del agua. Smart Water. [en línea]. Abril. 1(6), 1-6 [fecha de consulta: 15 de octubre de 2022]. Disponible en: <https://futurenviro.es/inteligencia-artificial-y-sistemas-inteligentes-en-el-ciclo-integral-del-agua/>

Galvis, C., Ñañez, P., Ochoa, S. y Saldarriaga, J. (2010). Diseño optimizado de redes de distribución de agua potable mediante la superficie óptima de gradiente hidráulico. Bogotá. Centro de Investigaciones en Acueductos y Alcantarillados.

Gómez, C. (2021). Calibración de redes de distribución de agua potable a través de inteligencia artificial. Tesis (Magister en Ingeniería Civil). Bogotá: Universidad de los Andes. pp. 147 [fecha de consulta: 15 de octubre de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/53823/24844.pdf>

H&C Proyectos de Ingeniería construimos confianza (2021). ¿Qué es la optimización de procesos en la construcción?. Recuperado de <https://www.hycproyectos.com/que-es-la-optimizacion-de-procesos-en-la-construccion/>

Instituto de Estadística e Informática [INEI], (2017) Encuesta Nacional de Programas Presupuestales 2014 – 2016. Lima, Perú: INEI.

Lastra, A. (2021). Inteligencia artificial y sistemas inteligentes en el ciclo integral del agua [en línea]. Futurenviro, 2021. [fecha de consulta: 18 de agosto de 2018]. Disponible en: <https://www.interempresas.net/Reciclaje/Articulos/456399-Inteligencia-artificial-y-sistemas-inteligentes-en-el-ciclo-integral-del-agua.html>

Lazarte, F. (2020). Diseño optimizado de redes de distribución de agua potable mediante los conceptos de Hardy Cross y Gradiente hidráulico y su repercusión en la calidad del servicio. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Juliaca: Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez, pp. 253 [fecha de consulta: 15 de octubre de 2022]. <http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/5192>

Lobos, J. (2022). Detección y localización de fugas en redes de distribución de agua potable en una gran ciudad de Chile mediante un algoritmo de clasificación en redes neuronales. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Santiago de Chile: Universidad de Chile. pp. 67 [fecha de consulta: 15 de octubre de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/185782>

Madrid, N. (2014). Diseño optimizado de redes de distribución de agua potable que incluyan bombeo. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Bogotá: Universidad de los Andes, pp. 65 [fecha de consulta: 15 de octubre de 2022]. <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/12826/u703552.pdf>

Martell, P. R. (2017). Optimización de costos mediante la implementación de una construcción prefabricada en el proceso constructivo de las obras civiles de una subestación compacta bóveda subterránea en la empresa Lilestrom S.AC. [Tesis de maestría, Universidad Privada del Norte]. Repositorio institucional de la Universidad Privada del Norte. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/11408?locale-attribute=en>

Martínez, S. (2019). Modelo de evaluación de la sostenibilidad de soluciones constructivas de urbanización mediante algoritmos genéticos. Tesis (Doctor en Ingeniero Industrial). Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia, pp. 328 [fecha de consulta: 15 de octubre de 2022]. http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/tesisuned:ED-Pg-TecInd-Smartinez/MARTINEZ_RUIZ_Simon_Tesis.pdf

Motta, M. A. y Moreno, C. F. (2021). Optimización del costo de una vivienda vis, mediante un algoritmo de evolución diferencial. [Tesis de maestría, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio institucional de la Universidad Católica de Colombia. https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/26401/1/1.%20Trabajo%20de%20grado%20N%20130%20Miguel%20Motta_Cristian%20Moreno.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO] (2018). Códigos UNESCO, Nomenclatura para los campos de las ciencias y las tecnologías. United Nations Educationak, Scientific and Cultural Organization. Acceso em 20 de abril de 2020

Organización Mundial de la Salud [OMS] (2017). *Progresos en Materia de Agua Potable, Saneamiento e Higiene*. Suiza: Organización Mundial de la Salud – Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia

Pandolfi, D., Pereyra, G. y Villagra, A. (2017). *Diseño y optimización de redes de distribución de agua utilizando algoritmos genéticos*. Bogotá. Universidad Nacional de la Patagonia Austral Unidad - Académica Caleta Olivia Instituto de Tecnología Aplicada (ITA).

Peña, A. (2016). *Uso de redes neuronales artificiales para optimizar la dosificación de Coagulantes en la planta de tratamiento de agua potable-Huancayo*. Tesis (Doctor en Ingeniería y en Ciencias Ambientales). Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina, 2016. pp. 134 [fecha de consulta: 15 de octubre de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/2841#:~:text=En%20la%20investigaci%C3%B3n%20se%20utilizaron%20las%20redes%20neuronales,generalmente%20en%20los%20meses%20de%20octubre%20a%20marzo>.

Quevedo, V. (2017). *Aplicación del algoritmo genético multiobjetivo Strength Pareto Evolutionary Algorithm y su efectividad en el diseño de redes de agua potable. Caso: Sector Viñani-Tacna*. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Tacna: Universidad Privada de Tacna. pp. 142 [fecha de consulta: 15 de octubre de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/159>

Quezada, N. (2015). *Metodología de la investigación*. Editorial Macro.

- Rave, J. y Villegas, O. (2011). Optimización de los recursos materiales en la construcción de vivienda de interés social. Tesis (Especialización en Gerencia de construcciones). Medellín: Universidad de Medellín. 91 pp.
- Ricra, F. y Tunque, T. (2022). Rendimiento del algoritmo genético multiobjetivo de clasificación no dominada en el diseño óptimo de redes de distribución de agua potable. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica, pp. 180 [fecha de consulta: 15 de octubre de 2022].
- Saldarriaga, J. (2016). Hidráulica de tuberías abastecimiento de agua, redes, riesgo. [en línea]. Bogotá: Universidad de los Andes, Editorial Alfaomega. (3ra Ed.). [fecha de consulta: 15 de octubre de 2022]. ISBN: 978-958-682-680-8. Disponible en: <https://libroweb.alfaomega.com.mx/book/605/free>
- Sánchez, F. (2019). Guía de tesis y proyectos de investigación. Centrum Legalis, Arequipa, Perú.
- Servicio de agua potable y alcantarillado de Lima [SEDAPAL] (2021). Reporte de Sostenibilidad [en línea]. Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima S.A., [fecha de consulta: 18 de agosto de 2018]. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/egesg/informes-publicaciones/3693485-reporte-de-sostenibilidad-2021>
- Silvestre, I. y Huamán, C. (2019). Pasos para elaborar la investigación y la redacción de la tesis universitaria. Editorial San Marcos, Lima, Perú.

Soto, J. y Jurado, V. (2021). Diseño de redes de distribución en sistema de abastecimiento de agua utilizando métodos racionales complejos e inteligencia artificial en la localidad de Callqui Grande - Huancavelica. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica, 2021. pp. 270 [fecha de consulta: 15 de octubre de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.unh.edu.pe/items/2e8e00b2-d0e7-40b5-9467-de24deaa4536>

Valderrama, S. (2015). Pasos para elaborar proyectos de investigación científica. Cuantitativa, Cualitativa y Mixta. 2da ed. Editorial San Marcos.

Valle, A. (2014). Optimización del diseño de redes de distribución de agua potable, usando algoritmos genéticos con tres funciones objetivo. Caso: Viñani - Tacna. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Tacna: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann - Tacna, 2014. pp. 291 [fecha de consulta: 15 de octubre de 2022]. Disponible en: <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/2811>

IX. ANEXOS

Matriz de consistencia

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variable	Metodología
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variable 1: Inteligencia artificial	Método: Científico
¿De qué manera influye la inteligencia artificial en la optimización de los procesos constructivos de las redes de distribución de agua en el departamento de Áncash, en el año 2023?	Determinar de qué manera influye la inteligencia artificial en la optimización de los procesos constructivos de las redes de distribución de agua en el departamento de Áncash, en el año 2023.	La inteligencia artificial influye de manera directa y significativa en la optimización de los procesos constructivos de las redes de distribución de agua en el departamento de Áncash, en el año 2023.	Dimensiones: - Superficie óptima de gradiente hidráulico - Programación por restricciones - Algoritmos genéticos - Optimización Combinatoria	Tipo: Aplicada Nivel: Explicativo Diseño: Experimental
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	Variable 2:	Población:
¿De qué manera influye la superficie óptima de gradiente hidráulico en la optimización de los procesos constructivos de las redes de distribución de agua en el departamento de Áncash, en el año 2023?	Analizar de qué manera influye la superficie óptima de gradiente hidráulico en la optimización de los procesos constructivos de las redes de distribución de agua en el departamento de Áncash, en el año 2023.	La superficie óptima de gradiente hidráulico influye de manera directa y significativa en la optimización de los procesos constructivos de las redes de distribución de agua en el departamento de Áncash, en el año 2023.	Optimización de procesos constructivos	La población estuvo constituida por las redes de distribución de agua del distrito de Huallanca de la provincia Bolognesi del departamento de Áncash.
¿De qué manera influye la programación por restricciones en la optimización de los procesos constructivos de las redes de distribución de agua en el departamento de Áncash, en el año 2023?	Analizar de qué manera influye la programación por restricciones en la optimización de los procesos constructivos de las redes de distribución de agua en el departamento de Áncash, en el año 2023.	La Programación por restricciones influye de manera directa y significativa en la optimización de los procesos constructivos de las redes de distribución de agua en el departamento de Áncash, en el año 2023.	- Optimización de los equipos - Optimización de los materiales	La muestra estuvo conformada por las redes de distribución de agua de la zona urbana de Huallanca, del distrito de Huallanca de la provincia Bolognesi del departamento de Áncash. Tendrá un muestreo no probabilístico del tipo por conveniencia.
¿De qué manera influyen los algoritmos genéticos en la optimización de los procesos constructivos de las redes de distribución de agua en el departamento de Áncash, en el año 2023?	Analizar de qué manera influyen los algoritmos genéticos en la optimización de los procesos constructivos de las redes de distribución de agua en el departamento de Áncash, en el año 2023.	Los algoritmos genéticos influyen de manera directa y significativa en la optimización de los procesos constructivos de las redes de distribución de agua en el departamento de Áncash, en el año 2023.		
¿De qué manera influye la optimización combinatoria en la optimización de los procesos constructivos de las redes de distribución de agua en el departamento de Áncash, en el año 2023?	Analizar de qué manera influye la optimización combinatoria en la optimización de los procesos constructivos de las redes de distribución de agua en el departamento de Áncash, en el año 2023.	La optimización combinatoria influye de manera directa y significativa en la optimización de los procesos constructivos de las redes de distribución de agua en el departamento de Áncash, en el año 2023.		

