

UNIVERSIDAD NACIONAL “HERMILIO VALDIZAN”
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**“OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO HIDRÁULICO DE LA RED DE
DISTRIBUCIÓN DE RIEGO TECNIFICADO APLICANDO ALGORITMOS
GENÉTICOS: SUBPROYECTO VILLA SOL, CHINCHAO, HUÁNUCO”**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

HIDRÁULICA

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

TESISTA:

CORNELIO FALCON, YOBER ROLANDO

ASESOR:

ING. OSORIO FLORES, EVER

HUÁNUCO – PERÚ

2023

DEDICATORIA

Dedico esta investigación a Dios, a mis padres, a mis hermanos y a mis docentes. A Dios porque ha estado conmigo en cada paso que doy, guiándome y dándome mucha fortaleza; a mi papá y a mi mamá, quienes a lo largo de mi vida me apoyaron y haberme forjado como persona que soy en la actualidad; a mis hermanos por estar siempre en los momentos más críticos, y a mis docentes por brindarme sus conocimientos para verme un profesional al servicio de la sociedad.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por guiarme y cuidarme en cada momento de mi vida.

A mi mamá, Gaudencia Falcón Magariño; mi papá, Gerónimo Cornelio Cárdenas y hermanos por sus apoyos incondicionales, por sus sabias enseñanzas de la vida y no dejarme solo nunca.

A mis docentes de la UNHEVAL, en especial a los ingenieros: Clifton Paucar y Montenegro, Jesús Francisco Ascencio Condor, Moisés Torres Ramírez, Erasmo Alejandro Fernández Sixto, Jorge Meyzán Briceño, Mauro Antonio Domínguez Magino, Miguel Domínguez Magino, entre otros. Gracias por brindarme sus conocimientos técnicos y consejos de vida.

A mi colega y amigo Elvis Esteban Velásquez Calderón.

A mi asesor Ing. Ever Osorio Flores gracias por su confianza, y siempre apoyarme.

A las personas que siempre confiaron en mí y me apoyaron en todo momento, gracias.

ORGULLOSAMENTE VALDIZANO Y UNIVERSITARIO.

¡GRACIAS!

INDICE

INDICE DE TABLAS.....	viii
INDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xvii
ABSTRACT	xviii
INTRODUCCIÓN.....	xix
I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. Fundamentación del Problema de Investigación.....	1
1.2. Formulación del Problema de Investigación General y Específicos	3
1.2.1. Problema General	3
1.2.2. Problemas Específicos	3
1.3. Formulación del Objetivo General y Específicos.....	4
1.3.1. Objetivo General.....	4
1.3.2. Objetivos Específicos	4
1.4. Justificación.....	5
1.5. Limitaciones	6
1.6. Alcances	7
1.7. Formulación de Hipótesis General y Específica	8
1.7.1. Hipótesis General.....	8
1.7.2. Hipótesis Específicas	8
1.8. Variables.....	8
1.9. Definición Teórica y Operacionalización de Variables.....	9
1.9.1. Definición Teórica de Variables	9
1.9.2. Definición Operacional de Variables.....	9
II. MARCO TEÓRICO	10
2.1. Antecedentes	10

2.1.1.	Antecedentes Internacionales	10
2.1.2.	Antecedentes Nacionales	12
2.2.	Bases Teóricas	15
2.2.1.	Redes de Distribución de Riego Tecnificado	15
2.2.2.	Ecuaciones	20
2.2.3.	Sistema de Riego	30
2.2.4.	Información Previa para el Diseño del Sistema de Riego.....	33
2.2.5.	Parámetros Necesarios para el Diseño de la Red de Distribución.....	34
2.2.6.	Dimensionamiento de la Red de distribución	39
2.2.7.	Simulación en estado estático	48
2.2.8.	Algoritmos Genéticos (AG).....	50
2.2.9.	WaterGEMS 2022	59
2.2.10.	Redes 2019	62
2.2.11.	Epanet Brasil 2.0.....	63
2.2.12.	Análisis de riesgos en la fase de diseño utilizando la guía PMBOK	64
2.2.13.	Calibración de modelos hidráulicos.....	68
2.3.	Bases Conceptuales o Definición de Términos Básicos.....	71
III. METODOLOGÍA.....		73
3.1.	Ámbito.....	73
3.1.1.	Caracterización del Sub Proyecto Villa Sol-Chinchao-Huánuco	73
3.2.	Población y Selección de la Muestra.....	75
3.2.1.	Población	75
3.2.2.	Muestra	75
3.3.	Nivel, Tipo y Diseño de Estudio	75
3.3.1.	Nivel de Investigación	75
3.3.2.	Tipo de Investigación	75
3.3.3.	Diseño de la Investigación.....	78

3.4.	Métodos, Técnicas e Instrumentos	79
3.4.1.	Métodos	79
3.4.2.	Técnicas	79
3.4.3.	Instrumentos	79
3.5.	Procedimiento.....	80
3.6.	Plan de Tabulación y Análisis de Datos Estadísticos.....	82
3.6.1.	Prueba Estadística.....	82
3.6.2.	Eficiencia de diseño de la red de distribución	87
3.7.	Consideraciones Éticas.....	88
IV.	RESULTADO	89
4.1.	Ámbito del área de investigación	89
4.2.	Cálculo de la oferta del recurso hídrico en la quebrada Sogobamba.....	91
4.3.	Cálculo de la demanda del recurso hídrico en el sub proyecto Villasol.....	91
4.3.1.	Cédula de cultivo sin proyecto y con proyecto bajo riego.....	91
4.3.2.	Evapotranspiración potencial de cultivo (Eto).....	92
4.3.3.	Factores de coeficiente de cultivo (Kc)	92
4.3.4.	Áreas parciales de cultivo (A) mejoradas + incorporadas	93
4.3.5.	Factor ponderado (Kc) de las áreas mejoradas + incorporadas	94
4.3.6.	Evapotranspiración real del cultivo o uso consuntivo (UC)	94
4.3.7.	Precipitación efectiva (P.Efec) con un 75% de persistencia.....	95
4.3.8.	Requerimiento de agua (Req)	95
4.3.9.	Requerimiento volumétrico neto de agua (Req.Vol.Net)	96
4.3.10.	Eficiencia de riego del proyecto (Ef.Riego)	96
4.3.11.	Requerimiento volumétrico bruto del agua (Req.Vol.Bruto)	97
4.3.12.	Número de horas de riego x hectárea (N° horas de riego).....	97
4.3.13.	Módulo de riego (MR).....	97
4.3.14.	Caudal disponible a la demanda (Qdem).....	98

4.3.15.	Análisis de la demanda de agua para riego (l/s)	99
4.3.16.	Demanda insatisfecha actual de agua (l/s).....	99
4.3.17.	Levantamiento topográfico.....	101
4.3.18.	Características topológicas	102
4.3.19.	Caudal unitario continuo en los hidrantes.....	103
4.4.	Parámetros y restricciones en los algoritmos genéticos	105
4.4.1.	Restricciones hidráulicas	105
4.4.2.	Restricciones comerciales.....	107
4.4.3.	Telescopicidad	111
4.5.	Cálculo hidráulico no optimizado método clásico o tradicional	112
4.6.	Los algoritmos genéticos mediante el software WaterGEMS (2022)	115
4.6.1.	Datos topográficos y topológicos	115
4.6.2.	Pre dimensionamiento de la red de distribución de riego tecnificado	116
4.6.3.	Procedimiento de dimensionado óptimo mediante los algoritmos genéticos en WaterGEMS (2022).....	121
4.6.4.	Resultado de presiones - Algoritmos Genéticos (AG) en WaterGEMS (2022)	134
4.6.5.	Resultado de velocidades - Algoritmos Genéticos (AG) en WaterGEMS (2022)	137
4.6.6.	Resultado de costos - Algoritmos Genéticos (AG) en WaterGEMS (2022).....	140
4.7.	Los algoritmos genéticos mediante el software REDES (2019)	144
4.7.1.	Resultado de presiones - Algoritmos Genéticos (AG) en Redes 2019	153
4.7.2.	Resultado de velocidades - Algoritmos Genéticos (AG) en Redes 2019	156
4.7.3.	Resultado de costos - Algoritmos Genéticos (AG) en Redes 2019	160
4.8.	Los algoritmos genéticos mediante el software Epanet Brasil (2020)	165
4.8.1.	Resultado de presiones - Algoritmos Genéticos (AG) en EPANET 2.0 Brasil	170
4.8.2.	Resultado de velocidades - Algoritmos Genéticos (AG) en EPANET 2.0 Brasil	173
4.8.3.	Resultado de costos - Algoritmos Genéticos (AG) en EPANET 2.0 Brasil	177

4.9.	Resultados finales.....	182
4.9.1.	Algoritmos genéticos – presión	182
4.9.2.	Algoritmos genéticos – velocidad.....	185
4.9.3.	Algoritmos genéticos – costos	187
4.10.	Análisis y cálculo de riesgos en el diseño hidráulico de la red de distribución....	190
4.10.1.	Análisis cualitativo de riesgos	190
4.11.	Calibración de la red de distribución de riego tecnificado – Subproyecto Villa Sol 201	
4.11.1.	Red de distribución de riego tecnificado – Cariyacu.....	201
4.11.2.	Incidencia de factores condicionantes de calibración.....	210
4.12.	Prueba estadística	214
4.12.1.	Prueba de homogeneidad para datos de presión, velocidad y costos.....	214
4.12.2.	Prueba de normalidad para datos de presión	214
4.12.3.	Prueba de normalidad para datos de velocidad.....	216
4.12.4.	Prueba de normalidad para datos de costos de infraestructura	218
4.12.5.	Muestras de comparación	219
4.12.6.	Ensayo de hipótesis - Presión	219
4.12.7.	Ensayo de hipótesis - Velocidad.....	233
4.12.8.	Ensayo de hipótesis - Costos	244
V.	DISCUSIÓN	248
	CONCLUSIONES.....	252
	RECOMENDACIONES O SUGERENCIAS	255
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	258
	ANEXOS	262

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Ventajas y desventajas de las redes ramificadas y malladas	17
Tabla 2 <i>Los valores orientativos de E'a</i>	36
Tabla 3 <i>Función Estándar Normal de Distribución Acumulativa</i>	45
Tabla 4 <i>Valores referenciales del tamaño del efecto y varianza explicada</i>	86
Tabla 5 <i>Fuentes de error en pruebas de significación estadística</i>	87
Tabla 6 <i>Áreas de cultivos mejoradas e incorporadas</i>	91
Tabla 7 <i>Caudal de demanda en los hidrantes de la red de distribución</i>	100
Tabla 8 <i>Caudal de demanda en los hidrantes</i>	104
Tabla 9 <i>Detalle de las características técnicas de las tuberías HDPE</i>	110
Tabla 10 <i>Costos de la tubería HDPE por metro lineal</i>	113
Tabla 11 <i>Diámetros discretos pre dimensionados en todos los ramales de la red</i>	118
Tabla 12 <i>Diámetro mínimo y máximo acorde a la velocidad mínima y máxima para caudal 0.60l/s</i>	123
Tabla 13 <i>Resultado de presiones Método Clásico, algoritmos genéticos y algoritmos genéticos ajustado</i>	134
Tabla 14 <i>Resultado de velocidades, algoritmos genéticos y algoritmos genéticos ajustado</i> .	137
Tabla 15 <i>Resultado de diámetros, algoritmos genéticos y algoritmos genéticos ajustado</i>	140
Tabla 16 <i>Costos de infraestructura</i>	142
Tabla 17 <i>Variación de costos de infraestructura aplicando AG respecto al método clásico o tradicional</i>	142
Tabla 18 <i>Diámetros discretos comerciales</i>	146
Tabla 19 <i>Resultado de las presiones método tradicional y algoritmos genéticos en Redes 2019</i>	153
Tabla 20 <i>Confiabilidad de los algoritmos genéticos en diseño de la red de distribución de riego tecnificado</i>	155
Tabla 21 <i>Resultado de velocidades método clásico, algoritmos genéticos y algoritmos genéticos telescópicos</i>	157
Tabla 22 <i>Confiabilidad del método de los algoritmos genéticos en velocidades</i>	159
Tabla 23 <i>Resultado de diámetros método clásico, algoritmos genéticos y algoritmos genéticos telescópico</i>	161

Tabla 24 <i>Costos de infraestructura método tradicional, AG y AG telescópico</i>	163
Tabla 25 <i>Variación de costos de infraestructura</i>	163
Tabla 26 <i>Resultado de presiones método tradicional, algoritmos genéticos y algoritmos genéticos telescópico</i>	170
Tabla 27 <i>Confiabilidad de AG en presiones de los hidrantes de la red</i>	172
Tabla 28 <i>Resultado de velocidades método clásico, AG y AG telescópico</i>	174
Tabla 29 <i>Confiabilidad de los algoritmos genéticos en las velocidades de las tuberías de la red</i>	176
Tabla 30 <i>Resultado de diámetros método clásico, AG y AG telescópico</i>	178
Tabla 31 <i>Costos de infraestructura</i>	180
Tabla 32 <i>Variación de costos de infraestructura respecto al método clásico</i>	180
Tabla 33 <i>Resultados telescópicos de presiones aplicando algoritmos genéticos</i>	183
Tabla 34 <i>Resultados telescópicos de velocidades aplicando algoritmos genéticos</i>	185
Tabla 35 <i>Resultados telescópicos de diámetros aplicando algoritmos genéticos</i>	187
Tabla 36 <i>Variación respecto al diseño tradicional de los costos de infraestructura</i>	189
Tabla 37 <i>Análisis cualitativo de riesgos en la etapa de diseño del subproyecto Villa Sol ...</i>	191
Tabla 38 <i>Planes de Respuesta de Riesgos</i>	195
Tabla 39 <i>Presiones, cotas y caudal de la red Cariyacu - Ecuador</i>	203
Tabla 40 <i>Nodos, Elevaciones y gradientes hidráulicos subproyecto Villa Sol</i>	203
Tabla 41 <i>Factores condicionantes de calibración en una red de distribución de riego tecnificado</i>	210
Tabla 42 <i>Porcentaje de incidencia en la calibración del subproyecto Villa Sol</i>	212
Tabla 43 <i>Prueba de normalidad</i>	215
Tabla 44 <i>Prueba de normalidad de la diferencia de los datos de presiones del ETO y WaterGEMS 2022</i>	215
Tabla 45 <i>Prueba de normalidad de la diferencia de los datos de presiones del ETO y Redes 2019</i>	215
Tabla 46 <i>Prueba de normalidad de la diferencia de los datos de presiones del ETO y Epanet Brasil 2020</i>	216
Tabla 47 <i>Prueba de normalidad</i>	216

Tabla 48 <i>Prueba de normalidad de la diferencia de velocidades del ETO y WaterGEMS 2022</i>	217
Tabla 49 <i>Prueba de normalidad de la diferencia de velocidades del ETO y Redes 2019</i>	217
Tabla 50 <i>Prueba de normalidad de la diferencia de velocidades del ETO y Epanet Brasil 2020</i>	218
Tabla 51 <i>Prueba de normalidad mediante Shapiro-Wilk</i>	218
Tabla 52 <i>Comparación de presiones del diseño clásico y empleando algoritmos genéticos</i>	219
Tabla 53 <i>Prueba t para medias de dos muestras emparejadas</i>	221
Tabla 54 <i>Efecto de los algoritmos genéticos mediante WaterGEMS 2022 en las presiones</i>	224
Tabla 55 <i>Prueba t para medias de dos muestras emparejadas</i>	225
Tabla 56 <i>Efecto de los algoritmos genéticos mediante WaterGEMS 2022 en las presiones</i> .	227
Tabla 57 <i>Prueba t para medias de dos muestras emparejadas</i>	229
Tabla 58 <i>Efecto de los algoritmos genéticos mediante Epanet Brasil 2020 en las presiones</i>	231
Tabla 59 <i>Comparación de velocidades del diseño clásico y empleando algoritmos genéticos</i>	233
Tabla 60	234
Tabla 61 <i>Efecto de los algoritmos genéticos mediante Epanet Brasil 2020 en las velocidades</i>	236
Tabla 62 <i>Resumen de contrastes de hipótesis t de Wilcoxon</i>	238
Tabla 63 <i>Prueba t para medias de dos muestras emparejadas</i>	240
Tabla 64 <i>Resumen de contrastes de hipótesis t de Wilcoxon</i>	240
Tabla 65 <i>Efecto de los algoritmos genéticos mediante Epanet Brasil 2020 en las presiones</i>	242
Tabla 66 <i>Comparación de costos del diseño tradicional y empleando algoritmos genéticos</i>	244
Tabla 67 <i>Prueba t para medias de dos muestras emparejadas con una cola</i>	245
Tabla 68 <i>Efecto de los algoritmos genéticos en los costos de infraestructura</i>	246
Tabla 69 <i>Tamaños muestrales para evitar cometer un Error tipo II</i>	247

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Red de Distribución de Riego Tecnificado Presurizado del Subproyecto Villa Sol ...</i>	7
Figura 2 Fases de diseño de un sistema de riego presurizado	15
Figura 3 <i>Clasificación de redes a presión en función de la tipología</i>	17
Figura 4 <i>Alimentación desde reservorio</i>	18
Figura 5 <i>Inyección directa a la red</i>	19
Figura 6 <i>Concepción del espacio de control y volumen de control</i>	20
Figura 7 <i>Líneas de alturas total, piezométrica y geométrica</i>	23
Figura 8 <i>Valores del coeficiente K para diversos elementos</i>	26
Figura 9 <i>Efectos de la bomba y turbina en las redes de distribución</i>	27
Figura 10 <i>Representación gráfica de unión entre los nodos i y j en un sistema de tuberías.</i> ..	28
Figura 11 <i>Configuración de una red mallada</i>	29
Figura 12 <i>Red ramificada de riego tecnificado</i>	41
Figura 13 <i>Aproximación según la distribución Normal</i>	46
Figura 14 <i>Diagrama de flujo de la simulación Estado Estático</i>	48
Figura 15 <i>Historia de la modelación de redes de distribución</i>	49
Figura 16 <i>Esquema probabilístico de los operadores genéticos</i>	58
Figura 17 <i>Gráfico de calibración en Periodo de Servicio Extendido</i>	60
Figura 18 <i>Herramientas para la construcción de modelos</i>	61
Figura 19 <i>Entorno de trabajo del software Redes 2019</i>	62
Figura 20 <i>Riesgos que se identifican al elaborar el Expediente Técnico de Obra</i>	66
Figura 21 <i>Matriz de probabilidad e impacto de riesgos</i>	67
Figura 22 <i>Matriz de escalas de impacto según el objetivo del proyecto</i>	67
Figura 23 <i>Magnitud de pérdidas de carga en los registros de caudales altos</i>	70
Figura 24 <i>Ubicación del subproyecto Villa Sol</i>	74
Figura 25 <i>Tipos de investigación</i>	76
Figura 26 <i>Esquema del cuasi - experimento y variable</i>	78
Figura 27 <i>Diseño con posprueba únicamente y grupo de control</i>	78
Figura 28 <i>Herramienta Darwin Designer del software WaterGEMS 2022</i>	80
Figura 29 <i>Detalles de decisión en la distribución normal</i>	84
Figura 30 <i>Tamaño del efecto, pequeño, moderado y grande</i>	86
Figura 31 <i>Macro Localización del distrito de Chinchao</i>	89

Figura 32 <i>Micro localización del distrito de Chinchao</i>	90
Figura 33 <i>Foto satelital del Centro Poblado de Chinchao</i>	90
Figura 34 <i>Evapotranspiración del cultivo</i>	92
Figura 35 <i>Factores de coeficiente de cultivo</i>	93
Figura 36 <i>Áreas parciales de cultivo (A) mejoradas e incorporadas</i>	93
Figura 37 <i>Factor ponderado (K_c) de las áreas mejoradas e incorporadas de la quebrada Sogobamba</i>	94
Figura 38 <i>Uso consuntivo de áreas mejoradas e incorporadas en el subproyecto Villa Sol.</i>	94
Figura 39 <i>Cálculo de la precipitación efectiva para el área de la microcuenca Sogobamba</i>	95
Figura 40 <i>Datos obtenidos del cálculo de precipitaciones</i>	95
Figura 41 <i>Requerimiento de agua para áreas mejoradas e incorporadas de la captación Sogobamba</i>	96
Figura 42 <i>Requerimiento volumétrico neto de agua para áreas mejoradas e incorporadas captación Sogobamba</i>	96
Figura 43 <i>Requerimiento volumétrico bruto de agua para áreas mejoradas + incorporadas con la captación de Sogobamba</i>	97
Figura 44 <i>Horas de riego en áreas mejoradas e incorporadas captación quebrada Sogobamba</i>	97
Figura 45 <i>Módulo de riego para áreas mejoradas e incorporadas con la captación de Sogobamba</i>	98
Figura 46 <i>Caudal disponible a la demanda del área mejorada + incorporada con el agua proveniente de la quebrada de Sogobamba</i>	98
Figura 47 <i>Cálculo de la demanda de agua para riego en el subproyecto Villa Sol</i>	99
Figura 48 <i>Curva de demanda de agua en el subproyecto Villa Sol</i>	99
Figura 49 <i>Demanda insatisfecha de agua en el subproyecto Villa Sol</i>	99
Figura 50 <i>Curva de oferta, demanda y déficit de agua en el subproyecto Villa Sol</i>	100
Figura 51 <i>Plano topográfico del centro poblado de Villa Sol</i>	101
Figura 52 <i>Red de distribución de riego tecnificado presurizado subproyecto Villa Sol</i>	102
Figura 53 <i>Total de la red de distribución del sector 1-turno2 – Villa Sol</i>	103
Figura 54 <i>Características de las tuberías HDPE para riego tecnificad</i>	109
Figura 55 <i>Detalle de los diámetros de las tuberías HDPE</i>	109
Figura 56 <i>Telescopicidad en la red de distribución de riego tecnificado del subproyecto Villa Sol</i>	111

Figura 57 Esquema de la red de distribución de riego tecnificado presurizado subproyecto Villa Sol	112
Figura 58 Tuberías HDPE consideradas en el diseño tradicional o clásico	114
Figura 59 Topografía y topología de la red de distribución del subproyecto Villa Sol	115
Figura 60 Configuración del espacio de trabajo e introducción de parámetros iniciales....	116
Figura 61 Caudales en la red de 2"	117
Figura 62 Red de distribución del subproyecto Villa Sol con diámetros pre dimensionados	119
Figura 63 Agrupación de las tuberías	120
Figura 64 Algoritmos genéticos con la herramienta Darwin Designer	121
Figura 65 Creación del evento de diseño y selección del escenario representativo	122
Figura 66 Introducción de presión mínima dinámica y máxima estática.....	124
Figura 67 Introducción de velocidad mínima y máxima	125
Figura 68 Creación de los grupos de diseño	126
Figura 69 Determinación de opciones de grupos de diseño.....	127
Figura 70 Selección del tipo de objetivo.....	127
Figura 71 Creación del nuevo diseño optimizado y designación de los grupos de diseño ...	128
Figura 72 Parámetros de los algoritmos genéticos	128
Figura 73 Las 3 primeras soluciones de la red de distribución de mínimo costo	129
Figura 74.....	129
Figura 75 Presiones y velocidades dentro los límites mínimos y máximos	130
Figura 76 Exportación de los diámetros óptimos al escenario base	130
Figura 77 Eficacia y eficiencia en la simulación de la red de distribución de riego tecnificado	131
Figura 78 Comparación del diseño de la red de distribución tradicional y optimizado.....	132
Figura 79 Superficie de presiones de la red óptima de distribución de tecnificado	133
Figura 80 Superficie optima de gradiente hidráulico.....	133
Figura 81 Variación de las presiones entre algoritmos genéticos y algoritmos genéticos ajustado	135
Figura 82 Confiabilidad de presiones mediante WaterGEMS 2022	136
Figura 83 Variación de velocidades entre, algoritmos genéticos y algoritmos genéticos ajustado	138
Figura 84 Confiabilidad de velocidades mediante el software WaterGEMS 2022	139

Figura 85 <i>Variación de las velocidades, algoritmos genéticos y algoritmos genéticos ajustado</i>	141
Figura 86 <i>Porcentaje de variación de costos de infraestructura</i>	143
Figura 87 <i>Introducción de datos topográficos y topológicos del subproyecto Villa Sol</i>	144
Figura 88 <i>Introducción de opciones de diseño</i>	145
Figura 89 <i>Variación potencial con los diámetros de los costos de las tuberías comerciales</i>	147
Figura 90 <i>Establecimiento de los diámetros de las tuberías e introducción de la función costos</i>	148
Figura 91 <i>Introducción de los parámetros de los algoritmos genéticos</i>	149
Figura 92 <i>Simulación N°1 de la red de distribución de riego tecnificado del subproyecto Villa Sol</i>	150
Figura 93 <i>Simulación N°2 de la red de distribución de riego tecnificado del subproyecto Villa Sol</i>	150
Figura 94 <i>Simulación N°3 de la red de distribución de riego tecnificado del subproyecto Villa Sol</i>	151
Figura 95 <i>Superficie óptima de gradiente hidráulico considerar telescopicidad</i>	152
Figura 96 <i>Superficie óptima de gradiente hidráulico considerando el criterio telescopicidad</i>	152
Figura 97 <i>Variación de las presiones método clásico, algoritmos genéticos y algoritmos genéticos telescópico</i>	154
Figura 98 <i>Influencia de los algoritmos genéticos en la presión de servicio</i>	155
Figura 99 <i>Confiabilidad de presiones mediante el software Redes 2019</i>	156
Figura 100 <i>Variación de las presiones método clásico, algoritmos genéticos y algoritmos genéticos telescópico</i>	158
Figura 101 <i>Influencia de los algoritmos genéticos en la velocidad</i>	159
Figura 102 <i>Confiabilidad de velocidades, mediante el software Redes 2019</i>	160
Figura 103 <i>Variación de los diámetros método clásico, algoritmos genéticos y algoritmos genéticos telescópico</i>	162
Figura 104 <i>Influencia de los algoritmos genéticos en costos de infraestructura</i>	163
Figura 105 <i>Red óptima de distribución de riego tecnificado presurizado sub proyecto Villa Sol</i>	164
Figura 106 <i>Topografía y topología de la red de distribución de riego tecnificado subproyecto Villa Sol</i>	165

Figura 107	<i>Detalle de tuberías comerciales discretos utilizadas por el software</i>	166
Figura 108	<i>Establecimiento de restricciones hidráulicas de velocidad y presión</i>	167
Figura 109	<i>Cálculo hidráulico de la red de distribución de riego tecnificado subproyecto Villa Sol</i>	168
Figura 110	<i>Superficie óptima de gradiente hidráulico</i>	169
Figura 111	<i>Variación de presiones en los hidrantes método tradicional, AG y AG telescópico</i>	171
Figura 112	<i>Influencia de los algoritmos genéticos en la presión de los hidrantes de la red</i>	172
Figura 113	<i>Confiabilidad de presiones, mediante el software Epanet Brasil 2020</i>	173
Figura 114	<i>Variación de velocidades en las tuberías método clásico, AG y AG telescópico</i>	175
Figura 115	<i>Influencia de los algoritmos genéticos en la velocidad</i>	176
Figura 116	<i>Confiabilidad de presiones, mediante el software Epanet Brasil 2020</i>	177
Figura 117	<i>Variación de diámetros método tradicional, AG y AG telescópico</i>	179
Figura 118	<i>Impacto de los algoritmos genéticos en costos de infraestructura</i>	180
Figura 119	<i>Óptimo diseño de la red de distribución tecnificado del subproyecto Villa Sol</i>	181
Figura 120	<i>Influencia de los AG y AG telescópico en costos de infraestructura</i>	182
Figura 121	<i>Variación respecto al método tradicional de las presiones aplicando algoritmos genéticos</i>	184
Figura 122	<i>Variación respecto al método tradicional de las velocidades aplicando algoritmos genéticos</i>	186
Figura 123	<i>Variación respecto al método tradicional de las velocidades aplicando algoritmos genéticos</i>	188
Figura 124	<i>Impacto de los algoritmos genéticos en los costos de infraestructura del proyecto</i>	189
Figura 125	<i>Matriz de probabilidad e impacto según la guía PMBOK</i>	190
Figura 126	<i>Matriz de niveles de riesgo - Análisis cualitativo de riesgos</i>	194
Figura 127	<i>Nudos y elevaciones de la red de distribución Cariyacu - Ecuador</i>	201
Figura 128	<i>Topología y topografía de la red de distribución Cariyacu - Ecuador</i>	202
Figura 129	<i>Cotas de terreno de la Red Cariyacu y suproyecto Villa Sol</i>	204
Figura 130	<i>Escenario de Darwin Calibrator</i>	204
Figura 131	<i>Introducción de los datos del gradiente hidráulico y grupo de rugosidad de las tuberías</i>	205
Figura 132	<i>Grupos de demanda y criterios de calibración</i>	206

Figura 133 <i>Calibración manual de la red del subproyecto Villa Sol</i>	207
Figura 134 <i>Calibración automática mediante algoritmos genéticos del subproyecto Villa Sol</i>	208
Figura 135 <i>Correlación del gradiente hidráulico de la red Cariyacu - Ecuador</i>	209
Figura 136 <i>Porcentajes de incidencia de los factores condicionantes</i>	211
Figura 137 <i>Curva de la distribución normal</i>	221
Figura 138 <i>Prueba de rangos con signo para muestras relacionadas de presiones</i>	222
Figura 139 <i>Tamaño del Efecto y Potencia estadística de método clásico y AG waterGEMS</i> <i>2022</i>	223
Figura 140 <i>Curva de la distribución normal</i>	225
Figura 141 <i>Rangos con signo para muestras relacionadas de presiones</i>	226
Figura 142 <i>Tamaño del Efecto y Potencia estadística de método clásico y AG Redes 2019</i>	227
Figura 143 <i>Tamaño muestrales para evitar cometer Error tipo II</i>	228
Figura 144 <i>Curva de la distribución normal</i>	229
Figura 145 <i>Rangos con signo para muestras relacionadas de presiones</i>	230
Figura 146 <i>Tamaño del Efecto y Potencia estadística de método clásico y AG Epanet Brasil</i> <i>2020</i>	231
Figura 147 <i>Tamaño de las muestras para evitar cometer Error tipo II</i>	232
Figura 148 <i>Rangos con signo para muestras relacionadas de velocidades</i>	235
Figura 149 <i>Tamaño del Efecto y Potencia estadística de método clásico y AG WaterGEMS</i> <i>2022</i>	236
Figura 150 <i>Tamaño de las muestras para evitar cometer Error tipo II</i>	237
Figura 151 <i>Rangos con signo para muestras relacionadas de velocidades</i>	239
Figura 152 <i>Prueba de rangos con signo para muestras relacionadas de velocidades</i>	241
Figura 153 <i>Tamaño del Efecto y Potencia estadística de método clásico y AG Epanet Brasil</i> <i>2020</i>	242
Figura 154 <i>Tamaño de las muestras para evitar cometer Error tipo II</i>	243
Figura 155 <i>Tamaño del Efecto y Potencia estadística de método clásico y algoritmos genéticos</i>	246

RESUMEN

En el presente estudio se formuló el siguiente problema general ¿la aplicación de los algoritmos genéticos mediante los softwares de hidráulica de tuberías optimizará el diseño hidráulico de la red de distribución de riego tecnificado presurizado en el subproyecto Villa sol, Chinchao, Huánuco?; el objetivo general de dicho estudio fue aplicar los algoritmos genéticos mediante los softwares de hidráulica de tuberías para optimizar el diseño hidráulico de la red de distribución de riego tecnificado presurizado a turnos en el subproyecto de Villa Sol, Chinchao, Huánuco, cuyo hipótesis general fue: La aplicación de los algoritmos genéticos mediante los softwares de hidráulica de tuberías optimiza el diseño hidráulico de la red de distribución de riego tecnificado presurizado a turnos en el subproyecto Villa Sol, Chinchao, Huánuco. El enfoque que se utilizó fue cuantitativo, el método deductivo, de nivel explicativo – descriptivo, el tipo de investigación aplicada y sincrónico, el diseño fue experimental de nivel “presencia y ausencia”. La población y muestra estuvo constituida por las redes de distribución de riego tecnificado del sub proyecto Villa Sol, Chinchao, Huánuco. Los principales resultados obtenidos fueron, el método de los algoritmos genéticos optimiza el costo del diseño hidráulico de la red de distribución de riego presurizado operando a turnos respecto al método clásico de prueba y error, considerando las restricciones hidráulicas de presión, velocidad y telescopicidad establecidos en la normativa vigente en Perú, con ello se demostró la hipótesis general formulada, así como también se demostró la hipótesis específica 1 y 2, mientras que la hipótesis específica 3 se logró demostrar mediante el criterio ingenieril del diseñador o tesista.

Palabras clave: Red de distribución, Algoritmos Genéticos, optimización, costos, confiabilidad.

ABSTRACT

In the present study, the following general problem was formulated: Will the application of genetic algorithms through pipe hydraulic software optimize the hydraulic design of the pressurized automated irrigation distribution network in the Villa Sol, Chinchao, Huánuco subproject? The general objective of this study was to apply genetic algorithms using pipe hydraulic software to optimize the hydraulic design of the pressurized automated irrigation distribution network on a rotational basis in the Villa Sol, Chinchao, Huánuco subproject. The general hypothesis was: The application of genetic algorithms through pipe hydraulic software optimizes the hydraulic design of the pressurized automated irrigation distribution network on a rotational basis in the Villa Sol, Chinchao, Huánuco subproject. The approach used was quantitative, deductive method, explanatory-descriptive level, applied and synchronous research type, and the design was experimental with a "presence and absence" level. The population and sample consisted of the pressurized automated irrigation distribution networks in the Villa Sol, Chinchao, Huánuco subproject. The main results obtained were that the genetic algorithms method optimizes the cost of the hydraulic design of the pressurized irrigation distribution network operating on a rotational basis compared to the classical trial-and-error method, considering the hydraulic restrictions of pressure, velocity, and telescopicity established in the current regulations in Peru. This demonstrated the formulated general hypothesis, as well as specific hypothesis 1 and 2, while specific hypothesis 3 could not be demonstrated.

Keywords: Distribution network, Genetic algorithms, optimization, costs, reliability.

INTRODUCCIÓN

El presente estudio persiguió el objetivo de encontrar el diseño óptimo de la red de distribución de riego tecnificado presurizado operando a turnos empleando el método heurístico de la inteligencia artificial denominado método de los algoritmos genéticos, dicho diseño consistió en encontrar los diámetros discreto o comerciales en cada tramo de los ramales de la red de riego tecnificado en el centro poblado Villa Sol, que estuvo estructurado con hidrantes en los nudos de la red y fijado por la demanda de los usuarios de riego del área de influencia.

Hubo normativas del Ministerio de Agricultura desde 2000, tal es caso de “*Diseño de pequeños sistemas de riego por aspersión en ladera*” del Proyecto Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas y conservación de Suelos (PRONAMACH) con el objetivo de dinamizar las inversiones en infraestructura de riego. Posteriormente, en el año 2006 dicho ministerio a través del Programa Subsectorial de Irrigaciones (PSI) aprueba la *Guía para la Elaboración de Expedientes Técnicos de Riego Presurizado* donde nos dan los lineamientos para el diseño de la red de distribución de riego tecnificado presurizado, tales como la telescopicidad de los ramales de la red, las presiones mínimas y máximas en los hidrantes y laterales de riego, velocidades máximas y mínimas en los tramos de las tuberías y laterales de riego, criterios para seleccionar los aspersores por tanto los caudales de demanda, entre otros.

La red del subproyecto tiene un total de 31 tuberías con 9 diámetros discretos diferentes. Por tanto, existen $NR = (9)^{31} = 3.82 \times 10^{29}$ número de redes, lo cual es extremadamente grande; Sin embargo, mediante las restricciones económicas, hidráulicas y telescopicidad la cantidad disminuyen, aun así, existe múltiples soluciones, entonces es preciso emplear una metodología de búsqueda heurística como los algoritmos genéticos para acercarnos lo más cerca posible al diseño óptimo global de la red distribución.

Para el desarrollo de la tesis se organizó su contenido en 5 capítulos que se detallan.

Capítulo I: Se presentan las ideas que sustentan el interés de la investigación mediante la fundamentación del problema, formulación del problema, objetivos e hipótesis; así mismo la justificación investigativa, teórica, práctica, económica, social y legal; las limitaciones, las variables dependiente e independiente y las definiciones teóricas y operacionales de las mismas.

Capítulo II: En este apartado se realiza una revisión de los estudios previos o antecedentes, bases teóricas, conceptuales y epistemológicas.

Capítulo III: En esta sección se describe el ámbito, la población, la muestra, el enfoque, nivel, tipo y diseño de la investigación, métodos, técnicas e instrumentos con su correspondiente validación y confiabilidad, procedimiento, tabulación y análisis de datos y las consideraciones éticas.

Capítulo IV: En este capítulo como una parte fundamental se presentan los resultados y su análisis estadístico de la optimización de diseño de la red de distribución de riego tecnificado presurizado empleando los algoritmos genéticos en el subproyecto Villa Sol, distrito de Chinchao, provincia y departamento de Huánuco.

Capítulo V: En esta sección se evidencian las discusiones con los antecedentes de los resultados encontrados en el presente estudio.

Como secciones independientes se presentan las conclusiones y recomendaciones, así como los documentos que acreditan las autorizaciones de los softwares de hidráulica de tuberías.

I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Fundamentación del Problema de Investigación

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP) en un reporte del año 2018 afirma que el 70% del agua disponible en el mundo es usada para riego, esto a consecuencia de que en el sector agrario se produce diversos productos de primera necesidad; los cuales son la solvencia de la canasta familiar. Por tanto, la humanidad buscó la manera de aprovechar al máximo el recurso hídrico desde la fuente de captación, para ello procuró implementar redes de distribución de riego tecnificado sostenibles y rentables.

En América latina las redes de distribución de riego tecnificado presurizado han sido los componentes más importantes para el aprovechamiento del agua de cara a los usuarios de riego, para generar un dimensionamiento óptimo y perdurable en el tiempo se implementa diversas metodologías de diseño, tales como el método de la teoría lineal, Newton-Raphson, del gradiente, Inteligencia Artificial, etc.

En Perú y específicamente en Huánuco la situación no es diferente, es sabido que existe una brecha muy amplia de infraestructuras de riego, por otro lado, las redes de distribución de riego tecnificado a presión son comunes y su demanda tiene una tendencia ascendente, además, el cambio climático está trayendo como consecuencia la disminución del agua en las cuencas altoandinas. Con la finalidad de hacer uso racional y eficiente del recurso hídrico se está incidiendo en propuestas hidráulicas que se circunscriben en proyectos de riego tecnificado, donde las redes de distribución presurizados son las más aptas para dotar de dicho recurso hídrico elemental a las parcelas de cultivo. Por tanto, se debe contar con diseños de redes de distribución optimizados, es decir, con velocidades y presiones técnicamente permisibles, eficientes, confiables y lo más importante a bajo costo.

El diseño hidráulico no optimizado de las redes de distribución de riego tecnificado a presión es un problema latente y recurrente que aún no se ha resuelto de manera eficiente producto de su complejidad, importancia y beneficios.

Este evento problemático que se ha puesto en evidencia en el presente estudio tiene muchas causas, tales como la falta de normativa técnica específica para proyectos de riego, falta de procedimiento metodológico para el diseño óptimo, los parámetros de diseño hidráulico varían de acuerdo a las características geomorfológicas, clima y topografía; sin embargo, para el presente estudio se ha elegido; el problema, diseño hidráulico no optimizado de redes de distribución de riego tecnificado presurizado.

Si se continúa diseñando redes de distribución deficientes e ineficientes, en el futuro podría presentarse fallas de tuberías y accesorios, posible sobre costo, a nivel de ejecución de obra se podría presentar prestaciones adicionales producto de la deficiencia del expediente técnico de obra en cuanto a diseño hidráulico, con esto, la sociedad perderá confianza en sistemas de riego tecnificado presurizado operando a turnos, debido a la deficiente propuesta hidráulica.

Ante este evento, se propone optimizar el diseño hidráulico de la red de distribución de riego tecnificado presurizado a turnos mediante la metodología de algoritmos genéticos (AG) utilizando la herramienta *Darwin designer* del software WaterGEMS, lo cual se aplicará mediante el análisis y evaluación de datos contemplados en el expediente técnico “Mejoramiento y ampliación del servicio de agua del sistema de riego tecnificado en las localidades de Quinta Praga, Cochabamba, Villa Sol, distrito de Chinchao, provincia de Huánuco – región Huánuco”, validados con los diseños de proyectos, cuyo diseños de la red de distribución de riego se haya realizado empleando las metodologías tradicionales, es decir, en los softwares Watercad o Epanet.

1.2. Formulación del Problema de Investigación General y Específicos

1.2.1. Problema General

¿La aplicación de los algoritmos genéticos mediante los softwares de hidráulica de tuberías optimizará el diseño hidráulico de la red de distribución de riego tecnificado presurizado operando a turnos?

1.2.2. Problemas Específicos

¿Existen diferencias significativas con d de Cohen superiores a 0.20 en la comparación de los resultados a nivel de características hidráulicas de una red de distribución de riego tecnificado presurizado sin optimización y optimizada?

¿Existe diferencia significativa fuerte e importante con d de Cohen superior a 0.50 en la comparación de los resultados a nivel de costos de una red de distribución de riego tecnificado presurizado sin optimización y optimizada?

¿Qué tan confiable, cumpliendo las restricciones técnicas y normativas vigentes en Perú, es la aplicación de los algoritmos genéticos mediante los softwares WaterGEMS 2022, Redes 2019 y Epanet Brasil 2020 en la solución del problema planteado?

1.3. Formulación del Objetivo General y Específicos

1.3.1. Objetivo General

Aplicar los algoritmos genéticos mediante los softwares de hidráulica de tuberías para optimizar el diseño hidráulico de la red de distribución de riego tecnificado presurizado operando a turnos.

1.3.2. Objetivos Específicos

Determinar las diferencias significativas con d de Cohen superiores a 0.20 en la comparación de los resultados a nivel de características hidráulicas de una red de distribución de riego tecnificado presurizado sin optimización y optimizada.

Determinar la diferencia significativa fuerte e importante con d de Cohen superior a 0.50 en la comparación de los resultados a nivel de costos de una red de distribución de riego tecnificado presurizado sin optimización y optimizada.

Evaluar la confiabilidad, cumpliendo las restricciones técnicas y normativas vigentes en Perú, de la aplicación de los algoritmos genéticos mediante los softwares WaterGEMS 2022, Redes 2019 y Epanet Brasil 2020 en la solución del problema planteado.

1.4. Justificación

Este estudio cuenta con una justificación investigativa pues las conclusiones y los resultados permitirán que se continúen los estudios en este campo, debido a que el presente trabajo de investigación es un sistema mejorado de aplicación específica para redes ramificadas en proyectos de irrigación, y quizá se puedan estudiar otras variables que aquí no se han contemplado; por ejemplo, la relación de distribución de los caudales en los ramales, cotas de terreno necesario y el costo, producto de la aplicación de la metodología de algoritmos genéticos.

Además de una justificación teórica, porque recauda los estudios realizados de los autores más importantes en el rubro de irrigación y diseño hidráulico de redes de distribución que hacen referencia a las variables que es materia de estudio.

Asimismo, tiene justificación práctica debido a que generará alerta a los futuros proyectos de irrigación, cuyos diseños de la red de distribución de agua para riego tecnificado de tipo presurizado, es decir, aspersión, goteo y micro aspersión se realice siguiendo los lineamientos de esta investigación, debido a que el alcance hidro-geomorfológico de dicha investigación será a nivel de parcelas que compone el área de la red de distribución, tal es el caso del centro poblado Villa Sol, cuya topografía de ladera permita pendientes favorables para garantizar la demanda de presiones en los hidrantes localizados en las cabeceras de las parcelas de cultivo.

De igual manera, presenta una justificación económica a causa de que permitirá proyectar redes de distribución para riego tecnificado presurizado a turnos de manera que sean rentables y sostenibles, porque la evaluación permitirá comparar resultados del expediente técnico a partir de datos extraídos de campo y resultados de diseño optimizado aplicando la metodología de algoritmos genéticos, mediante la recopilación y análisis de datos secundarios, cuyo fuente principal será el expediente técnico de obra materia de aplicación.

También, tiene justificación social debido a que los beneficiarios de la operación de las redes de distribución presurizada a turnos en última instancia son los usuarios de riego.

También, cuenta con justificación metodológica dado que se está aportando un método de diseño para las redes de distribución de riego tecnificado presurizado, como es el caso de la aplicación de la metodología de optimización de algoritmos genéticos y su correspondiente validación, con parámetros de velocidades y presiones dentro de las restricciones técnicas, leyes físicas y normativas vigentes.

Además, con justificación legal, esto debido a que los resultados serán contrastados con los reglamentos vigentes, libros y/o manuales de diseño.

1.5. Limitaciones

Se deja en conocimiento las siguientes limitaciones: La veracidad de los datos obtenidos del expediente técnico del proyecto materia de evaluación a partir de los ensayos realizados en campo, así como, el tamaño de la muestra seleccionada de los cuales dependen la confiabilidad de los resultados. También, hubo limitaciones referente a las variables, debido a que existieron muchas variables interesantes que se puede investigar; por ejemplo, la relación de distribución de los caudales en los ramales, cotas de terreno necesario y el costo de la red, producto de la aplicación de la metodología de algoritmos genéticos. También, hubo limitaciones en cuanto al acceso de los softwares que contienen en su configuración el método de los algoritmos genéticos, por cuestiones de costos de licencias. Así mismo, es difícil encontrar fuentes de información sobre el uso de algoritmos genéticos diseño de sistema de riego tecnificado en el ámbito local y nacional.

1.6. Alcances

Esta investigación tiene un alcance social, debido a que para lograr los objetivos y verificar las hipótesis se obtendrán datos del área que involucra a los usuarios de riego; por tanto, la red de distribución de riego tecnificado del proyecto en ejecución en el centro poblado de Villa Sol.

Así mismo, tiene un alcance geográfico o espacial que contempla la red de distribución de riego tecnificado presurizado a turnos del subproyecto Villa Sol – Chinchao – Huánuco.

Figura 1

Red de Distribución de Riego Tecnificado Presurizado del Subproyecto Villa Sol



Fuente: Elaboración propia

En cuanto al alcance temporal, la presente investigación se realizará a finales del año 2022 e inicios del 2023, los meses de octubre, noviembre, diciembre y enero, los cuales están sujetos a la fecha de inicio del desarrollo del Proyecto de Tesis.

1.7. Formulación de Hipótesis General y Específica

1.7.1. Hipótesis General

La aplicación de los algoritmos genéticos mediante los softwares de hidráulica de tuberías optimiza el diseño hidráulico de la red de distribución de riego tecnificado presurizado operando a turnos.

1.7.2. Hipótesis Específicas

Existen diferencias significativas con d de Cohen superiores a 0.20 en la comparación de los resultados a nivel de características hidráulicas de una red de distribución de riego tecnificado presurizado sin optimización y optimizada.

Existe diferencia significativa fuerte e importante con d de Cohen superior a 0.50 en la comparación de resultados a nivel de costos de una red de distribución de riego tecnificado presurizado sin optimización y optimizada.

La aplicación de los algoritmos genéticos mediante los softwares WaterGEMS 2022, Redes 2019 y Epanet Brasil 2020 es confiable al 100%, cumpliendo las restricciones técnicas y normativas vigentes en Perú, en la solución del problema planteado.

1.8. Variables

La variable del presente estudio es el siguiente:

Diseño hidráulico de la red de distribución de riego tecnificado.

1.9. Definición Teórica y Operacionalización de Variables

1.9.1. Definición Teórica de Variables

Variable: Diseño hidráulico de la red de distribución de riego tecnificado.

Según Quevedo (2017) menciona:

Diseño que cumple con los requerimientos de desempeño en la red como conservación de masa en los nudos, conservación de la energía en los circuitos, presión mínima en los nudos de consumo, diámetros comerciales adecuados en las tuberías y cumple con los requerimientos económicos (pág. 83).

1.9.2. Definición Operacional de Variables

Variable: Diseño hidráulico de la red de distribución de riego tecnificado.

Diseño de redes de distribución para los cuales se tiene presiones dentro de lo permisible en las normativas vigentes, diámetros comerciales, velocidades dentro del rango permisible en las normas técnicas, confiable y mínimo costo.

- ✓ Características hidráulicas: Corresponde a las velocidades en las tuberías y presiones en los nodos de la red de distribución de riego tecnificado.
- ✓ Confiabilidad cinemática de la red de distribución: Las velocidades se consideran de acuerdo al rango de valores de 0.5 - 2.0 m/s a 2.5m/s; por otro lado, las presiones deberán ser de tal manera que en las subunidades de riego no excedan el 20% de la presión nominal del aspersor y mayor al 20% de dicha presión, los cuales están establecidos en la *Guía para la Elaboración de Expedientes Técnicos de Riego Presurizado del Programa Subsectorial de Irrigaciones (PSI)*.
- ✓ Factor económico: Corresponde a los costos de la red de distribución en función a sus características, tales como: instalación, longitud y diámetros de las tuberías y accesorios, los cuales se expresan mediante el índice de la economía.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

A continuación, se detallan diversas investigaciones a nivel internacional, nacional y local relacionadas con el tema de investigación sobre el diseño hidráulico de la red de distribución de riego tecnificado presurizado mediante la aplicación de algoritmos genéticos.

2.1.1. *Antecedentes Internacionales*

Lapo (2019) en su tesis doctoral titulado: Diseño óptimo de redes de riego a presión para su explotación a turnos. El objetivo que persiguió dicho estudio fue formular e implementar un Algoritmo Híbrido, Algoritmo Genético (AG) y Algoritmo basado en Programación No Lineal (PNL), para el diseño óptimo de redes de riego a presión operando a turnos, de tal manera que dicho Algoritmo Híbrido realice la asignación de los turnos de riego a los hidrantes y los diámetros a los ramales de la red de distribución, reduciendo el costo de diseño al mínimo permisible. La muestra estuvo constituida por 9 casos de estudio extraídos de proyectos reales con su correspondiente condiciones operativas, topográficas y dimensiones. Los instrumentos que se usaron fueron la herramienta informática EVOLVER, dentro de ella se implementó el programa denominado Runsolver. El diseño empleado fue experimental. Los resultados y/o conclusiones obtenidas han sido diseño de las redes de distribución a presión operando a turnos con diferencia en costos hasta 10.30% que el método clásico más eficiente en el estudio, además la diferencia de diseños a la demanda y a turnos varían en el orden de 4.5% y el 48%.

Lapo et al. (2020). Diseño óptimo de redes de riego a turnos y caracterización de su flexibilidad. El objetivo general de la investigación fue minimizar el costo de la red de distribución de riego y evaluar la flexibilidad de los diseños del sistema. La muestra estuvo constituida por las redes de distribución de cuatro sectores de riego de proyectos reales en Ecuador y España. El

diseño que se utilizó fue experimental propiamente dicho. El instrumento que se utilizó fue un software de su autoría, en la cual implementaron un algoritmo híbrido genético-programación no lineal. Y, los resultados que se obtuvieron fueron que los diseños de las redes de distribución de riego a presión operando a turnos mejoran en costo y flexibilidad en comparación de los diseños realizados con el algoritmo tradicional, además la asignación de turnos a los hidrantes de muy importante para minimizar los costos de inversión en las tuberías y accesorios.

Ponce y López (2019) investigó: Diseño de redes de riego mediante algoritmos de evolución diferencial y colonia artificial de abejas; cuyo objetivo realizar el diseño óptimo de las redes abiertas empleando algoritmos de evolución diferencial y colonia artificial de abejas, enfocándose fundamentalmente en el trazo de menor longitud de tuberías de la red de tal manera que genere el menor costo, cumpliendo con las restricciones del rango de velocidades en las tuberías y presiones necesarias en los hidrantes. En cuanto a la metodología, se empleó el diseño de investigación experimental, cuya técnica de recolección de datos fue el experimento propiamente dicho mediante los métodos heurísticos (algoritmos evolutivos y bio-inspirados). Los resultados que se obtuvieron fueron ambos métodos heurísticos son efectivos para diseñar redes distribución de riego y tienen altas ventajas comparado con los métodos tradicionales.

Millet (2014) realizó un estudio de maestría titulado: Diseño óptimo de una red de distribución de agua con objetivos múltiples utilizando métodos heurísticos (algoritmos genéticos) en la ciudad de Valencia, España. El objetivo general de la investigación fue analizar la situación del sistema de distribución de agua y encontrar una solución óptima para el diseño cumpliendo los objetivos múltiples minimizando los costos de inversión y operación. La muestra estuvo constituida por una red de distribución de agua a demanda en la ciudad de Valencia, el diseño experimental, de nivel explicativo y utilizó el método científico. Los instrumentos que utilizaron

fueron las hojas de cálculo Excel y los softwares Epanet y Evolver. Los resultados indican que el método heurístico algoritmos genéticos minimiza los costos de diseño, además, reitera que dichos algoritmos no garantizan encontrar la solución óptima, sino que contienen estrategias de acción para lograr con los objetivos y dar con soluciones muy cercanas a la óptima global.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Vásquez (2021) realizó una tesis titulada: Inteligencia artificial en el dimensionamiento de redes de distribución de agua en el centro poblado de Chaquicocha – 2017. El objetivo principal del estudio fue determinar de qué manera la Inteligencia Artificial, dentro de ellas los algoritmos genéticos, influye en el dimensionamiento de redes de distribución de agua en el centro poblado Chaquicocha. La muestra estuvo constituida por la red de distribución de agua potable del Centro Poblado de Chaquicocha. El diseño que se utilizó fue experimental, así mismo, los instrumentos que se usaron fueron las hojas de cálculo y las listas de cotejo. Y los resultados obtenidos han sido que la inteligencia artificial, dentro de ellas el método de los algoritmos genéticos, influye de manera positiva en el diseño de la red de distribución de la red de distribución de agua potable, teniendo impacto significativo en el parámetro costos, diámetros, presiones y velocidades.

Vargas et al. (2019) desarrolló una tesis titulada: Aplicación de algoritmos genéticos spea & magno para diseño óptimo de redes de distribución de agua, Viñani, Tacna. El objetivo principal que persiguió dicha tesis fue demostrar la efectividad de la aplicación de algoritmos genéticos spea & magno para diseño óptimo de redes de distribución de agua del sector Viñani de la ciudad de Tacna, enfocándose en la efectividad en el diseño, exigencias económicas y normativa vigente. La muestra estuvo constituida por las redes de distribución de agua, Viñani, Tacna. El diseño fue experimental propiamente dicho. Los instrumentos que se usaron fueron los softwares en los cuales implementaron el Micro Algoritmo Genético Multiobjetivo (MAGMO) y el Algoritmo Evolutivo

Multiobjetivo (SPEA). Los resultados indican que la red de distribución optimizada con MAGMO presentó un mejor desempeño para el diseño óptimo de redes de agua que la red optimizada con SPEA.

De la cruz (2020) investigó: WaterGEMS frente al diseño convencional de redes de agua para la ciudad de Querecotillo, cuyo objetivo principal fue comparar el diseño de las redes de agua empleando el software Epanet con diseño de redes mediante el software waterGEMS, enfocándose en un diseño de mejor opción económica y que brinde las mejores presiones posibles. La muestra estuvo constituida por las redes de distribución de agua de la zona urbana de Querecotillo. Así mismo, para cumplir con los objetivos planteados, el diseño de investigación que empleó fue descriptivo – correlacional. El instrumento que se empleó fue el software waterCAD y waterGEMS, los cuales realizaron el modelamiento hidráulico y recopilación de datos de la variable. Correspondiente a los resultados se obtuvo que las presiones del diseño optimizado mediante el software waterGEMS son superiores a las que se obtuvo empleando metodología de uso común mediante el software Epanet, esto permite que las presiones obtenidas mediante waterGEMS cumpla con las presiones mínimas exigidas ante un evento de incendio o rotura de tuberías, así mismo, en cuanto a velocidad ambas metodologías arrojaron velocidad muy pequeñas y referente a costo se encontró que mediante la metodología de waterGEMS es ligeramente mayor que la metodología de uso común como el Epanet.

Gonzales (2020) realizó una investigación titulada: Comportamiento hidráulico del sistema de riego por aspersión mediante herramientas computacionales, Paras, Ayacucho 2020. El objetivo principal que persiguió dicha investigación fue determinar el cambio del comportamiento hidráulico del sistema de riego presurizado por aspersión operando a turnos empleando herramientas computacionales, cuya muestra fue la red de distribución del sistema de riego del

distrito de Paras y la población estuvo conformado por trece sistemas de riego del distrito de Paras. Por otro lado, la metodología de investigación que se aplicó fue el método científico con tipo de investigación aplicada y de nivel explicativo. Los resultados que se obtuvieron fueron las velocidades del sistema de riego por aspersión en tuberías de diámetro 26mm y 33mm son inferiores a 0.50 m/s y en las sub unidades de riego las velocidades no cumplen el permitido (0.50m/s a 3 m/s), en cuanto a presiones en la mayoría de los turnos están en el orden de 12mca a 25mca los diseños realizados en waterCAD son muy similares, consecuentemente se concluye que las presiones tomadas en campo y diseñadas en softwares mantienen una diferencia aceptable.

Nota:

Cabe mencionar que no se encontraron antecedentes locales con antigüedad de 5 años, menos aún de 3 años. Entonces es oportuno la investigación que persigue el tesista.

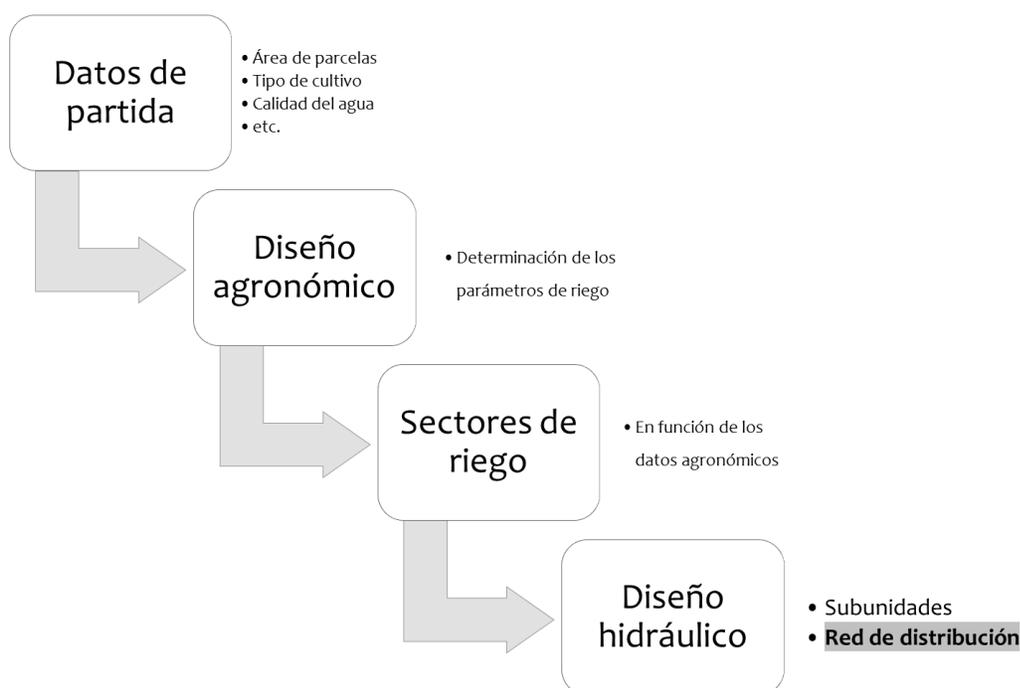
2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Redes de Distribución de Riego Tecnificado

Los sistemas de redes de distribución se han desarrollado principalmente en las últimas décadas, su uso ha sido bien recibido debido a que garantiza la eficiencia en la distribución del recurso hídrico en comparación a los canales naturales o artificiales, además, facilita los trabajos técnicos en la etapa de operación y mantenimiento.

Figura 2

Fases de diseño de un sistema de riego presurizado



Fuente: Elaboración propia

En la presente sección se desarrollará la base teórica de la variable, diseño hidráulico de la red de distribución de riego tecnificado presurizado, para su operación a turnos.

Redes a Presión. La red de distribución se compone de nudos y líneas, que se definirán como ramales, redes y mixtos según el tipo de conexión. Estas redes están compuestas por tuberías y elementos de control de primer, segundo o tercer orden según sea necesario, tales como válvulas,

accesorios, hidrantes, elementos de conexión, elementos de medición; los cuales deben cumplir con los requisitos pertinentes y mantener la presión mínima para el correcto funcionamiento de la red (Lapo, 2012, p. 10).

Redes de distribución de agua según su uso. Fuertes et al. (2002) considera la clasificación de las redes de la siguiente manera:

- ✓ Red de distribución de agua en zonas urbanas.
- ✓ Red de distribución de agua para zonas residenciales.
- ✓ Red de distribución de agua para zonas industriales.
- ✓ Red de distribución de agua con fines de riego.

Generalmente, el agua potable para consumo humano se separa del agua con fines de riego, por lo que el diseño de la red varía en función del uso del recurso hídrico básico. (Lapo, 2012).

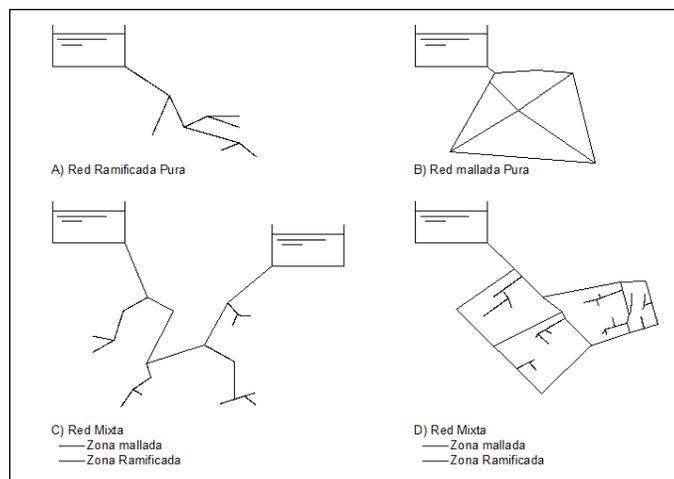
Redes de distribución de agua según su funcionamiento. Esta clasificación obedece a la disposición e instalación de las tuberías, la red se clasifica en:

- ✓ Red ramificada
- ✓ Red cerrada o mallada
- ✓ Red mixta

Una red de distribución de agua potable o con fines de riego está estructurada de nudos y tuberías que pueden ser clasificadas como ramificadas, malladas o mixtas en función de su configuración. Estas redes incluyen tuberías de distintos órdenes y elementos de control, como válvulas, accesorios, hidrantes y dispositivos de medición, que son necesarios para garantizar el suministro adecuado de las demandas y mantener las presiones mínimas que aseguren el correcto funcionamiento del sistema. (Lapo, 2012).

Figura 3

Clasificación de redes a presión en función de la tipología



Fuente: (Fuertes et al.,2002)

Tabla 1

Ventajas y desventajas de las redes ramificadas y malladas

Malladas	Ramificadas
<i>Ventajas</i>	
Seguridad en el suministro en caso de roturas o cortes de servicio.	En comparación con los gastos de inversión iniciales, la implementación de estas redes tiene un costo más bajo.
El sistema experimenta una reducción en las pérdidas de carga, lo que se traduce en una altura y presión similar en las conexiones de entrada.	Es más fácil regular la presión del sistema ya que es posible conocer los flujos que circulan con anticipación.

Disminuyen los problemas de salud porque el agua no permanece estancada por largos períodos de tiempo

Desventajas

Aunque su diseño es más complejo y su costo de instalación es mayor, las redes de distribución de tipo mallado requieren un sistema de válvulas para controlar el flujo en diferentes zonas, lo que dificulta su regulación. Sin embargo, en estas redes es más fácil lograr un equilibrio de presiones que en las redes ramificadas.

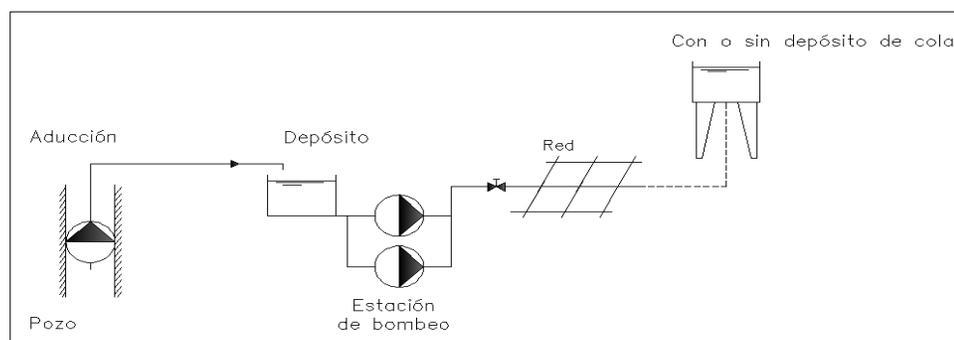
No hay certeza en cuanto al suministro. Si es necesario expandir estas redes, puede haber una disminución en la presión debido a que estos factores no fueron considerados durante el diseño del sistema inicial. Se presentan problemas de calidad de agua en las ramificaciones más lejanas del sistema.

Fuente: (Fuertes et al. 2002)

Redes de distribución de agua según el sistema de abastecimiento. Generalmente, el suministro de agua a la red de distribución proviene de reservorios o tanques elevados, derivaciones en la línea de conducción o grupos de bombeo de pozos tubulares.

Figura 4

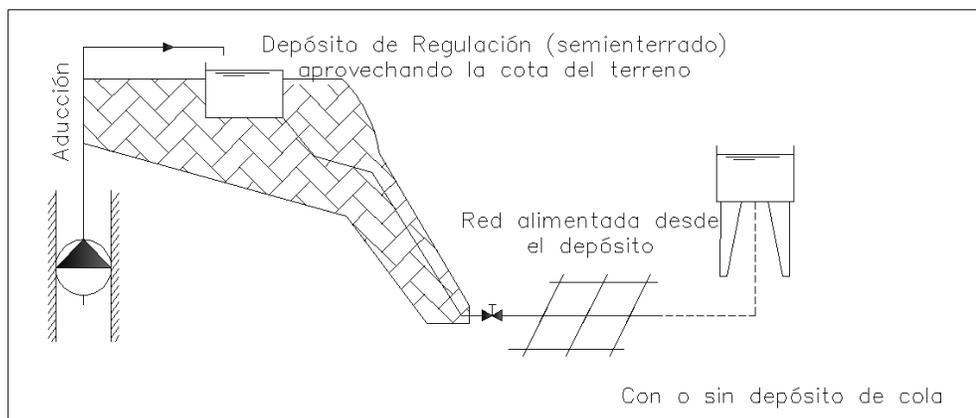
Alimentación desde reservorio



Fuente: (Fuertes et al. 2002)

Figura 5

Inyección directa a la red



Fuente: (Fuentes et al. 2002)

Clasificación de los flujos. La clasificación de los flujos obedece a diversos parámetros hidráulicos y físicos; sin embargo, con fines de diseño hidráulicos de redes de distribución de riego tecnificado presurizado se detallan los siguientes:

En función a las variaciones temporales los flujos se clasifican en:

Flujo Permanente. La velocidad promedio se mantiene invariable en el transcurso del tiempo.

Flujo No-permanente. Es aquel en la cual la velocidad promedio cambia a lo largo del tiempo. Los flujos se clasifican según las variaciones espaciales que presenten:

Flujo Uniforme. Es aquel flujo donde el parámetro hidráulico velocidad permanece inalterable con respecto al espacio o sección de conducción.

Flujo No-uniforme. Es aquel flujo donde el parámetro hidráulico velocidad varía con respecto al espacio o sección de conducción.

En función a la naturaleza del fluido, es decir, variabilidad física como la densidad.

Flujo compresible. Aquel en la cual la densidad permanece constante en el tiempo

Flujo Incompresible. Es el flujo en la cual la densidad varía en el tiempo

Clasificación en función a la cuantificación de las partículas

Flujo Laminar. Es aquel en el que el número de Reynolds es inferior a 2000.

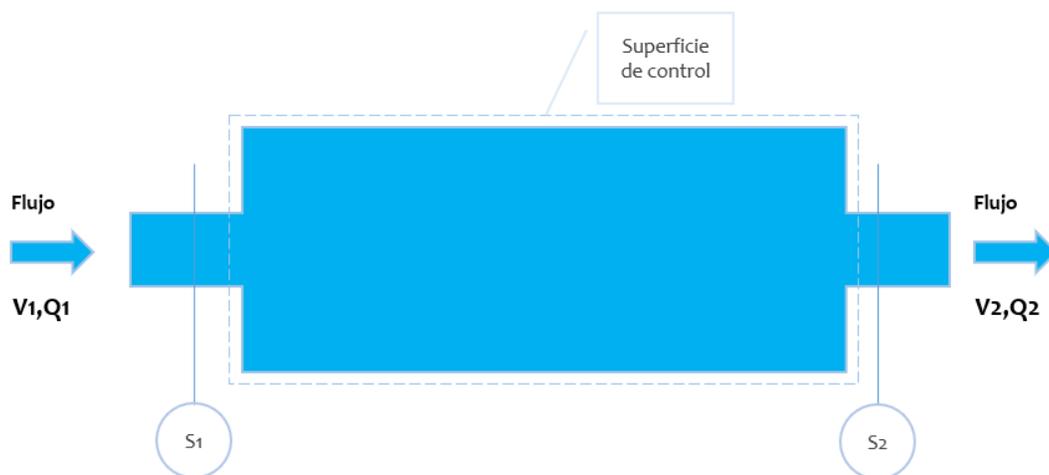
Flujo Turbulento. Los flujos con un número de Reynolds superior a 3000 se conocen comúnmente como flujos turbulentos. Cuando el número de Reynolds varía entre 2000 y 3000, se les llama flujos transitorios.

2.2.2. Ecuaciones

Ecuaciones de continuidad. Referente al volumen de control Lapo (2019) y Ugarte (2016) afirman que al estudiar el comportamiento de las partículas que atraviesan un volumen de control en un fluido, se analiza su comportamiento en un intervalo de tiempo específico, delimitado por una superficie de control. La ecuación de continuidad se formula matemáticamente en términos de la velocidad media del flujo y el diámetro de la tubería.

Figura 6

Concepción del espacio de control y volumen de control



Fuente: Elaboración propia

Si consideramos el concepto de volumen de control como un espacio limitado por una superficie de control, el principio de continuidad se refiere a la conservación de la masa, en concordancia con el principio de que la masa no puede ser destruida. Esta idea se expresa matemáticamente de una manera específica:

$$\frac{dm}{dt} = G_e - G_s = Q_e \rho_e - Q_s \rho_s$$

$$\rho = cte \rightarrow \frac{d\forall}{dt} = Q_e - Q_s$$

Si se considera un flujo permanente, en el cual los valores hidráulicos de velocidad y presión permanecen constantes en el tiempo, y la densidad no varía en tiempo ni espacio, se puede concluir que:

$$\rho v A = cte \rightarrow \rho_e v_e A_e = \rho_s v_s A_s = G$$

En general, si las presiones no son demasiado altas, se puede asumir que el fluido es incompresible, lo que significa que, $\rho_e = \rho_s$

$$v A = cte \rightarrow v_e A_e = v_s A_s = Q$$

Ecuaciones de la cantidad de movimiento. En un régimen permanente, se sabe que la suma de todas las fuerzas externas que actúan sobre un volumen de control es igual a la diferencia de cantidad de movimiento que entra y sale del volumen. Para el caso de un flujo incompresible y con una sola sección de entrada y salida del volumen de control, su expresión matemática en la dirección del movimiento es: (Martínez et al. 2009).

$$F_{ext} = \rho Q (v_s - v_e)$$

Ecuación de la energía. López (2018) afirma lo siguiente: El principio de energía establece que la suma de la energía potencial y cinética representa la energía total del sistema, lo que se debe cumplir en un sistema de tuberías hidráulicas. La energía específica del fluido es la que impulsa al fluido de lugares con mayor energía a lugares con menor energía. Si el fluido es incompresible y constante en el tiempo, lo cual se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$H = B = z + \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g}$$

Siendo:

H, B: Energía Total o Bernoulli

Z: altura potencial o cota topográfica de terreno expresado en mca

$\frac{P}{\gamma}$: altura de presión en unidades de mca

$\frac{V^2}{2g}$: altura dinámica o altura de velocidad expresado en mca

γ : Peso específico del fluido (N/m^3).

V: Velocidad (m/s).

g: Aceleración de la gravedad (m/s^2).

Por otro lado, Lapo (2012) indica lo siguiente: La fórmula de Bernoulli establece que la energía total por unidad de peso del fluido incompresible se conserva constante a lo largo de una línea de corriente, asumiendo que no hay pérdidas de energía por fricción ni aportes de energía externos. Cuando los parámetros hidráulicos de velocidad y presión son constantes en toda la conducción, la ecuación de Bernoulli se generaliza de tal manera que la energía total no experimente transformaciones.

Si se tiene la presencia de las pérdidas o aporte, la ecuación se expresa como sigue:

$$B_1 = B_2 + h_{12} \text{ o bien } \rightarrow z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_{12}$$

Cuando se utiliza el término h_{12} en la ecuación, su valor será positivo si representa una pérdida de energía, y negativo si es un aporte de energía al sistema.

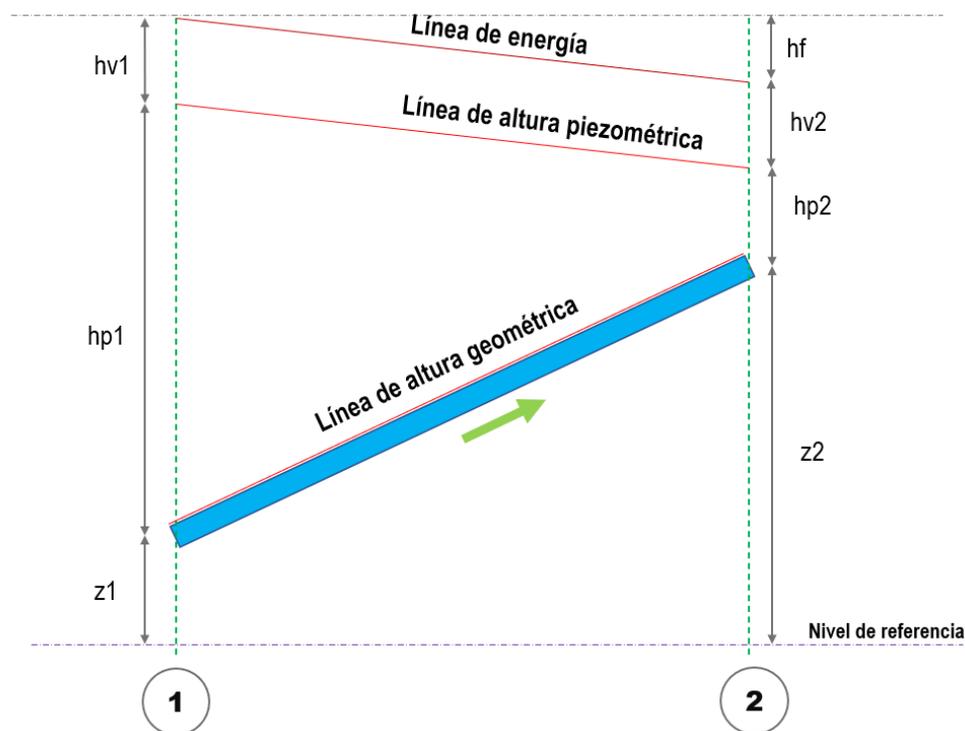
Altura potencial expresado en metros: z

Altura piezométrica expresado metros: $z + \frac{P}{\gamma}$

Altura total expresado en metros: $z + \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g}$

Figura 7

Líneas de alturas total, piezométrica y geométrica



Fuente: Elaboración propia

Línea de alturas potenciales o geométricas (LAG). La línea del eje de la conducción se define por la altitud de referencia en el plano horizontal adoptado para cada sección de la conducción.

Línea de alturas piezométricas (LAP). La altura piezométrica en cada sección de la conducción es la suma de la altura geométrica (energía potencial) y la altura de presión, medida con respecto al plano horizontal de referencia.

Línea de alturas totales (LAT). La energía total específica en cada sección del flujo se define como la suma de la altura piezométrica y la altura cinética. ($v^2/2g$) (pág.17).

Ecuaciones para el cálculo de pérdidas de carga.

Fórmula de Darcy–Weisbach (DW)

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

donde:

h_f : pérdida de carga (m)

L: longitud de la tubería (m)

D: diámetro de la tubería (m)

V: velocidad media (m/s)

f: El coeficiente de fricción, se puede calcular utilizando la ecuación de Colebrook-White.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{K}{3.7D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right)$$

donde K es la rugosidad de la tubería

La expresión para el caudal Q puede ser obtenida resolviendo las dos relaciones previas.

$$Q = -2A \sqrt{2gD \frac{h_f}{L}} \log \left(\frac{K}{3.7D} + \frac{2.51\nu}{D \sqrt{2gD \frac{h_f}{L}}} \right)$$

Una de las expresiones explícitas para calcular el coeficiente de fricción "f" es la conocida como la ecuación de Barr, la cual es ampliamente utilizada:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{K}{3.7D} + \frac{5.1286}{\text{Re}^{0.89}} \right)$$

Formula de Hazen-Williams (HW)

La ecuación de Hazen-Williams es una expresión muy utilizada para el cálculo de tuberías a presión y establece que:

$$Q = 0.2784 \cdot C \cdot D^{2.63} \left(\frac{hf}{L} \right)^{0.54}$$

Siendo:

L: Longitud de la tubería expresado en metros

C: Coeficiente de Hazen-Williams

D: Diámetro de la tubería en milímetros

Pérdidas locales. Lapo (2012) subraya que, en todas las redes de distribución, con la finalidad de facilitar los trazos, se suelen utilizar los diversos accesorios de cambio de dirección, bifurcación y reducción de tuberías, estos son, codos, tees, yees, cruz, etc. También, se suelen utilizar los dispositivos de control como cámara rompe presión, válvulas, etc.

Estos accesorios y dispositivos de control originan pérdidas localizadas, las cuales se calculan mediante la siguiente fórmula:

$$h = k \frac{v^2}{2g} \left[\frac{8k}{\pi^2 g D^4} \right] Q^2$$

Siendo:

V: velocidad del fluido aguas debajo de la alteración del flujo

D: diámetro del accesorio

K: coeficiente adimensional

El valor de k está en función del número de Re y de las características del accesorio.

Número de Reynolds. El número de Reynolds es una medida que relaciona las fuerzas de inercia y viscosidad del fluido en movimiento.

$$Re = \frac{vD}{u}$$

Donde:

Re = Número de Reynolds.

v = Velocidad del fluido (m/s).

D = Diámetro de la tubería (m).

u = Viscosidad cinemática ($1.1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ para agua a 20 C°).

Figura 8

Valores del coeficiente K para diversos elementos.

Elementos o accesorios	K
Válvula de globo	10'0
Válvula de ángulo	5'0
Válvula de retención de clapeta	2'5
Válvula de compuerta	0'2
Codo de radio pequeño	0'9
Codo de radio medio	0'8
Codo de radio grande	0'6
Codo a 45°	0'4
Codo cerrado inversor de flujo	2'2
Te estándar – dirección de paso	0'6
Te estándar – dirección de desvío	1'8
Entrada recta	0'5
Salida brusca	1'0

Fuente: Lapo (2012)

Efecto de una *bomba* en el sistema de redes. Según Ugarte (2016), una bomba es una turbomáquina que se utiliza para aumentar la presión del fluido en movimiento. Cuando se aplica la ecuación de energía a un volumen de control para un flujo no viscoso, permanente y unidimensional, se obtiene lo siguiente:

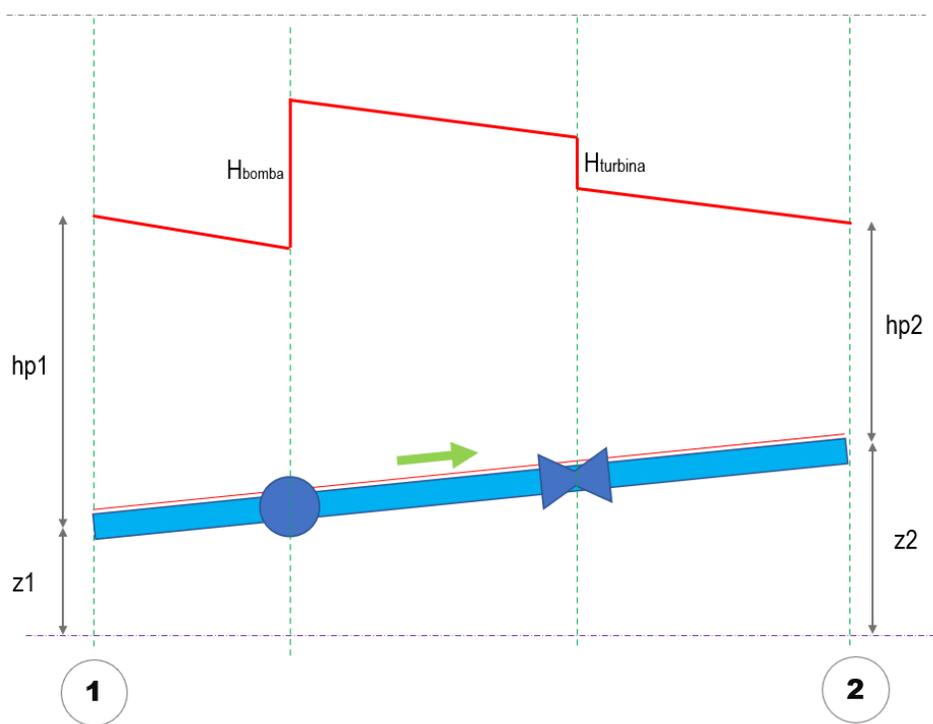
$$H_{t,1} + H_{bomba} = H_{t,2} + h_{1,2}$$

Efecto de una *turbina* en el sistema de redes. De acuerdo con Ugarte (2016), las turbinas son máquinas utilizadas para extraer la energía de un fluido en movimiento. Al aplicar la ecuación de energía a un volumen de control, para un flujo permanente, unidimensional y sin viscosidad, se obtiene lo siguiente:

$$H_{t,1} = H_{t,2} + H_{turbina} + h_{1,2}$$

Figura 9

Efectos de la bomba y turbina en las redes de distribución



Ecuaciones generales de equilibrio. Según Lapo (2012), las ecuaciones de equilibrio se derivan de las ecuaciones generales de conservación de masa y energía, que se aplican a un flujo incompresible a través de un sistema de tuberías a presión. Estas leyes se conocen como las leyes de Kirchoff.

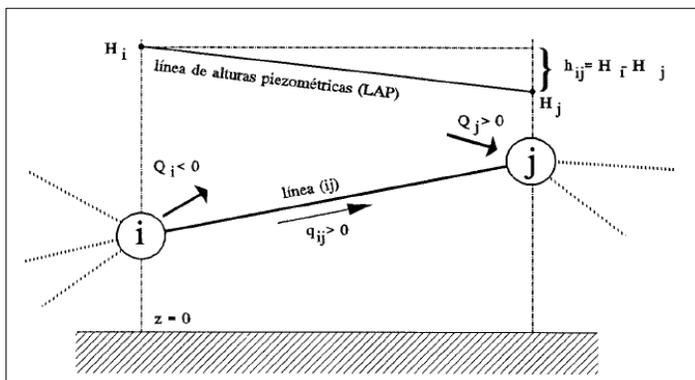
Las características hidráulicas que intervienen son las siguientes:

- ✓ Caudales (q) internos en los ramales de la red.
- ✓ Caudales (Q) externos concentrados en los nodos de la red.
- ✓ Altura de terreno o piezométrica (H) de los nodos y su correspondiente presión (p).
- ✓ Pérdida de carga en los ramales (h), o las diferencias de alturas de terreno entre sus extremos.

Primer Ley. Cabrera et. Al (1996) y Lapo (2012) establecen que la sumatoria de los caudales, internos y externos, que concurren a un determinado nodo es cero, además, con fines de cálculo e interpretación realiza una convención de signos. Se asume para los caudales internos que salen el signo positivo y para los que entran el signo negativo, entonces para los caudales externos se asumen lo contrario que los internos.

Figura 10

Representación gráfica de unión entre los nodos i y j en un sistema de tuberías.



Fuente: (Cabrera et al. 1996).

De acuerdo a la figura 10, se tiene:

q_{ij} : Caudal interno que circula entre los nudos i y j, positivo del nudo i hacia el nudo j.

Q_j : Caudal concentrado en el nudo i, si entra se considera positivo y negativo si sale.

H_i : Altura de terreno en el nudo i

h_{ij} : pérdida de carga en la tubería ij

j: Nodos conectados al nudo i

N: Número total de nodos

La ecuación queda expresada como sigue:

$$\sum_{j \in A_i} q_{ij} - Q_j = 0 \quad \text{o} \quad \sum_{j \in A_i} q_{ij} = Q_j \quad i=1, \dots, N$$

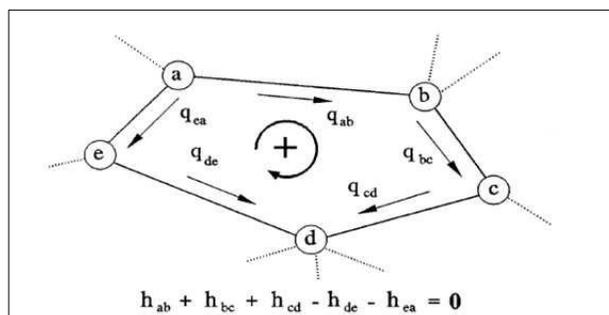
Para cumplir con el principio de continuidad la suma total de los caudales que entran y salen deber ser cero, lo matemáticamente se expresa como sigue:

$$\sum_{i=1}^N Q_i = 0$$

Segunda Ley. De acuerdo con Cabrera et al. (1996) y Lapo (2012), la suma de las pérdidas de carga en cada tubería de la red de distribución, como se ilustra en la figura 11, debe ser nulo.

Figura 11

Configuración de una red mallada



Fuente: (Cabrera et al. 1996)

Se considera que la pérdida de carga es positiva si el flujo circula en la misma dirección que la malla y negativa si circula en dirección opuesta. La segunda ley se puede expresar de la siguiente manera:

$$\sum_{(i,j) \in B_k} (+-)h_{ij} = 0 \quad k=1 \dots \dots \dots M$$

Donde:

M: Número de mallas

Bk: número de tuberías que pertenece a la malla k; $(+-)_{ij}$, se considera que la pérdida de carga tiene un valor positivo cuando el caudal q_{ij} se mueve en la misma dirección que la malla k, y un valor negativo si se mueve en dirección opuesta.

2.2.3. *Sistema de Riego*

Se entiende por sistema de riego a la intervención humana que consiste en aplicar agua al suelo mediante construcciones de obras hidráulicas con el propósito de proporcionar a los cultivos la cantidad adecuada de agua para su óptimo crecimiento, así como mejorar el impacto ambiental y regular la temperatura, evitando la generación de drenajes naturales.

Tipos de Sistema de Riego. Cucho (2018) clasifica el sistema de riego en tres categorías diferentes: riego por gravedad, riego por aspersión y riego por micro aspersión.

Riego por superficie o gravedad. El riego por gravedad se refiere a aquellos métodos de riego en los que el agua fluye por efecto de la gravedad desde el sistema de distribución, como líneas de conducción, reservorios o pozos tubulares, hasta cualquier punto del terreno o parcela que se va a regar. Este tipo de riego se realiza directamente sobre la superficie del suelo.

Riego por aspersión. Es un método de irrigación que suministra agua a las plantas a través de aspersores, pulverizadores que rocían el agua en forma de lluvia sobre la zona que se desea regar. Este sistema se utiliza por medio de tuberías y una presión específica para que el agua se eleve y caiga en forma de gotas o pulverizada sobre la superficie de la zona de riego.

Riego por Microaspersión. Es una técnica de riego que implica la aplicación localizada de agua en forma de lluvia artificial, generada por la presión que fluye a través de pequeños orificios llamados boquillas. El agua es distribuida mediante difusores o microaspersores, que se colocan cerca del suelo y pueden tener una distribución circular o sectorial, formando manchas de hasta un metro de diámetro. El caudal de agua por hora en este método de riego varía de 40 a 100 litros.

Tipos de Sistemas de Aspersión. Según Cucho (2018), los sistemas de riego por aspersión se pueden dividir en tres categorías: móviles, semi fijos y fijos.

Equipos Móviles. Son instalados directamente en el terreno en cada turno de riego y se desplazan a lo largo del área a regar para distribuir agua en las diferentes zonas de la parcela.

Equipos Semi Fijos. Consisten en una parte de la instalación fija y enterrada, y otra parte móvil que se mueve a lo largo del terreno y se conecta a la tubería fija en diferentes puntos de toma o hidrante de la red de distribución.

Equipos Fijos. Los equipos móviles consisten en una instalación completa que permanece fija en el terreno, incluyendo los aspersores. Todos los aspersores pueden funcionar simultáneamente, aunque lo habitual es que se rieguen de forma alternada las diferentes áreas del terreno que necesitan ser regadas.

Ventajas y Desventajas. Cucho (2018) denota las siguientes ventajas y desventajas:

Ventajas

- ✓ La eficiencia del sistema de riego por aspersión oscila entre el 50% y el 80%, lo que significa que el ahorro de agua es una consideración clave al utilizar este método de riego.
- ✓ se adapta de manera efectiva a una amplia variedad de topografías, tipos de suelo y cultivos.
- ✓ reduce la necesidad de nivelar el suelo en las parcelas de cultivo, disminuyendo así la cantidad de trabajo requerido para preparar el terreno.
- ✓ Se puede aplicar fertilizantes solubles (fertiirrigación)
- ✓ Ahorra mano de obra, ya que una vez que el sistema está en funcionamiento, no requiere de atención personalizada.

Desventajas

- ✓ El costo inicial de instalación de este sistema de riego es elevado.
- ✓ Requiere agua limpia, sin sedimentos y con un bajo contenido de sales.
- ✓ Los vientos fuertes pueden afectar la distribución del agua
- ✓ El impacto de las gotas de agua puede dañar algunos sembríos tiernos.

2.2.4. Información Previa para el Diseño del Sistema de Riego

Según Cucho (2018), al diseñar un sistema de riego por aspersión a presión, es necesario evaluar todas las características técnicas del riego para asegurar una distribución uniforme y eficiente del agua. El diseño agronómico debe considerar aspectos relacionados con el suelo, clima, cultivos, entre otros, mientras que el diseño hidráulico debe dimensionar la red de distribución. Los parámetros de diseño necesarios e indispensables son:

Del suelo. Densidad aparente, capacidad de campo, punto de marchitamiento, profundidad y velocidad de infiltración básica.

Del clima. Interesa conocer, sobre todo, los datos relativos al viento (dirección y velocidad), ya que es la causa principal de distorsión en el reparto del agua.

Del cultivo. Alternativa de cultivos, necesidades hídricas, fracción de abatimiento del agua disponible, profundidad radical, marco de plantación, labores.

De la parcela. Dimensiones, topografía, punto de captación de agua y área a regar.

Del agua. Caudal disponible en la fuente de abastecimiento y calidad agronómica.

Del riego. Tiempo disponible de riego cada día y días libres de riego durante el ciclo. Se fija de antemano la eficiencia que se pretende conseguir.

2.2.5. *Parámetros Necesarios para el Diseño de la Red de Distribución*

Diseño agronómico. Según Fuentes y García (1999), el objetivo del diseño agronómico es asegurar que la instalación pueda proveer la cantidad adecuada de agua, con un manejo efectivo de las sales y una aplicación eficiente del agua. Este proceso consta de dos etapas:

Necesidades de agua de los cultivos. Las necesidades totales vienen definidas por la siguiente fórmula:

$$N_t = \frac{N_n}{E_a} = \frac{N_n}{R_p \cdot F_L \cdot F_r \cdot C_U}$$

N_t = Necesidades totales, en mm/día

N_n = Necesidades netas, en mm/día

E_a = Eficacia de aplicación, en tanto por uno

R_p = Relación de percolación, en tanto por uno

F_L = Factor de lavado, en tanto por uno

F_r = Factor de rociado, en tanto por uno

C_U = Coeficiente de uniformidad, en tanto por uno

En situaciones habituales, el factor de rociado generalmente tiene un valor cercano a la unidad, por lo que suele ser ignorado. En cuanto a R_p y F_L , no se tienen en cuenta simultáneamente, sino que se toma en cuenta solo el que tiene menor eficiencia y causa mayor pérdida de agua.

Si $R_p < F_L$, las necesidades totales son:

$$N_t = \frac{N_n}{R_p \cdot C_U}$$

Si $F_L < R_p$, las necesidades totales son:

$$N_t = \frac{N_n}{(1 - F_L) \cdot C_U}$$

$FL = 1 - RL$, siendo RL el requerimiento de lavado, en tanto por uno.

En sistemas de riego por aspersión de baja frecuencia, el cálculo del requerimiento de lavado (RL) se determina mediante la siguiente fórmula:

$$RL = \frac{CEa}{5CEa - CEa}$$

RL: Requerimiento de lavado, en tanto por uno

CEa: Conductividad eléctrica del agua de riego, en dS/m

CEa: Se refiere a la conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo, la cual se relaciona con el porcentaje de reducción de la producción. Esta medida se expresa en dS/m.

Máx CEa: Se refiere a la conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo, al cual se observa una disminución de la producción del 100%. Se expresa en dS/m..

Para el diseño de sistemas de riego, se establece como requisito que el coeficiente de uniformidad (CU) tenga un valor cercano a 0.8 para ser considerado adecuado. Al poner en funcionamiento el sistema, se verifica el CU diseñado. Un valor bajo de CU indica errores en la presión de trabajo, en la cantidad y tamaño de las boquillas de los aspersores, o en el marco de riego utilizado.

Para el cálculo de las necesidades de agua en riego por aspersión se suele utilizar también el siguiente criterio:

$$\text{Si } RL < 0.1 \quad Nt = \frac{Nn}{E'a}$$

$$\text{Si } RL > 0.1 \quad Nt = \frac{0.9Nn}{E'a(1-RL)}$$

La eficiencia de aplicación $E'a$ contempla las pérdidas por percolación, evaporación y arrastre del chorro por el viento, así como la falta de uniformidad en la aplicación del agua. Para el diseño, se deben considerar valores aproximados de $E'a$, según lo indicado por Tarjuelo:

Tabla 2*Los valores orientativos de E'a*

Sistemas estacionarios o sistemas de líneas con desplazamiento continuo, con uniformidad excelente, en climas frescos o húmedos y vientos débiles.	0.85
Sistemas de líneas con desplazamiento continuo en la mayor parte de climas y vientos. Sistemas estacionarios en la mayor parte de climas y vientos débiles, con pluviometría media o alta y buena uniformidad.	0.80
Sistemas estacionarios en la mayor parte de climas y vientos. Sistemas de líneas desplazables en climas áridos y vientos fuertes.	0.75
Sistemas estacionarios con pluviometría alta en climas áridos con vientos fuertes o con pluviometría baja en otros climas con vientos fuertes. Cañones desplazables.	0.70
Sistemas estacionarios con pluviometría moderadamente baja en climas áridos y vientos fuertes.	0.65
Sistemas estacionarios con pluviometría baja de pequeño tamaño de gota, en climas semiáridos y vientos medios o fuertes. Cañones en posición fija.	0.60

Fuente: Fuentes y García (1999)

Determinación de los parámetros de riego. Los elementos del sistema de riego se componen de la cantidad de agua suministrada, la frecuencia y el intervalo de riego, el caudal requerido, la duración del riego, el número de aspersores utilizados y su disposición.

Diseño hidráulico. De acuerdo con Fuentes y García (1999), el diseño hidráulico se enfoca en determinar las dimensiones adecuadas para la red de distribución y su trazado óptimo. En su Anexo 4, se presenta una metodología general para calcular la red de distribución de riego tecnificado a presión, utilizando las fórmulas de Blasius y Hazen-Williams. Además, se explica el cálculo para las tuberías de aluminio, PE y PVC.

Los ramales de los laterales, así como las líneas de riego, se encargan de transportar el agua hacia el cultivo mediante los aspersores que están conectados a ellos. Las tuberías que llevan los laterales o la alimentación son aquellas de las cuales se derivan dichos ramales. En los laterales y las tuberías de alimentación, se pueden encontrar salidas múltiples que están distribuidas uniformemente a lo largo de la tubería, y que descargan el mismo caudal de agua.

$$Q = n \cdot q$$

Q = Caudal del ramal

n = Número de salidas

q = Caudal de cada salida

En una tubería con salidas múltiples conectada a la tubería de alimentación, el caudal inicial es Q y a medida que se avanza en la tubería, las pérdidas de carga por fricción son menores que en una tubería sin salidas intermedias del mismo diámetro y longitud. Para calcular estas pérdidas de carga, se puede hacer de manera individual para cada tramo entre salidas consecutivas, manteniendo el caudal constante, y luego sumar todos los valores obtenidos. Sin embargo, este proceso puede ser tedioso. Para evitar esto, Christiansen desarrolló un método que consiste en calcular las pérdidas de carga en una tubería de igual longitud, diámetro y rugosidad que la tubería con salidas, pero sin las salidas intermedias, por la cual circula el caudal Q. Luego, se multiplica por un coeficiente reductor F (Factor de Christiansen) para igualar las pérdidas de ambas tuberías.

El 75% de las pérdidas de carga por fricción en los ramales laterales ocurren en los primeros 25% de su longitud, por lo que resulta relevante la distancia de la primera salida respecto al origen. En la Tabla 2 se encuentran los valores del Factor Christiansen, los cuales dependen del número de emisores, la constante B y la distancia desde el origen a la primera salida, la cual puede ser $I_0=I$ (cuando dicha distancia es igual a la separación entre emisores consecutivos) o $I_0=I/2$ (cuando la distancia al primer emisor es igual a la mitad de la separación entre dos emisores).

Cálculo de laterales. El dimensionamiento del diámetro de un ramal lateral se fundamenta en la uniformidad alcanzada en la distribución de agua a través de los aspersores que lo conforman. Según la regla general, la discrepancia máxima entre los caudales de descarga de cualquier aspersor en el mismo ramal no debería superar el 10% del caudal nominal. Se ha demostrado que, en el riego por aspersión, una variación del 10% en el caudal se traduce en una variación del 20% en la presión de entrada del emisor. En consecuencia, en el caso de ramales horizontales, la discrepancia en la presión de entrada entre dos aspersores cualesquiera en el ramal no debería exceder el 20% de la presión nominal del aspersor.

Se puede aplicar el mismo principio utilizado en riego localizado a un bloque de riego compuesto por una tubería principal y ramas laterales. En este caso, el costo mínimo se obtiene cuando el 55% de las pérdidas admisibles en el bloque ocurren en los laterales, y el 45% restante en la tubería principal. Si se cumple con la condición de que la diferencia de presiones entre dos aspersores del mismo lateral horizontal no supere el 20% de la presión nominal del aspersor, se pueden considerar las pérdidas singulares que ocurren en los acoplamientos de los tubos y en la conexión de los emisores, las cuales representan entre el 5 y el 15% de las pérdidas por fricción. Por lo tanto, la pérdida de carga total sería:

$$h = 1.10hf$$

Siendo h y h_f , respectivamente, la pérdida total y las pérdidas por fricción.

Se puede tener en cuenta que la pérdida total es equivalente a la de una tubería de igual diámetro y características similares, pero con una longitud ficticia (L_f) que es 1.10 veces mayor que su longitud real (L).

$$L_f = 1.10L$$

Es importante destacar que la fórmula de Scobey, así como los nomogramas y tablas que se derivan de ella, incorporan las pérdidas singulares.

Las pérdidas de carga que se producen en un lateral son:

$$h = J.F.L_f$$

h = Pérdida de carga en el lateral, en mca.

J = Pérdida de carga unitaria, en mca/m lineal.

F = Factor de Christiansen.

L_f = Longitud ficticia, en m.

Estas pérdidas de carga deben ser, como máximo, las admisibles, es decir, inferiores al 20% de la presión nominal del aspersor.

2.2.6. Dimensionamiento de la Red de distribución

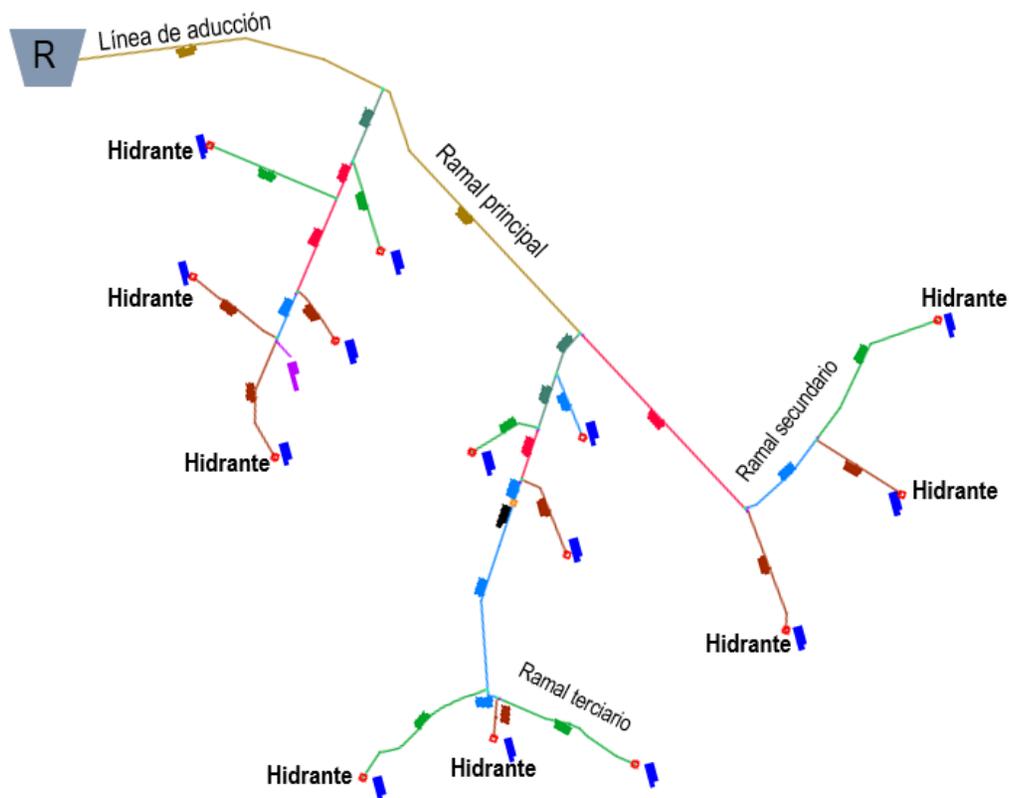
Para realizar el diseño y dimensionado de la red se desarrolla el siguiente proceso (González, 2010):

Ubicación y caudales de descarga de hidrantes. De acuerdo a Gonzales (2010) y Lapo (2012), la primera etapa del diseño de la red de distribución de riego consiste en la definición de los puntos donde se ubicarán los hidrantes. Estos puntos son las fuentes de agua que abastecerán a los usuarios de riego y se suelen situar en la cabecera de las parcelas de cultivo para realizar diversas funciones, tales como corte de suministro, regulación de presión, limitación de caudal o medición.

Lapo (2012) sostiene que el caudal de demanda en los hidrantes se basa en el área de la parcela y las necesidades hídricas del cultivo, y que, por lo general, este caudal es mayor que el caudal continuo para proporcionar flexibilidad al usuario del riego. También destacó que los aspectos económicos y sociales del usuario son cruciales al calcular la relación entre el caudal continuo y el caudal del hidrante, lo que permite determinar el caudal máximo en los hidrantes.

El costo del sistema está relacionado directamente con la instalación de los hidrantes. Por lo tanto, se recomienda instalar una boca de riego con un caudal mínimo de 5 l/s para un área de riego de 2.5 ha. En cuanto a la ubicación, se sugiere colocar los hidrantes en las cabeceras o linderos de las parcelas de riego para áreas pequeñas y en el centro de las parcelas para áreas extensas. El proyectista debe elegir la eficiencia del sistema de riego y de la red de distribución. Usualmente, se adopta una eficiencia de entre el 70% y el 90%, según Lamaddalena y Sagardoy (2000, citada por Lapo, 2012).

Trazado de red. Existen diversos métodos de trazados de las redes de distribución de riego tecnificado presurizado, la que generalmente se suele emplear es la red ramificada, cuya forma es análogo a las ramas de un árbol, lo cual se sustenta en la elección de distancias mínimas posibles, diámetros económicos, bifurcaciones de ángulos de accesorios comerciales, etc.

Figura 12*Red ramificada de riego tecnificado***Fuente:** Elaboración propia

Los autores Aliod et al. (2010) sugieren tener en cuenta los siguientes criterios para bifurcaciones y/o cambios de dirección en el sistema de distribución de riego bajo presión.

- ✓ El trazado de las bifurcaciones respecto a dirección de la fuente de alimentación se recomienda realizar con ángulos comerciales inferiores a 45° , esto con el propósito de evitar pérdidas considerables de carga, vibraciones y desgaste prematuro de las tuberías
- ✓ Los cambios de dirección en los alineamientos se deben realizar, de tal manera que se obtenga radios de curva muy pronunciados y se evite utilizar en la medida que se pueda accesorios como codos principalmente.

Determinación de caudales circulantes por las líneas de toda la red.

A la demanda. Lamaddalena y Sagardoy (2000) citada por Lapo (2012) mencionan que disponer del caudal de consumo a la demanda permite a los usuarios de riego disponer de tiempo para sus labores, también permite a que la red de distribución tenga la flexibilidad de futuras ampliaciones. El sistema de riego presurizado a la demanda en cuanto a su uso es muy general, por tanto, debe cumplir ciertas condiciones para su funcionamiento adecuado.

- ✓ El caudal de consumo es variable, esto está supeditada al consumo real de los usuarios de riego, las tasas de aumento del caudal deben tener flexibilidad garantizada.
- ✓ Los hidrantes de riego deben tener incorporado un medidor de caudal y presión.
- ✓ La red debe ser diseñado de tal manera que se pueda cubrir el mayor del máximo consumo horario o diario, garantizando las presiones mínimas en los hidrantes de riego.

Primer modelo de Clément. En los sistemas de riego operando a la demanda, el caudal nominal debe cubrir todos los escenarios posibles de demanda, lo se expresa como sigue:

$$D = q_s \cdot A$$

Donde:

D: Caudal fijado en la demanda máximo de agua en un período de 24 horas al día (l/s)

qs: caudal ficticio permanente (l/s/ha),

A: Área de riego del hidrante (ha).

El modelo de Clément es un método probabilístico, cuyos supuestos son:

- ✓ Cada hidrante de riego (d) tiene una probabilidad de apertura, donde (p) es contante en un periodo de riego determinado.
- ✓ Además (p) no depende de la probabilidad de apertura ningún otro hidrante j. Entonces, el evento excluyente y aleatorio “caudal circulante por una conducción” para un

número de hidrantes abiertos aguas abajo, es una variable aleatoria de tipo binomial como muestra la siguiente expresión.

$$t' = \left(\frac{q_s \cdot A \cdot T}{R} \right) / d$$

Donde:

q_s : caudal específico permanente, 24 horas al día (l/s/ha)

A : área de riego del hidrante (ha)

R : número total de hidrantes

d : caudal nominal de cada hidrante (l/s)

T : duración del periodo pico (h)

T' : tiempo de operación promedio de cada hidrante en tiempo pico (h)

r : coeficiente de uso de la red (definido por la relación T'/T)

t' : tiempo de operación promedio por hidrante durante periodo pico (h).

La probabilidad elemental, p , de la operación o que cada hidrante funcione se define como

$$p = \frac{t'}{T'} = \frac{t'}{r \cdot T} = \frac{q_s \cdot A \cdot T}{R \cdot d \cdot r \cdot T}$$

Entonces

$$p = \frac{q_s \cdot A}{r \cdot R \cdot d}$$

En consecuencia, para una cantidad total de hidrantes homogénea R , la probabilidad de ocurrencia de encontrar un hidrante abierto es p , mientras que $(1 - p)$ es la probabilidad de encontrar dicho hidrante cerrado.

El número de hidrantes operando a la demanda se considera una variable excluyente y aleatoria, cuya distribución binomial con su correspondiente media estadística es:

$$\mu = Rp$$

Y varianza estadística

$$\sigma^2 = Rp(1-p)$$

En consecuencia, la probabilidad acumulada P_q de que entre los hidrantes R , exista un máximo de hidrantes N funcionamiento al mismo tiempo es:

$$P_q = \sum_{k=0}^N C_R^K \cdot p^k \cdot (1-p)^{(R-k)}$$

Donde:

$$C_R^K = \frac{R!}{K!(R-K)!}$$

Es el número total de combinaciones posibles de los hidrantes R en tiempo constante K . Cuando R es extremadamente grande, esto es, R mayor que 10 y p mayor que 0'2-0'3, la distribución binomial se aproxima a la distribución normal de Laplace-Gauss cuya probabilidad acumulada (P_q) con el objetivo de obtener un máximo de x hidrantes de riego funcionando simultáneamente (con $- \infty < x < N$) se expresa matemáticamente de la siguiente manera:

$$P_q = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{U(P_q)} e^{-\frac{u^2}{2}} du$$

Donde $U(P_q)$ es la variable normal estandarizada que corresponde a la probabilidad de P_q , y u es la desviación normal estándar expresado como:

$$u = \frac{x - Rp}{\sqrt{Rp(1-p)}}$$

Resolviendo la integral se obtiene el número total de hidrantes (N), así:

$$N = Rp + U(P_q)\sqrt{Rp(1-p)}$$

Para hidrantes que tengan el mismo caudal, el caudal total de aguas abajo en una sección genérica k viene expresada por:

$$q_k = Rpd + U(P_q)\sqrt{Rp(1-p)d^2}$$

Y, para diversas descargas de diferentes bocas de riego (d_i), donde i es el número que clasifica al hidrante tenemos:

$$q_k = \sum_i p_i d_i + U(P_q)\sqrt{\sum_i p_i(1-p_i)d_i^2}$$

Tabla 3

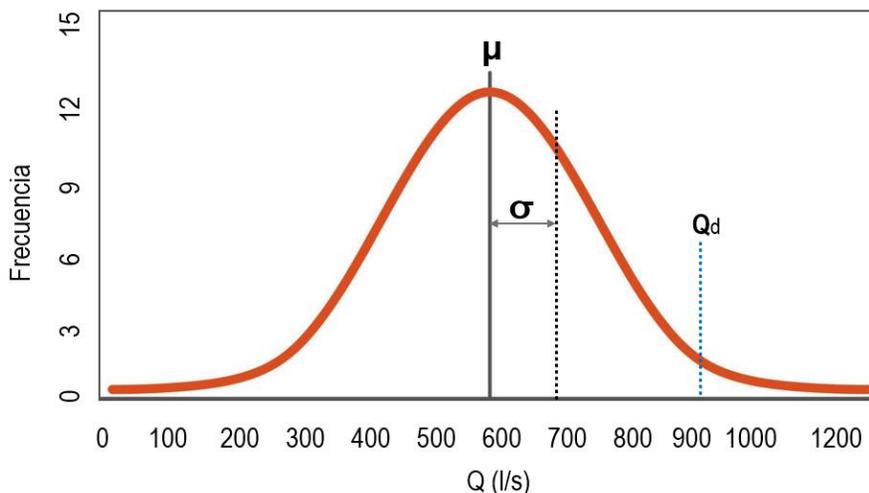
Función Estándar Normal de Distribución Acumulativa

P_q	$U(P_q)$
0.9	1.285
0.91	1.345
0.91	1.405
0.93	1.475
0.94	1.555
0.95	1.645
0.96	1.755
0.97	1.885
0.98	2.055
0.99	2.324

Fuente: Lapo (2012)

Figura 13

Aproximación según la distribución Normal



Fuente: Elaboración propia en base a (Aliod, 2010).

Determinación del caudal ficticio continuo (q_s). Según Lapo (2012), el valor a determinar para aplicar el modelo probabilístico de Clément es el caudal teórico o ficticio por hectárea de terreno que debería proporcionar en forma permanente durante el tiempo de riego. Este valor indica el caudal en el período de mayor demanda en una campaña de riego determinada, y se calcula en función de los valores promedio previstos para los cultivos:

- ✓ Si las características agronómicas de los cultivos son similares en toda la zona, el caudal ficticio o teórico continuo se calcula teniendo en cuenta los parámetros agronómicos de cada uno de los cultivos en todo el sector de riego. Este cálculo es válido para cada parcela de cultivo y para todos los ramales de la red de distribución.
- ✓ Si las características agronómicas del cultivo son iguales en toda la zona, la proporción entre el área de riego neta y la superficie total del sector de riego es aplicable a cada parcela de riego y a todas las partes de la red de distribución en estudio o evaluación.

Por turnos. De acuerdo con Apollin et al. (1998) mencionado por Lapo (2012), en los sistemas de riego presurizado con turnos, la posibilidad de ampliar el sistema es limitada y los usuarios de riego deben tener un horario fijo para recibir su caudal asignado. El caudal ficticio o teórico que se proporciona a una unidad de área de riego es constante durante toda la duración del riego, lo que significa que la duración es una variable importante en la irrigación. En la mayoría de los casos, los comités de riego o juntas de usuarios de riego tienen establecidos los derechos de reparto y el tiempo de uso del agua por sectores, los cuales están sujetos a normas de su organización. Por lo tanto, el diseño de sistemas de riego presurizado con turnos optimiza el uso del agua y evita un uso indiscriminado, a diferencia del diseño basado en la demanda. Además, la relación entre el área neta de riego y la superficie total del sector de riego es válida para cada parcela de riego y para todas las partes de la red de distribución, siempre y cuando las características agronómicas del cultivo sean idénticas en todo el sector de riego.

Para diseñar una red de distribución de riego presurizado que funcione por turnos, se necesitan ciertos insumos imprescindibles, como el caudal en los nodos, los caudales de demanda en los hidrantes, el número de hidrantes y las áreas de las parcelas a regar, que ya se han detallado en la sección anterior. Además, es necesario contar con el trazado de la red y la topografía, que se expresa mediante curvas de nivel.

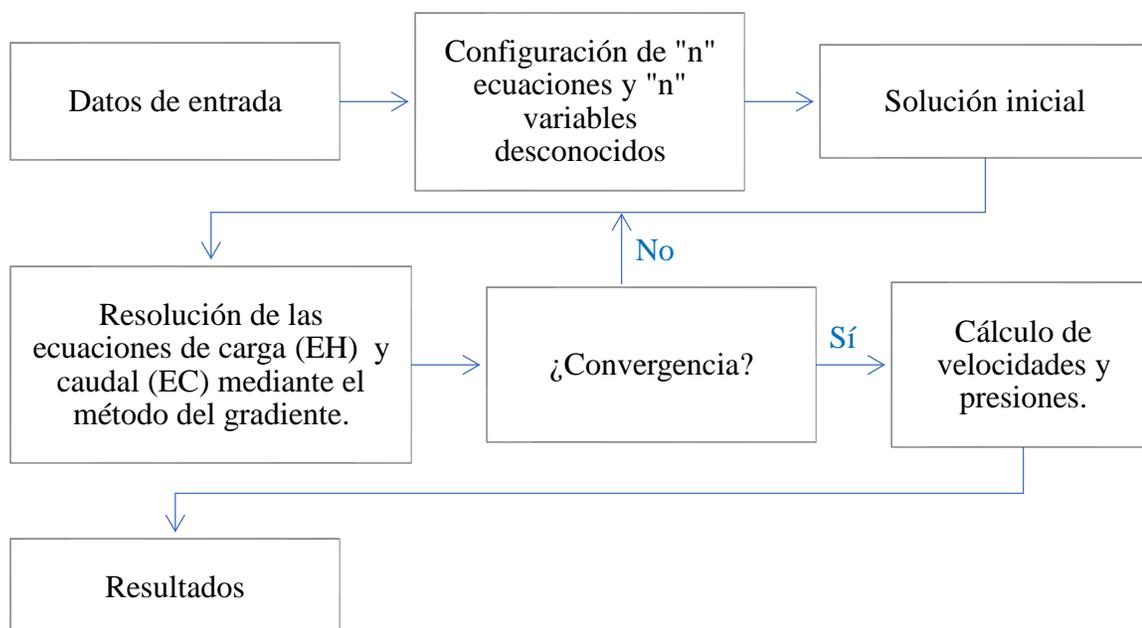
Lapo (2019) sostiene que el uso del riego a turnos permite obtener ahorros en el costo del diseño, pero al mismo tiempo restringe la flexibilidad del sistema, es decir, los agricultores deben limitarse a regar según la organización de los turnos establecidos en el momento del diseño. Esto implica una alta rigidez de uso de las redes de distribución, en otras palabras, la flexibilidad del sistema ante cambios de turnos, de dotaciones, de cultivos, etcétera, es más reducida que en los diseños a la demanda, razón por la cual se opta por el diseño de la red en periodo estático.

2.2.7. Simulación en estado estático

A partir de una entrada de datos, se tiene que definir los tramos, los diámetros de las tuberías, los materiales según cual sea el método de fricción que se utiliza Hazen-Williams o Darcy Weisbach, elevaciones en los nodos, demandas, entre otros. El programa se encarga de configurar las ecuaciones determinado cuales son las incógnitas, realizando una primera corrida o iteración resolviendo las diferentes ecuaciones, es decir, determina si hay una convergencia numérica, lo cual usualmente no lo hay, entonces vuelve a un proceso iterativo con factores de corrección o convergencia, es decir, en la siguiente iteración realiza una corrección a las hipótesis iniciales de caudal y presión, vuelve a resolver las ecuaciones formuladas hasta que el proceso iterativo llega a una convergencia matemática, entonces el software WaterGEMS, Redes y Epanet finalmente puede calcular o dar como resultado al usuario valores de velocidad, caudal, presión, entre otros.

Figura 14

Diagrama de flujo de la simulación Estado Estático

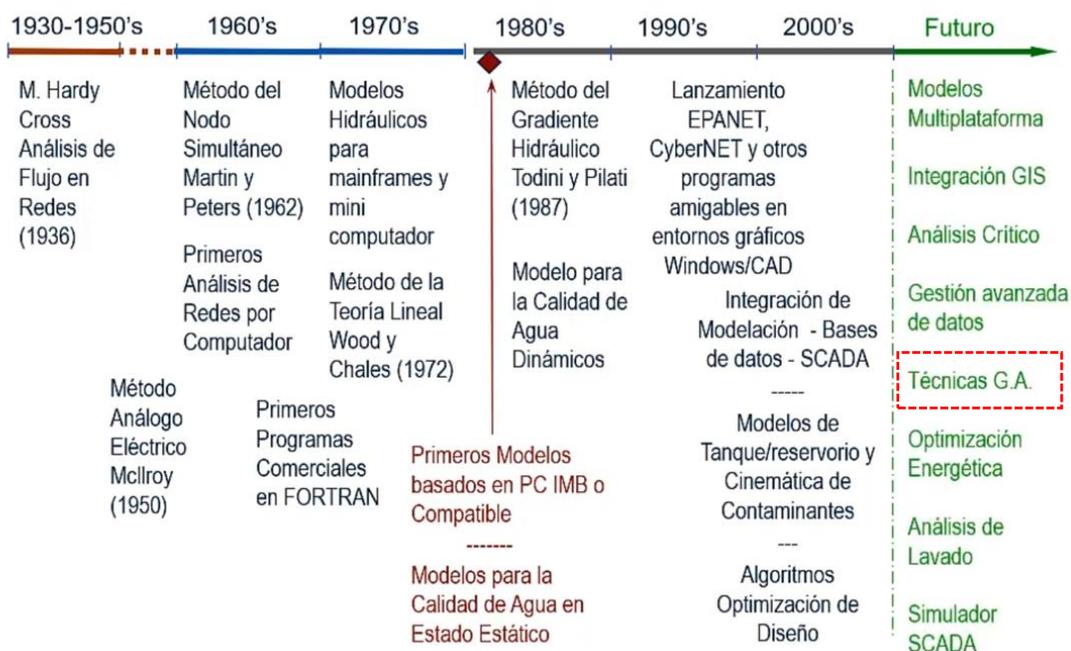


Fuente: Elaboración generado en base *Bentley OpenFlows for Water Infrastructure* (2020)

Modelación de redes de distribución a través de la historia. La modelación a través del tiempo sufrió diversas modificaciones, producto de las múltiples investigaciones. Es así que, a futuro se proyecta emplear las técnicas heurísticas de la inteligencia artificial, denominado algoritmos genéticos (G.A.) en el diseño de la red de distribución de riego tecnificado presurizado.

Figura 15

Historia de la modelación de redes de distribución



Fuente: Del libro Advanced Water Distribution Modeling and Management

Determinación de diámetros de tuberías. La determinación de los diámetros de las tuberías es la última fase en el proceso de diseño de una red de riego presurizado que opera a turnos. Esta etapa implica el cálculo de los diámetros de las distintas tuberías que conforman la red y para ello se han desarrollado diversas metodologías a lo largo del tiempo, tal como se detalló en la Figura 15. En la presente investigación dicho dimensionamiento es materia de estudio.

2.2.8. Algoritmos Genéticos (AG)

Historia. López (2018) afirma que la Inteligencia Artificial, por tanto, la computación evolutiva es el término general que engloba al conjunto de técnicas basados en los principios evolutivos naturales y de herencia genética darwinianos. Así mismo, indica que dichas técnicas, hoy en días, es de uso frecuente en aplicaciones prácticas de la industria y el comercio, debido a que la mayoría de eventos se puede explicar mediante procesos estadísticos y probabilidades.

Por otro lado, de acuerdo con Jiménez (2004), las técnicas darwinianas, también conocidas como heurísticas, surgieron en la década de 1930. La idea de utilizar la computadora para automatizar la solución de problemas complejos comenzó en la década de 1950. En 1948, Alan Turing propuso la "búsqueda de la evolución genética" y en 1962, Bremer Mann investigó la "optimización de la evolución y la recombinación".

La idea primitiva de la computadora evolutiva es la de simular la evolución natural, en la cual la certeza y calidad de los individuos se genera a través de la función objetivo, los denominados individuos son soluciones altamente complejas realizados al azar y se evalúa mediante el criterio de que sean capaces de sobrevivir, reproducir y dejar una descendencia, cuyos procesos son iterativos hasta cumplir las condiciones de finalización. Además, la importancia de emplear la computación radica en que tiene la capacidad de resolver problemas donde el universo de búsqueda sea extenso o tenga demasiadas soluciones óptimas locales.

Producto de los eventos naturales que sucede en el proceso evolución, la computación evolutiva no solo se limitó en los principios de genética y evolución, sino se enriquece de otras técnicas que utiliza los sucesos de la naturaleza para optimizar las funciones importantes en su desarrollo o supervivencia, en base a ello se generó los nuevos modelos, tales como:

- ✓ Genetic algorithm (GA). *Algoritmo genético.*

- ✓ Particle swarm optimization (PSO). *Optimización de enjambre de partículas.*
- ✓ Ant colony optimization (ACO). *Optimización de colonia de hormigas.*
- ✓ Shuffled frog leaping algorithm (SFLA). *Algoritmo del salto de la rana.*
- ✓ Differential evolution algorithm (DEA). *Algoritmo de evolución diferencial.*

Definición. De acuerdo con López (2018) y Jiménez (2004), los algoritmos genéticos (AG) son métodos de búsqueda heurística basados en los principios de selección y genética natural que se aplican en los organismos vivos. Estos algoritmos representan una forma inteligente y sofisticada de búsqueda aleatoria, utilizada principalmente para resolver problemas de optimización. La población evoluciona a lo largo del tiempo siguiendo los principios fundamentales de la selección natural y la supervivencia del individuo que mejor se adapta al medio, tal y como lo describió Charles Darwin en su libro "El origen de las especies". Los AG se pueden utilizar para resolver problemas del mundo real siempre y cuando se hayan codificado de manera correcta. Los principios fundamentales de la genética algorítmica, por los que se considera a John Henry Holland como el padre de los algoritmos genéticos, fueron establecidos en 1975.

En el proceso de generación de soluciones mediante algoritmos evolutivos, se utiliza una población de cadenas de caracteres que se asemejan a los cromosomas humanos. Cada individuo en la población representa una solución potencial en el espacio de búsqueda. A través de un proceso evolutivo, los individuos de la población se someten a cambios y mutaciones. En este contexto, una población se refiere a una colección de soluciones candidatas para el modelo en cuestión. A pesar que los algoritmos genéticos no manejan directamente restricciones, estas pueden ser simuladas al incluir términos de penalización en la función de optimización para tener en cuenta restricciones normativas y económicas. Esto significa que, en algunas generaciones, algunos individuos pueden violar estas restricciones, pero la función de optimización será muy alta

para aquellos individuos con violaciones. Con el tiempo, la gran mayoría de los individuos se mantendrá dentro del espacio factible de solución del problema después de un cierto número de iteraciones (López, 2018).

En algunas situaciones, puede ser suficiente utilizar un algoritmo genético simple, como el descrito por Goldberg (1989), el cual se basa en la selección de individuos a través de una rutina aleatoria. La probabilidad de que un individuo sea seleccionado es inversamente proporcional al valor de la función a optimizar. La primera generación de individuos se genera mediante un proceso aleatorio. Sin embargo, si se adopta este enfoque, se requerirán dos operadores adicionales: uno para reducir el error estocástico asociado a la rutina de selección aleatoria, y otro para asegurar que el algoritmo no se atasque en un mínimo local después de iniciado el proceso.

En términos generales, un conjunto de individuos denominado población se encuentra en un espacio de búsqueda y cada uno de ellos tiene la misma probabilidad de ser una posible solución para el problema en cuestión. Cada individuo se representa como un vector finito de variables o componentes, que suelen ser codificados utilizando un alfabeto binario como $\{0,1\}$. Usando la analogía genética de cromosomas y genes, se asume que un cromosoma (solución) está compuesto por varios genes. A medida que se generan nuevas generaciones de soluciones, en promedio contienen mejores genes que las soluciones de la generación anterior. Cada generación posterior tiene mejores soluciones que las generaciones anteriores. Cuando la población ha convergido y ya no produce soluciones significativamente diferentes en comparación con las generaciones anteriores, se dice que el algoritmo ha generado un conjunto de soluciones para el problema. Es importante destacar que los algoritmos genéticos no manejan restricciones, pero se pueden incorporar términos de penalización para minimizar las violaciones (López 2018, pág. 32).

Después de que una población inicial se genera aleatoriamente, el algoritmo evoluciona mediante tres operadores, las cuales se entiende como funciones (López 2018, pág. 33):

- ✓ *Selección.* Lo que equivale a la supervivencia de los más aptos.
- ✓ *Cruza.* Que representa el cruce entre especies o individuos.
- ✓ *Mutación.* Que introduce modificaciones aleatorias para mantener la diversidad.

Selección. Jiménez (2004) describe matemáticamente de la siguiente manera.

Si consideramos una población de tamaño N en una generación o iteración t de un algoritmo genético (AG), y existe un conjunto de k representantes del grupo H y que f_1, f_2, \dots, f_k son los valores de la función de aptitud o adaptación para los k individuos, entonces la técnica de selección de ruleta puede utilizarse para seleccionar aleatoriamente un individuo de la población. En este caso, la probabilidad de que el individuo seleccionado sea el i -ésimo representante del grupo H puede ser calculada:

$$p_i = \frac{f_i}{\sum_{j=1}^N f_j}$$

Luego, la probabilidad de seleccionar, considerando cada selección como un evento independiente, un representante del grupo H estaría expresado por:

$$p_H = \frac{f_1}{\sum_{j=1}^N f_j} + \frac{f_2}{\sum_{j=1}^N f_j} + \dots + \frac{f_k}{\sum_{j=1}^N f_j} = \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_k}{\sum_{j=1}^N f_j}$$

sea $\bar{f}(H)$ la función de adaptación promedio de los individuos que pertenecen al grupo H , y $m(H,t)$ al número de representantes del grupo en la población de la generación t (es decir, $m(H,t) = k$), entonces podemos representar la función como sigue:

$$\bar{f}(H) = \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_k}{m(H,t)} \quad \text{y} \quad f_1 + f_2 + \dots + f_k = \bar{f}(H)m(H,t)$$

Entonces se tiene la siguiente ecuación compacta:

$$p_H = m(H, t) \frac{\bar{f}(H)}{\sum_{j=1}^N f_j}$$

Esta fórmula indica la probabilidad de seleccionar un individuo que pertenezca al grupo H en una población en la generación o repetición t .

$$\bar{f} = \frac{\sum_{j=1}^N f_j}{N}$$

Si se selecciona N individuos de la población de generación t , entonces para la generación $t+1$, el valor esperado de individuos seleccionados del grupo H sería:

$$m(H, t + sel) = Nm(H, t) \frac{\bar{f}(H)}{\sum_{j=1}^N f_j} = m(H, t) \frac{\bar{f}(H)}{\bar{f}}$$

Cruza. De acuerdo con Jiménez (2004) y Mora (2012), la función de cruce en un algoritmo genético es el proceso aleatorio de seleccionar ciertas cadenas de la población intermedia y aplicarles el operador de cruce con una probabilidad determinada. Al considerar el grupo H de cadenas, algunas de ellas se cruzarán con otras y dejarán de ser seleccionadas para el cruce, mientras que otras cadenas que originalmente no pertenecían al grupo H podrían ser seleccionadas y generar nuevas cadenas de H. Por lo tanto, el valor esperado de cadenas representativas de H que no se seleccionan para el cruce es un resultado relevante es:

$$(1 - p_c) m(H, t) \frac{\bar{f}(H)}{\bar{f}}$$

Sea p_r la probabilidad de que el esquema H se rompa. El número esperado de cadenas que representan a H y que permanecen en el esquema después de la aplicación del operador de cruce se puede calcular de la siguiente manera:

$$p_c \left(m(H, t) \frac{\bar{f}(H)}{\bar{f}} (1 - p_r) \right)$$

Sin embargo, a la ecuación anterior se tiene que hacer una corrección, de modo tal que se considere las cadenas que preliminarmente estaban fuera del grupo o esquema, luego cruzarlas para obtener y obtener representaste de dicha cadena. Representamos a G como el número de cadenas adquiridas por el grupo o esquema H a través del proceso descrito, reformulando la ecuación anterior se tiene lo siguiente:

$$p_c \left(m(H, t) \frac{\bar{f}(H)}{\bar{f}} (1 - p_r) + G \right)$$

Entonces el número de individuos o representantes del grupo H, habiendo se aplicado los operadores genéticos selección y cruce es:

$$m(H, t + sel + cru) = (1 - p_c) m(H, t) \frac{\bar{f}(H)}{\bar{f}} + p_c \left(m(H, t) \frac{\bar{f}(H)}{\bar{f}} (1 - p_r) + G \right)$$

Si se excluye G :

$$m(H, t + sel + cru) \geq (1 - p_c) m(H, t) \frac{\bar{f}(H)}{\bar{f}} + p_c \left(m(H, t) \frac{\bar{f}(H)}{\bar{f}} (1 - p_r) \right)$$

Factorizando:

$$m(H, t + sel + cru) \geq m(H, t) \frac{\bar{f}(H)}{\bar{f}} ((1 - p_c) + p_c (1 - p_r))$$

Es decir:

$$m(H, t + sel + cru) \geq m(H, t) \frac{\bar{f}(H)}{\bar{f}} (1 - p_c p_r)$$

La técnica de "corte en un punto" implica que las cadenas se separan en un solo punto, de modo que un esquema se rompe cuando la cadena que lo representa se corta en algún lugar entre los bits fijos del grupo, es decir, en cualquier punto dentro de los límites definidos por $\delta(H)$.

Se puede afirmar que, en una cadena con una longitud de l , hay $l-1$ posibles puntos de corte. Por lo tanto, la probabilidad de que el esquema o grupo H sea roto con un solo corte es:

$$p_r \leq \frac{\delta(H)}{l-1}$$

El símbolo \leq se debe a que puede ocurrir que al cruzarse dos instancias de un esquema se generen, nuevamente, instancias de dicho esquema.

Mutación. Jiménez (2004) y Mora (2012) explican que la mutación se utiliza en la población intermedia que ha sido sometida a los operadores de cruce y reproducción. La mutación se aplica con una probabilidad p_m y tiene la capacidad de invertir un bit. Si se desea que una cadena específica del esquema H se mantenga sin cambios después de la mutación, entonces ninguno de los bits de ese esquema debe ser invertido. La probabilidad de que un bit no se invierta durante la mutación es de $1-p_m$. Por lo tanto, considerando que el evento es independiente, la probabilidad de que ninguno de los bits definidos se invierta será:

$$\mu(p_m) = (1 - p_m)^{\delta(H)} \quad (y)$$

Incorporando a la ecuación anterior la penúltima expresión de cruce se tiene:

$$m(H, t + 1) \geq m(H, t) \frac{\bar{f}(H)}{\bar{f}} (1 - p_c p_r) (1 - p_m)^{\delta(H)}$$

La expresión es comúnmente conocida como el teorema del esquema, y ha sido presentada de diferentes maneras por varios autores. Goldberg (11), como se cita en Jiménez (2004), sugiere una simplificación al desarrollar la ecuación (y) en una serie de Maclaurin, dado que en general p_m es un valor muy pequeño.

$$\mu'(p_m) = \frac{d(1-p_m)^{\delta(H)}}{dp_m} = -\delta(H)(1-p_m)^{\delta(H)-1}$$

De donde: $\mu(0) = 1$ y $\mu'(0) = -\delta(H)$

Por lo tanto:

$$\mu(p_m) = (1-p_m)^{\delta(H)} = 1 - \delta(H)p_m$$

Realizando la correspondiente suma se tiene:

$$\begin{aligned} m(H, t+1) &\geq m(H, t) \frac{\bar{f}(H)}{\bar{f}} (1 - p_c p_r) (1 - \delta(H) p_m) \\ &= m(H, t) \frac{\bar{f}(H)}{\bar{f}} (1 - p_c p_r - \delta(H) p_m + \delta(H) p_m p_c p_r) \\ &\geq m(H, t) \frac{\bar{f}(H)}{\bar{f}} (1 - p_c p_r - \delta(H) p_m) \end{aligned}$$

Finalmente, Goldberg (1989) citada por Jiménez (2004) escribe:

$$m(H, t+1) \geq m(H, t) \frac{\bar{f}(H)}{\bar{f}} (1 - p_c p_r - \delta(H) p_m)$$

Expresando en términos de probabilidad se tiene la siguiente expresión.

$$p(H, t+1) \geq p(H, t) \frac{\bar{f}(H)}{\bar{f}} (1 - p_c p_r) (1 - p_m)^{\delta(H)}$$

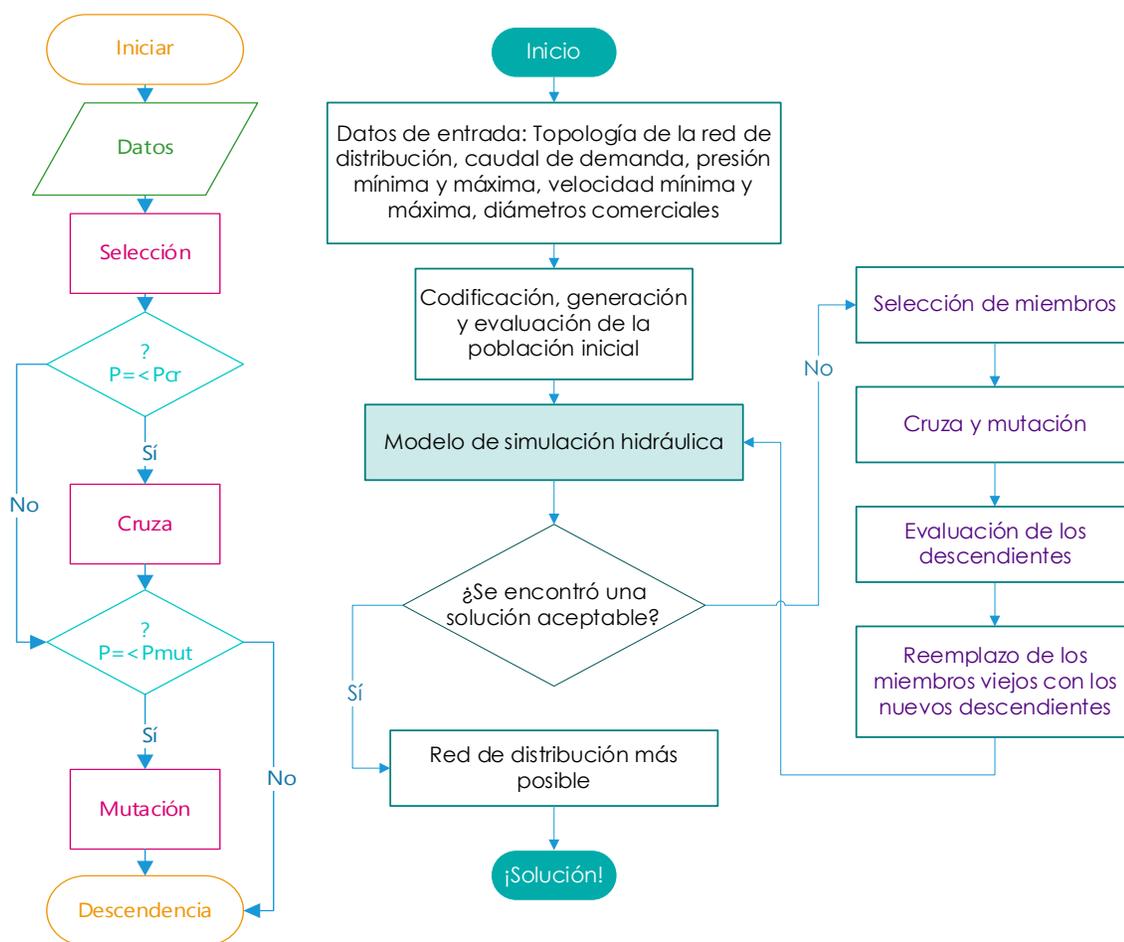
La figura siguiente muestra el proceso probabilístico de reproducción, el esquema de selección, el proceso de cruce y el proceso de mutación que forman parte de los algoritmos genéticos, los cuales tienen como objetivo encontrar máximos y/o mínimos locales, es decir, buscar la solución óptima de un problema determinado.

$$fa = \frac{1}{C_i + \Delta PC_p + \Delta VC_p}$$

Donde: fa es la función objetivo o fitness, C_i es el costo de las tuberías, ΔPC y ΔVC es el costo de penalización de las presiones y velocidades.

Figura 16

Esquema probabilístico de los operadores genéticos



Fuente: Elaboración propia

Función objetivo de costo. Según lo mencionado por Saldarriaga (2004), el costo total de una red de distribución se compone del costo de las tuberías, que varía en función del diámetro, y del costo de su instalación. Esta relación puede ser representada matemáticamente de la siguiente forma:

$$C = \sum_{i=1}^{NT} k.L_i.D_i^x$$

Donde,

C: Es el costo total de la red de distribución (S/).

Li: Es la longitud de la tubería en función al diámetro (m).

Di: Es el diámetro de la tubería en específico (m).

K: Es una constante adimensional.

X: Es una constante adimensional

NT: Es el número de las tuberías en la red de distribución.

En consecuencia, de acuerdo a Saldarriaga (2019) los algoritmos genéticos buscan a través del espacio de soluciones los mejores individuos que representan posibles soluciones al problema. La aplicación de estos algoritmos en el contexto de las redes de distribución de agua ha demostrado que, después de un número adecuado de generaciones, se puede encontrar una solución con un costo relativamente bajo.

2.2.9. *WaterGEMS 2022*

Según De la Cruz (2020), el software WaterGEMS, desarrollado por la empresa estadounidense Bentley, tiene como objetivo el modelado y diseño de redes de distribución y conducción de fluidos a presión en régimen estático y extendido. Además de esto, proporciona la posibilidad de evaluar la calidad del agua, los costos energéticos, y la optimización y calibración del modelo. En el presente trabajo, se pretende utilizar la herramienta Darwin Designer del

software WaterGEMS para optimizar el diseño hidráulico de la red de distribución de riego tecnificado presurizado.

Así mismo, Villegas (2017) explica que el método de análisis hidráulico utilizado se basa en la metodología del gradiente hidráulico. Por otro lado, el software waterGEMS cuenta con la herramienta Darwin Designer, que utiliza algoritmos genéticos (AG) para realizar diseños optimizados de redes de agua. Esta herramienta permite evaluar diferentes objetivos como costo mínimo, máximo beneficio, análisis multiobjetivo y rendimiento hidráulico. Además, tiene la opción de calibración hidráulica mediante la herramienta Darwin Calibrator, que también se basa en algoritmos genéticos y permite gestionar diferentes situaciones a partir de los datos de campo.

Figura 17

Gráfico de calibración en Periodo de Servicio Extendido



Fuente: Bentley Open Flows for Water Infrastructure

El waterGEMS tiene la gran ventaja de interactuar mediante los diversos softwares como AutoCAD, ArcGIS, MicroStation, Stand Alone. Por tanto, para importar archivos de dichos softwares trae consigo herramientas como LodBuilder, Trex, ModelBuilder.

Figura 18

Herramientas para la construcción de modelos



Fuente: Bentley Open Flows for Water Infrastructure

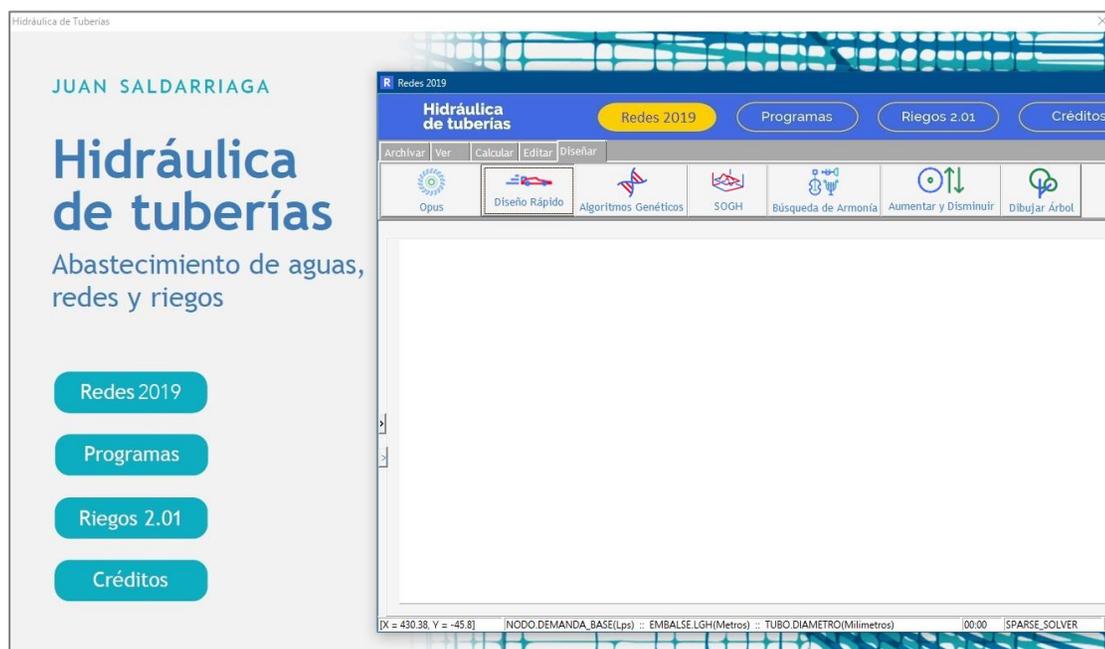
En la presente investigación, la versión de waterGEMS utilizado fue CONNECT Edition Update 3 (2022).

2.2.10. Redes 2019

De acuerdo a Saldarriaga (2019) es un software comercial elaborado por el ingeniero Juan Saldarriaga en el Centro de investigaciones en Acueductos y Alcantarrillados del departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la universidad de los Andes en Bogotá, Colombia, cuyo motor de cálculo es el método del gradiente hidráulico y su función principal es simular tuberías a presión. Este programa permite realizar diseños optimizados de redes de distribución agua potable y con fines de riego a través de los siguientes métodos: Algoritmos Genéticos (AG), Superficie Óptima de Gradiente Hidráulico (SOGH), Programación por Restricciones (PR), Búsqueda de Armonía (BA) y Algoritmos de Optimización Combinatoria (AOC), los cuales fueron configurados en base a los principios de la Inteligencia Artificial.

Figura 19

Entorno de trabajo del software Redes 2019



Fuente: Elaboración propia generado en base a Redes 2019

Características. La ecuación que utiliza es Darcy-Weisbach y Hazen – Williams; así mismo el método de cálculo es el Método del Gradiente; los elementos de redes de distribución son: Embalse o fuente de agua, tanques o reservorio, nudos, tuberías, válvulas, emisores o hidrantes y bombas. El sistema utilizado por defecto es el Sistema Internacional. También, el software permite realizar cálculo hidráulico estático y en periodo extendido. En todas las metodologías de diseño el software utiliza la función costos, las cuales contienen los costos de las tuberías, accesorios y costos de instalación Saldarriaga (2019).

En la presente investigación, la versión del software Redes utilizado fue (2019).

2.2.11. Epanet Brasil 2.0

Es un software gratuito elaborado en el Laboratorio de Eficiencia Energética e Hidráulica en Saneamiento (LENHS) de UFPB en Brasil, realiza el cálculo hidráulico estático y en periodo extendido en redes de distribución presurizado, además, mediante la herramienta Lenhsnet realiza diseño optimizado empleando los algoritmos genéticos, mediante el Método del Gradiente Hidráulico.

Características. El número de tubería a modelar es ilimitado, permite realizar calidad del agua, las ecuaciones de pérdida utilizadas son Hazen – Williams, Darcy – Weisbach y Chézy – Manning; presenta resultados a través de la pantalla, las tablas, gráficos y archivos de texto, con excelentes resultados a nivel de confiabilidad y efectividad Saldarriaga (2019).

En la presente investigación, la versión del software Epanet Brasil utilizado fue (2020).

2.2.12. Análisis de riesgos en la fase de diseño utilizando la guía PMBOK

El riesgo (R). El riesgo de un proyecto se refiere a una situación o circunstancia de carácter impredecible que, al ocurrir, genera un impacto desfavorable en uno o más de los propósitos del proyecto, como el alcance, el tiempo, el costo y la calidad. Un riesgo puede tener una o varias causas y, si se materializa, genera uno o más efectos (PMBOK, 2021)

Usualmente, el riesgo se presenta como una mezcla de la probabilidad de que ocurra un suceso (P) y las implicaciones de su efecto (I).

$$R (\text{Riesgo}) = \text{Probabilidad}(P) \times \text{Impacto}(I)$$

Análisis cualitativo de los riesgos. Un Análisis Cualitativo implica principalmente una evaluación subjetiva de los riesgos. Debe ser realizado por individuos familiarizados con las actividades en riesgo. El objetivo es reducir la incertidumbre y enfocarse en los riesgos de mayor prioridad. Se utilizan dos indicadores: la Probabilidad de ocurrencia (P) y la Magnitud del impacto (I). Los riesgos con una alta probabilidad y ocurrencia se derivan hacia los procesos siguientes, con el fin de establecer un plan de contingencia. Es esencial evaluar los impactos en términos de costo, alcance, plazo y calidad del proyecto. La probabilidad de ocurrencia se califica en una escala del 0.10 al 0.90. La magnitud del impacto se valora en una escala del 0.05 al 0.80.

Análisis cuantitativo de los riesgos. Implica asignar un valor numérico al impacto económico de los riesgos en el proyecto.

Costo Bruto (CB). Se refiere al costo completo en el caso de que el riesgo se materialice al 100% y cause un daño total a una partida específica, sin la implementación de ninguna medida preventiva.

Costo del riesgo (CR). Es el costo anticipado en caso de que el riesgo ocurra, considerando su probabilidad de ocurrencia y el nivel de impacto. Se determina multiplicando el costo bruto por el valor del nivel de riesgo.

$$\text{Costo del riesgo}(CR) = \text{Costo bruto}(CB) \times \text{Riesgo}(R)$$

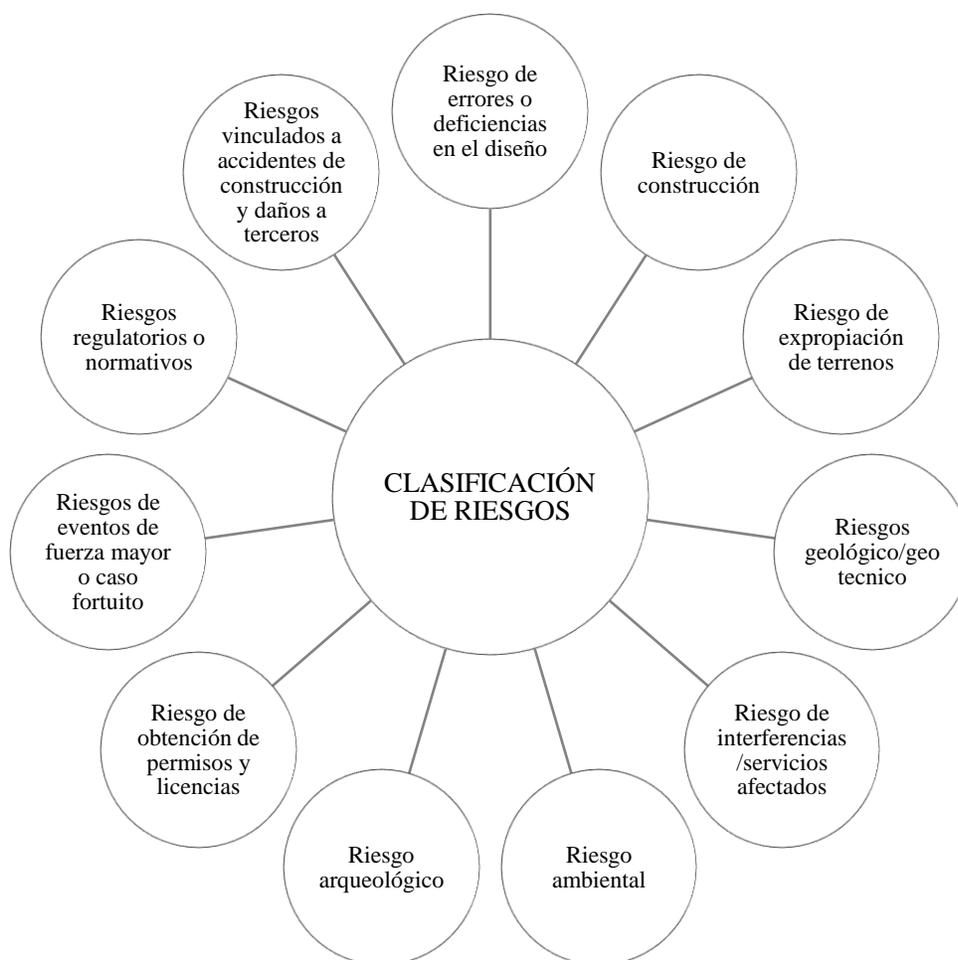
Identificado los riesgos se procede a planificar sus correspondientes respuestas. En la medida posible se mitiga, es decir, se genera acciones que permitan disminuir la probabilidad de ocurrencia; se evita, consiste en eliminar las causas que generen el riesgo; se acepta, supone reconocer el riesgo y preparar las respuestas cuando esto se materializa; o se transfiere a un tercero, quien está en mejores condiciones de afrontar dicho riesgo, por ejemplo, contratar un seguro contra todos riesgos.

La guía del PMBOK (2021) es un sistema metodológico para la dirección de proyectos que es parte del Project Management Institute, entre otros, indica que existen dos etapas bien marcadas en el análisis de riesgos, la primera sucede durante la elaboración del expediente técnico de obra, en el cual se determinan los posibles riesgos; la segunda sucede durante la ejecución de la obra, es en esta etapa donde realiza el monitoreo e implementación de los planes de contingencia propuestas previamente.

Por otro lado, el Organismo Supervisor de las Contrataciones del estado (OSCE) mediante la directiva N°012-2017-OSCE/CD realizó la clasificación de riesgos en la gestión de obras, en materia específica de la elaboración del expediente técnico de obra, mediante los procesos de identificar, analizar, planificar la respuesta y asignar el riesgo.

Figura 20

Riesgos que se identifican al elaborar el Expediente Técnico de Obra



Fuente: Elaboración propia generado en base a la directiva del OSCE

Debido a que la presente investigación está orientada al diseño hidráulico de la red de distribución tecnificado presurizado, el análisis de riesgos se realizó considerando principalmente la etapa de diseño, lo cual corresponde a la etapa de planificación según la guía del PMBOK y a la etapa de ejecución del presupuesto de acuerdo al INVIERTE.PE. Para tales fines, se hizo uso de los formatos de la directiva del OSCE.

Figura 21

Matriz de probabilidad e impacto de riesgos

		Amenazas					Oportunidades						
Probabilidad	Muy alta 0,90	0,05	0,09	0,18	0,36	0,72	0,72	0,36	0,18	0,09	0,05	Muy alta 0,90	
	Alta 0,70	0,04	0,07	0,14	0,28	0,56	0,56	0,28	0,14	0,07	0,04	Alta 0,70	
	Mediana 0,50	0,03	0,05	0,10	0,20	0,40	0,40	0,20	0,10	0,05	0,03	Mediana 0,50	
	Baja 0,30	0,02	0,03	0,06	0,12	0,24	0,24	0,12	0,06	0,03	0,02	Baja 0,30	
	Muy baja 0,10	0,01	0,01	0,02	0,04	0,08	0,08	0,04	0,02	0,01	0,01	Muy baja 0,10	
		Muy bajo 0,05	Bajo 0,10	Moderado 0,20	Alto 0,40	Muy alto 0,80	Muy alto 0,80	Alto 0,40	Moderado 0,20	Bajo 0,10	Muy bajo 0,05		
Impacto negativo						Impacto positivo							

Fuente: Guía PMBOK (2017)

Figura 22

Matriz de escalas de impacto según el objetivo del proyecto

		VALORACION DEL IMPACTO EN LA OBRA				
		Muy bajo 0.05	Bajo 0.10	Moderado 0.20	Alto 0.40	Muy alto 0.80
OBJETIVO DEL PROYECTO AFECTADO	Costo	Aumento del costo insignificante	Aumento del costo < 10%	Aumento del costo del 10 - 20%	Aumento del costo del 20 - 40%	Aumento del costo > 40%
	Plazo	Aumento del tiempo (plazo) insignificante	Aumento del tiempo < 5%	Aumento del tiempo del 5 - 10%	Aumento del tiempo del 10 - 20%	Aumento del tiempo > 20%
	Alcance	Disminución del alcance apenas perceptible	Áreas o metas secundarias del alcance afectadas	Áreas o metas principales del alcance afectadas	Reducción del alcance inaceptable para el patrocinador (Entidad)	El elemento final del proyecto es efectivamente inservible
	Calidad	Degradación de la calidad apenas perceptible	Sólo se ven afectadas las aplicaciones (partidas) muy exigentes	La reducción de la calidad requiere la aprobación del patrocinador (Entidad)	Reducción de la calidad inaceptable para el patrocinador (Entidad)	El elemento final del proyecto es efectivamente inservible

Fuente: Generado en base a la guía PMBOK (2017)

2.2.13. Calibración de modelos hidráulicos

La calibración consiste en realizar la comparación de datos extraídos en campo versus los modelos realizados en gabinete, realizando los ajustes de la gradiente hidráulica y caudales. El propósito de la calibración de una red de distribución de agua es lograr un modelo hidráulico preciso que refleje adecuadamente el sistema real. Por ejemplo, si se cuenta con un modelo calibrado, resulta sencillo evaluar los efectos de posibles incrementos en la demanda sobre la hidráulica de la red existente. Esto permite identificar áreas problemáticas, como aquellas con presiones cercanas o inferiores al mínimo requerido, o tuberías con velocidades excesivamente altas Saldarriaga (2019).

Metodologías para calibración de modelos hidráulicos. Existen diferentes enfoques para llevar a cabo la calibración de modelos hidráulicos. A continuación, se presentan algunas metodologías utilizadas:

- ✓ **Calibración manual:** Esta metodología implica realizar modificaciones manuales en los parámetros del modelo hidráulico para que los resultados simulados se acerquen a los datos observados. Consume demasiado tiempo por tratarse de ensayo de prueba y error, además de requerir de conocimiento experto y experiencia en el sistema para tomar decisiones acertadas.
- ✓ **Calibración automática basada en datos:** Se utiliza un conjunto de datos de calibración, que consiste en mediciones reales de presiones, caudales, gradiente hidráulico, etc. El software de calibración automática compara los datos observados con los resultados simulados y ajusta automáticamente los parámetros para obtener una mejor concordancia.

- ✓ **Algoritmos de optimización:** Se utilizan algoritmos matemáticos para encontrar la combinación óptima de parámetros que minimicen la diferencia entre los valores simulados y los datos medidos. Estos algoritmos buscan de forma automatizada la solución que mejor se ajuste al sistema real, por ejemplo, las técnicas de la inteligencia artificial usando algoritmos genéticos. En la presente investigación se realizó dicho método mediante la herramienta “*Darwin Calibrator*” del software WaterGEMS 2022.

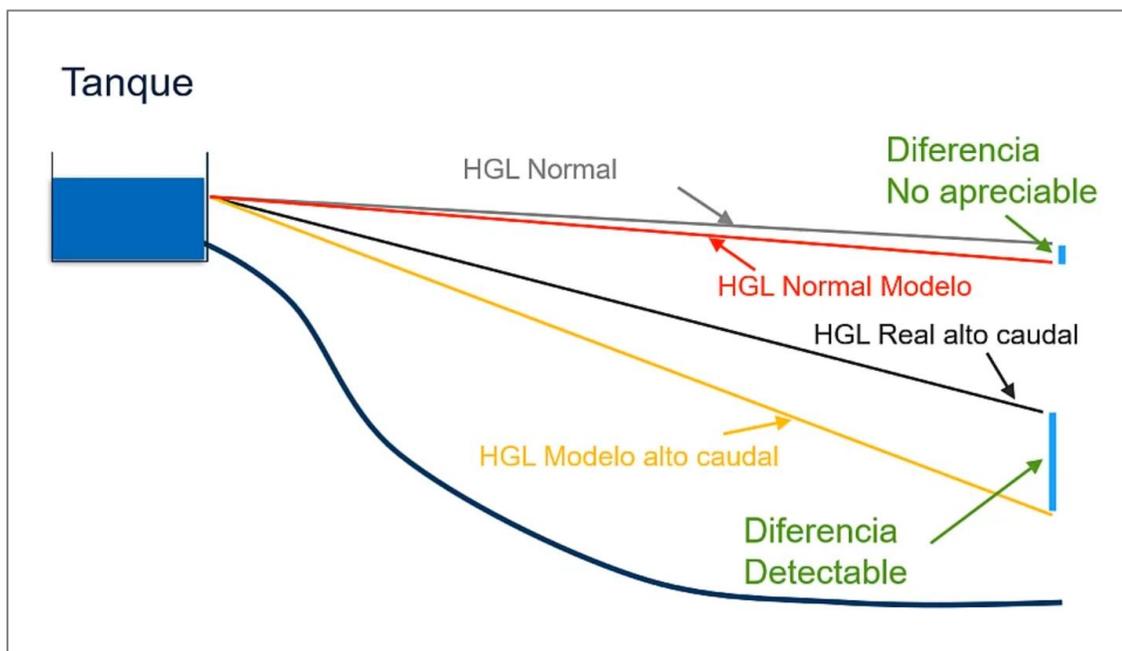
Criterios aceptables de calibración. Se refieren a los criterios o estándares establecidos para determinar la precisión de las características hidráulicas de un modelo hidráulico calibrado. De acuerdo a *American Water Works Association (2020)* mediante *Committee Report: Defining model calibration y Procedure for Hydraulic Model Calibration* definen los siguientes niveles aceptables de calibración para las características hidráulicas.

- ✓ **Criterios de caudal.** Tratándose de redes primarias cuyo caudal sea mayor que el 10% de la demanda total del sector o turno, el valor simulado debe guardar una diferencia de $\pm 5\%$ con los valores de caudal medidos en campo. Sin embargo, si fueran de redes secundarias cuyo caudal sea menor que el 10% de la demanda total del sector o turno, el valor simulado debe guardar una diferencia de $\pm 10\%$ con los valores de caudal medidos en campo.
- ✓ **Criterios de presión.** Si se decide medir el 85% de las presiones en campo deben estar entre $\pm 0.5m$ o $\pm 5\%$ de la máxima pérdida de carga del sector o turno, entre estas dos se tomará el mayor valor. Por otro lado, se decide medir el 95% de las presiones en campo deben estar entre $\pm 0.75m$ o $\pm 7.5\%$ de la máxima pérdida de carga del sector o turno, entre estas dos se tomará el mayor valor. Pero, si el caso fuera medir el 100% de

las presiones en campo deben estar entre $\pm 2.0\text{m}$ o $\pm 15.0\%$ de la máxima pérdida de carga del sector o turno, entre estas dos se tomará el mayor valor.

Figura 23

Magnitud de pérdidas de carga en los registros de caudales altos



Fuente: Canal de YouTube de Bentley OpenFlows for Water Infrastructure (2020)

Los parámetros a ajustar en la calibración son la rugosidad de las tuberías, demanda de caudales y estados de las válvulas. En la presente investigación se ajustará solo la rugosidad de las tuberías y las demandas en los hidrantes debido a que la red de distribución de riego tecnificado del subproyecto Villa Sol turno 2 solo contiene válvulas en la cámara de derivación CD-2.

En el proceso de calibración del modelo se ha modificado la rugosidad de Hazen – Williams de tal manera que genere la pérdida de carga suficiente para que la presión resultante se aproxime a lo que se ha registrado en campo, en el presente estudio se aproxime a las presiones del estudio similar Cariyacu – Ecuador.

2.3. Bases Conceptuales o Definición de Términos Básicos

Para definir los elementos que forman parte de las redes de riego presurizadas, mencionamos (Lapo, 2012):

Altura piezométrica. Se define como la sumatoria de la altura de terreno y presión.

Altura total. Es la energía total que consiste en la suma de la altura de terreno o topográfica, altura de presión y la altura cinética.

Energía total disponible. Es la diferencia de cotas entre los niveles de agua del reservorio ubicado aguas arriba y del reservorio ubicado aguas abajo.

Altura geométrica de elevación. Se define como el desnivel entre las cotas del nivel de agua del reservorio ubicado aguas arriba y de la fuente de impulsión ubicado aguas debajo.

Altura total de elevación de una bomba. Es la energía total incrementada del flujo de agua por efecto de la presencia de una bomba.

La topología de una red está definida por la configuración de las conexiones entre las tuberías y los nudos, estudiaremos a continuación estos elementos constituyentes (Pérez, 1993).

Línea. Es la tubería que conduce caudal constante y no tiene ramificaciones.

Tubería. Es parte de la línea con características físicas constantes de material y diámetro.

Nodo. Es un elemento de la red localizado en el extremo final de la línea o en las intersecciones de dos o más líneas.

Grado de conectividad. Es una característica de la red, matemáticamente se define como el número de líneas conectadas directamente al nodo menos la unidad.

Trayecto. Son líneas que se conectan entre sí, sin formar ramificaciones.

Malla. Es un trayecto cerrado, cuyo inicio y final recae en el mismo nodo.

Redes de distribución. Es el conjunto de elementos, nodos y líneas, que se conectan entre sí con la finalidad de conducir agua hacia los hidrantes de riego desde la fuente, captación, reservorio o pozos tubulares, etc.

Validación. La validación es una demostración de que un modelo, dentro de un dominio de aplicación específico, tiene una precisión predictiva aceptable en ese dominio.

Simulación. Simulación es el acto de ejecutar un modelo y obtener resultados sobre las variables de interés. La simulación es la aplicación del modelo al tema de interés.

Sistema. Un sistema es un conjunto de componentes interrelacionados que poseen un límite y funcionan como una unidad.

Modelo. Un modelo es una representación simplificada de un sistema. En un modelo matemático la representación se hace usando una ecuación o conjunto de ecuaciones.

Modelación. Modelación es el proceso de construir o desarrollar un modelo para reunir las funciones que describen los componentes del modelo resultante.

III. METODOLOGÍA

3.1. **Ámbito**

El universo de la investigación está constituido por todas las redes de distribución de riego tecnificado presurizado a turnos y demanda, lo cual constituye al tipo de redes abiertas, ramificadas y mixta. Por otro lado, la muestra objeto de aplicación del estudio o unidad de estudio son las redes de distribución de riego tecnificado presurizado a turnos del centro poblado de Villa Sol, Chinchao, Huánuco, debido a que es conocido de manera integral por el tesista a consecuencia de haber participado en la ejecución de dichas redes de distribución en su calidad de practicante.

3.1.1. *Caracterización del Sub Proyecto Villa Sol-Chinchao-Huánuco*

El presente sub proyecto es parte del proyecto “Mejoramiento y ampliación del servicio de agua del sistema de riego tecnificado en las localidades de Quinta Praga, Cochas Chico, Villa Sol, distrito de Chinchao, provincia de Huánuco – región Huánuco”, cuya fuente de abastecimiento de agua es la captación de la quebrada Sogobamba con reservorio de regulación de 2500m³ ubicado en la cota más alta de la red de distribución materia de evaluación.

Ubicación política del subproyecto Villa Sol.

El subproyecto Villa Sol se encuentra ubicado en:

Departamento	:	Huánuco.
Provincia	:	Huánuco.
Distrito	:	Chinchao.
Centro poblado	:	Villa Sol.
Región Geográfica	:	Sierra.
Cuenca	:	Marañón
Altitud	:	2,135 m.s.n.m.

Ubicación geográfica del subproyecto Villa Sol.

Captación de Sogobamba – Villa Sol

Este : 379,186.722

Norte : 8°9'19,642.945

Cota : 2,135.00

Figura 24

Ubicación del subproyecto Villa Sol



Fuente: Elaboración propia

3.2. Población y Selección de la Muestra

3.2.1. Población

La presente investigación seleccionó intencionalmente las redes de distribución, consecuentemente la población fue las redes de distribución de riego tecnificado presurizado en ladera Huánuco, Perú.

3.2.2. Muestra

La muestra fue las redes de distribución de riego tecnificado del sub proyecto Villa Sol, Chinchao, Huánuco. El muestreo fue no probabilístico.

3.3. Nivel, Tipo y Diseño de Estudio

3.3.1. Nivel de Investigación

El presente trabajo investigación de acuerdo a su nivel y/o alcance es explicativo y descriptivo (Hernández et al, 2018).

Se pretende evaluar el diseño de la red de distribución de riego tecnificado presurizado a turnos mediante sus dimensiones de características hidráulicas, costo y confiabilidad de acuerdo a las restricciones técnicas y normativas de diseño aplicando la metodología de los algoritmos genéticos, explicando las razones que provocan la optimización del mismo.

3.3.2. Tipo de Investigación

Según su propósito.

El Ministerio de Educación del Perú realiza la clasificación de dos tipos de investigación, estos son, Investigación básica e Investigación aplicada.

Figura 25*Tipos de investigación*

Fuente: Cuenta oficial de YouTube del Ministerio de Educación del Perú.

Pimienta y De la Orden (2017) afirma que la investigación aplicada tiene como finalidad la vinculación, consolidación y aplicación de los conocimientos para optimizar y/o incrementar el conocimiento científico y tecnológico al servicio de la sociedad (pág. 8 y 9).

Entonces, en esa línea la presente investigación se clasificó como *aplicada*, en la cual se usará la metodología de los Algoritmos Genéticos, además, busca que los conocimientos que se adquieren puedan ser utilizados para solucionar problemas prácticos, a corto plazo y beneficiar a la sociedad, dando a conocer el diseño óptimo de la red de distribución de riego tecnificado del subproyecto Villa Col, Chinchao, Huánuco.

Según el tiempo.



Ñaupas et al. (2014) clasifica el tipo de investigación según el tiempo de aplicación de la variable en diacrónicas o longitudinales y sincrónicas o transversales (pág. 103).

Siguiendo los lineamientos antes descritos, la presente investigación es de tipo *sincrónico*, debido a que la aplicación de los algoritmos genéticos sucederá en corto tiempo, es decir, la incidencia de la variable y la recolección de datos sucederá en un tiempo único o en un solo momento.

Según la profundidad de objeto del estudio.

La profundidad el estudio lo define el alcance de la investigación. Hernández et al. (2018) define cuatro alcances de la investigación, estos son, exploratorio, descriptivo, correlacional y explicativo.

El presente proyecto tiene un alcance *explicativo*, porque la finalidad de dicho proyecto es proponer solución práctica de optimización a la red de distribución de riego tecnificado presurizado a turnos, dado que el diseño es un problema actual, el contexto de la investigación se desarrolla en el centro poblado de Villa Sol, se realizará una investigación aplicado, de carácter cuasi - experimental de posprueba únicamente con los datos extraídos de campo, con el control de los resultados se espera obtener resultados de una solución exitosa.

3.3.3. Diseño de la Investigación

De acuerdo a Hernández R. et al (2018) el diseño de la presente investigación fue cuasi - experimental de nivel “Presencia o ausencia”, esto es, un grupo se expone a la presencia de la variable y el otro no; además, debido a que se manipulará las variables con la finalidad de medir sus efectos, esto dentro de la situación de control para el tesista.

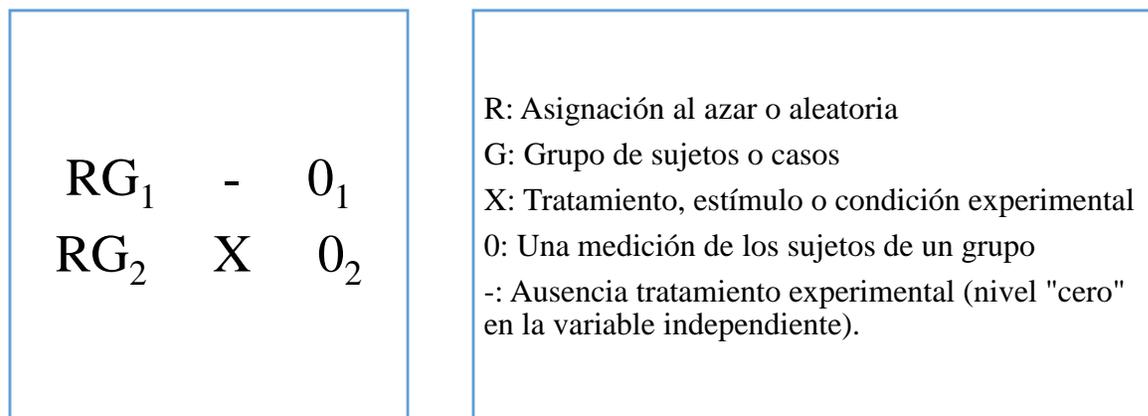
Figura 26

Esquema del cuasi - experimento y variable



Figura 27

Diseño con posprueba únicamente y grupo de control



Fuente: Elaboración en base a Hernández R. et al (2018)

3.4. Métodos, Técnicas e Instrumentos

3.4.1. Métodos

De acuerdo a Hernández et al (2018) el método o enfoque de la presente investigación fue deductivo, debido a que se seguirá un conjunto de procesos ordenados, sistemáticos y empírico, los cuales se aplican al problema.

3.4.2. Técnicas

Según Hernández et al (2018) destaca la técnica denominada “recopilación y análisis de datos secundarios” en su modalidad de datos provenientes de documentos de fuentes oficiales y datos para metaanálisis. La presente investigación, en la etapa preprueba usará la técnica de “análisis de documentos” y “análisis de contenido”, cuya fuente de información será el expediente técnico del sub proyecto Villa Sol. Por otro lado, en la etapa del experimento y posprueba, dado que el estudio es experimental, la técnica a emplear será el *experimento* mediante los algoritmos genéticos, así mismo, la *observación experimental* para el comportamiento de los indicadores.

3.4.3. Instrumentos

Los instrumentos del presente trabajo de investigación fueron las tablas flexibles de los softwares y hojas de cálculo en Ms Excel, a través de ellos se registraron las velocidades, presiones, caudales, diámetros y pérdidas de carga de los softwares de hidráulica. Por otro lado, es preciso indicar que los softwares waterGEMS, Redes y Epanet Brasil tienen confiabilidad, validación y objetividad automática. En la actualidad tiene buena aceptación en el mercado, es decir, es uno de los softwares más usados por los ingenieros hidráulicos para el diseño de redes de distribución y líneas de conducción.

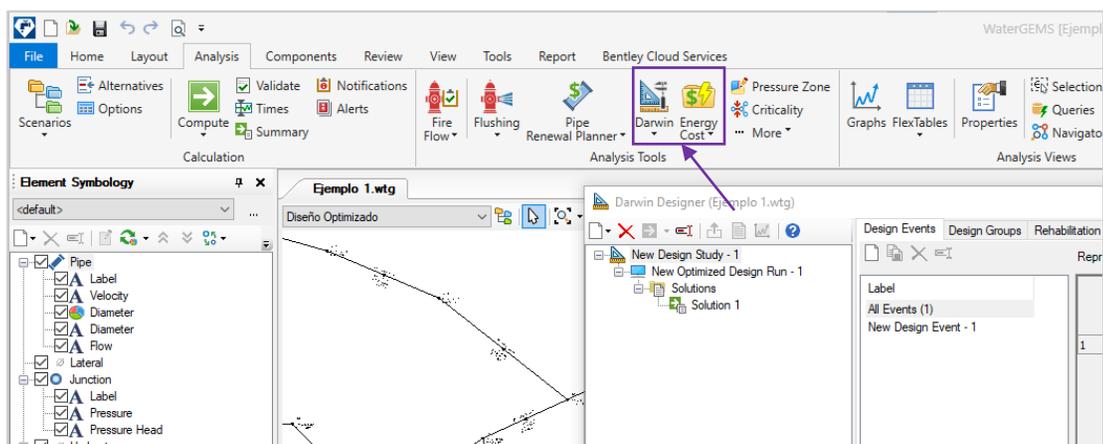
La versión académica de waterGEMS utilizado fue la CONNECT Edition Update 3 (2022)

La versión académica de Redes fue del 2019

La versión libre de Epanet Brasil fue del 2020

Figura 28

Herramienta Darwin Designer del software WaterGEMS 2022



Fuente: Elaboración propia en base al programa waterGEMS

3.5. Procedimiento

Primero. Se realizó la recopilación de información de campo a través del expediente técnico materia de aplicación, sub proyecto Villa Sol, para posteriormente realizar la evaluación de la variable dependiente en base a sus dimensiones e indicadores antes de la aplicación de la metodología de los algoritmos genéticos.

Datos de partida. Topología, topografía de terreno expresada en curvas de nivel, área total a irrigar, área de las parcelas de riego, fuente de abastecimiento, calidad del agua, entre otros. La técnica que se aplicó fue la de “análisis y evaluación de documentos secundarios” mediante las herramientas tecnológicas, estos son, Ms Excel, Ms Word, AutoCAD y Civil3D - 2022.

Datos del diseño agronómico. La demanda hídrica de los cultivos, módulo de riego, área de riego por turnos, número de usuarios que riegan simultáneamente, frecuencia de turnos de riego, tipo de aspersor, etc. La técnica que se aplicó fue la de “análisis y evaluación de documentos

secundarios” y “análisis de contenido” mediante las herramientas tecnológicas, estos son, Ms Excel, Ms Word, AutoCAD y Civil3D versiones 2022.

Datos hidráulicos de la red distribución. Cotas de terreno, cotas de nodos, presiones; caudales y velocidades en las tuberías; y, diámetros y longitudes de las tuberías. La técnica que se va aplicar será la de “análisis y evaluación de documentos secundarios” mediante las herramientas tecnológicas, estos son, Ms Excel, Ms Word, AutoCAD y Civil3D, versiones 2022.

Costo de la red de distribución. Costo total de las tuberías en función a su longitud y costo de las tuberías por metro lineal dependiendo del tipo de diámetro. La técnica que se va aplicar será la de “análisis y evaluación de documentos secundarios” mediante las herramientas tecnológicas, estos son, Ms Excel, Ms Word y S10, con actualizaciones o versiones más recientes, es decir 2022.

Segundo. Se realizó el modelamiento hidráulico, para lo cual, se emplearon principalmente los softwares WaterGEMS, Epanet y Redes cuyas herramientas del mismo hicieron uso de los archivos del AutoCAD, Civil3D, entre otros. Además, como insumos fundamentales fueron los datos de partida, los datos del diseño agronómico y propiedades hidráulicas.

Tercero. Luego se procedió con la aplicación de la propuesta de optimización planteada, aplicación de los algoritmos genéticos mediante la herramienta *Darwin Designer* del software waterGEMS, Redes y Epanet cuyos insumos de entrada fueron: El número de generaciones o iteraciones a considerar, población o cantidad de tuberías de la red de distribución de riego tecnificado presurizado, clase de tuberías, costo de la tubería por metro lineal en base al tipo diámetro y diámetros comerciales.

Cuarto. Se realizó la evaluación hidráulica y valoración económica de la variable dependiente en función de sus dimensiones e indicadores. Asimismo, se determinó la confiabilidad cinemática y la eficiencia de diseño. Finalmente, se realizó la prueba estadística para la evaluación

de las hipótesis formuladas, discusión o socialización de resultados, conclusiones y recomendaciones.

3.6. Plan de Tabulación y Análisis de Datos Estadísticos

El procesamiento de datos se llevó a cabo mediante uso de gráficos y hojas de cálculo elaborados en MS Excel, ArcGIS, Epanet Brasil, Redes AutoCAD y WaterGEMS, considerando las versiones del año 2019 al 2022, tomando como referencia los formatos de los cuadros planteados por las investigaciones predecesoras. Además, para efectos de modelamiento, obtención, comparación y presentación de resultados se hizo uso de la herramienta de los softwares WaterGEMS denominado *Darwin Designer*, Epanet Brasil denominado *Lenhsnet* y Redes con el fin de lograr la selección óptima de los diámetros de las tuberías.

Por otro lado, para el análisis e interpretación de los resultados se usaron el análisis lógico y el método de diseño en línea, Pre Test – Post Test, para la verificación de las hipótesis.

Pre test, a manera de diagnóstico se midió la variable antes de aplicar el experimento, es decir, extracción de la variable mediante sus dimensiones e indicadores del expediente técnico del proyecto materia de aplicación.

Aplicación del experimento, esto es, la aplicación de los algoritmos genéticos mediante la herramienta “*Darwin Designer*”, “*Lenhsnet*” y “*algoritmos genéticos*” de los softwares WaterGEMS, Epanet y Redes respectivamente.

Post test, se midió la variable después de aplicar el experimento, a través de sus dimensiones e indicadores.

3.6.1. Prueba Estadística

De acuerdo a Hernández et al (2018) existe dos tipos de análisis estadístico para realizar la prueba de hipótesis, esto es: Los análisis paramétricos y los no paramétricos. En la presente

investigación en base a la prueba de normalidad se optó por *análisis paramétrico y no paramétrico*, dentro de la cual se eligió las *Prueba t*, esto debido a que se quiere evaluar la diferencia entre dos grupos, donde a uno se aplica el estímulo (grupo experimental) y al otro no, debido a que es de “presencia y ausencia”.

Prueba t de student

Las medias y las varianzas se compararán de un grupo en dos momentos diferentes:

G₁ (X₁)

G₂ (X₂)

t
○ son las pospruebas

el estadístico de prueba será:

$$S_n^2 = \frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n-1}, \quad \text{donde:}$$

S_n^2 = varianza combinada

X = Promedio de tiempos para cada método

\bar{X} = Media de coordenadas de X promedio

n = número de muestras

$$T_c = \frac{|X - \bar{X}|}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_A} + \frac{S_2^2}{n_B}}}, \quad \text{donde:}$$

T_c = valor de “T” calculado

S_1^2 = varianza de la primera muestra X₁

S_2^2 = varianza de la segunda muestra X₂

\bar{X}_A = Media de la primera muestra tomada X_1

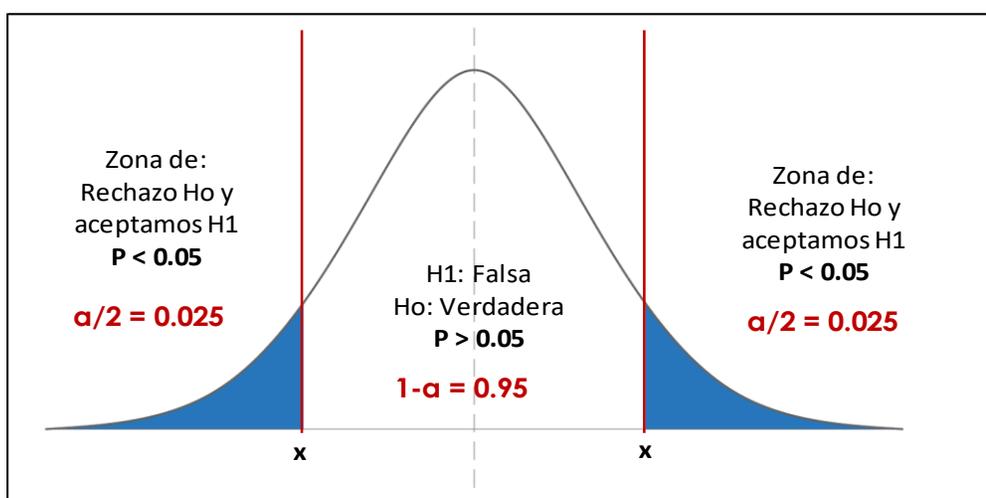
\bar{X}_B = Media de la segunda muestra tomada X_2

n_A = Tamaño de la primera muestra tomada X_1

n_B = Tamaño de la segunda muestra tomada X_2

Figura 29

Detalles de decisión en la distribución normal



Fuente: Elaboración propia generado en Ms Excel

Prueba t de Wilcoxon

Esta prueba es no paramétrica y se usó para aquellas muestras relacionadas que no cumplieron la prueba de normalidad y homogeneidad. Para lo cual, primer se definió la hipótesis nula (H_0) y la hipótesis alternativa (H_1) en función de las medianas de los dos grupos relacionados que deseas comparar.

Seguidamente se calculó las diferencias entre las observaciones emparejadas en ambos grupos. Estas diferencias representan la magnitud del cambio o efecto que se está evaluando. Posteriormente, se ordena las diferencias en orden ascendente o descendente, sin importar el signo. Asigna un rango a cada diferencia según su posición en el conjunto ordenado. Calcular la suma de

los rangos de signo positivo: Suma los rangos de las diferencias con signo positivo. Si no hay diferencias positivas, la suma de los rangos de signo negativo se utilizará en su lugar. Para el cálculo del estadístico de prueba se utiliza la fórmula adecuada según el tamaño de la muestra, es decir, para muestras pequeñas ($n < 25$) o muestras grandes ($n \geq 25$).

El software que se usó fue el SPSS para encontrar el valor crítico correspondiente al nivel de significancia del 5%.

Finalmente se comparó el valor del estadístico de prueba con el valor crítico. Si el valor del estadístico de prueba es menor que el valor crítico, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que hay una diferencia significativa entre las medianas de los grupos relacionados.

Tamaño del efecto. Hernández et al (2018) define como la medida de fuerza o magnitud en la diferencia de las medias en la comparación de dos grupos, cuya expresión algebraica para muestras relacionadas se detalla a continuación.

$$\text{Para muestras paramétricas } Cohen'sd = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{SD_E^2 + SD_C^2 - 2.r.SD_E + SD_C}}$$

$$\text{Y, según Lakens (2013) para muestra no paramétricas } Hedges'g = d \left(1 - \frac{3}{a(n_1 + n_2) - 9} \right)$$

Donde, d : Tamaño total del efecto, \bar{X}_1 : Media del grupo N°1, \bar{X}_2 : Media del grupo N°2, N_E : Tamaño del grupo N°1, N_C : Tamaño del grupo N°2, SD_E : Desviación estándar del grupo N°1, SD_C : Desviación estándar del grupo N°2, n_1 : tamaño de la muestra 1, n_2 : tamaño de la muestra 2 y r : Coeficiente de correlación.

Correll et al (2019) especificaron los d de Cohen para Prueba t , tal como se indica en la siguiente tabla.

Tabla 4

Valores referenciales del tamaño del efecto y varianza explicada

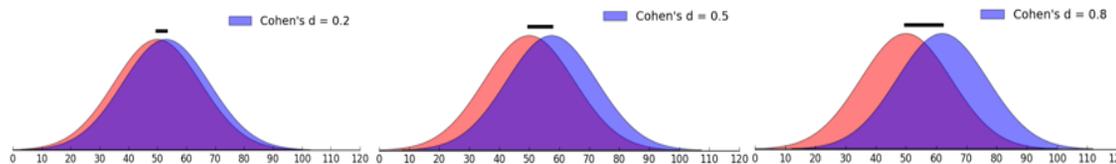
Definición de Cohen	Prueba-t	
	<i>d</i> de Cohen	Varianza explicada
Pequeño	0.20	1%
Medio	0.50	6%
Grande	0.80	16%

Fuente: Avoid Cohen's 'Small', 'Medium', and 'Large' for Power Analysis (2019)

Cabe precisar que las muestras relacionadas no paramétricas evaluadas mediante el *t* de Wilcoxon, para el cálculo de la magnitud de la diferencia, siguen los mismos criterios que el *d* de Cohen detallados en la Tabla 4.

Figura 30

Tamaño del efecto, pequeño, moderado y grande



Fuente: <https://www.evidencebasedmentoring.org/methods-corner-what-is-an-effect-size/>

Potencia estadística. De acuerdo a Cárdenas y Arancibia (2014) la potencia estadística se refiere al nivel de probabilidad de rechazar una hipótesis nula cuando esta es realmente falsa. En otras palabras, la potencia estadística se relaciona con la capacidad de una prueba para detectar diferencias entre grupos cuando estas diferencias realmente están presentes.

Tabla 5

Fuentes de error en pruebas de significación estadística

	Tratamiento y control difieren (Ho Falso)	Tratamiento y control no difieren (Ho Verdadero)
Diferencias significativas (rechazar Ho)	Conclusión correcta Probabilidad = $1-\beta= 0.80$ (Potencia)	Error de tipo I Probabilidad = $\alpha = 0.05$
Diferencias no significativas (aceptar Ho)	Error de tipo II Probabilidad = β	Conclusión correcta Probabilidad = $1-\alpha = 0.95$

Fuente: Elaboración propia generada en base a los trabajos de Cárdenas y Arancibia (2014)

3.6.2. *Eficiencia de diseño de la red de distribución*

La eficiencia del diseño de la red de distribución se evaluó según Mora (2012), quien sostiene que la eficiencia en el diseño de la red de distribución se traduce como una herramienta matemática que permite relacionar la calidad de la solución encontrada y el esfuerzo computacional que realiza la metodología planteada antes de determinar el diseño final. Los parámetros que interviene en la eficiencia es el número de evaluación de la función objetivo de costo y número de mínimos o buenas soluciones, los cuales serán valores numéricos por el software waterGEMS, Redes y Epanet Brasil cuya representación matemática se expresa como sigue.

$$Eficiencia(E) = \frac{\eta_{calidad}}{\eta_{velocidad}}$$

Donde,

$$\eta_{calidad} = \frac{n^{\circ}mínimos / n^{\circ}buenas.soluciones}{n^{\circ}simulaciones}$$

$$\eta_{velocidad} = n^{\circ}de\ evaluaciones\ de\ la\ función\ objetivo\ de\ costo.$$

$$n^{\circ}posibles.soluciones = (n^{\circ}diámetros)^{n^{\circ}tuberías}$$

3.7. Consideraciones Éticas

En la presente investigación las herramientas de cálculo, tales, MS Excel, WaterGEMS, AutoCAD, Epanet Brasil y Redes fueron de “*versión estudiante*” o “*software no comercial*” para lo cual se proporcionó los datos del tesista para su autorización de uso. Además, los datos que forman parte de la muestra, los cuales son del Expediente Técnico de Obra materia de aplicación, fueron informados a las empresas que constituyen el consorcio y brindaron su autorización.

Por otro lado, este estudio cuenta con párrafos originales y extraídos de otros estudios, para lo cual se citaron y referenciaron cuidadosamente de acuerdo a lo contemplado en las normas APA.

Se respetará el principio de confidencialidad; por tanto, se mostrará solo el matriz de datos, con los cuales se realizará la optimización, y no los documentos nativos del expediente técnico.

IV. RESULTADO

Esta sección expone los resultados más importantes de la investigación, lo cual evidencia la aplicación de los algoritmos genéticos mediante los softwares WaterGEMS (2022), Redes (2019) y Epanet Brasil (2020) para optimizar el diseño hidráulico de la red de distribución de riego tecnificado presurizado operando a turnos en el centro poblado de Villa Sol. Esto permitirá a uniformizar los diseños futuros de redes de distribución de riego tecnificado, en los gobiernos regionales, gobiernos locales y sector privado.

4.1. Ámbito del área de investigación

Región	: Huánuco
Provincia	: Huánuco
Distrito	: Chinchao
Centro Poblado	: Villa Sol

Figura 31

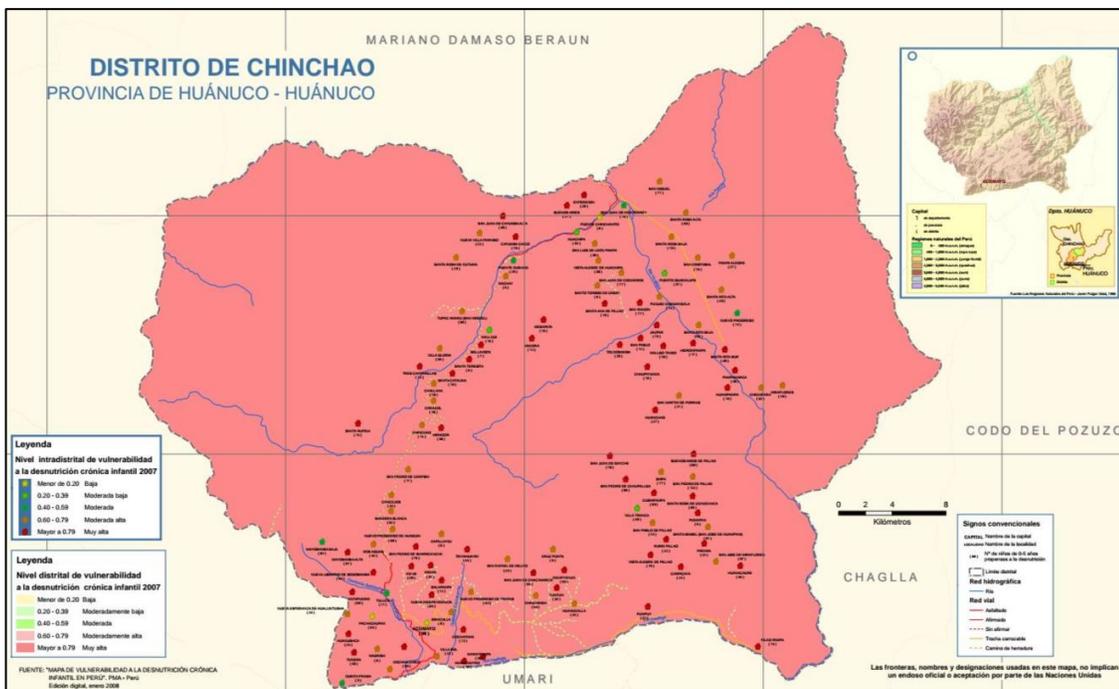
Macro Localización del distrito de Chinchao



Fuente: Elaboración propia.

Figura 32

Micro localización del distrito de Chinchao



Fuente: Elaboración propia

Figura 33

Foto satelital del Centro Poblado de Chinchao



Fuente: Elaboración propia

4.2. Cálculo de la oferta del recurso hídrico en la quebrada Sogobamba

La oferta total del agua es el promedio del análisis hidrológico fue calculado con la estación de Carpish con un periodo de 20 años históricos de precipitaciones promedio mensual y datos vertidos por el SENAMHI, cuyo resultado de la microcuenca de Sogobamba es 124 l/s en épocas de estiaje, lo cual corresponde al mes de agosto.

4.3. Cálculo de la demanda del recurso hídrico en el sub proyecto Villasol

4.3.1. Cédula de cultivo sin proyecto y con proyecto bajo riego

La cédula de cultivo con proyecto donde se mejora las áreas de cultivos sin proyecto un área de 12 hectáreas con cultivo de la zona, con la captación de las aguas de Sogobamba, incorporándose 240 hectáreas, que también será bajo riego haciendo un total de 252 hectáreas, debido a que son cultivos que reemplazan a las áreas ya cultivadas y se incorpora en rotación la misma cantidad de hectáreas de tierras de cultivo.

Tabla 6

Áreas de cultivos mejoradas e incorporadas

	Has Mejoradas	Has Incorporadas	Total
Campaña bajo riego con la captación quebrada de Sogobamba (Tullca)			
Maíz choclero	0.50	20.00	20.50
Maíz morado	3.00	40.00	43.00
Maíz amarillo	2.00	30.00	32.00
Frijol	0.50	25.00	25.50
Lentejas	0.50	30.00	30.50
Tomate	3.00	15.00	18.00
Plátano	1.00	30.00	31.00
Palta	1.00	30.00	31.00
Pasto	0.50	20.00	20.50
Total de campaña principal	12.00	240.00	252.00

Fuente: Elaboración propia.

4.3.2. Evapotranspiración potencial de cultivo (Eto)

Es la cantidad de agua consumida durante un determinado periodo, en un suelo cubierto de una vegetación homogénea, densa en plena actividad vegetativa, con suministros de agua de la naturaleza. Para ello, se tabuló mediante el método de Hargreaves donde incorpora variables de temperatura, humedad relativa entre otras, las cuales fueron extraídas del SENAMHI correspondiente a la estación Carpish, los cuales se detalla a continuación:

$$CE = 1.0 + 0.04 \frac{E}{2000}$$

$$CH = 0.166 (100 - HR)^{1/2} \quad \text{Si } HR > 64\%$$

$$CH = 1 \quad \text{Si } HR \leq 64\%$$

$$Eto = T^{\circ}F \times MF \times CE \times CH$$

Figura 34

Evapotranspiración del cultivo

Parámetros	MESES											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
T °C	15.77	15.68	15.43	15.54	15.8	15.27	15.08	15.87	16.32	16.42	16.69	16.03
T °F	64.81	65.86	65.14	65.98	67.03	66.65	67.41	66.94	66.85	68.04	65.77	63.07
MF (lat. Sur10°01")	2.3	2.25	2.36	2.06	1.9	1.72	1.82	1.98	2.2	2.35	2.37	2.41
E	3075	3075	3075	3075	3075	3075	3075	3075	3075	3075	3075	3075
HR	75	72	78	79	76	73	72	70	71	74	75	76
CE	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
CH	0.53	0.56	0.41	0.55	0.59	0.76	0.8	1	0.77	0.73	0.7	0.54
Eto (mm/mes)	83.15	86.92	65.99	78.79	78.4	91.04	103.59	138.77	118.85	122.08	113.65	86.41
Eto (mm/día)	2.68	3.1	2.13	2.63	2.53	3.03	3.34	4.48	3.96	3.94	3.79	2.79

Fuente: Elaboración propia en base al expediente técnico de obra del subproyecto Villa Sol.

4.3.3. Factores de coeficiente de cultivo (Kc)

Esta variable depende principalmente de las características fisiológicas, anatómicas de cada cultivo, los cuales fueron obtenidos en base a la cédula de cultivos y extraídos de la tabla difundida por el INIA – Lima.

Figura 35

Factores de coeficiente de cultivo

CULTIVO	PORCENTAJE DE LA ESTACION DE CRECIMIENTO				
	Establecimie Inicio	Desarrollo del Cultivo	Media Estación	Inicio Madurez	Madurez Fisiológic
Alfalfa	0,30-0,40	-	-	-	-
Avena – Trigo Primavera	0,30-0,40	0,70-0,80	1,00-1,15	0,60-0,70	0,20-0,25
Papa	0,40-0,50	0,70-0,10	1,00-1,20	0,95-1,00	0,65-0,75
Tabaco	0,30-0,40	0,70-0,90	1,00-1,20	0,90-1,00	0,75-0,85
Maíz	0,30-0,50	0,70-0,85	1,00-1,20	0,80-0,95	0,50-0,60
Frijol Verde	0,30-0,40	0,65-0,75	0,95-1,05	0,90-0,95	0,85-0,95
Frijol Grano	0,30-0,40	0,70-0,80	1,05-1,20	0,65-0,75	0,25-0,30
Vid	0,30-0,50	0,60-0,80	0,80-0,90	0,60-0,80	0,50-0,70
Frutales de hoja caduca	0,40-0,50	0,75-0,85	1,10-1,20	1,10-1,20	0,70-0,90
Cítricos y Paltos	0,60-0,70	0,60-0,70	0,80-0,90	0,80-0,90	0,60-0,70
Frutales con cubierta verde	-	-	-	-	-
Arveja Verde	0,40-0,50	0,70-0,85	1,05-1,20	1,00-1,15	0,95-1,05
Pimentón	0,30-0,40	0,60-0,75	0,95-1,10	0,95-1,10	0,80-0,90
Cebolla Guarda	0,40-0,50	0,60-0,80	0,95-1,15	0,80-1,00	0,70-0,80
Cebolla Verde	0,40-0,50	0,60-0,75	0,95-1,10	0,95-1,10	0,95-1,10
Tomate	0,30-0,40	0,60-0,80	1,10-1,25	0,80-1,00	0,60-0,80
Sandía	0,40-0,50	0,70-0,80	0,95-1,05	0,80-0,95	0,65-0,75
Melón y Zapallo	0,40-0,50	0,60-0,75	0,95-1,05	0,70-0,80	0,60-0,70
Hortalizas Superficial	0,30-0,40	0,60-0,75	0,90-1,10	0,90-1,10	0,80-0,90

FUENTE: INIA-LIMA

Fuente: Extraídos del expediente técnico de obra del subproyecto Villa Sol

4.3.4. Áreas parciales de cultivo (A) mejoradas + incorporadas

Las áreas parciales corresponden a las de mejoramiento y áreas incorporadas.

Figura 36

Áreas parciales de cultivo (A) mejoradas e incorporadas

Parámetros	MESES											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Área total (Ha)	252	252	252	252	252	252	252	252	252	252	252	252

Fuente: Elaboración propia en base al expediente técnico de obra del subproyecto Villa Sol.

4.3.5. Factor ponderado (Kc) de las áreas mejoradas + incorporadas

Los cuales fueron calculados considerando la siguiente fórmula:

$$Kc.Poderada = \frac{\sum(A \times Kc)}{\sum A}$$

Coeficiente de cultivo (Kc) con proyecto de las áreas mejoradas e incorporadas con la captación de Sogobamba (Tullca) – Total de áreas de cultivo

Figura 37

Factor ponderado (Kc) de las áreas mejoradas e incorporadas de la quebrada Sogobamba

Parámetros	Área		MESES											
	Ha	%	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Maíz choclero	20.5	8.13	0.89	0.75	0.6	0.5	0.57	0.84	0.91	1.02	0.74	0.34	0.56	0.69
Maíz morado	43	17.06	0.67	0.83	0.65	0.52	0.34	0.72	0.67	0.83	0.85	0.52	0.34	0.72
Maíz amarillo	32	12.7	1	0.69	0.54	0.45	0.53	0.6	0.65	0.78	0.54	0.48	0.59	0.97
Frijol	25.5	10.12	1	0.7	0.54	0.48	0.57	0.8	0.85	0.95	0.74	0.54	0.69	0.97
Lentejas	30.5	12.1	0.6	0.6	0.6	0.65	0.35	0.65	0.9	0.95	0.8	0.75	0.6	0.6
Tomate	18	7.14	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.7	0.75	0.77	0.78	0.54	0.65	0.66
Plátano	31	12.3	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Palta	31	12.3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Pasto	20.5	8.13	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Áreas mensuales	252	100	252	252	252	252	252	252	252	252	252	252	252	252
Kc ponderado			0.72	0.66	0.58	0.54	0.51	0.67	0.71	0.78	0.66	0.56	0.43	0.51

Fuente: Elaboración propia en base al expediente técnico de obra del subproyecto Villa Sol.

4.3.6. Evapotranspiración real del cultivo o uso consuntivo (UC)

Es el requerimiento de agua de los cultivos proyectados según su proceso fisiológico.

$$UC = Eto \left(\frac{mm}{mes} \right) \times Kc \text{ (ponderado)}$$

Cuadro de uso consuntivo de áreas totales (mejoradas e incorporadas) con la captación de la quebrada de Sogobamba.

Figura 38

Uso consuntivo de áreas mejoradas e incorporadas en el subproyecto Villa Sol

Parámetros	MESES											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Kc (pond.)	0.72	0.66	0.58	0.54	0.51	0.67	0.71	0.78	0.66	0.56	0.43	0.51
Eto (mm/mes)	83.15	86.92	65.99	78.79	78.4	91.04	103.59	138.77	118.85	122.08	113.65	86.41
Uc (mm/mes)	59.56	57.58	38.56	42.36	40.17	61.13	73.95	108.82	78.62	67.85	48.87	44.07

Fuente: Elaboración propia en base al expediente técnico de obra del subproyecto Villa Sol.

4.3.7. Precipitación efectiva (*P.Efec*) con un 75% de persistencia

Es la cantidad de agua del total de precipitación que aprovecha la planta para cubrir sus necesidades hídricas, cuyo cálculo se realizó a partir de las estaciones meteorológicas de Jacas Chico y Carpish. Con una probabilidad de 75%, además, se calculó mediante el método del “*Water Power Resource Service*”, USA, debido a la sencillez y confiabilidad de sus resultados.

Figura 39

Cálculo de la precipitación efectiva para el área de la microcuenca Sogobamba

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Promedio	243.29	137.34	268.86	196.47	118.92	78.54	84.72	78.58	117.1	173.95	180.33	242.35	2020.44
Precipitación	232.17	216.64	248.71	180	113.48	74.95	84.18	74.99	111.75	166	172.09	231.27	1906.24

Fuente: Elaboración propia en base al expediente técnico de obra del subproyecto Villa Sol.

Figura 40

Datos obtenidos del cálculo de precipitaciones

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Promedio	232.17	216.64	248.71	180	113.48	74.95	84.18	74.99	111.75	166	172.09	231.27	1906.24
Desviación Estándar	124.26	109.47	133.25	141.03	76.81	55.82	72.74	45.14	66.3	99.68	87.83	129.66	903.67
Coefficiente de variabilidad	0.54	0.51	0.54	0.78	0.68	0.74	0.86	0.6	0.59	0.6	0.51	0.56	0.47
Máximo	593.76	375.71	452.81	410.16	244.21	203.55	289.44	143.81	178.26	367.41	342.88	396.03	2519.44
Mínimo	0.54	0.38	0.38	0.54	0.54	0.62	0	0.59	0.44	0.48	0.41	0.39	0.31
Años Registro	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
P. Efectiva (75%)	148.36	161.83	185.02	180	72.27	43.52	44	8.8	78.3	112.37	124.15	170.28	1501.53

Fuente: Elaboración propia en base al expediente técnico de obra del subproyecto Villa Sol.

4.3.8. Requerimiento de agua (*Req*)

Es la lámina de agua adicional que se debe aplicar a un determinado cultivo para que cubra sus necesidades en el desarrollo de la planta, lo cual es expresada en milímetros, cuyo cálculo se realiza mediante la siguiente fórmula.

$$Req = UC - P.Efec$$

Figura 41

Requerimiento de agua para áreas mejoradas e incorporadas de la captación Sogobamba

Parámetros	MESES											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Uc (mm/mes)	59.56	57.58	38.56	42.36	40.17	61.13	73.95	108.82	78.62	67.85	48.87	44.07
P.Eféc (mm)	148.36	161.83	185.02	180	72.27	43.52	44	8.8	78.3	112.37	124.15	170.28
Req (mm)	-88.8	-104.25	-146.46	-137.63	-32.1	17.61	29.95	100.02	0.33	-44.52	-75.28	-126.21

Fuente: Elaboración propia en base al expediente técnico de obra del subproyecto Villa Sol.

Nota: Los meses cuyos valores son negativos no requieren agua, su existencia es suficiente para atender las áreas de cultivo.

4.3.9. *Requerimiento volumétrico neto de agua (Req.Vol.Net)*

Es el volumen de agua que requiere una hectárea de cultivo y que se expresa en m³/ha, lo cual se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$Req.Vol.Net = Req(mm) \times 10$$

Figura 42

Requerimiento volumétrico neto de agua para áreas mejoradas e incorporadas captación

Sogobamba

Parámetros	MESES											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Req (mm)	-88.8	-104.25	-146.46	-137.63	-32.1	17.61	29.95	100.02	0.33	-44.52	-75.28	-126.21
Req.Vol.Net	-887.95	-1042.49	-1464.58	-1376.32	-321	176.07	299.5	1000.22	3.26	-445.25	-752.8	-1262.08

Fuente: Elaboración propia en base al expediente técnico de obra del subproyecto Villa Sol.

4.3.10. *Eficiencia de riego del proyecto (Ef.Riego)*

Es un parámetro que indica de qué manera el agua eficientemente se está aprovechando en los cultivos, lo cual matemáticamente se expresa de la siguiente manera.

$$Ef.Riego Proyecto = Ef.Conducción \times Ef.Distribución \times Ef.Aplicación.$$

El valor promedio tomado de la eficiencia de riego en la zona del proyecto es de 75%, valor tomado para un sistema de riego por aspersión, con la finalidad de optimizar el recurso agua.

4.3.11. Requerimiento volumétrico bruto del agua (Req.Vol.Bruto)

Es el volumen neto de agua requerido por una hectárea de cultivo, se expresa en m³/ha y se calcula mediante la siguiente fórmula.

$$\text{Req.Vol.Bruto} = \frac{\text{Req.Vol.Neto}}{\text{Ef.Riego}}$$

Figura 43

Requerimiento volumétrico bruto de agua para áreas mejoradas + incorporadas con la captación de Sogobamba

Parámetros	MESES											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Req.Vol.Neto (m ³ /ha)	-887.95	-1042.49	-1464.58	-1376.32	-321	176.07	299.5	1000.22	3.26	-445.25	-752.8	-1262.08
Ef.Riego	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Req.Vol.Bruto (m ³ /ha)	-1183.93	-1389.99	-1952.78	1835.1	-428	234.76	399.33	1333.62	4.35	-593.66	-1003.73	-1682.77

Fuente: Elaboración propia en base al expediente técnico de obra del subproyecto Villa Sol.

4.3.12. Número de horas de riego x hectárea (N° horas de riego)

Por tratarse de un proyecto de mejoramiento y ampliación es el tiempo de riego efectivo en el que se podrá utilizar el sistema para satisfacer la demanda de riego que se encuentra en función de la precipitación, áreas de cultivo mensuales, desplazamiento de agua sobre la superficie del suelo y la infiltración de la misma.

Figura 44

Horas de riego en áreas mejoradas e incorporadas captación quebrada Sogobamba

Parámetros	MESES											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
N°horas de riego	10	10	10	10	24	24	24	24	10	10	10	10

Fuente: Elaboración propia en base al expediente técnico de obra del subproyecto Villa Sol.

4.3.13. Módulo de riego (MR)

Es el caudal continuo de agua que requiere una hectárea de cultivo, se expresa en l/s/ha, lo cual se calculó mediante la siguiente fórmula.

$$MR = Req.Vol.Neto \times \left(\frac{100}{\frac{3600 \times N^{\circ} \text{días mes} \times N^{\circ} \text{ horas riego}}{Eficiencia de riego}} \right)$$

Figura 45

Módulo de riego para áreas mejoradas e incorporadas con la captación de Sogobamba

Parámetros	MESES											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Req.Vol.Neto(m3/ha)	-887.95	-1042.49	-1464.58	-1376.32	-321	176.07	299.5	1000.22	3.26	-445.25	-752.8	-1262.08
N°horas de riego	10	10	10	10	24	24	24	24	10	10	10	10
3600xN°días mes x N°horas riego	116000	1044000	1116000	1080000	2678400	2592000	2678400	2678400	1080000	1116000	1080000	1116000
Eficiencia riego	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
1000/3600xN°días x N°horas/riego	0.00119	0.00128	0.00119	0.00123	0.0005	0.00051	0.0005	0.0005	0.00123	0.00119	0.00123	0.00119
Módulo de riego (l/s/ha)	-1.06	-1.33	-1.75	-1.7	-0.16	0.09	0.15	0.5	0.45	-0.53	-0.93	-1.51

Fuente: Elaboración propia en base al expediente técnico de obra del subproyecto Villa Sol.

4.3.14. Caudal disponible a la demanda (Q_{dem})

Es el caudal requerido por el sistema de manera tal que se atienden a todos los usuarios y se encuentra representado en l/s, la ecuación que los gobierna es el siguiente:

$$Q_{dem} = \text{Área total} \times MR$$

Figura 46

Caudal disponible a la demanda del área mejorada + incorporada con el agua proveniente de la quebrada de Sogobamba

Parámetros	MESES											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Área total (Ha)	252	252	252	252	252	252	252	252	252	252	252	252
Módulo de riego (MR)	-1.06	-1.33	-1.75	-1.7	-0.16	0.09	0.15	0.5	0.45	-0.53	-0.93	-1.51
Q_{dem} (l/s)	-267.34	-335.51	-440.95	-428.19	-40.27	22.82	37.57	125.48	113.4	-134.05	-234.2	-379.98

Fuente: Elaboración propia en base al expediente técnico de obra del subproyecto Villa Sol.

4.3.15. Análisis de la demanda de agua para riego (l/s)

Figura 47

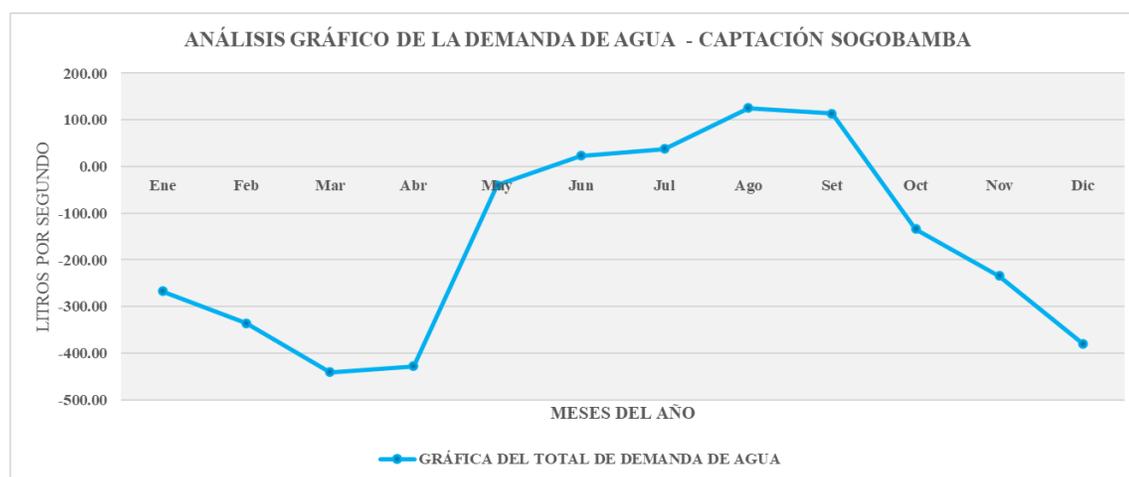
Cálculo de la demanda de agua para riego en el subproyecto Villa Sol

Demanda de agua	Área		MESES											
	Ha	%	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Mejoradas	12	4.76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mejoradas + incorporadas	240	95.24	-267.34	-335.51	-440.95	-428.19	-40.27	22.82	37.57	125.48	113.4	-134.05	-234.2	-379.98
TOTAL (l/s)	252	100	-267.34	-335.51	-440.95	-428.19	-40.27	22.82	37.57	125.48	113.4	-134.05	-234.2	-379.98

Fuente: Elaboración propia en base al expediente técnico de obra del subproyecto Villa Sol.

Figura 48

Curva de demanda de agua en el subproyecto Villa Sol



Fuente: Elaboración propia en base al expediente técnico de obra del subproyecto Villa Sol.

4.3.16. Demanda insatisfecha actual de agua (l/s)

Figura 49

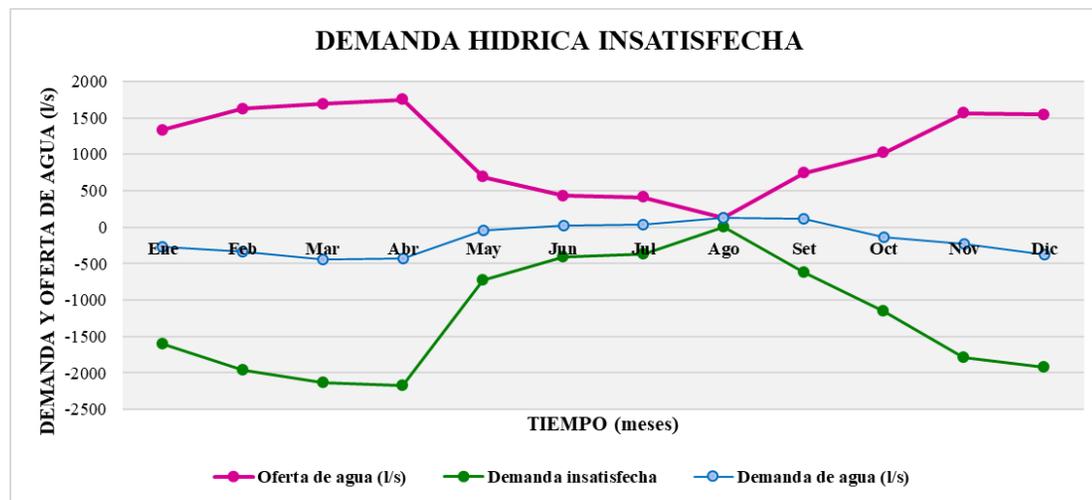
Demanda insatisfecha de agua en el subproyecto Villa Sol

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Demanda de agua (l/s)	-267.34	-335.51	-440.95	-428.19	-40.27	22.82	37.57	125.48	113.40	-134.05	-234.20	-379.98
Oferta de agua (l/s)	1330	1620	1690	1750	690	430	410	124	740	1020	1560	1540
Demanda insatisfecha	-1597.34	-1955.51	-2130.95	-2178.19	-730.27	-407.18	-372.43	1.48	-626.60	-1154.05	-1794.20	-1919.98

Fuente: Elaboración propia en base al expediente técnico de obra del subproyecto Villa Sol.

Figura 50

Curva de oferta, demanda y déficit de agua en el subproyecto Villa Sol



Fuente: Elaboración propia en base al expediente técnico de obra del subproyecto Villa Sol.

El proyecto consiste en mejoramiento y ampliación, lo cual, en sistemas de riego presurizado, consiste en generar una propuesta hidráulico sin alterar los usos y costumbres de los usuarios de riegos, quienes ya establecieron los intervalos, duración y turnos de riego. El proyecto está proyectado con hidrantes a nivel de cabecera de parcelas, cada hidrante contiene 3 laterales de riego, cuyas características se describen en lo siguiente:

Tabla 7

Caudal de demanda en los hidrantes de la red de distribución

	Caudal (l/s)
Lateral de riego (LR) N°1	0.20
Lateral de riego (LR) N°2	0.20
Lateral de riego (LR) N°3	0.20
Hidrante (H = LR N°1+LR N°2+LR N°3) NN	0.60

Fuente: Elaboración propia

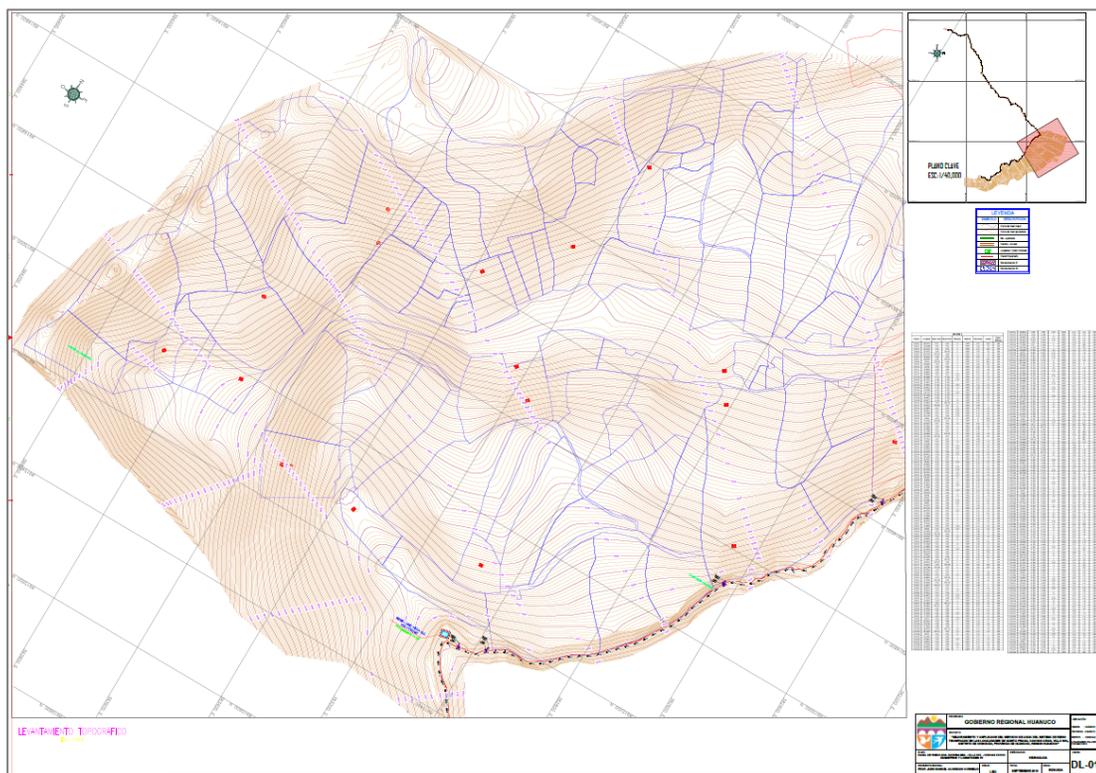
Nota: El subproyecto Villa Sol, materia de evaluación, es una red ramificada de 31 hidrantes, cuya red principal es alimentada mediante la cámara de derivación CD-2.

4.3.17. Levantamiento topográfico

El levantamiento topográfico consiste en obtener la representación gráfica del terreno a escala, lo cual se realizó en el centro poblado de Villa Sol, el cual abarca el reservorio R1 (2500m³) y las diferentes parcelas de terreno a mejorar y a ser incorporadas mediante la red de distribución ramificada, teniendo en consideración lo establecido por la junta de administradores del servicio de agua con fines de riego (Villa Sol). Con fines de obtener las áreas de las parcelas de cultivo y la ubicación de los hidrantes, el levantamiento se realizó con GPS diferencial, drone y estación total, cuyos detalles a considerar fueron: Ubicación del canal artesanal existente, viviendas habitadas, edificaciones estatales, puntos de reparto de agua entre otros. La información obtenida fue digitalizada mediante la ayuda del software Civil 3D.

Figura 51

Plano topográfico del centro poblado de Villa Sol



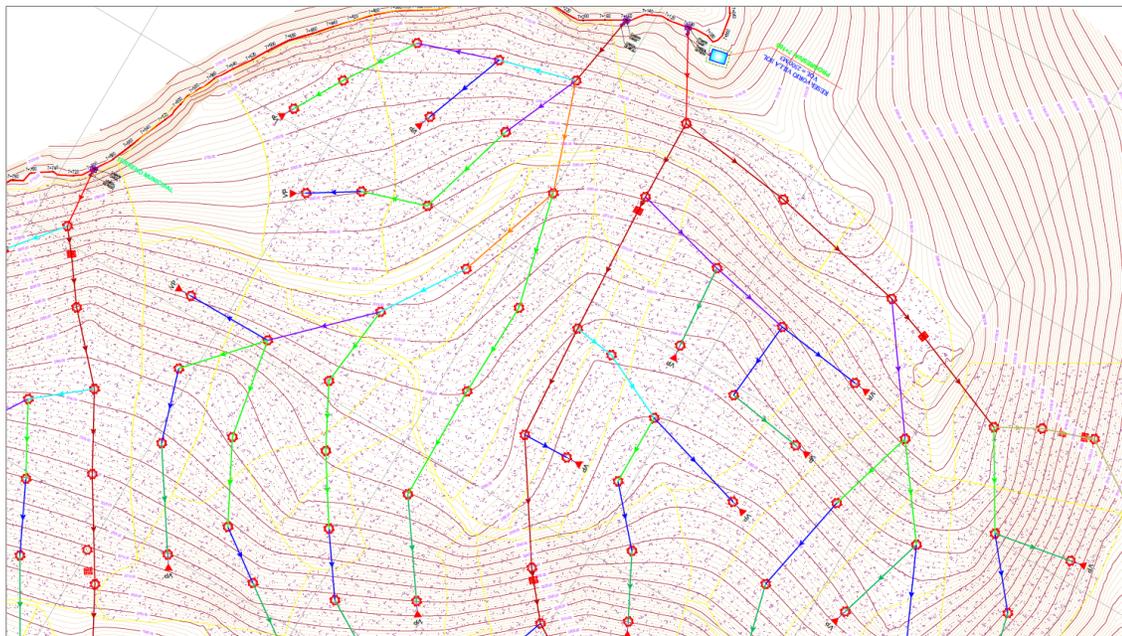
Fuente: Elaboración propia generado en base al software Civil3D

4.3.18. Características topológicas

Luego del levantamiento topográfico se realizó la esqueletización o elaboración de la red de distribución de agua con fines de riego, clasificándolo dentro de la familia de las redes ramificadas. Para el trazo de la red a las parcelas de cultivo a mejorar y a incorporar en el proyecto se tuvo en cuenta el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), la Resolución Ministerial – 192-2018-VIVIENDA y la Guía para la elaboración de expedientes técnicos de riego presurizado del Programa Subsectorial de Irrigaciones (PSI), así mismo el trazo de la red de distribución se realizó tomando en cuenta sus clasificaciones como red principal, red secundaria y red terciaria con la finalidad de identificar las longitudes de toda las ramificaciones.

Figura 52

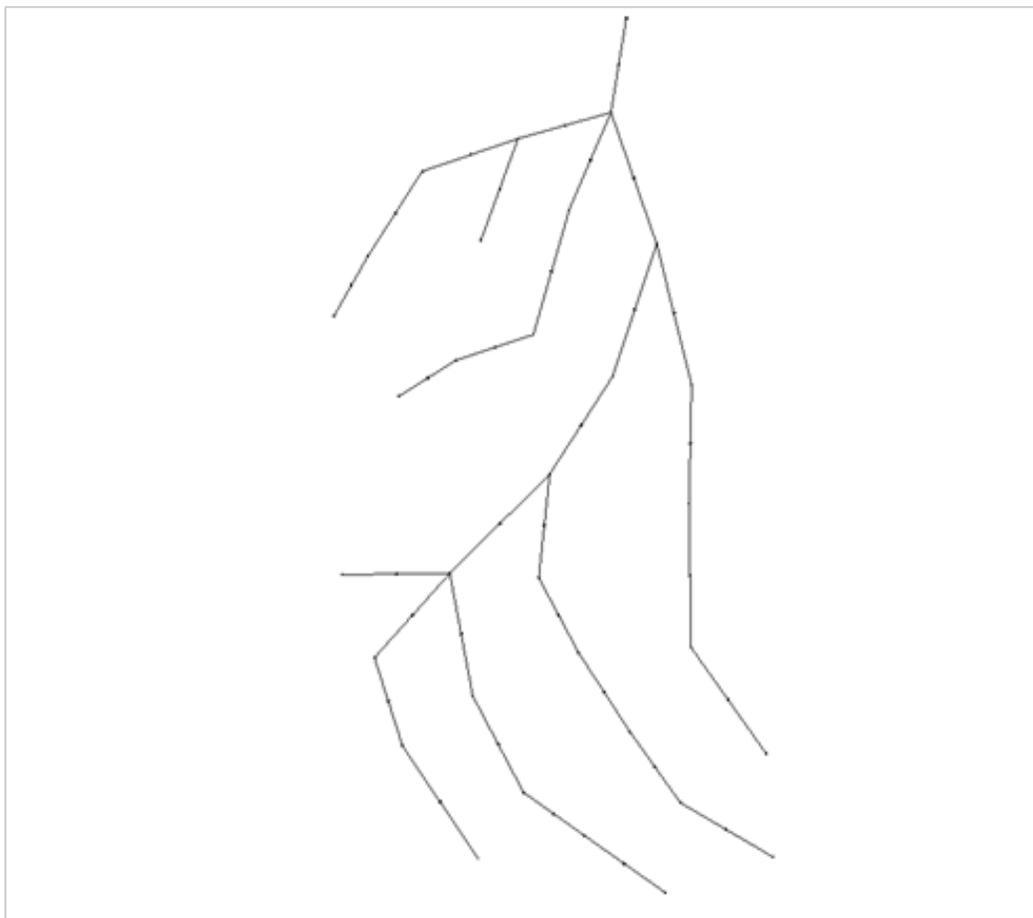
Red de distribución de riego tecnificado presurizado subproyecto Villa Sol



Fuente: Elaboración propia generado en base al software Civil 3D

Figura 53

Total de la red de distribución del sector 1-turno2 – Villa Sol



Fuente: Elaboración propia generado en el software Civil3D

4.3.19. Caudal unitario continuo en los hidrantes

La red de distribución tiene un total de 2,555.6943 metros con hidrantes ubicados en las cabeceras de las parcelas de cultivo, cuyo caudal continuo es de 0.60 l/s. En el siguiente cuadro se muestra la representación de los tramos, nodos, distancias y caudales.

Tabla 8*Caudal de demanda en los hidrantes*

Hidrantes	Elevación	Demanda	Hidrantes	Elevación	Demanda
H-124	2,019.61	0.6	H-112	2,062.32	0.6
H-125	2,065.92	0.6	H-117	2,062.51	0.6
H-132	2,110.40	0.6	H-115	2,023.02	0.6
H-121	2,003.99	0.6	H-109	2,025.04	0.6
H-120	2,025.08	0.6	H-131	2,097.04	0.6
H-134	2,102.96	0.6	H-119	2,033.72	0.6
H-130	2,107.77	0.6	H-128	2,090.11	0.6
H-133	2,103.47	0.6	H-111	2,073.90	0.6
H-114	2,043.89	0.6	H-118	2,045.96	0.6
H-113	2,055.74	0.6	H-122	2,048.31	0.6
H-129	2,090.91	0.6	H-127	2,085.43	0.6
H-104	2,106.65	0.6	H-126	2,092.04	0.6
H-116	2,000.87	0.6	H-110	2,075.97	0.6
H-107	2,065.03	0.6	H-106	2,067.69	0.6
H-123	2,038.75	0.6	H-105	2,079.65	0.6
H-108	2,054.71	0.6			

Fuente: Elaboración propia

Los caudales precedentes fueron empleados por el método clásico o tradicional, así como por los algoritmos genéticos, debido a que son valores obtenidos mediante trabajos de campo y gabinete por el consultor proyectista del expediente técnico de obra (ETO) “Mejoramiento y Ampliación del servicio de agua del sistema de riego tecnificado en las localidades de Quinta Praga, Cochas Chico, Villa sol, distrito de Chinchao, provincia de Huánuco – región Huánuco”.

Nota: En adelante cuando se menciona ETO se refiere al expediente técnico de obra del subproyecto Villa Sol, materia de evaluación.

4.4. Parámetros y restricciones en los algoritmos genéticos

Con la finalidad de aplicar los algoritmos genéticos para la optimización de la red de distribución de riego tecnificado presurizado operando a turnos, es necesarios tener en cuenta los siguientes parámetros y restricciones:

4.4.1. Restricciones hidráulicas

Conservación de la masa. Con el concepto de que “la masa no se crea ni se destruya” se tiene que los caudales que ingresan a un determinado nodo deben ser igual a los caudales que salen de dicho nodo.

$$\sum_{j=1}^{nt} Q_{ei} = \sum_{j=1}^{nt} Q_{si}$$

nt: número de tubería que llega al nodo i

Q_{ei} : Caudal de ingreso al nodo i

Q_{si} : Caudal de salida al nodo i

Es preciso indicar que las herramientas de cálculo, tales como Epanet, Watercad y WaterGEMS traen consigo en su algoritmo la conservación de masa, cuyos programas serán en el cual se modelarán los diferentes escenarios.

Conservación de la energía. Con el concepto de “la energía no se crea ni se destruye solo se transforma” se tiene que la cantidad de energía en cualquier sistema físico aislado se conserva.

$$\frac{P_1}{\gamma_1} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma_2} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_{1,2}$$

Donde,

P : Presión

γ : Peso específico del fluido

Z : Carga de elevación o cota de posición

V : Velocidad

g : Aceleración de la gravedad

$h_{1,2}$: Perdida de energía

Presión mínima y máxima en los nodos de la red de distribución. La presión en todos los nodos de la red de distribución de riego tecnificado debe ser superior a una presión mínima e inferior a una presión máxima.

$$Nn(P_i) \geq P_{min.}$$

$$Nn(P_i) \leq P_{máx.}$$

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

Nn = Numero de nodos en la red de distribución

P_{min} = Presión mínima dinámica dada por norma competente

$P_{máx.}$ = Presión estática máxima dada por las especificaciones del material y norma

De acuerdo a (Guía para la elaboración de expedientes técnicos de riego presurizado – PSI, 2006, pág. 9) la presión mínima de trabajo o dinámica en cualquier hidrante de la red de distribución de riego debe no debe ser menor al 20% de la presión nominal del aspersor del lateral de riego y la presión estática no deber superior a 50 m.c.a o presión nominal que corresponde a la clase de la tubería a usar.

$$1mca = \left(1000 \frac{kgf}{m^3}\right) (1m) \left(9.800665 \frac{m}{s^2}\right) = 9.800665 \frac{kgf}{(ms)^2} = 9806.65 Pa = 9.80665 kPa$$

Velocidad mínima y máxima en las tuberías de la red de distribución. La velocidad en todas las tuberías de la red de distribución de riego tecnificado debe ser superior a una velocidad mínima e inferior a una velocidad máxima.

$$Tn(V_i) \geq V_{min}.$$

$$Tn(V_i) \leq V_{máx}.$$

V_i = velocidad en la i -ésima tubería de la red (i pertenece al intervalo $[1, N]$)

Tn = Numero de tuberías en la red de distribución.

V_{min} = Velocidad mínima dada por norma competente.

$V_{máx}$ = Velocidad máxima dada por norma competente.

Según (Guía para la elaboración de expedientes técnicos de riego presurizado – PSI, 2006, pág. 9) el rango recomendable de velocidades es de 0.50 a 2.00 m/s, aunque también pueden admitirse máximo 2.50 m/s en situaciones especiales. Sin embargo, el expediente técnico de obra contractual ha fijado la velocidad máxima en 3.00m/s, así como la velocidad mínima en 0.50m/s. Son estos valores extremos con los cuales se va modelar, debido a que el principal objetivo del presente proyecto es la de comparar diseños de la red de distribución. Considerando siempre que las velocidades excesivamente bajas pueden causar sedimentos en las tuberías y las excesivamente altas pueden causar problemas de erosión o daño a las tuberías.

4.4.2. Restricciones comerciales

Tipo de tubería. El material de las tuberías, elegidas por el proyectista, que constituyen las redes de distribución de riego tecnificado presurizado fueron de HDPE, por sus siglas en inglés, con coeficiente de rugosidad 140 (Hazen-Williams). Son tuberías de Polietileno de Alta Densidad, tubería para presión fabricada con material 100% virgen de primera calidad. La tubería debe estar diseñada para una vida útil de 50 años, ser 100% atóxica y no contener sales de metales pesados,

y debidamente compatibles con los accesorios según lo contemplado en la Norma Técnica de Diseño de riego tecnificado.

Evaluando las características geomorfológicas y climatológicas de la zona, asimismo la economía y vida útil de la tubería se decidió tomar en consideración la norma NTP – ISO 4427: 2008, por otro lado, según el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) – Obras de Saneamiento (OS), las redes de distribución de agua se deben diseñar con tuberías cuya presión nominal sea 7.5bar para diámetros superiores a 2” y tubería cuya presión nominal sea 10bar para diámetros inferiores a 2”.

Conjunto discreto de diámetros. Los diámetros a considerar fueron de acuerdo a lo disponible por los fabricantes de tuberías.

$$D_i = D_{com}$$

i = Pertenece al intervalo [1, N].

D_i = Diámetro nominal del i -ésimo tubería.

D_{com} = Diámetros comerciales disponibles por el fabricante de tuberías

Se ha evaluado los diámetros internos y nominal de las diversas marcas de tuberías disponibles en el mercado Perú, tales como Nicoll, Pavco y Tigre y no se corroboró que no existe variación significativa, solo existe diferencias en diámetros exteriores, en consecuencia en el presente diseño hidráulico no tendrá variaciones significativas en los cálculos al considerar las diferentes marcas de tuberías, sin embargo, es necesario mencionar que el diámetro mínimo en las redes de distribución de riego tecnificado es de $\frac{3}{4}$ ” (25mm).

Según Saldarriaga (2019) los diámetros con los cuales se debe modelar la red de distribución de agua potable o con fines de riego, aplicando algoritmos genéticos, deben ser los diámetros discretos o exteriores comerciales.

Figura 54

Características de las tuberías HDPE para riego tecnificado

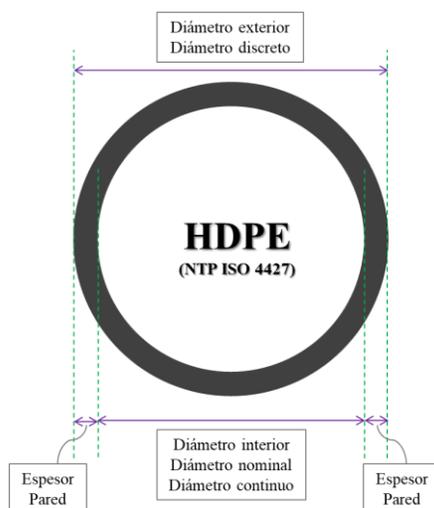
DIMENSIONES SEGÚN NTP ISO 4427

Día. Ext. (mm)	PE 100													
	SDR 26 (PN 6)		SDR 21 (PN 8)		SDR 17 (PN 10)		SDR 13.6 (PN 12.5)		SDR 11 (PN 16)		SDR 9 (PN 20)		SDR 7.4 (PN 25)	
	6 BAR	85.2 PSI	8 BAR	113.6 PSI	10 BAR	142 PSI	12.5 BAR	177.5 PSI	16 BAR	227.2 PSI	20 BAR	294 PSI	25 BAR	368 PSI
	PE 80													
	SDR 26 (PN 5)		SDR 21 (PN 6)		SDR 17 (PN 8)		SDR 13.6 (PN 10)		SDR 11 (PN 12.5)		SDR 9 (PN 16)		SDR 7.4 (PN 20)	
	5 BAR	71 PSI	6 BAR	85.5 PSI	8 BAR	113.6 PSI	10 BAR	142 PSI	12.5 BAR	177.5 PSI	16 BAR	227.2 PSI	20 BAR	294 PSI
	Espesor Pared (mm)	Día. Int. (mm)												
20 (3/4)	—	—	—	—	—	—	1.80	16.40	1.90	16.20	2.30	15.40	3.0	14.00
25 (1)	—	—	—	—	1.80	21.40	1.90	21.20	2.30	20.40	2.80	19.40	3.50	18.00
32 (1 1/4)	—	—	—	—	2.00	28.00	2.40	27.20	3.00	26.00	3.60	24.80	4.40	23.20
40 (1 1/2)	—	—	1.90	36.20	2.40	35.20	3.00	34.00	3.70	32.60	4.50	31.00	5.50	29.00
50 (2)	2.0	46.0	2.40	45.20	3.00	44.00	3.80	42.40	4.60	40.80	5.60	38.80	6.90	36.20
63 (2 1/4)	2.5	58.0	3.00	57.00	3.80	55.40	4.70	53.60	5.80	51.40	7.10	48.80	8.60	45.80
75 (3)	2.9	69.2	3.60	67.80	4.50	66.00	5.60	63.80	6.80	61.40	8.40	58.20	10.30	54.40
90 (3 3/4)	3.5	83.0	4.30	81.40	5.40	79.20	6.70	76.60	8.20	73.60	10.10	69.80	12.30	65.40
110 (4 1/4)	4.2	101.6	5.30	99.40	6.60	96.80	8.10	93.80	10.00	90.00	12.30	85.40	15.10	79.80
125 (5)	4.8	115.4	6.00	113.00	7.40	110.20	9.20	106.60	11.40	102.20	14.00	97.00	17.10	90.80
140 (5 1/2)	5.4	129.2	6.40	127.20	8.30	123.40	10.30	119.40	12.70	114.60	15.70	108.60	19.20	101.60
160 (6 3/4)	6.2	147.6	7.70	144.60	9.50	141.00	11.80	136.40	14.60	130.80	17.90	124.20	21.90	116.20
180 (8)	6.9	166.2	8.60	162.80	10.70	158.60	13.30	153.40	16.40	147.20	20.10	139.80	24.60	130.80
200 (9 1/2)	7.7	184.6	9.60	180.80	11.90	176.20	14.70	170.60	18.20	163.60	22.40	155.20	27.40	145.20
225 (10 3/4)	8.6	207.8	10.80	203.40	13.40	198.20	16.60	191.80	20.50	184.00	25.20	174.60	30.80	163.40
250 (12)	9.6	230.8	11.90	226.20	14.80	220.40	18.40	213.20	22.70	204.60	27.90	194.20	34.20	181.60
280 (14)	10.7	258.6	13.40	253.20	16.60	246.80	20.60	238.80	25.40	229.20	31.30	217.40	38.30	203.40
315 (16)	12.1	290.8	15.00	285.00	18.70	277.60	23.20	268.60	28.60	257.80	35.20	244.60	43.10	228.80
355 (18)	13.6	327.8	16.90	321.20	21.10	312.80	26.10	302.80	32.20	290.60	39.70	275.60	48.50	258.00
400 (20)	15.3	369.4	19.10	361.80	23.70	352.60	29.40	341.20	36.30	327.40	44.70	310.60	54.70	290.60
450 (22)	17.2	415.6	21.50	407.00	26.70	396.60	33.10	383.80	40.90	368.20	50.30	349.40	61.50	327.00
500 (24)	19.1	461.8	23.80	452.40	29.50	441.00	36.80	426.40	45.50	409.00	55.60	388.80	—	—
560 (26)	21.4	517.2	26.70	506.60	33.20	493.60	41.20	477.60	50.80	458.40	62.30	435.40	—	—
630 (28)	24.1	581.8	30.00	570.00	37.40	555.20	46.30	537.40	57.20	515.60	70.00	490.00	—	—

Fuente: Elaboración propia.

Figura 55

Detalle de los diámetros de las tuberías HDPE



Fuente: Elaboración propia

Standar Dimension Ratio (SDR). Es la relación de dimensión estándar que expresa la relación entre el diámetro nominal y el espesor de la tubería. Cabe indicar que el diámetro nominal, según la ISO 6708, es el diámetro interior de la tubería. Todas las tuberías que trabajan a presión se seleccionan por su resistencia mediante el SDR.

$$SDR = \frac{Dn}{e}$$

Dn: Diámetro nominal

e: Espesor de la tubería

Presión nominal (PN). Es la presión extrema que resiste la tubería, lo cual depende del material, por tanto, lo establece el fabricante.

Tabla 9

Detalle de las características técnicas de las tuberías HDPE

Especificaciones	Material	Categoría	SDR	PN (bar)
Tubería HDPE Ø=8"	HDPE	PE100	17	10
Tubería HDPE Ø=6"	HDPE	PE100	17	10
Tubería HDPE Ø=4"	HDPE	PE100	17	10
Tubería HDPE Ø=3"	HDPE	PE100	17	10
Tubería HDPE Ø=2 1/2"	HDPE	PE100	17	10
Tubería HDPE Ø=2"	HDPE	PE100	17	10
Tubería HDPE Ø=1 1/2"	HDPE	PE100	17	10
Tubería HDPE Ø=1 1/4"	HDPE	PE100	17	10
Tubería HDPE Ø=1"	HDPE	PE100	17	10
Tubería HDPE Ø=3/4"	HDPE	PE100	13.6	12.5

Fuente: Elaboración propia

La presente investigación hizo uso de la tubería HDPE como indica el expediente del proyecto, con presiones en los hidrantes que varían de 15mca a 50mca y SDR que cumplió la siguiente expresión:

$$80\%SDR > \text{Presión máxima de trabajo}, \quad 1\text{bar} = 10.20\text{mca}$$

$$80\%(100\text{mca}) = 80\text{mca} > 50\text{mca} \quad \mathbf{ok}$$

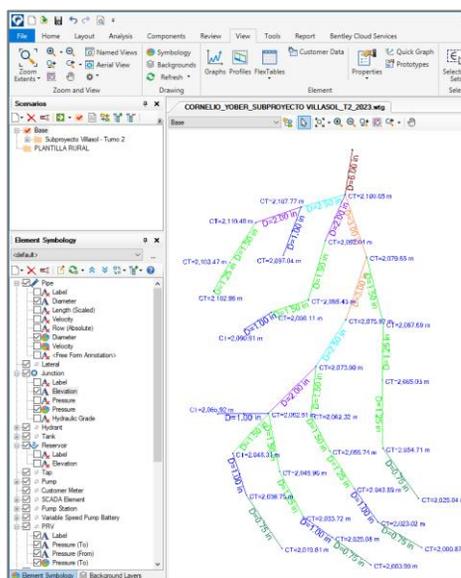
$$80\%(125\text{mca}) = 100\text{mca} > 50\text{mca} \quad \text{ok}$$

4.4.3. Telescopicidad

En diseños de redes de distribución de agua potable en el ámbito urbano no es necesario aplicar el criterio de la telescopicidad; sin embargo, en las redes de distribución ramificada o abierta, tal es el caso de la red de distribución de riego tecnificado presurizado, se debe respetar la telescopicidad en el caudal que circula por todos los ramales, así como en los diámetros de las tuberías que constituyen los tramos de los ramales, esto con la finalidad de reducir la cantidad de los accesorios reductores y difusores en la red por su elevado costo Ruiz (2014).

Figura 56

Telescopicidad en la red de distribución de riego tecnificado del subproyecto Villa Sol



Fuente: Elaboración propia elaborado en base al software WaterGEMS

Como se aprecia en la tabla anterior, la red de distribución cumple la telescopicidad, esto es, los diámetros de las tuberías disminuyen a medida que disminuye los caudales, a medida que aumentan las distancias de los nodos a la cámara de derivación y/o conforme va decreciendo las cotas de terreno.

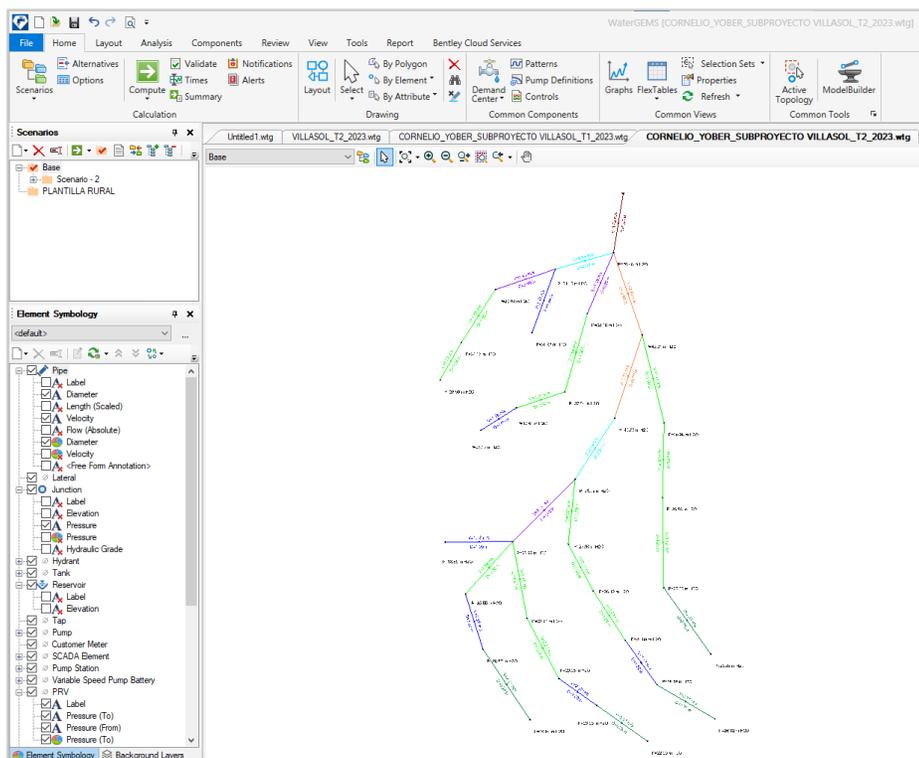
4.5. Cálculo hidráulico no optimizado método clásico o tradicional

El diseño no optimizado o tradicional se realizó en el software WaterCAD.v10.02.03.06, al ejecutar por primera vez el software se debe configurar el entorno de trabajo, entre dichas configuraciones está el sistema de unidades, se usará el Sistema Internacional (SI); las ecuaciones de diseño, se usará la ecuación de Hazen Williams y ecuaciones básicas de mecánica de fluido, el tipo de tubería, NTP – ISO 4427: 2008, así mismo se dibujó la topología de la red sobre las curvas de nivel de la topografía. Es preciso indicar que el proyectista asumió los diversos diámetros de las tuberías, las zonas de presión y las cámaras rompe presión de tal manera que el software realice el modelamiento y cálculo hidráulico, cuyos resultados se muestra a continuación.

Esquema de la red de distribución de riego tecnificado presurizado

Figura 57

Esquema de la red de distribución de riego tecnificado presurizado subproyecto Villa Sol



Fuente: Elaboración propia

El presente diseño de la red de distribución de riego tecnificado fue elaborado por el consorcio Quinta Praga Ambo, cuyos especialistas en hidrología e hidráulica realizaron el cálculo hidráulico de las redes de distribución de riego tecnificado de los centros poblados de Cochas Chico y Villa Sol, teniendo en consideración los diámetros comerciales de las tuberías y las experiencias de dichos especialistas. Por otro lado, en el costo de las tuberías se incluyeron los costos de trabajos preliminares (limpieza de terreno manual, trazo, nivelación y replanteo), movimiento de tierras (excavación con equipo en terreno compacto, refine y nivelación de zanjas, cama de apoyo de arena gruesa $h=0.10\text{m}$, relleno y compactado con material propio seleccionado, relleno y compactado con material propio y eliminación y acomodo de material excedente $\text{dist/prom}=100\text{m}$) y suministro e instalación de tuberías, los cuales se detallan en el ANEXO N°x.

Resumen de las Tuberías y su correspondiente metrado, precio unitario y costo total

Tabla 10

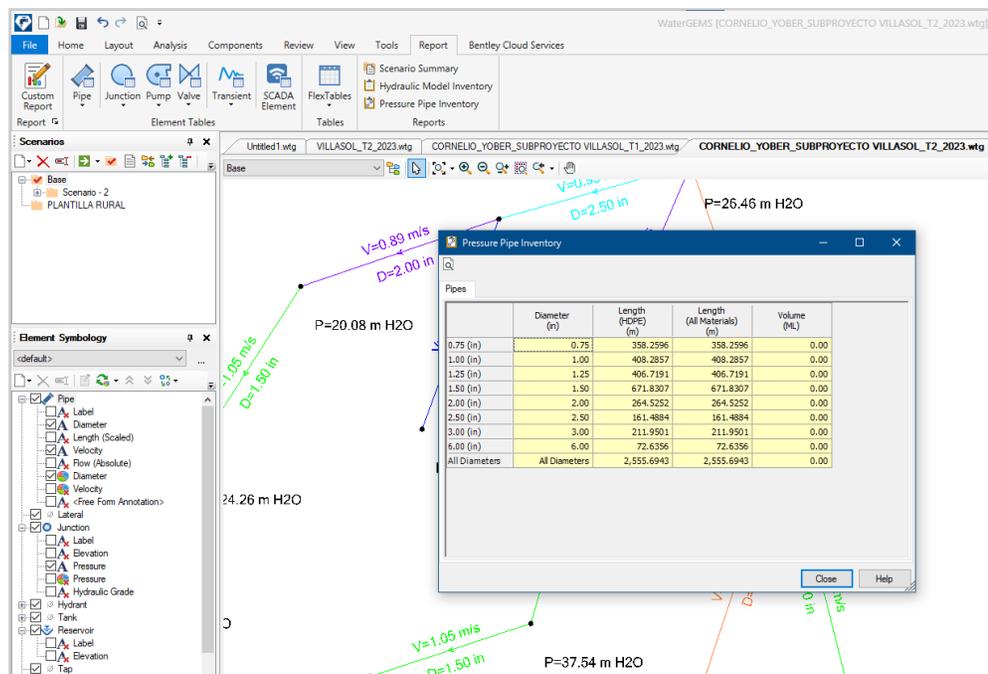
Costos de la tubería HDPE por metro lineal

Especificaciones	Longitud	PU	Total
Tubería HDPE Ø=8"		S/ 118.10	S/ -
Tubería HDPE Ø=6"	72.64 ml	S/ 88.58	S/ 6,434.14
Tubería HDPE Ø=4"		S/ 61.42	S/ -
Tubería HDPE Ø=3"	211.95 ml	S/ 53.28	S/ 11,292.23
Tubería HDPE Ø=2 1/2"	161.49 ml	S/ 46.40	S/ 7,492.75
Tubería HDPE Ø=2"	264.53 ml	S/ 44.77	S/ 11,842.25
Tubería HDPE Ø=1 1/2"	671.83 ml	S/ 41.18	S/ 27,664.43
Tubería HDPE Ø=1 1/4"	406.72 ml	S/ 41.14	S/ 16,731.51
Tubería HDPE Ø=1"	408.29 ml	S/ 38.16	S/ 15,579.25
Tubería HDPE Ø=3/4"	358.26 ml	S/ 37.54	S/ 13,448.24
Costo total de la red de distribución de riego tecnificado			S/ 110,484.81

Fuente: Elaboración propia

Figura 58

Tuberías HDPE consideradas en el diseño tradicional o clásico



Fuente: Elaboración propia generada en base al software WaterGEMS

Como se puede apreciar en la Figura 58, la red del turno n°2 del subproyecto Villa Sol está estructurado por 31 tramos de tuberías y 31 hidrantes en los nodos. Además, la altura de la cámara de derivación CD2 ubicado en la cabecera de la red es 2,128.86m. La velocidad mínima que el proyectista estableció es 0.50 m/s y la máxima en 3.00 m/s.

Nota:

Debido a que el objetivo principal del presente proyecto fue la comparación de diseños de una red previamente establecido, se usarán para el cálculo hidráulico los datos obtenidos del expediente técnico de obra “Mejoramiento y Ampliación del servicio de agua del sistema de riego tecnificado en las localidades de Quinta Praga, Cochas Chico, Villa sol, distrito de Chinchao, provincia de Huánuco – región Huánuco”, sin ánimos de entrar en discusiones del diseño agronómico y diseño de la red de riego tecnificado de dicho proyecto.

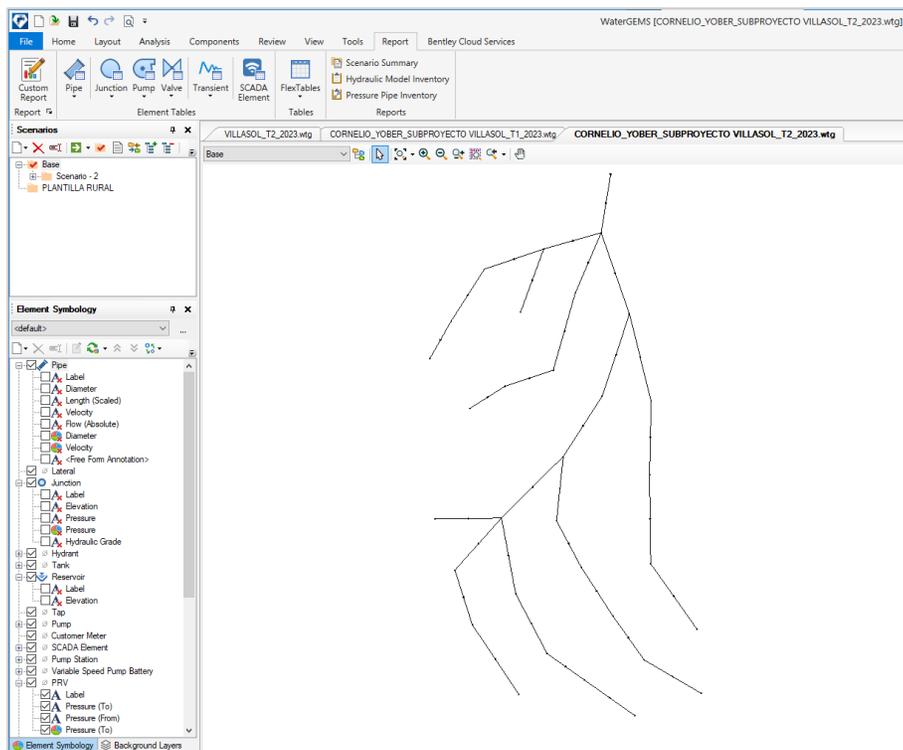
4.6. Los algoritmos genéticos mediante el software WaterGEMS (2022)

4.6.1. Datos topográficos y topológicos

La elaboración de la superficie topográfica, así como el trazo de la red se realizaron en el software Civil3D, los cuales se detallaron previamente. Entonces, ahora procede exportar dicha superficie topográfica y topología de la red al software WaterGEMS en formato dxf. Posteriormente se ingresó los nodos, las tuberías, cámaras rompe presión y reservorios con sus respectivas cotas de terreno, coordenadas y caudales unitarios en los hidrantes de toda la red de distribución de riego tecnificado presurizado.

Figura 59

Topografía y topología de la red de distribución del subproyecto Villa Sol



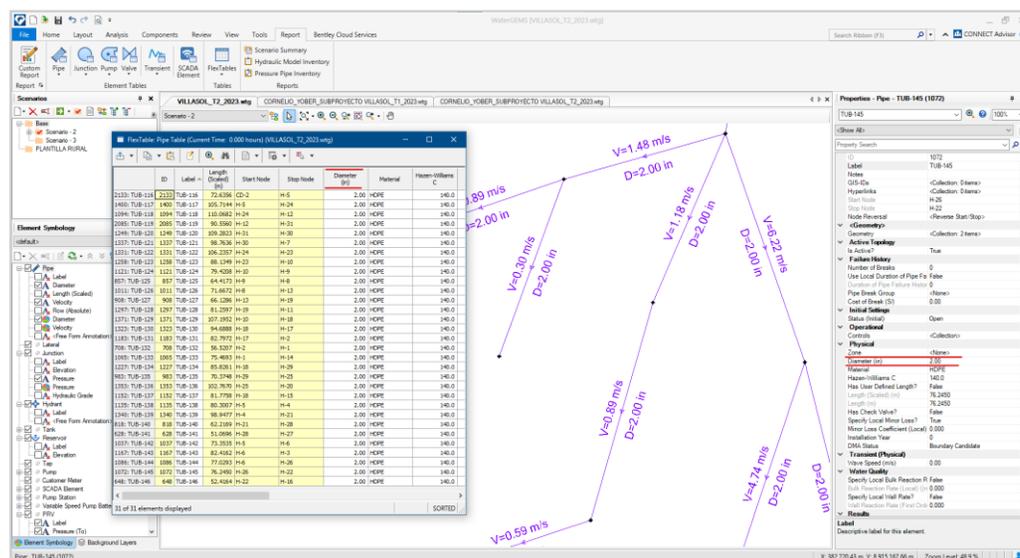
Fuente: Elaboración propia elaborado en base al software WaterGEMS

4.6.2. Pre dimensionamiento de la red de distribución de riego tecnificado

La topología y la topografía, este último mediante las curvas de nivel, fueron elaborados en Civil3D, guardados en formato dxf y posteriormente exportados al software WaterGEMS. En “Tools” → “More” → “Options” → “Units” se estableció las unidades a Sistema Internacional, por otro lado, en “Analysis” → “Options” → “New” se establecieron la ecuación de fricción a Hazen-Williams, material a HDPE, temperatura a 20°C, tipo de fluido a líquido, tipo de cálculo a solo hidráulico, tipo de tiempo de análisis a estado estático, entre otros. Además, en “Layout” → “Prototypes” → “Pipe” → “New” se estableció el diámetro de la tubería, el coeficiente de Hazen-Williams para tubería HDPE 140, el grupo, la zona, entre otros. De este modo el espacio de trabajo está configurado para realizar la importación de la topografía y topología de la red en dxf. Finalmente, en “Components” → “Demand Control Center” se ingresan los caudales de demanda en los hidrantes.

Figura 60

Configuración del espacio de trabajo e introducción de parámetros iniciales



Fuente: Elaboración propia elaborado en base al software WaterGEMS

Con los datos antes explicados, estos son, demanda unitaria en los hidrantes, diámetros (2"), elevaciones, coordenadas UTM y reservorio se realiza la corrida del software, cuyos resultados de presión y velocidad probablemente estén fuera de las restricciones establecidas en las normas; sin embargo, el objetivo principal de esta etapa es conocer los caudales que circulan por todos los ramales de la red, con esta información se conocerán la combinación de los primeros diámetros en los tramos, la fórmula de pre dimensionamiento deducida a partir de la ecuación de Hazen Williams y los resultados se muestran a continuación:

Formula de Hazen Williams $\rightarrow Q = 0.2784 C_{H,W} D^{2.63} S^{0.54}$

$$D \text{ (in)} = \sqrt[2.63]{Q \left(\frac{l}{s}\right)}$$

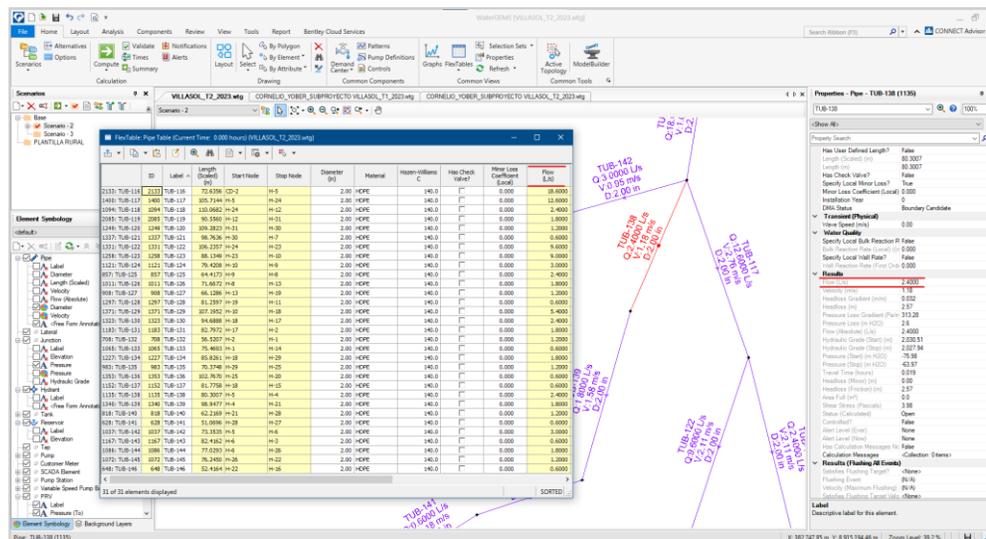
Donde:

D: Diámetro de la tubería (pulgadas)

Q: Caudal que circula por la tubería (litros/segundo)

Figura 61

Caudales en la red de 2"



Fuente: Elaboración propia elaborado en el software WaterGEMS

Tabla 11

Diámetros discretos pre dimensionados en todos los ramales de la red

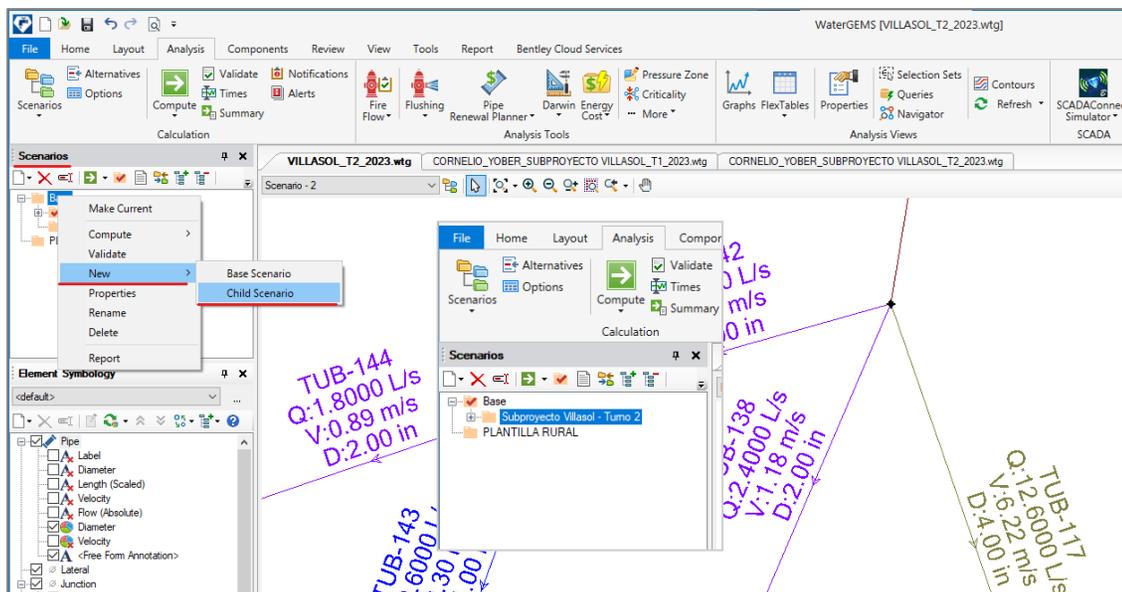
Tubería	Caudal	Diámetro		Tubería	Caudal	Diámetro	
		Comercial				Comercial	
TUB-116	18.6	5	6	TUB-132	1.2	2	2
TUB-117	12.6	4	4	TUB-133	0.6	1	1
TUB-118	2.4	2	2	TUB-134	1.8	2	2
TUB-119	1.8	2	2	TUB-135	1.2	2	2
TUB-120	1.2	2	2	TUB-136	0.6	1	1
TUB-121	0.6	1	1	TUB-137	0.6	1	1
TUB-122	9.6	4	4	TUB-138	2.4	2	2
TUB-123	9	3	3	TUB-139	1.8	2	2
TUB-124	3	2	2	TUB-140	1.2	2	2
TUB-125	2.4	2	2	TUB-141	0.6	1	1
TUB-126	1.8	2	2	TUB-142	3	2	2
TUB-127	1.2	2	2	TUB-143	0.6	1	1
TUB-128	0.6	1	1	TUB-144	1.8	2	2
TUB-129	5.4	3	3	TUB-145	1.2	2	2
TUB-130	2.4	2	2	TUB-146	0.6	1	1
TUB-131	1.8	2	2				

Fuente: Elaboración propia

Estos diámetros discretos comerciales se ingresaron al modelo hidráulico de la red de distribución. Por otro lado, la disposición de dichos diámetros es de vital importancia para clasificar los tramos de la red en ramales principales, ramales secundarios, ramales terciarios, etc. Además, esta clasificación en ramales específicas permite realizar la agrupación de los diámetros en la configuración del *Darwin Designer*, esto con la finalidad de cumplir la telescopicidad de una red abierta o ramificada.

Figura 62

Red de distribución del subproyecto Villa Sol con diámetros pre dimensionados

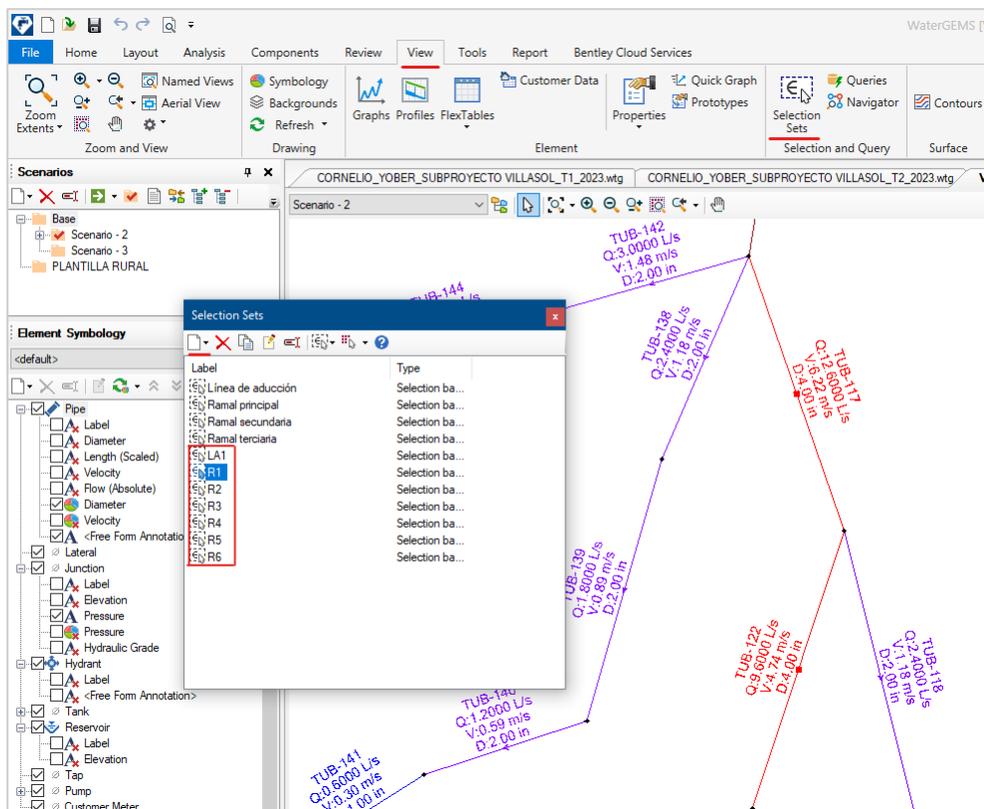


Fuente: Elaboración propia basado en el software WaterGEMS

En la sección de “*Scenario*” → “*New*” → “*Child Scenario*” creamos un nuevo escenario hijo, lo cual es una copia del escenario “*Base*” consecuentemente tienen las mismas propiedades topológicas, topográficas e hidráulicas, cuyo nombre es “*Subproyecto Villasol - Turno 2*”, es en este escenario en el cual se va a hacer las agrupaciones de las tuberías y los cálculos empleando algoritmos genéticos. Entonces, en “*View*” → “*Selection Sets*” → “*New*” se realizaron la agrupación de las tuberías.

Figura 63

Agrupación de las tuberías



Fuente: Elaboración propia basado en el software WaterGEMS

LA1: Línea de aducción

R1: Ramal de orden 1

R4: Ramal de orden 4

R2: Ramal de orden 2

R5: Ramal de orden 5

R3: Ramal de orden 3

R6: Ramal de orden 6

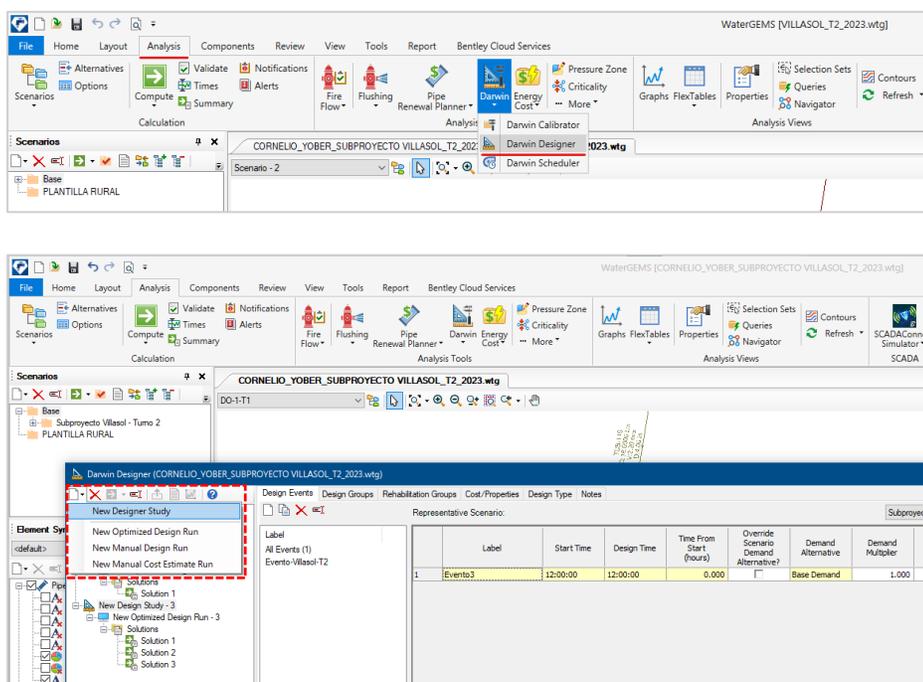
Se optó por esta agrupación considerando la topología de la red, es decir, obedece al criterio del proyectista. Finalmente, con estas consideraciones se procedió a diseñar la red empleando uno de los Métodos Heurísticos, esto es, algoritmos genéticos.

4.6.3. Procedimiento de dimensionado óptimo mediante los algoritmos genéticos en *WaterGEMS* (2022)

El software *WaterGEMS* trae consigo la herramienta “*Darwin Designer*”, lo cual está configurado de acuerdo a los principios de los algoritmos genéticos. En “*Analysis*” → “*Darwin*” → “*Darwin Designer*”, seguidamente se crea el nuevo estudio de diseño en “*New*” → “*New Designer Study*”, así mismo se crea el nuevo evento de diseño en “*Design Events*”, es en esta sección donde se configura el escenario de trabajo y las restricciones hidráulicas. Cabe mencionar que esta metodología se aplica en estado estático, es decir, para un determinado momento; sin embargo, esto no quita la posibilidad de realizar la evaluación periodo extendido, para este último se especifica el tiempo en el cual se quiere analizar la red en “*Time From Start*”, lo cual generalmente sucede en un tiempo extremo o crítico.

Figura 64

Algoritmos genéticos con la herramienta Darwin Designer



Fuente: Elaboración propia generado en base al software *WaterGEMS*

Figura 65

Creación del evento de diseño y selección del escenario representativo

The image shows two screenshots from the WaterGEMS software. The top screenshot displays the 'Representative Scenario' table within the 'ROVECTO VILLASOL_T2_2023.wtg' project. The table lists a single scenario with the following data:

Label	Start Time	Design Time	Time From Start (hours)	Override Scenario Demand Alternative?	Demand Alternative	Demand Multiplier	Minimum Pressure (Default) (m H2O)	Maximum Pressure (Default) (m H2O)	Consider Pressure Benefit? (Default)	Minimum Velocity (Default) (m/s)	Maximum Velocity (Default) (m/s)	Notes
Evento-Villasol-T2	12:00:00	12:00:00	0.000	<input type="checkbox"/>	Base Demand	1.000	15.00	50.00	<input type="checkbox"/>	0.50	3.00	

The bottom screenshot shows the 'Properties' window for the selected design event. The table in this window is identical to the one above, with the 'Design Time' and 'Time From Start (hours)' cells highlighted in yellow.

Design Time	Time From Start (hours)	Override Scenario Demand Alternative?	Demand Alternative	Demand Multiplier	Minimum Pressure (Default) (m H2O)	Maximum Pressure (Default) (m H2O)	Consider Pressure Benefit? (Default)	Minimum Velocity (Default) (m/s)	Maximum Velocity (Default) (m/s)	Notes
12:00:00	0.000	<input type="checkbox"/>	Base Demand	1.000	15.00	50.00	<input type="checkbox"/>	0.50	3.00	

Fuente: Elaboración propia elaborado en base al software WaterGEMS

El estado en el cual se está realizando el diseño es estático; por otro lado, se precisa que los extremos de las presiones (15mca – 50mca) y velocidades (0.50m/s – 3m/s) a considerar son las establecidas en el expediente técnico de obra del subproyecto Villa Sol, esto con la finalidad que la comparación de resultados con el método tradicional o clásico sean las adecuadas o confiables. Sin embargo, se deja en conocimiento que las restricciones de presión y velocidad de la red de distribución de riego tecnificado presurizado están gobernadas por las normas técnicas sectoriales, esto es, Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI), los cuales se detallaron en las secciones precedentes.

Referente al orden de análisis de las restricciones hidráulicas es recomendable realizar primero con los extremos de las presiones, esto debido a que es un muy probable que en determinados tramos de la red las tuberías no cumplan la velocidad mínima porque los diámetros serán aquellas que para determinadas presiones las velocidades estarán por debajo de 0.50m/s, se detalla mediante la siguiente fórmula:

$$D = \left(\sqrt{\frac{4Q}{V\pi}} \right) \times 1000$$

Donde:

D: Diámetro de la tubería (mm)

Q: Caudal del flujo en la tubería (m³/s)

V: Velocidad del flujo en la tubería (m/s)

Tabla 12

Diámetro mínimo y máximo acorde a la velocidad mínima y máxima para caudal 0.60l/s

N°	Q (l/s)	V (m/s)	D (mm)
1	0.60	0.50	35.70
2	0.60	3.00	15.96

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en la Tabla 12, para un caudal de 0.60 l/s en los hidrantes, diámetros de las tuberías que llegan a dicha hidrantes, para velocidades comprendidas en 0.50m/s - 3.00m/s, las presiones varían en el orden de 15.96mm a 35.70mm; sin embargo, el proyecto consideró el diámetro comercial mínimo en 25mm, en consecuencia, existe la posibilidad de que las velocidades mínimas no sean cumplidas al aplicar los algoritmos genéticos.

Por tal razón, primero se evalúa las presiones, posteriormente las velocidades. Además, cabe reiterar que los algoritmos genéticos muestran resultados lo más próximo al óptimo, pudiendo en ocasiones dar con el óptimo global. Entonces, después de la simulación se puede hacer los ajustes de las velocidades y presiones con la finalidad de cumplir las restricciones hidráulicas y la telescopicidad. Con esto queda comprobada que los algoritmos genéticos de ninguna manera pretenden reemplazar el buen criterio del ingeniero proyectista.

Ahora, en “*Minimum Pressure (mH2O)*” y “*Maximun Pressure (mH2O)*” se ingresan la presión mínima 15mca y presión máxima 50mca. Posteriormente en la sección “*Pressure Constraints*” → “*Select From Drawing*” se agrega todos los nodos de la red de distribución, los cuales están sujetas a las restricciones hidráulicas de presión antes mencionadas, esto no impide considerar presiones específicas en determinados nodos mediante la opción “*Override Defaults*”.

Figura 66

Introducción de presión mínima dinámica y máxima estática

Label	Start Time	Design Time	Time From Start (hours)	Override Scenario Demand Alternative?	Demand Alternative	Demand Multiplier	Minimum Pressure (Default) (m H2O)	Maximum Pressure (Default) (m H2O)	Consider Pressure Benefit?	Minimum Velocity (Default) (m/s)	Maximum Velocity (Default) (m/s)
1 Evento-Villasol-T2	12:00:00	12:00:00	0.000	<input type="checkbox"/>	Base Demand	1.000	15.00	50.00	<input type="checkbox"/>	0.50	3.00
2 Evento-Villasol-T2				<input type="checkbox"/>			15.00	50.00	<input type="checkbox"/>		
3 Evento-Villasol-T2				<input type="checkbox"/>			15.00	50.00	<input type="checkbox"/>		
4 Evento-Villasol-T2				<input type="checkbox"/>			15.00	50.00	<input type="checkbox"/>		
5 Evento-Villasol-T2				<input type="checkbox"/>			15.00	50.00	<input type="checkbox"/>		
6 Evento-Villasol-T2				<input type="checkbox"/>			15.00	50.00	<input type="checkbox"/>		
7 Evento-Villasol-T2				<input type="checkbox"/>			15.00	50.00	<input type="checkbox"/>		
8 Evento-Villasol-T2				<input type="checkbox"/>			15.00	50.00	<input type="checkbox"/>		
9 Evento-Villasol-T2				<input type="checkbox"/>			15.00	50.00	<input type="checkbox"/>		
10 Evento-Villasol-T2				<input type="checkbox"/>			15.00	50.00	<input type="checkbox"/>		
11 Evento-Villasol-T2				<input type="checkbox"/>			15.00	50.00	<input type="checkbox"/>		
12 Evento-Villasol-T2				<input type="checkbox"/>			15.00	50.00	<input type="checkbox"/>		
13 Evento-Villasol-T2				<input type="checkbox"/>			15.00	50.00	<input type="checkbox"/>		
14 Evento-Villasol-T2				<input type="checkbox"/>			15.00	50.00	<input type="checkbox"/>		
15 Evento-Villasol-T2				<input type="checkbox"/>			15.00	50.00	<input type="checkbox"/>		
16 Evento-Villasol-T2				<input type="checkbox"/>			15.00	50.00	<input type="checkbox"/>		
17 Evento-Villasol-T2				<input type="checkbox"/>			15.00	50.00	<input type="checkbox"/>		
18 Evento-Villasol-T2				<input type="checkbox"/>			15.00	50.00	<input type="checkbox"/>		
19 Evento-Villasol-T2				<input type="checkbox"/>			15.00	50.00	<input type="checkbox"/>		
20 Evento-Villasol-T2				<input type="checkbox"/>			15.00	50.00	<input type="checkbox"/>		
21 Evento-Villasol-T2				<input type="checkbox"/>			15.00	50.00	<input type="checkbox"/>		
22 Evento-Villasol-T2				<input type="checkbox"/>			15.00	50.00	<input type="checkbox"/>		
23 Evento-Villasol-T2				<input type="checkbox"/>			15.00	50.00	<input type="checkbox"/>		
24 Evento-Villasol-T2				<input type="checkbox"/>			15.00	50.00	<input type="checkbox"/>		
25 Evento-Villasol-T2				<input type="checkbox"/>			15.00	50.00	<input type="checkbox"/>		
26 Evento-Villasol-T2				<input type="checkbox"/>			15.00	50.00	<input type="checkbox"/>		
27 Evento-Villasol-T2				<input type="checkbox"/>			15.00	50.00	<input type="checkbox"/>		
28 Evento-Villasol-T2				<input type="checkbox"/>			15.00	50.00	<input type="checkbox"/>		
29 Evento-Villasol-T2				<input type="checkbox"/>			15.00	50.00	<input type="checkbox"/>		
30 Evento-Villasol-T2				<input type="checkbox"/>			15.00	50.00	<input type="checkbox"/>		
31 Evento-Villasol-T2				<input type="checkbox"/>			15.00	50.00	<input type="checkbox"/>		

Fuente: Elaboración propia generadas en base al software WaterGEMS

Seguidamente, en “*Minimum Velocity (m/s)*” y “*Maximun Velocity (m/s)*” se ingresa la velocidad mínima 0.50m/s y máxima de 3.00m/s.

Así mismo, en la sección “*Flow Constraints*” → “*Select From Drawing*” se agregan todas las tuberías de la red de distribución, las cuales están sujetas a las restricciones hidráulicas de velocidades antes mencionadas, esto no impide considerar velocidades específicas en determinadas tuberías mediante la opción “*Override Defaults*”.

Figura 67

Introducción de velocidad mínima y máxima

Label	Start Time	Design Time	Time From Start (hours)	Override Scenario Demand Alternative?	Demand Alternative	Demand Multiplier	Minimum Pressure (Default) (m H2O)	Maximum Pressure (Default) (m H2O)	Consider Pressure Benefit?	Minimum Velocity (Default) (m/s)	Maximum Velocity (Default) (m/s)
1 Evento-Villasol-T2	12:00:00	12:00:00	0.000	<input type="checkbox"/>	Base Demand	1.000	15.00	50.00	<input type="checkbox"/>	0.50	3.00

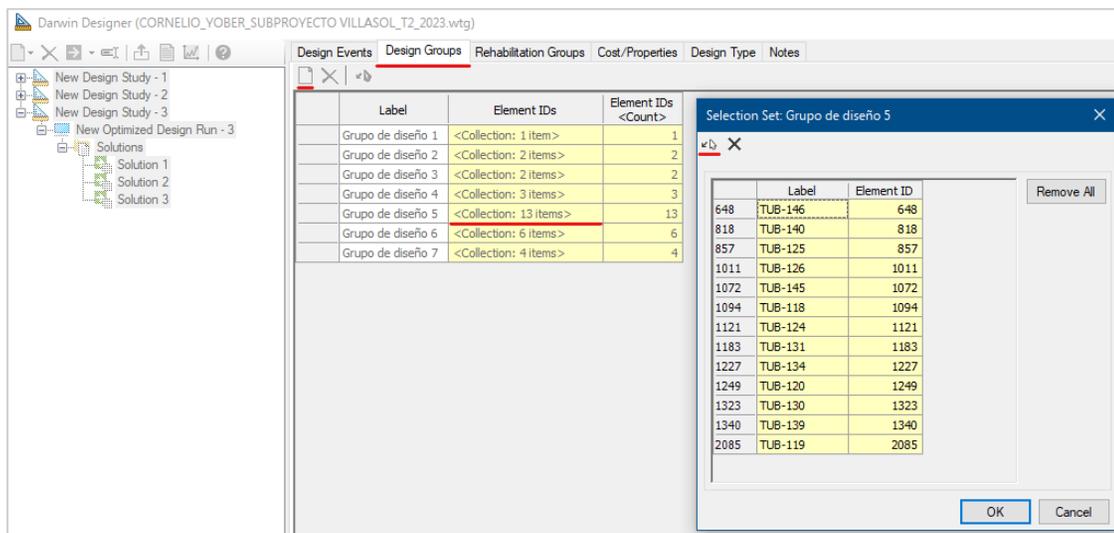
Design Event	Pipe	Override Defaults?	Minimum Velocity (m/s)	Maximum Velocity (m/s)
1 Evento-Villasol-T2	TUB-141	<input type="checkbox"/>	0.50	3.00
2 Evento-Villasol-T2	TUB-146	<input type="checkbox"/>	0.50	3.00
3 Evento-Villasol-T2	TUB-132	<input type="checkbox"/>	0.50	3.00
4 Evento-Villasol-T2	TUB-140	<input type="checkbox"/>	0.50	3.00
5 Evento-Villasol-T2	TUB-125	<input type="checkbox"/>	0.50	3.00
6 Evento-Villasol-T2	TUB-127	<input type="checkbox"/>	0.50	3.00
7 Evento-Villasol-T2	TUB-135	<input type="checkbox"/>	0.50	3.00
8 Evento-Villasol-T2	TUB-126	<input type="checkbox"/>	0.50	3.00
9 Evento-Villasol-T2	TUB-142	<input type="checkbox"/>	0.50	3.00
10 Evento-Villasol-T2	TUB-133	<input type="checkbox"/>	0.50	3.00
11 Evento-Villasol-T2	TUB-145	<input type="checkbox"/>	0.50	3.00
12 Evento-Villasol-T2	TUB-144	<input type="checkbox"/>	0.50	3.00
13 Evento-Villasol-T2	TUB-124	<input type="checkbox"/>	0.50	3.00
14 Evento-Villasol-T2	TUB-138	<input type="checkbox"/>	0.50	3.00
15 Evento-Villasol-T2	TUB-137	<input type="checkbox"/>	0.50	3.00
16 Evento-Villasol-T2	TUB-143	<input type="checkbox"/>	0.50	3.00
17 Evento-Villasol-T2	TUB-131	<input type="checkbox"/>	0.50	3.00
18 Evento-Villasol-T2	TUB-134	<input type="checkbox"/>	0.50	3.00
19 Evento-Villasol-T2	TUB-120	<input type="checkbox"/>	0.50	3.00
20 Evento-Villasol-T2	TUB-123	<input type="checkbox"/>	0.50	3.00
21 Evento-Villasol-T2	TUB-128	<input type="checkbox"/>	0.50	3.00
22 Evento-Villasol-T2	TUB-130	<input type="checkbox"/>	0.50	3.00
23 Evento-Villasol-T2	TUB-122	<input type="checkbox"/>	0.50	3.00
24 Evento-Villasol-T2	TUB-121	<input type="checkbox"/>	0.50	3.00
25 Evento-Villasol-T2	TUB-139	<input type="checkbox"/>	0.50	3.00
26 Evento-Villasol-T2	TUB-136	<input type="checkbox"/>	0.50	3.00
27 Evento-Villasol-T2	TUB-129	<input type="checkbox"/>	0.50	3.00
28 Evento-Villasol-T2	TUB-117	<input type="checkbox"/>	0.50	3.00
29 Evento-Villasol-T2	TUB-118	<input type="checkbox"/>	0.50	3.00
30 Evento-Villasol-T2	TUB-119	<input type="checkbox"/>	0.50	3.00
31 Evento-Villasol-T2	TUB-116	<input type="checkbox"/>	0.50	3.00

Fuente: Elaboración propia elaborado en base al software WaterGEMS

Posteriormente en “*Design Groups*” → “*New*” → “*Element IDs*” → “*Select From Drawing*” definimos los grupos de diseño cuanto más grupo haya, mejor será la distribución de los diámetros en los ramales, además esta sección es muy importante debido a que están en función de la clasificación de los ramales, los cuales permitirán la telescopicidad de la red.

Figura 68

Creación de los grupos de diseño

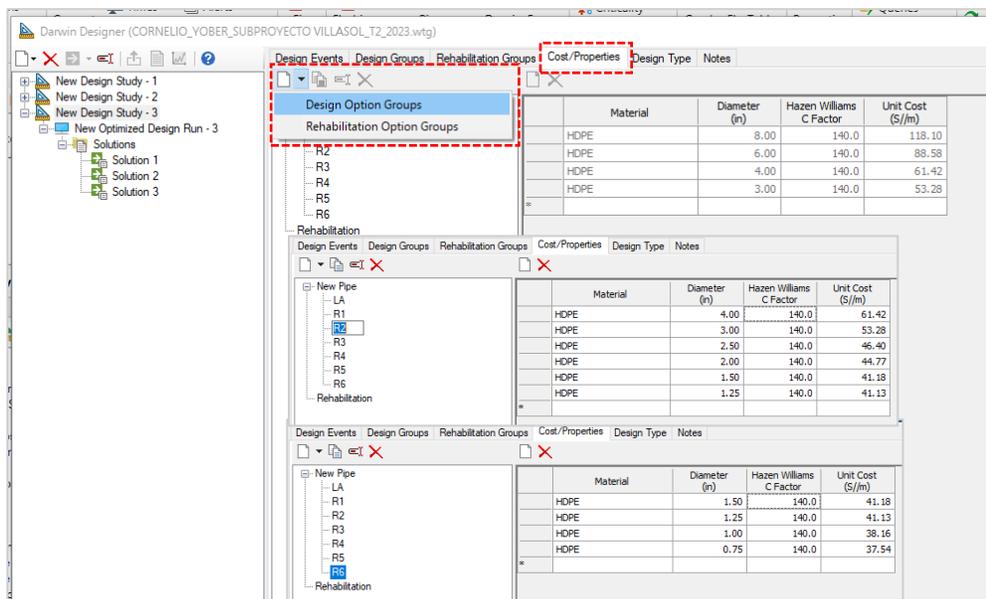


Fuente: Elaboración propia generada en función del software WaterGEMS

En “*Cost/Properties*” → “*New*” → “*Design Option Groups*” definimos el material HDPE, los diámetros discreto comerciales, el coeficiente C de Hazen Williams 140 para PE y los costos de las tuberías por metro lineal, costos de las tuberías y accesorios y costos de instalación, los cuales se determinaron en las secciones precedentes. El grupo de opciones de diseño se define considerando la clasificación de la red de distribución en tipos de ramales, es decir, a los ramales que salen del reservorio, en el presente proyecto cámara de derivación CD-2, se le dan los mayores diámetros y a medida que se va alejando de dicho reservorio, entonces los diámetros de las tuberías irán decreciendo, esta opción de grupos de diseños está en función de los diámetros de las tuberías pre dimensionadas previamente.

Figura 69

Determinación de opciones de grupos de diseño

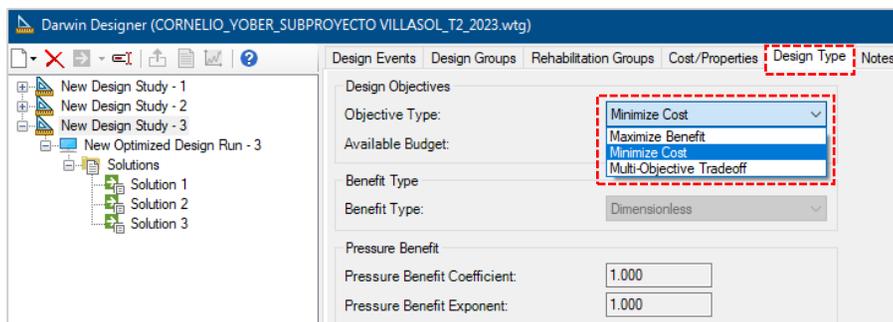


Fuente: Elaboración propia elaborada en el software WaterGEMS

En “*Design Type*” → “*Design Objectives*” → “*Objective Type*” se define el objetivo de diseño, lo cual consistió en minimizar los costos de las tuberías e instalación de las mismas, considerando las restricciones hidráulicas de presión y velocidad. Tratándose de una red de distribución ramificada también es importante considerar la telescopicidad.

Figura 70

Selección del tipo de objetivo

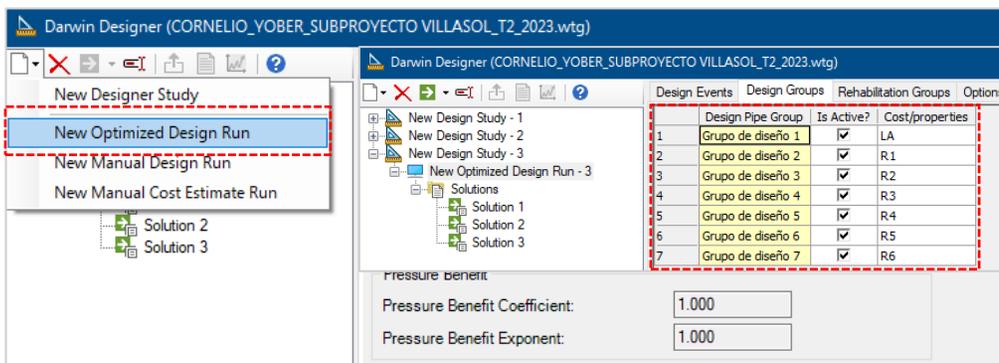


Fuente: Elaboración propia generado en base al software WaterGEMS

En “New” → “New Optimized Design Run” creamos el nuevo diseño optimizado, así mismo en “Design Groups” asignamos el costo a cada grupo de diseño definido previamente.

Figura 71

Creación del nuevo diseño optimizado y designación de los grupos de diseño

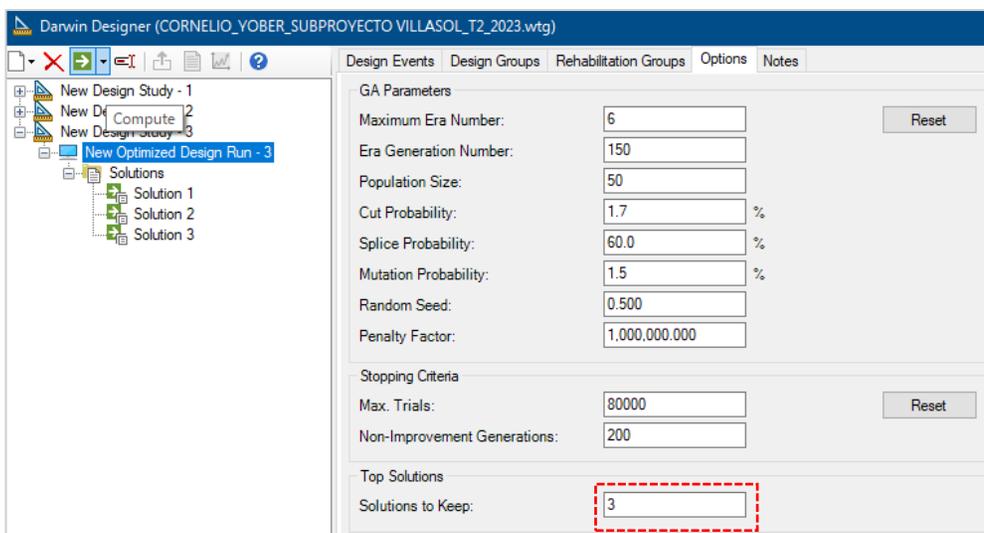


Fuente: Elaboración propia generado en base al software WaterGEMS

En “Options” se muestra los parámetros del algoritmo genético, dichos valores son las recomendadas por el autor creador del software WaterGEMS, debido a que dieron los mejores resultados en las investigaciones. Se procede correr el modelo hidráulico.

Figura 72

Parámetros de los algoritmos genéticos

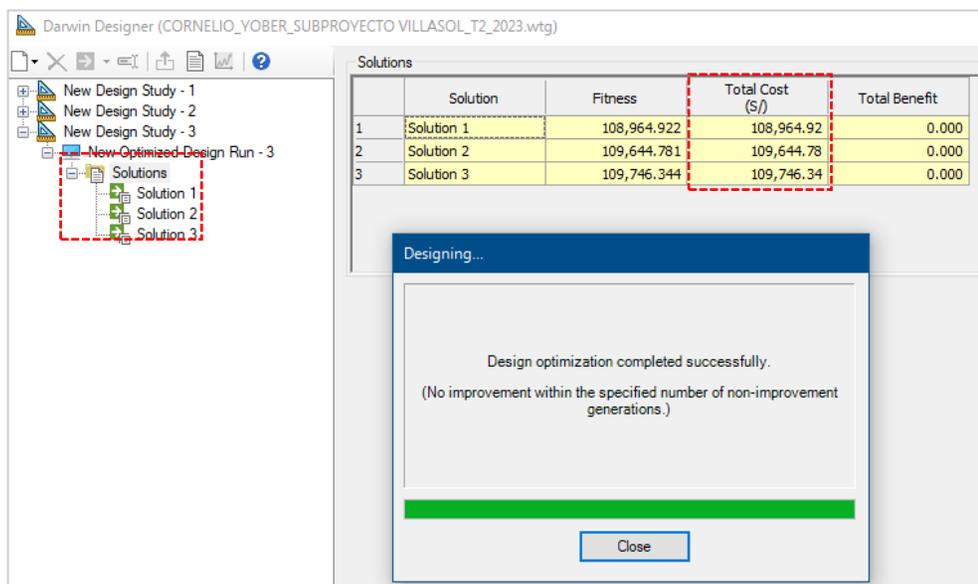


Fuente: Elaboración propia elaborado en base al software WaterGEMS

El diseño de la red de distribución aplicando algoritmos genéticos muestra las 3 primeras soluciones de mínimo costo, los cuales se muestran en la siguiente figura.

Figura 73

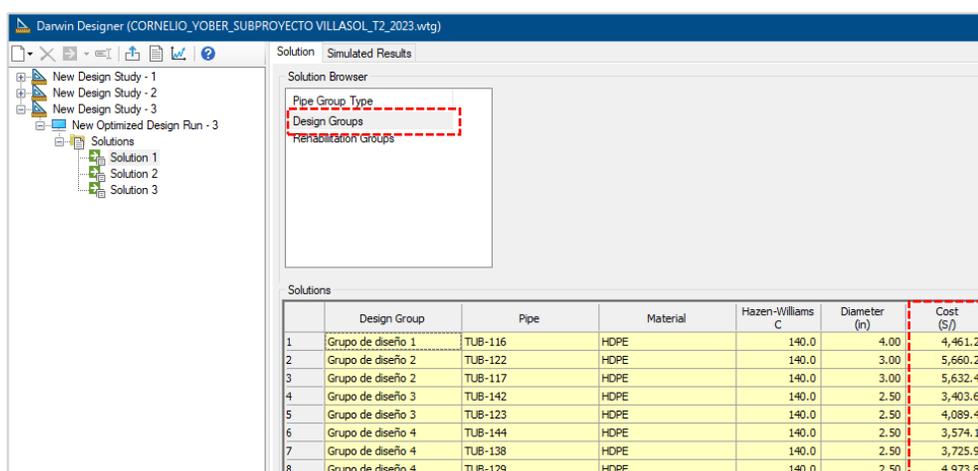
Las 3 primeras soluciones de la red de distribución de mínimo costo



Fuente: Elaboración propia generado en base al software WaterGEMS

Figura 74

Diámetros óptimos de la red de distribución de riego técnico



Fuente: Elaboración propia elaborado en base al software WaterGEMS

Figura 75

Presiones y velocidades dentro los límites mínimos y máximos

The screenshot shows the 'Simulated Results' window in Darwin Designer. It contains two tables. The first table, titled 'Constraint Type', lists velocity constraints for five design events. The second table, titled 'Solutions', lists pressure constraints for the same five design events. Red dashed boxes highlight the 'Constraint Type' dropdown and the 'Simulated Velocity' and 'Simulated Pressure' columns in both tables.

Design Event	Element	Minimum Velocity (m/s)	Maximum Velocity (m/s)	Simulated Velocity (m/s)	Violation (m/s)
1 Evento-Villasol-T2	TUB-141	0.50	3.00	1.18	0.00
2 Evento-Villasol-T2	TUB-146	0.50	3.00	0.53	0.00
3 Evento-Villasol-T2	TUB-132	0.50	3.00	2.37	0.00
4 Evento-Villasol-T2	TUB-140	0.50	3.00	1.05	0.00
5 Evento-Villasol-T2	TUB-125	0.50	3.00	2.11	0.00

Design Event	Element	Required Minimum Pressure (m H2O)	Required Maximum Pressure (m H2O)	Simulated Pressure (m H2O)	Violation (m H2O)
1 Evento-Villasol-T2	H-128	15.00	50.00	29.31	0.00
2 Evento-Villasol-T2	H-129	15.00	50.00	24.84	0.00
3 Evento-Villasol-T2	H-133	15.00	50.00	22.19	0.00
4 Evento-Villasol-T2	H-134	15.00	50.00	22.17	0.00

Fuente: Elaboración propia generado en base al software WaterGEMS

Figura 76

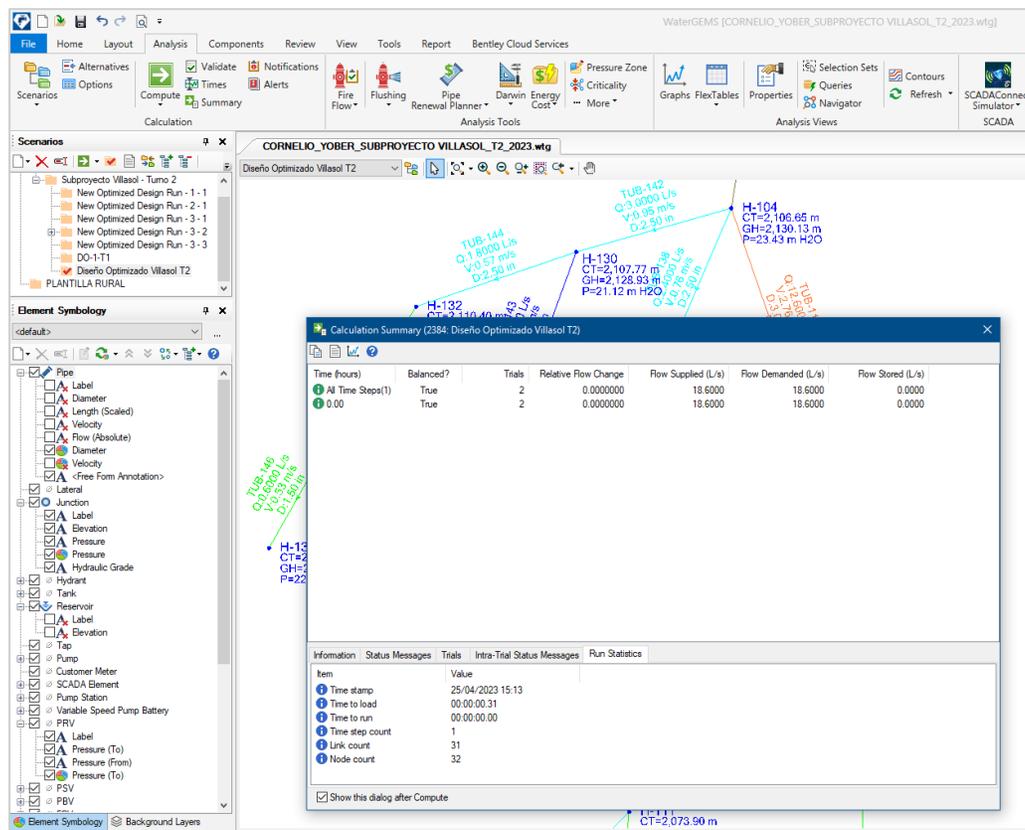
Exportación de los diámetros óptimos al escenario base

The screenshot shows the 'Export Design to Scenario' dialog box in Darwin Designer. The dialog box is open over a network diagram. The 'Export Scenario?' checkbox is checked, and the 'Label' field contains 'Diseño Optimizado Villasol T2'. The 'Export Physical Alternative?' checkbox is also checked, and the 'Name' field contains 'Diseño Optimizado Villasol T2'. The 'Export Active Topology Alternative?' checkbox is unchecked. The 'OK', 'Cancel', and 'Help' buttons are visible at the bottom of the dialog box.

Fuente: Elaboración propia elaborado en base al software WaterGEMS

Figura 77

Eficacia y eficiencia en la simulación de la red de distribución de riego tecnificado



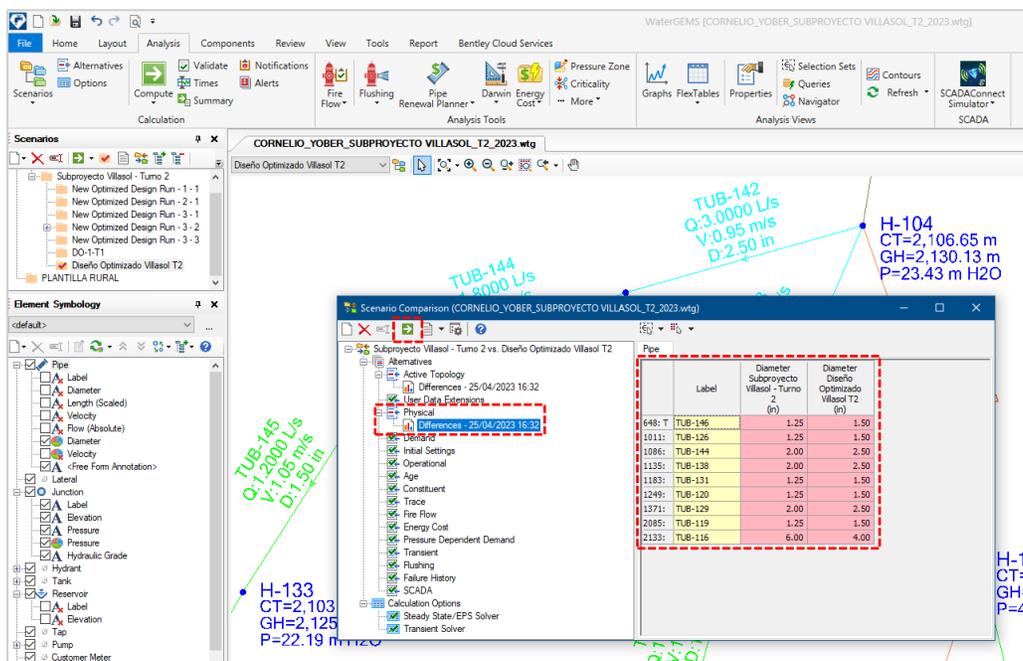
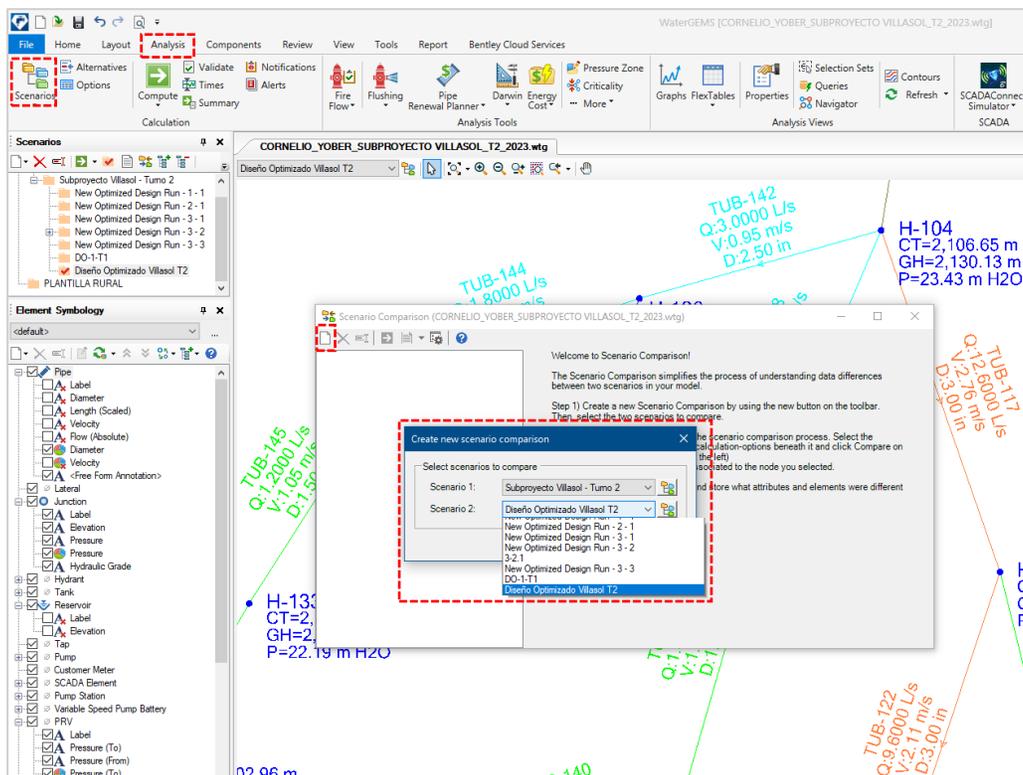
Fuente: Elaboración propia elaborado en base al software WaterGEMS

El software WaterGEMS realizó el diseño en 00:00:00:00 segundos, generando una red de costo S/ 108,964.92, lo cual es menor a la red clásico o tradicional diseñado mediante ensayo de prueba y error. Se evidencia la alta eficiencia y efectividad de los algoritmos genéticos empleando el software WaterGEMS.

En “Analysis” → “Scenarios” → “Scenarios Comparison” → “New” → “Create new scenario comparison” elegimos el escenario base denominado “Subproyecto Villa Sol – Turno 2” y la red de distribución optimizada denominado “DO Villa Sol T2” y luego corremos la comparación en “Compare”. Los resultados se muestran en la figura 44.

Figura 78

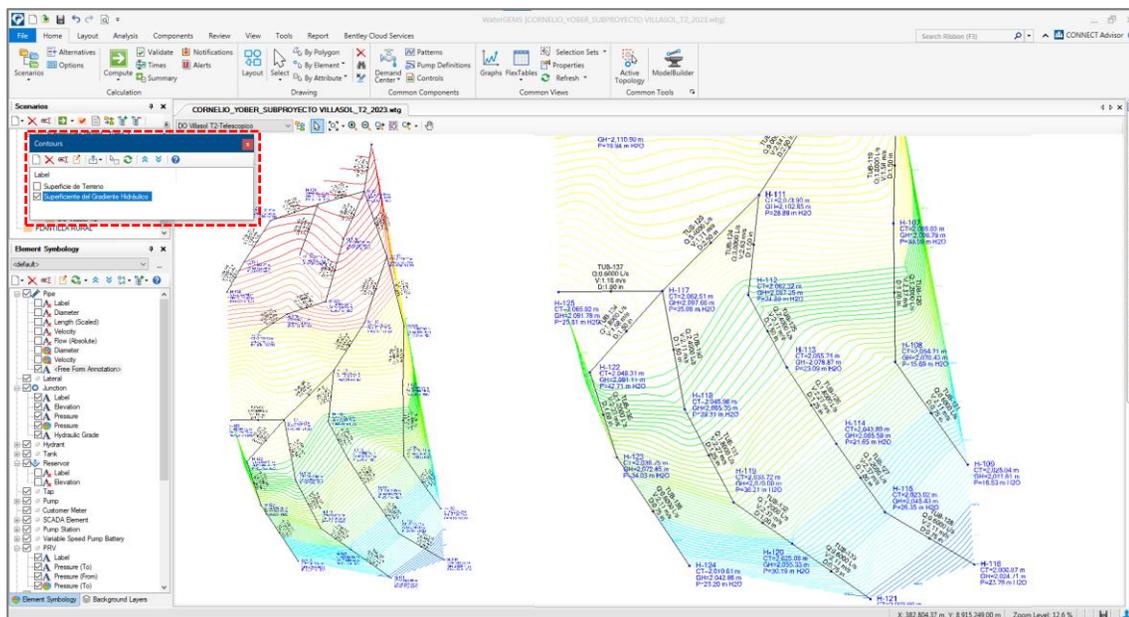
Comparación del diseño de la red de distribución tradicional y optimizado



Fuente: Elaboración propia elaborada en función del software WaterGEMS

Figura 79

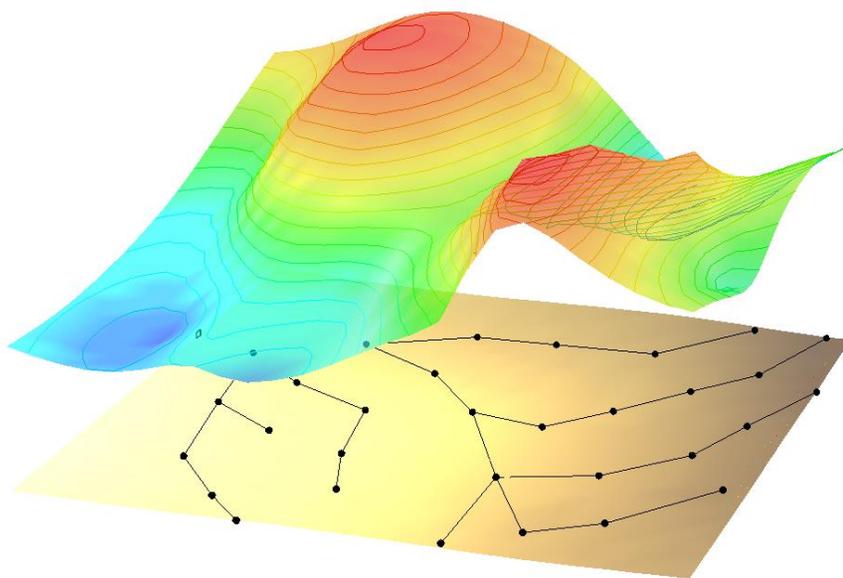
Superficie de presiones de la red óptima de distribución de tecnificado



Fuente: Elaboración en base al software WaterGEMS 2022

Figura 80

Superficie óptima de gradiente hidráulico



Fuente: Elaboración propia generado en base al software Redes 2019

4.6.4. Resultado de presiones - Algoritmos Genéticos (AG) en WaterGEMS (2022)

Para evaluar la influencia del método de los algoritmos genéticos referente a la presión en los nodos se comparó con el método clásico o tradicional contemplado en el expediente técnico de obra, los resultados de las presiones en todos los hidrantes de la red de distribución de riego tecnificado presurizado se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 13

Resultado de presiones Método Clásico, algoritmos genéticos y algoritmos genéticos ajustado

Hidrante	Método clásico (ETO)	Método (AG)	Método (AG) - telescopico
	Presión (mca)	Presión (mca)	Presión (mca)
H-104	26.46	23.43	23.43
H-105	43.31	40.28	40.28
H-106	40.96	37.93	37.93
H-107	26.86	33.69	33.69
H-108	27.62	40.07	15.69
H-109	28.46	40.91	16.53
H-110	40.83	37.81	37.81
H-111	31.92	28.89	28.89
H-112	27.9	24.88	24.88
H-113	26.12	23.09	23.09
H-114	24.68	29.46	21.65
H-115	28.38	33.16	25.35
H-116	26.82	31.6	23.79
H-117	27.92	35.08	35.08
H-118	32.14	39.31	39.31
H-119	29.05	45.23	36.21
H-120	23.03	39.21	30.19
H-121	22.09	38.27	29.25
H-122	35.55	42.71	42.71
H-123	26.87	34.03	34.03
H-124	16.04	23.2	23.2

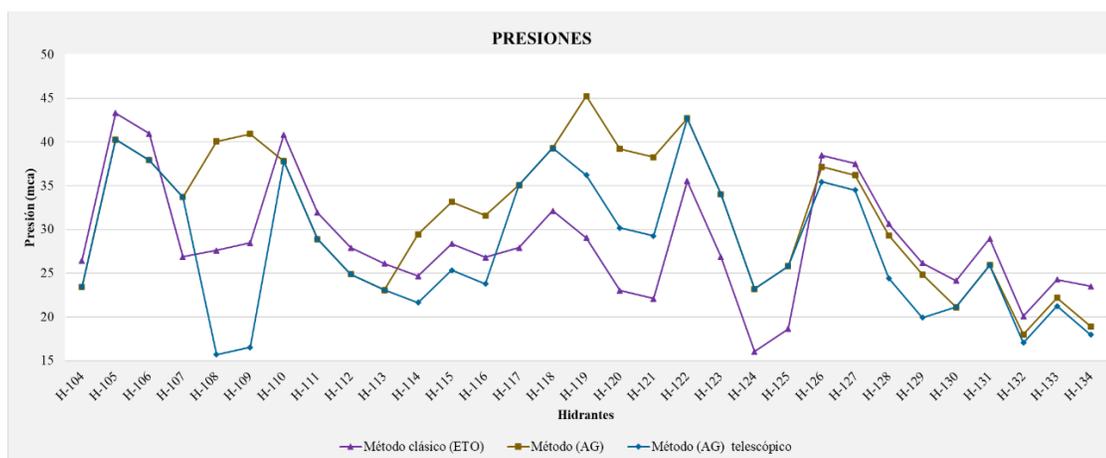
Hidrante	Método clásico (ETO)	Método (AG)	Método (AG) - telescópico
	Presión (mca)	Presión (mca)	Presión (mca)
H-125	18.65	25.81	25.81
H-126	38.48	37.15	35.45
H-127	37.54	36.21	34.51
H-128	30.64	29.31	24.41
H-129	26.17	24.84	19.94
H-130	24.15	21.12	21.12
H-131	28.95	25.92	25.92
H-132	20.08	18.01	17.05
H-133	24.26	22.19	21.23
H-134	23.5	18.93	17.97

Fuente: Elaboración propia

Evaluando las presiones, se puede notar que tanto por el método clásico y empleando el método de los algoritmos genéticos cumplen la presión mínima y máxima; sin embargo, el objetivo es minimizar el costo de la red, esto se logra reduciendo los diámetros de las tuberías, los cuales generan la reducción de presiones, es decir, la red de distribución más barata va tratar de disminuir los diámetros, aumentar la velocidad y disminuir la presión. De la tabla anterior se puede deducir que existe diferencia significativa en los 31 nodos de la red.

Figura 81

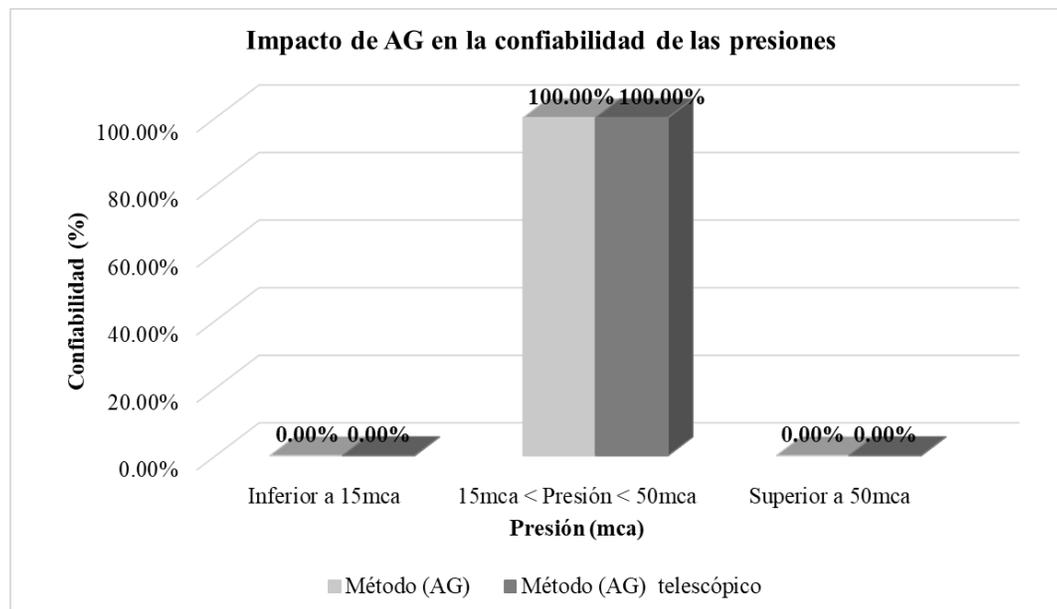
Variación de las presiones entre algoritmos genéticos y algoritmos genéticos ajustado



Fuente: Elaboración propia generado en base a Ms Excel

Figura 82

Confiabilidad de presiones mediante WaterGEMS 2022



Fuente: Elaboración propia generado en base a Ms Excel

El diseño de la red de distribución, aplicando el método de los algoritmos genéticos, mediante el software WaterGEMS (2022) cumplió la restricción hidráulica de presión en los 31 hidrantes, de los 31 consideradas, dando un resultado de confiabilidad del 100%.

4.6.5. Resultado de velocidades - Algoritmos Genéticos (AG) en WaterGEMS (2022)

El siguiente parámetro hidráulico a evaluar son las velocidades y la incidencia de las misma en la red de distribución de riego tecnificado presurizado, para lo cual se realizó la comparación los resultados del método clásico, método de los algoritmos genéticos y método de los algoritmos genéticos - telescópicos, los valores se presentan en la siguiente tabla de velocidades.

Tabla 14

Resultado de velocidades, algoritmos genéticos y algoritmos genéticos ajustado

Tubería	Método clásico (ETO)	Método (AG)	Método (AG) - telescopico
	Velocidad (m/s)	Velocidad (m/s)	Velocidad (m/s)
TUB-116	1.02	2.29	2.29
TUB-117	2.76	2.76	2.76
TUB-118	2.11	2.11	2.11
TUB-119	2.27	1.58	1.58
TUB-120	1.52	1.05	2.37
TUB-121	2.11	2.11	2.11
TUB-122	2.11	2.11	2.11
TUB-123	2.84	2.84	2.84
TUB-124	2.63	2.63	2.63
TUB-125	2.11	2.11	2.11
TUB-126	2.27	1.58	2.27
TUB-127	2.37	2.37	2.37
TUB-128	2.11	2.11	2.11
TUB-129	2.66	1.71	1.71
TUB-130	2.11	2.11	2.11
TUB-131	2.27	1.58	2.27
TUB-132	2.37	2.37	2.37
TUB-133	2.11	2.11	2.11
TUB-134	1.58	1.58	1.58
TUB-135	2.37	2.37	2.37
TUB-136	2.11	2.11	2.11
TUB-137	1.18	1.18	1.18

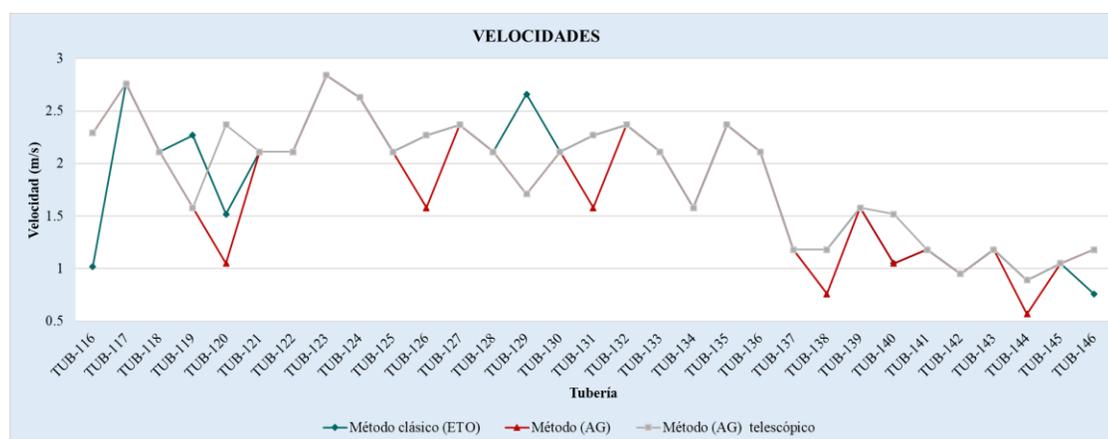
Tubería	Método clásico (ETO)	Método (AG)	Método (AG) - telescópico
	Velocidad (m/s)	Velocidad (m/s)	Velocidad (m/s)
TUB-138	1.18	0.76	1.18
TUB-139	1.58	1.58	1.58
TUB-140	1.05	1.05	1.52
TUB-141	1.18	1.18	1.18
TUB-142	0.95	0.95	0.95
TUB-143	1.18	1.18	1.18
TUB-144	0.89	0.57	0.89
TUB-145	1.05	1.05	1.05
TUB-146	0.76	1.18	1.18

Fuente: Elaboración propia

La variación de las velocidades mediante una gráfica se ilustra en lo siguiente: El método de los algoritmos genéticos dio como resultado una velocidad mínima de 0.57 m/s y la máxima de 2.84 m/s, los cuales están dentro de lo permisible 0.50 m/s – 3.00 m/s; por otro lado, el método de los algoritmos genéticos – telescópico dio como resultado una velocidad mínima de 0.89 m/s y la máxima de 2.84 m/s, sin embargo, el método tradicional tiene como velocidad mínima de 0.74 m/s y máxima de 2.84 m/s, esta variación sucede debido a que se disminuyó los diámetros de la tubería.

Figura 83

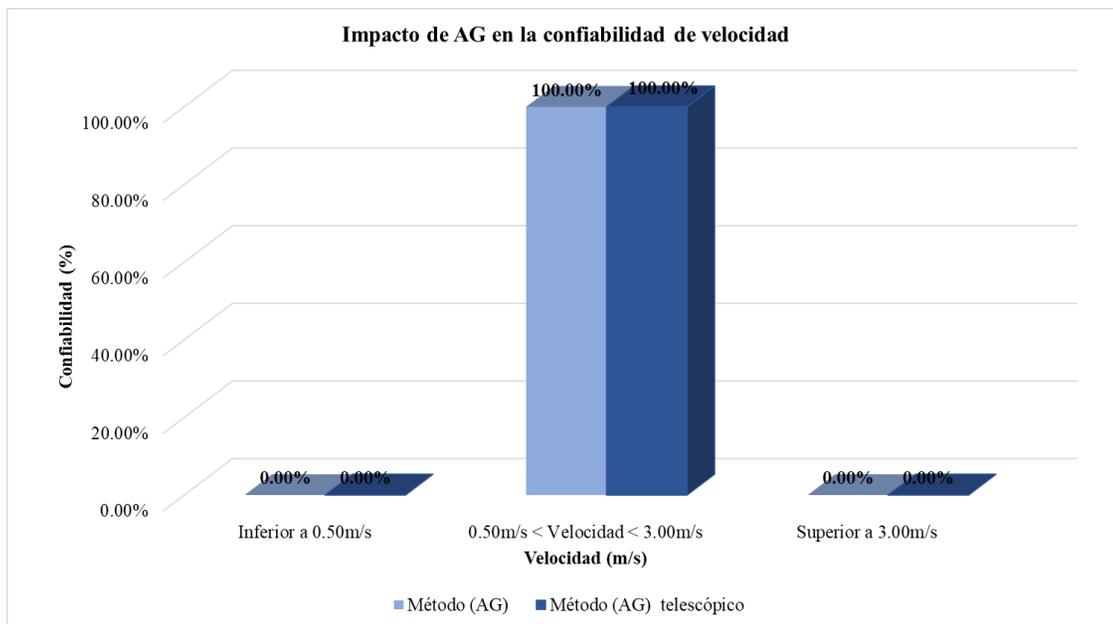
Variación de velocidades entre, algoritmos genéticos y algoritmos genéticos ajustado



Fuente: Elaboración propia elaborado en el software Ms Excel

Figura 84

Confiabilidad de velocidades mediante el software WaterGEMS 2022



Fuente: Elaboración propia generado en base a Ms Excel

El diseño de la red de distribución, aplicando el método de los algoritmos genéticos, mediante el software WaterGEMS (2022) cumplió la restricción hidráulica de velocidad en los 31 hidrantes, de los 31 consideradas, dando un resultado de confiabilidad del 100%.

4.6.6. Resultado de costos - Algoritmos Genéticos (AG) en WaterGEMS (2022)

Ahora se evaluará la influencia de los algoritmos genéticos en los costos de la red de distribución de riego tecnificado presurizado del subproyecto Villasol, para lo cual se realizó la comparación del método clásico, cuyo cálculo hidráulico se realizó en el software WaterCAD v8i, método de los algoritmos genéticos y método de los algoritmos genéticos - telescópico empleando el software WaterGEMS CONNECT Edition Update 3 (2022), los resultados de los diámetros se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 15

Resultado de diámetros, algoritmos genéticos y algoritmos genéticos ajustado

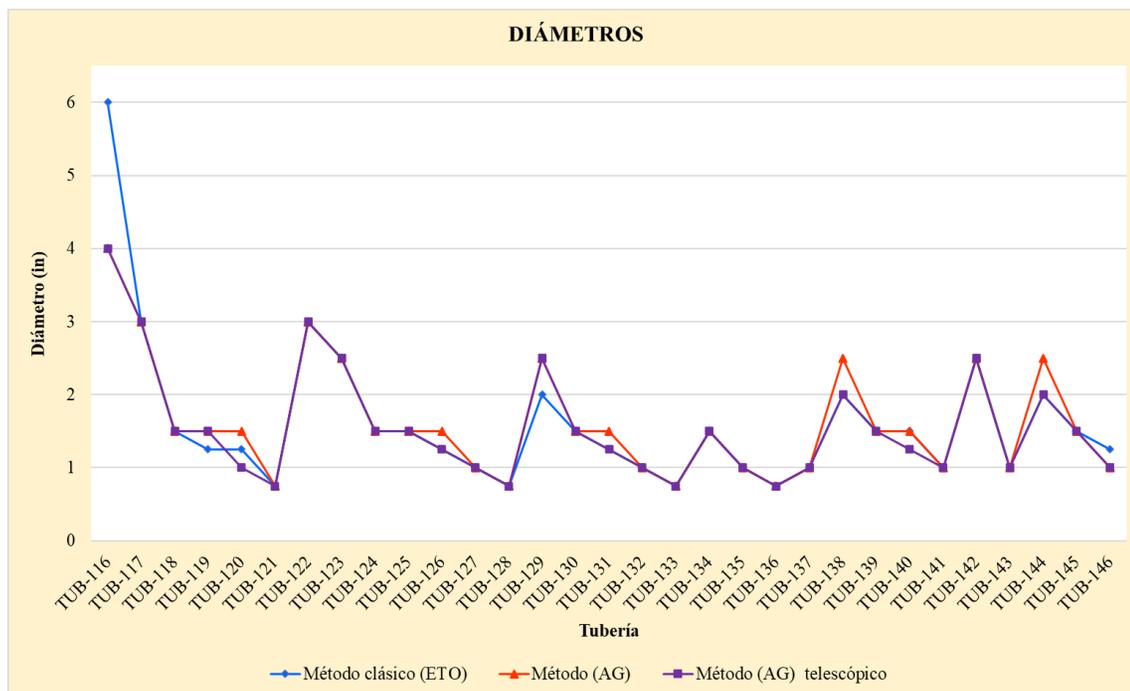
Tubería	Método clásico (ETO)	Método (AG)	Método (AG) - telescópico
	Diámetro (in)	Diámetro (in)	Diámetro (in)
TUB-116	6	4	4
TUB-117	3	3	3
TUB-118	1.5	1.5	1.5
TUB-119	1.25	1.5	1.5
TUB-120	1.25	1.5	1
TUB-121	0.75	0.75	0.75
TUB-122	3	3	3
TUB-123	2.5	2.5	2.5
TUB-124	1.5	1.5	1.5
TUB-125	1.5	1.5	1.5
TUB-126	1.25	1.5	1.25
TUB-127	1	1	1
TUB-128	0.75	0.75	0.75
TUB-129	2	2.5	2.5
TUB-130	1.5	1.5	1.5
TUB-131	1.25	1.5	1.25
TUB-132	1	1	1
TUB-133	0.75	0.75	0.75
TUB-134	1.5	1.5	1.5

Tubería	Método clásico (ETO)	Método (AG)	Método (AG) - telescópico
	Diámetro (in)	Diámetro (in)	Diámetro (in)
TUB-135	1	1	1
TUB-136	0.75	0.75	0.75
TUB-137	1	1	1
TUB-138	2	2.5	2
TUB-139	1.5	1.5	1.5
TUB-140	1.5	1.5	1.25
TUB-141	1	1	1
TUB-142	2.5	2.5	2.5
TUB-143	1	1	1
TUB-144	2	2.5	2
TUB-145	1.5	1.5	1.5
TUB-146	1.25	1	1

Fuente: Elaboración propia

Figura 85

Variación de las velocidades, algoritmos genéticos y algoritmos genéticos ajustado



Fuente: Elaboración propia

Se constató que existen diferencias significativas en los 31 tramos de la tubería HDPE de los tres métodos de análisis, dicha variación influyó en el costo de la red de distribución de riego tecnificado presurizado del subproyecto Villasol, los resultados se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 16*Costos de infraestructura*

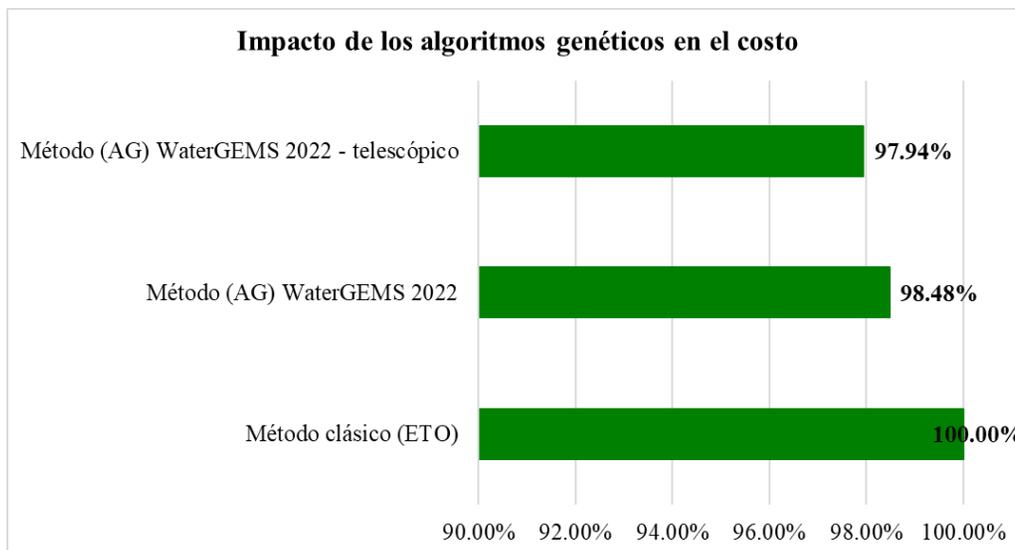
Estructura del presupuesto	Método clásico	Método (AG)	Método (AG) - telescópico
Costo Directo	S/ 110,484.81	S/ 108,806.63	S/ 108,211.48
Gastos Generales (9.00%)	S/ 9,943.63	S/ 9,792.60	S/ 9,739.03
Utilidad (7.00%)	S/ 7,733.94	S/ 7,616.46	S/ 7,574.80
Sub total	S/ 128,162.38	S/ 126,215.69	S/ 125,525.32
Impuesto General a las Ventas (18.00%)	S/ 23,069.23	S/ 22,718.82	S/ 22,594.56
Presupuesto total de la obra	S/ 151,231.61	S/ 148,934.52	S/ 148,119.88
Supervisión de obra (5.00%)	S/ 7,561.58	S/ 7,446.73	S/ 7,405.99
Costo total del subproyecto	S/ 158,793.19	S/ 156,381.24	S/ 155,525.87

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17*Variación de costos de infraestructura aplicando AG respecto al método clásico o tradicional*

Método de diseño	Costo total del proyecto	Porcentaje
Método clásico (ETO)	S/ 158,793.19	100.00%
Método (AG) Epanet 2.0 Brasil	S/ 156,381.24	98.48%
Método (AG) Epanet 2.0 Brasil - telescópico	S/ 155,525.87	97.94%

Fuente: Elaboración propia

Figura 86*Porcentaje de variación de costos de infraestructura***Fuente:** Elaboración propia

Se evidencia que empleando el método de los algoritmos genéticos mediante el software WaterGEMS en el diseño de la red de distribución de riego tecnificado presurizado en el subproyecto Villa Sol el costo total del subproyecto asciende a S/ 156,381.24, mientras con el método clásico de ensayo error el costo total del subproyecto es de S/ 158,793.19 existiendo una diferencia de 1.52%, lo cual corresponde a un ahorro de S/ 2,411.95. Por otro lado, ajustando los diámetros dentro de las restricciones hidráulicas para cumplir de manera más estricta la telescopicidad el costo asciende a S/ 155,525.87 existiendo una diferencia respecto al método clásico de 2.06%, lo cual se traduce en un ahorro de S/ 3,267.32.

4.7. Los algoritmos genéticos mediante el software REDES (2019)

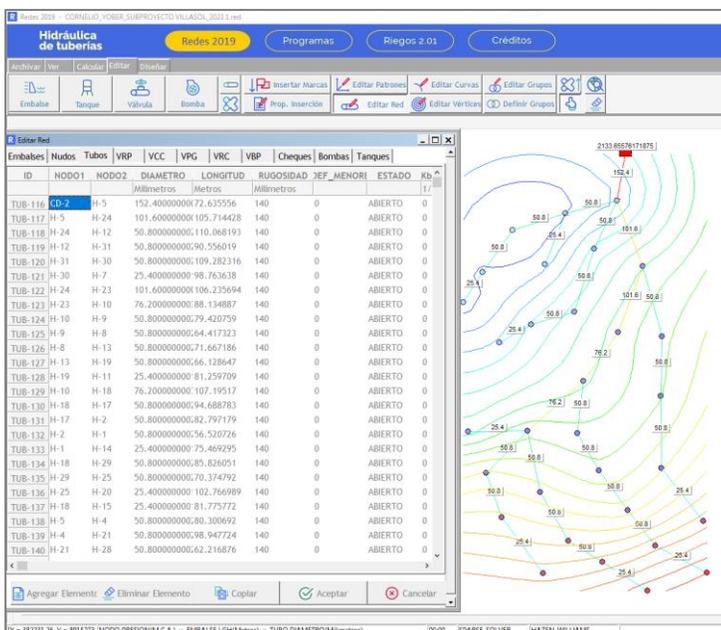
Datos topográficos y topológicos

Similar que el método de los algoritmos genéticos aplicando el software WaterGEMS CONNECT Edition Update 3 (2022), los insumos para diseñar en Redes (2019) son, la topografía del área de influencia, la topología de la red, las coordenadas UTM de los nodos y el caudal en los hidrantes de toda la red de distribución de riego tecnificado presurizado, dichos valores tendrán valores en el sistema internacional tal como se muestra en la siguiente figura.

El software Redes guarda una familiaridad muy íntima con el software Epanet, entonces lo trabajado en WaterGEMS se puede exportar a Epanet, esto al software Redes. Se ingresa la red pre dimensionada, posteriormente, para aproximarnos a la adecuada red padre se procede a pre simular mediante “búsqueda de armonía”.

Figura 87

Introducción de datos topográficos y topológicos del subproyecto Villa Sol

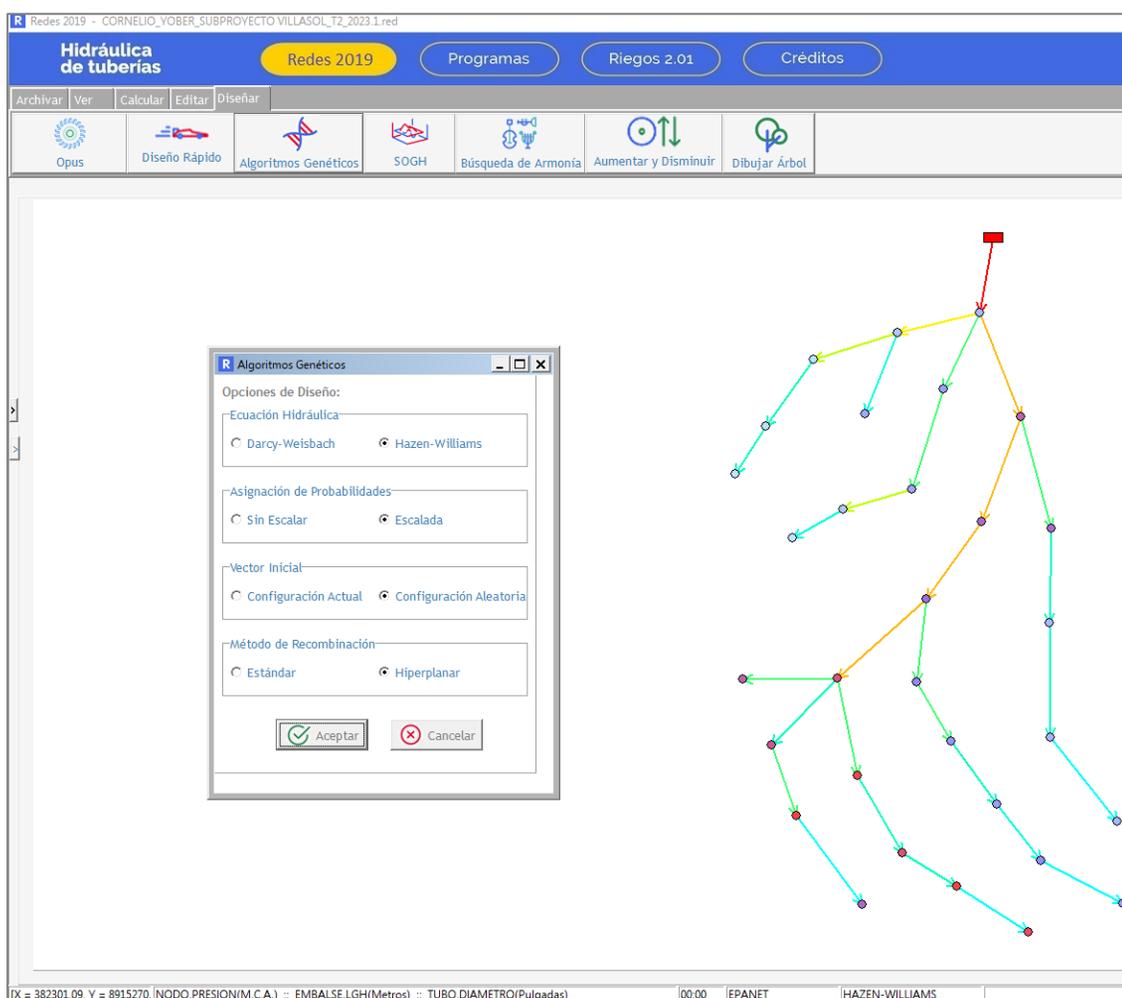


Fuente: Elaboración generada en base al software Redes 2019

Entonces, una vez obtenido la red padre, en “diseñar” → “Algoritmos Genéticos” se procede a realizar el diseño mediante los algoritmos genéticos. Se muestra la ventana desplegable de “opciones de diseño”, la ecuación de pérdida a utilizar fue el de Hazen-Williams, la asignación de probabilidades fue escalada, el vector inicial aleatoria y el método de recombinación Hiperplanar, estos últimos parámetros se eligieron a sugerencia del ingeniero Juan Saldarriaga.

Figura 88

Introducción de opciones de diseño



Fuente: Elaboración propia en base al software Redes 2019

Datos de tuberías y función costos

Los costos de la infraestructura red de distribución de riego tecnificado presurizado está compuesto por los costos de tuberías y sus accesorios, las cuales varía de manera potencial con los diámetros de las tuberías y los costos de instalación (excavación, cama de apoyo, relleno de la zanja, repavimentación en los cruces de carreteras y puesta en marcha del proyecto), los cuales también varían de manera potencial con los diámetros de las tuberías Saldarriaga (2019). El análisis de los costos unitarios está detallado en el anexo.

En el diseño de la presente red de distribución los diámetros a considerar serán NTP ISO 4427 2008 categoría PE 100, SDR 17 y 13.60 cuyo PN 10bar y 12.5bar respectivamente, detallados en las secciones precedentes.

Tabla 18

Diámetros discretos comerciales

Diámetro exterior (in)	Diámetro exterior (mm)	Precio (\$/)
8	200	118.10
6	160	88.58
4	110	61.50
3	90	53.28
2.5	75	46.40
2	63	44.77
1.5	50	41.18
1.25	40	41.14
1	32	38.16
0.75	25	37.54

Fuente: Elaboración propia

Según Saldarriaga (2019) los costos de las tuberías obedecen la siguiente ecuación.

$$C_{Tubo} = L_{Tubo} * (K * D_{Tubo}^x + K1 * D_{Tubo}^{x1} + K2)$$

$$C_{total} = \sum_{i=1}^{N^{\circ}Tubos} c_i$$

Donde:

C_{Tubo} : Costo de la tubería expresado en soles

L_{Tubo} : Longitud de la tubería expresado en metros

D_{Tubo} : Diámetro de la tubería expresado en milímetros

K : Coeficiente adimensional (extraídos de la función costos)

$K = 0.0021$, $K1 = -0.0057$, $K2 = 36.644$

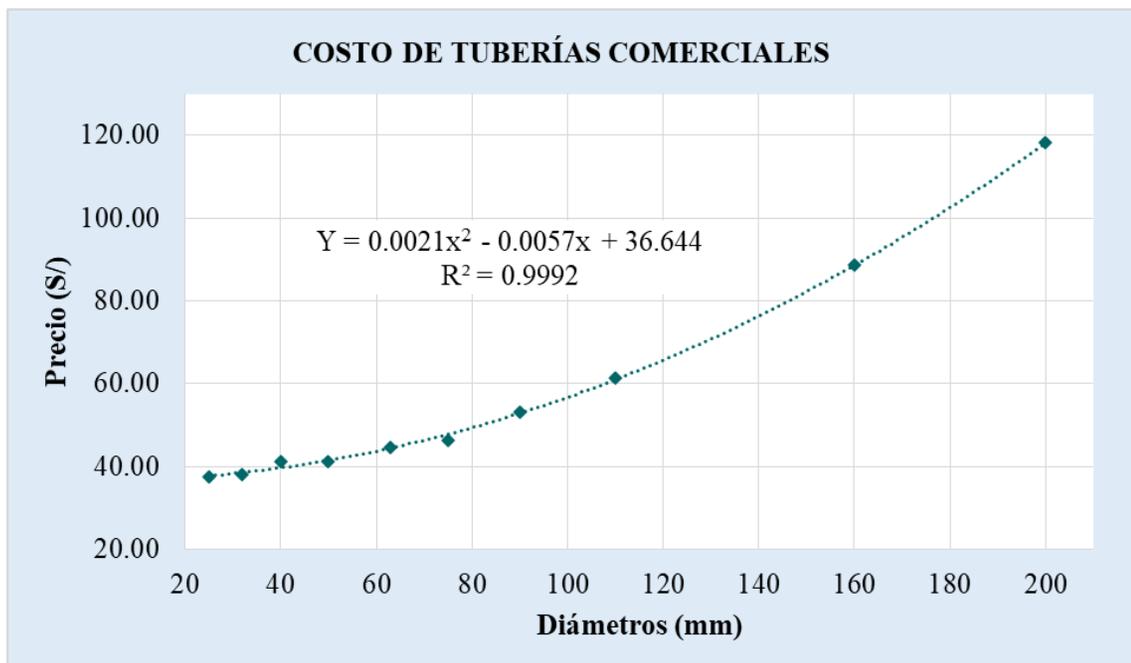
X : Exponente adimensional (extraídos de la función costos)

$X = 2$, $X1 = 1$

Función de costos: $Y = 0.0021X^2 - 0.0057X + 36.644$

Figura 89

Variación potencial con los diámetros de los costos de las tuberías comerciales

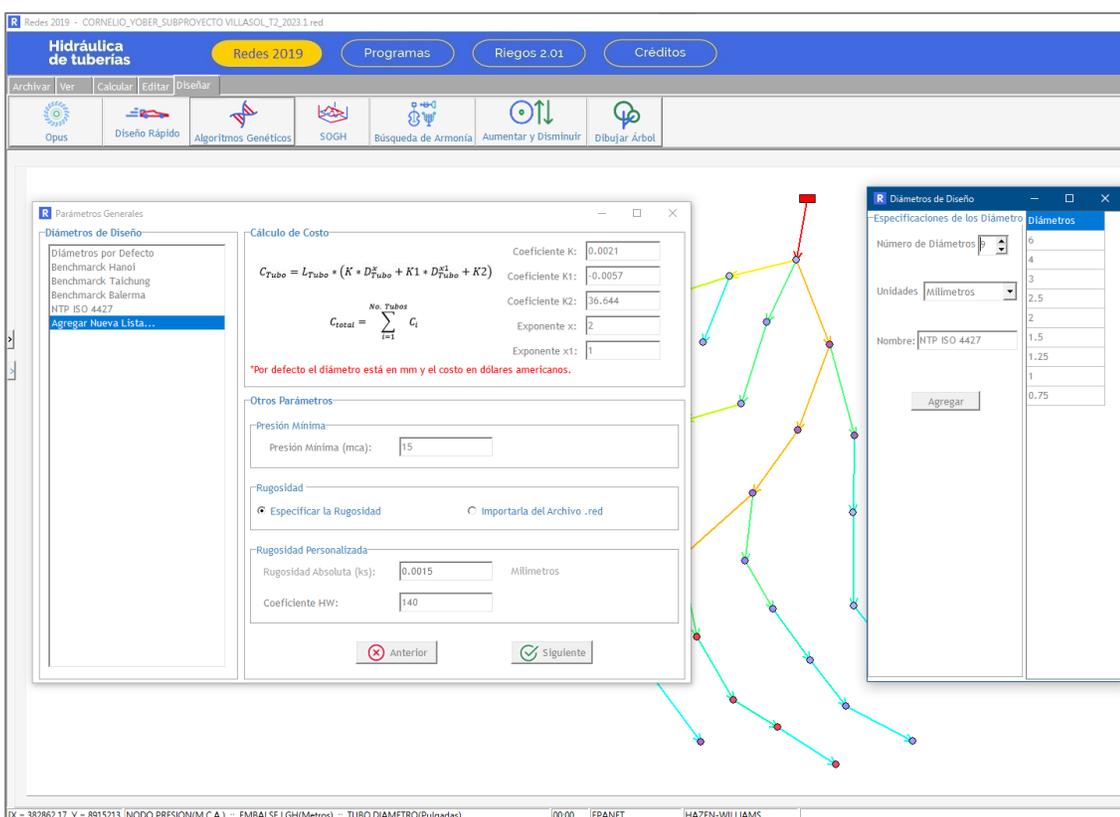


Fuente: Elaboración propia elaborado en base a Ms Excel

Seguidamente aparece la ventana desplegable de “*Parámetros Generales*”. En “*Diámetros de Diseño*” → “*Agregar Nueva Lista*” → “*Diámetros de diseño*” se ingresó, en pulgadas, los diámetros discretos comerciales, la cantidad están de acuerdo a las consideradas en el diseño del método clásico o tradicional. Por otro lado, en “*Cálculo de Costo*” se ingresan los valores K, K1, K2, X y X1 de la función costos cuyo cálculo se realizó considerando los costos de las tuberías y costo de instalación por metro lineal.

Figura 90

Establecimiento de los diámetros de las tuberías e introducción de la función costos



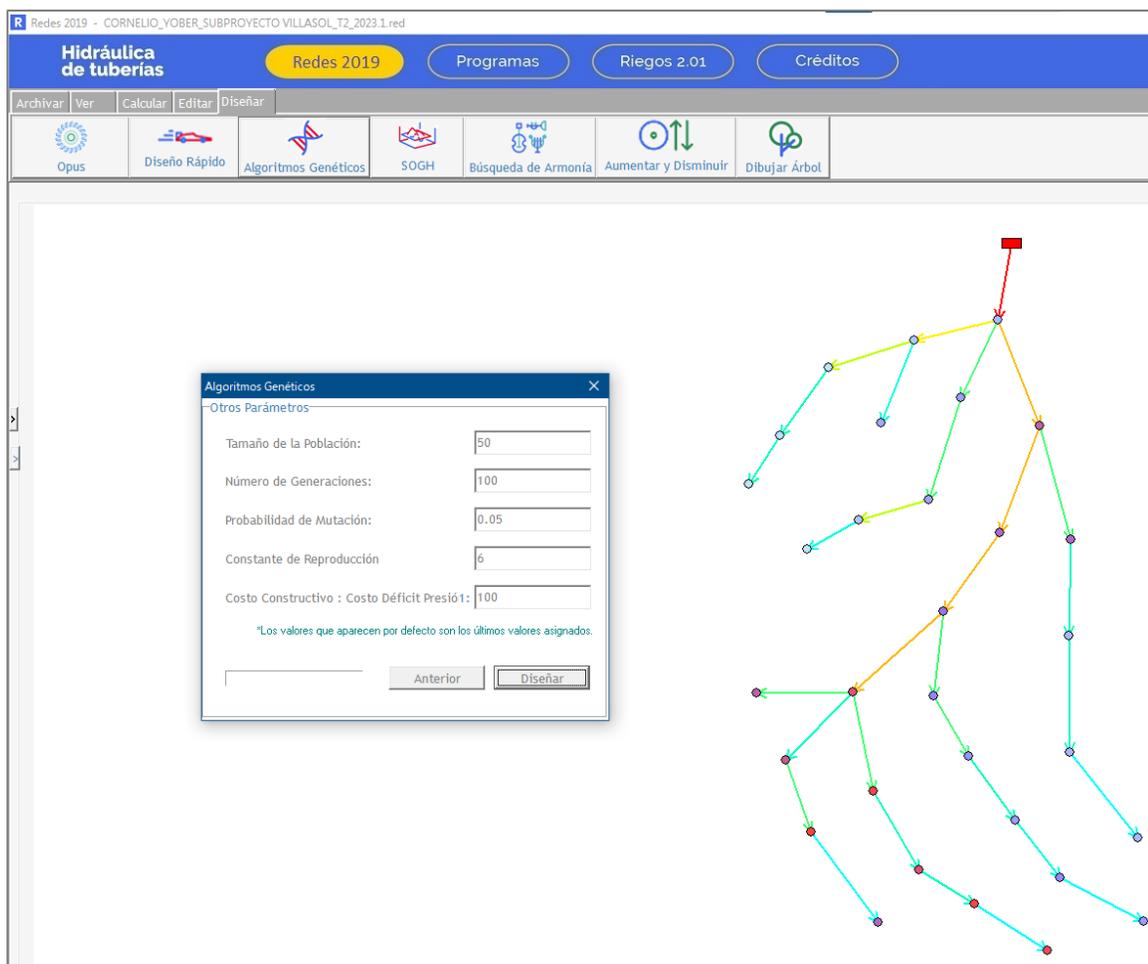
Fuente: Elaboración propia en base al software Redes 2019

Así mismo, se ingresa la presión mínima de 15mca. No existe la opción para restringir superiormente la presión, es decir, ingresar la presión máxima debido a que los algoritmos genéticos resolverá la red acercándose lo máximo posible a la presión mínima de trabajo.

Luego, se ingresaron los parámetros de los algoritmos genéticos, dichos valores son los recomendados por el ingeniero Juan Saldarriaga, debido a que son los que mejores resultados han dado durante su experimento.

Figura 91

Introducción de los parámetros de los algoritmos genéticos

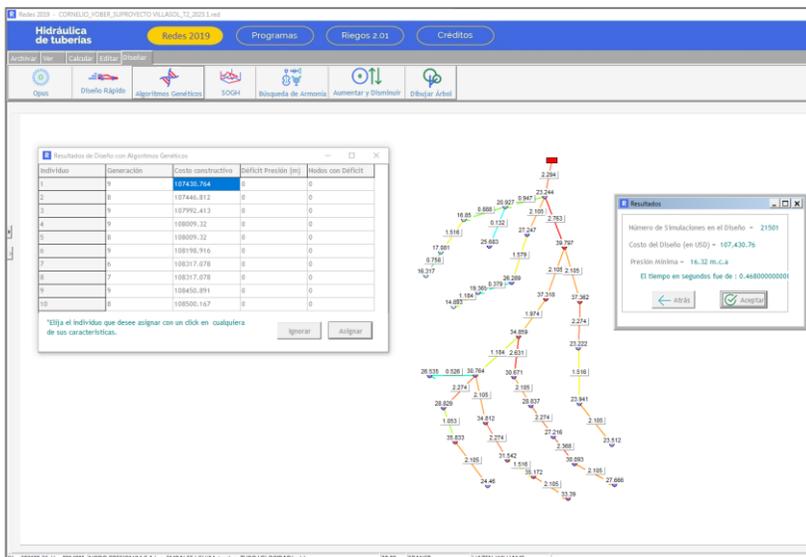


Fuente: Elaboración propia en base al software Redes 2019

Finalmente, se realizó la simulación y se obtuvo la siguiente red cuyo costo fue de S/ 107,430.76, lo cual pasó a ser la red padre para la siguiente simulación.

Figura 92

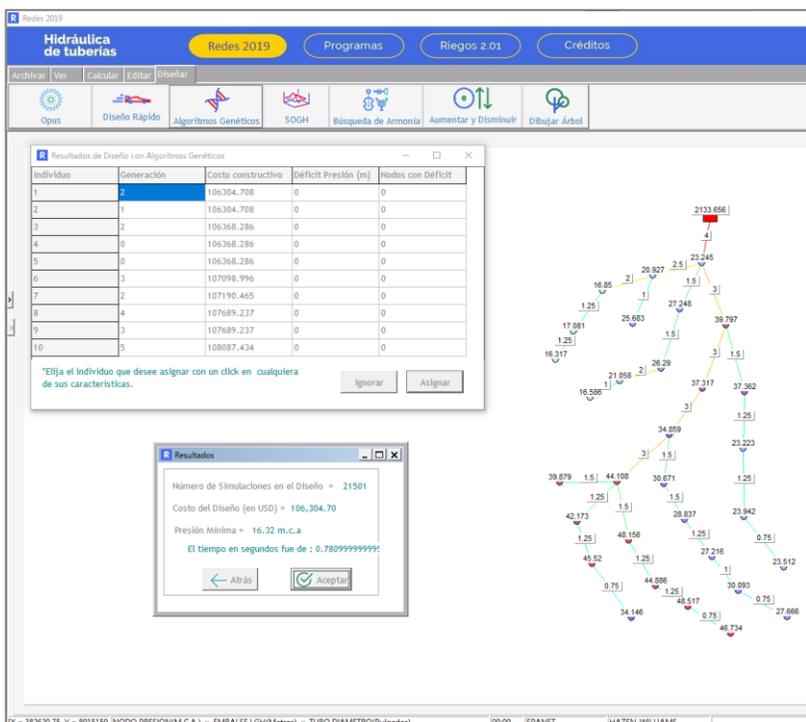
Simulación N°1 de la red de distribución de riego tecnificado del subproyecto Villa Sol



Fuente: Elaboración propia generado en base al software Redes 2019

Figura 93

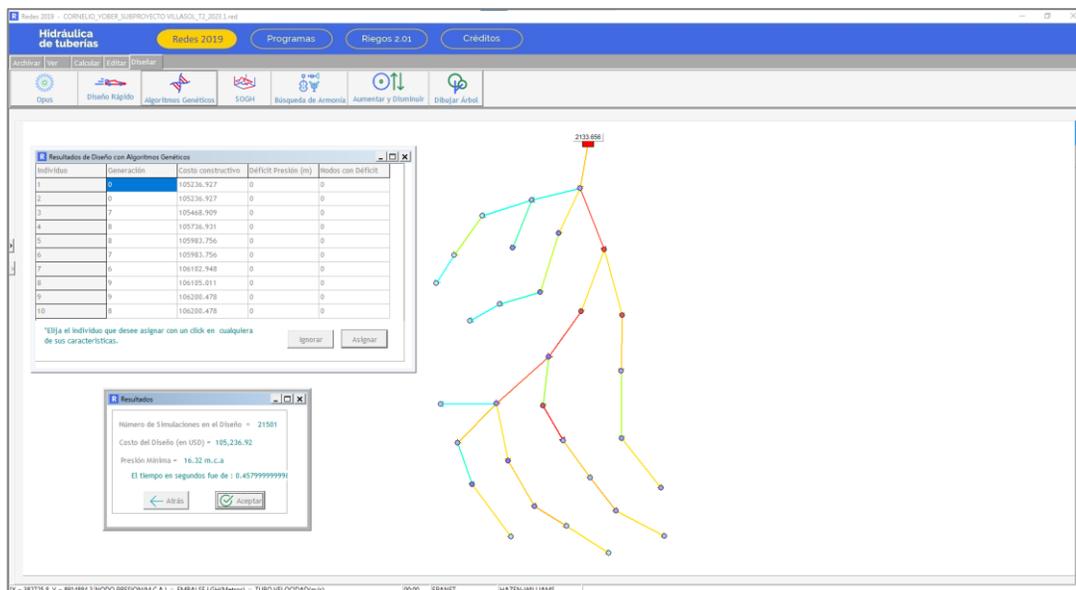
Simulación N°2 de la red de distribución de riego tecnificado del subproyecto Villa Sol



Fuente: Elaboración propia generado en base al software Redes 2019

Figura 94

Simulación N°3 de la red de distribución de riego tecnificado del subproyecto Villa Sol



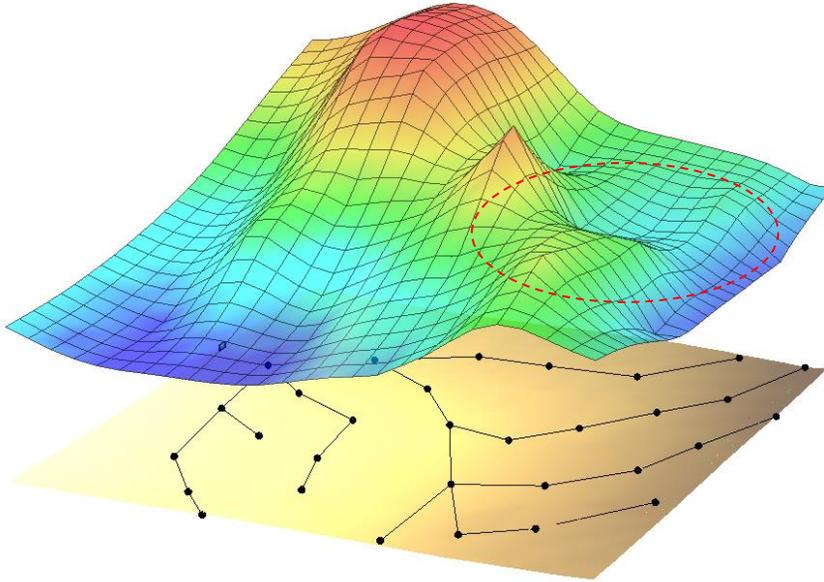
Fuente: Elaboración propia generado en base al software Redes 2019

La simulación que podría indicar el diseño más próximo al óptimo es la tercera, con dichos resultados de harán las respectivas comparaciones. Se hace las revisiones de presión, velocidad y telescopicidad.

Es preciso indicar que las superficies de presiones muestran una tendencia a ser una superficie convexa, lo cual según Saldarriaga (2019) es la forma más recomendable para garantizar el diseño de una red de distribución de agua potable o con fines de riego.

Figura 95

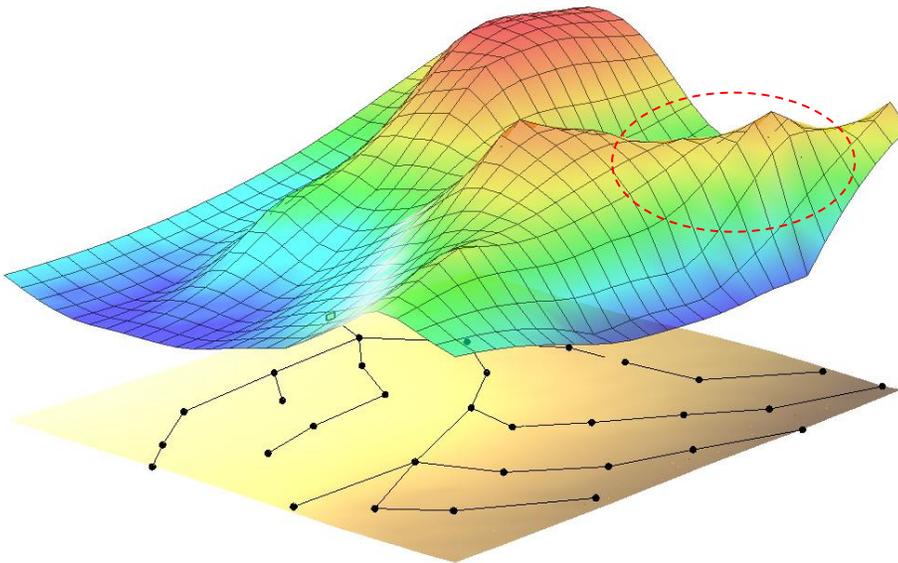
Superficie óptima de gradiente hidráulico sin considerar telescopicidad



Fuente: Elaboración propia elaborado en base al software Redes 2019

Figura 96

Superficie óptima de gradiente hidráulico considerando el criterio telescopicidad



Fuente: Elaboración propia elaborado en base al software Redes 2019

4.7.1. Resultado de presiones - Algoritmos Genéticos (AG) en Redes 2019

Para evaluar la influencia del método de los algoritmos genéticos en la presión de los nudos de la red en Redes 2019 se comparó con el método clásico o tradicional contemplado en el expediente técnico de obra, los resultados de las presiones en todos los hidrantes de la red de distribución de riego tecnificado presurizado del subproyecto Villa Sol se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 19

Resultado de las presiones método tradicional y algoritmos genéticos en Redes 2019

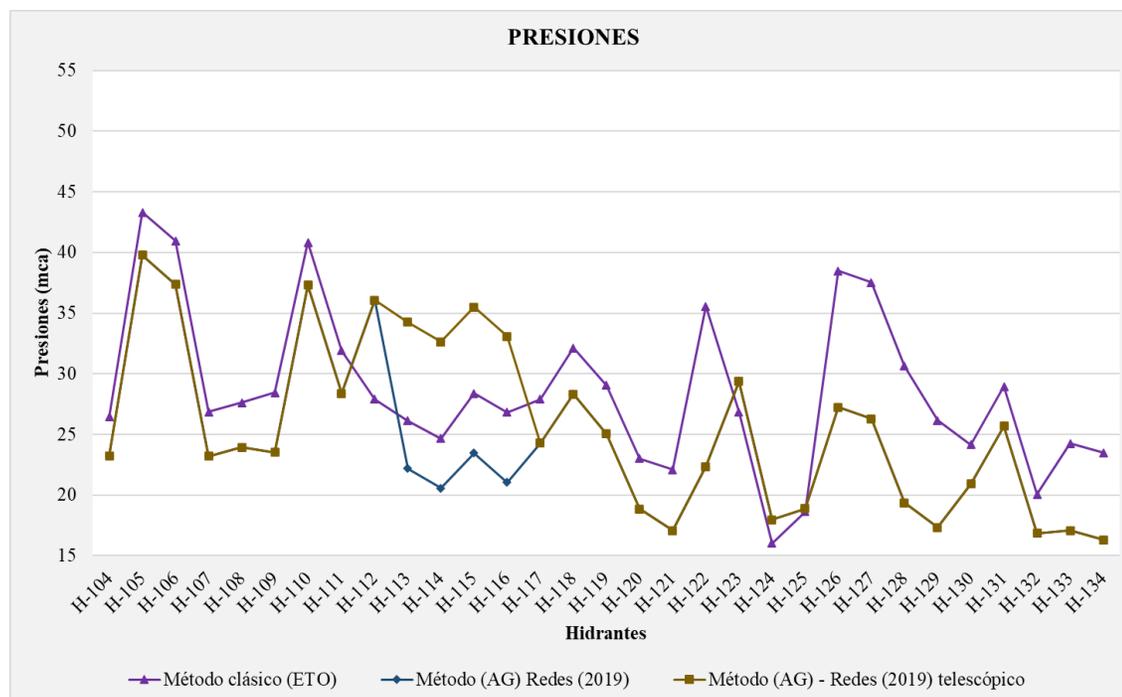
Hidrante	Método clásico (ETO)	Método (AG) Redes (2019)	Método (AG) Redes (2019) - telescopico
	Presión (mca)	Presión (mca)	Presión (mca)
H-104	26.46	23.245	23.245
H-105	43.31	39.797	39.797
H-106	40.96	37.362	37.362
H-107	26.86	23.223	23.223
H-108	27.62	23.942	23.942
H-109	28.46	23.512	23.512
H-110	40.83	37.317	37.317
H-111	31.92	28.381	28.381
H-112	27.9	36.08	36.08
H-113	26.12	22.206	34.246
H-114	24.68	20.585	32.625
H-115	28.38	23.462	35.502
H-116	26.82	21.035	33.075
H-117	27.92	24.286	24.286
H-118	32.14	28.334	28.334
H-119	29.05	25.065	25.065
H-120	23.03	18.863	18.863
H-121	22.09	17.08	17.08
H-122	35.55	22.351	22.351
H-123	26.87	29.355	29.355
H-124	16.04	17.982	17.982
H-125	18.65	18.889	18.889

Hidrante	Método clásico (ETO)	Método (AG) Redes (2019)	Método (AG) Redes (2019) - telescópico
	Presión (mca)	Presión (mca)	Presión (mca)
H-126	38.48	27.248	27.248
H-127	37.54	26.29	26.29
H-128	30.64	19.365	19.365
H-129	26.17	17.326	17.326
H-130	24.15	20.927	20.927
H-131	28.95	25.683	25.683
H-132	20.08	16.85	16.85
H-133	24.26	17.081	17.081
H-134	23.5	16.317	16.317

Fuente: Elaboración propia

Figura 97

Variación de las presiones método clásico, algoritmos genéticos y algoritmos genéticos telescópico



Fuente: Elaboración propia en base a Ms Excel

Analizando las presiones a partir de la Tabla 16 y Figura 86, se puede notar que el método clásico cumple las restricciones hidráulicas de presión en los 31 nodos, mientras el método de los

algoritmos genéticos mediante el software Redes 2019 cumplen la presión mínima y máxima en los 31 nudos. Así, la figura muestra claramente la variación descendente de las presiones referente al método clásico, esto sucede debido a que la red más barata es aquella que tenga las presiones más bajas, consecuentemente diámetros discretos mínimos posibles.

Tabla 20

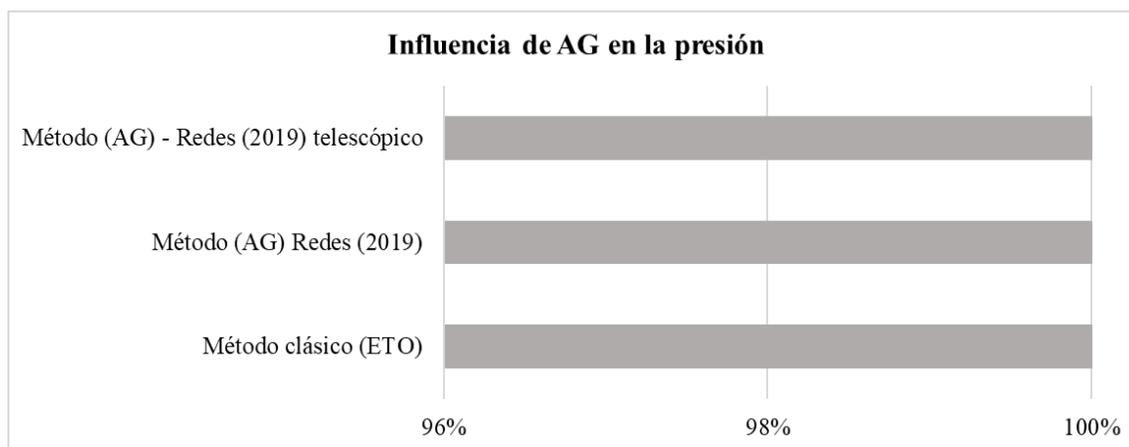
Confiabilidad de los algoritmos genéticos en diseño de la red de distribución de riego tecnificado

Método	Porcentaje	N° Hidrante
Método clásico (ETO)	100%	31
Método (AG) Redes (2019)	100.00%	31
Método (AG) - Redes (2019) telescópico	100.00%	31

Fuente: Elaboración propia

Figura 98

Influencia de los algoritmos genéticos en la presión de servicio



Fuente: Elaboración propia

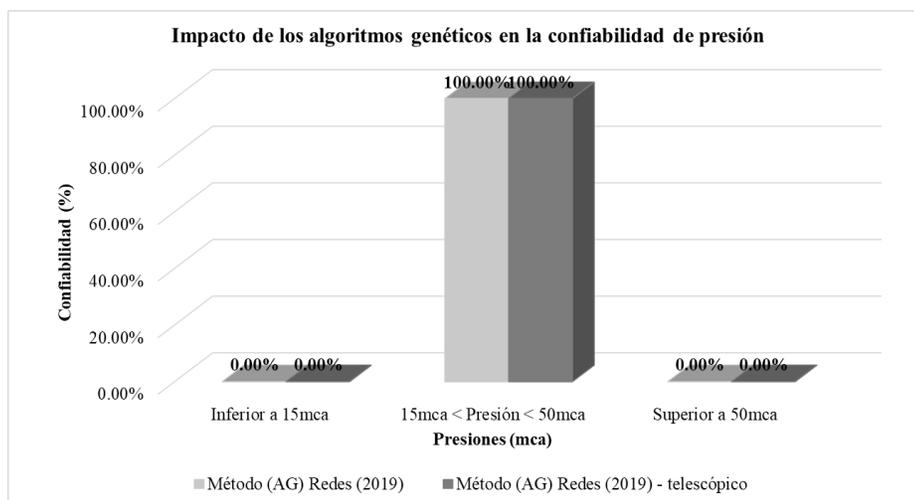
La Tabla 17 y la Figura 87 muestra que el método de los algoritmos genéticos empleando el software comercial de código cerrado Redes 2019 cumple en 100.00% la normativa sectorial y/o subsectorial de diseño de redes de riego tecnificado presurizado vigente del Perú, al igual que el método clásico cumple al 100%; sin embargo, considerando el criterio ingenieril se hizo las

modificaciones pertinentes para cumplir con la velocidad y telescopicidad, al cual se le denominó método de los algoritmos genéticos Redes 2019 - telescópico.

Confiabilidad de velocidades en la red de distribución de riego tecnificado presurizado del subproyecto Villa Sol mediante el software WaterGEMS 2022

Figura 99

Confiabilidad de presiones mediante el software Redes 2019



Fuente: Elaboración propia generado en base a Ms Excel

El diseño de la red de distribución, aplicando el método de los algoritmos genéticos, mediante el software Redes (2019) cumplió la restricción hidráulica de presión en los 31 hidrantes, de los 31 consideradas, dando un resultado de confiabilidad del 100%.

4.7.2. Resultado de velocidades - Algoritmos Genéticos (AG) en Redes 2019

Para evaluar el impacto del método de los algoritmos genéticos en las velocidades de las tuberías en Redes 2019 se comparó con el método clásico o tradicional contemplado en el expediente técnico de obra, los resultados de las velocidades en todas las tuberías de la red de distribución de riego tecnificado presurizado del subproyecto Villa Sol se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 21

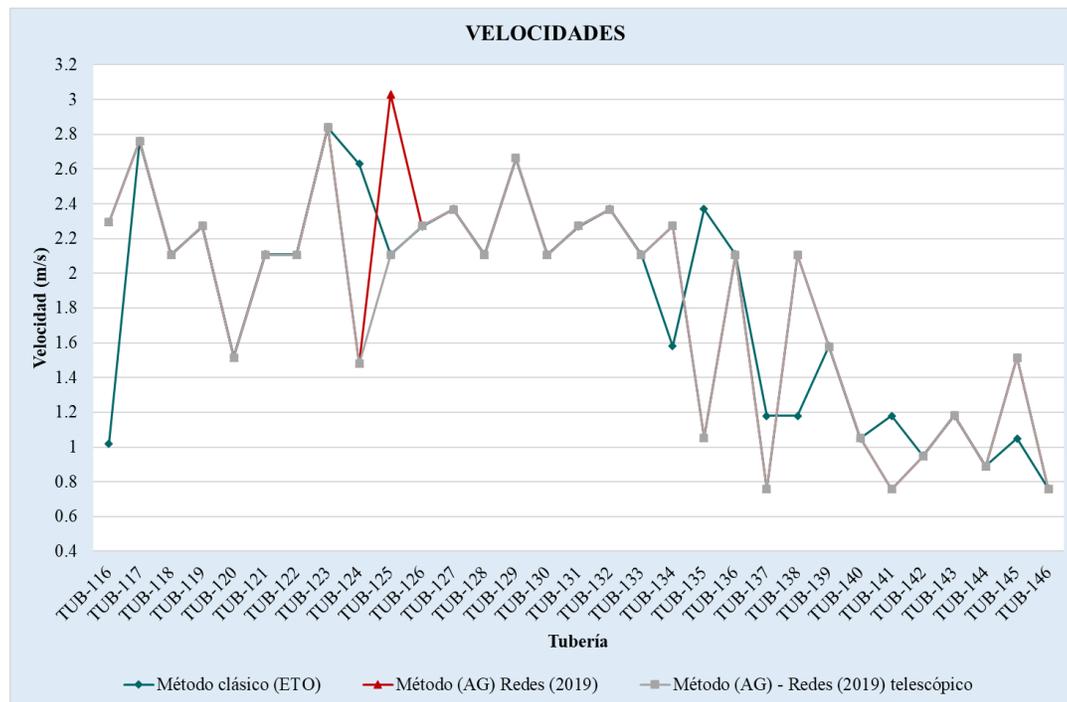
Resultado de velocidades método clásico, algoritmos genéticos y algoritmos genéticos telescópicos

Tubería	Método clásico (ETO)	Método (AG) Redes (2019)	Método (AG) - Redes (2019) telescópico
	Velocidad (m/s)	Velocidad (m/s)	Velocidad (m/s)
TUB-116	1.02	2.294	2.294
TUB-117	2.76	2.763	2.763
TUB-118	2.11	2.105	2.105
TUB-119	2.27	2.274	2.274
TUB-120	1.52	1.516	1.516
TUB-121	2.11	2.105	2.105
TUB-122	2.11	2.105	2.105
TUB-123	2.84	2.842	2.842
TUB-124	2.63	1.48	1.48
TUB-125	2.11	3.031	2.105
TUB-126	2.27	2.274	2.274
TUB-127	2.37	2.368	2.368
TUB-128	2.11	2.105	2.105
TUB-129	2.66	2.664	2.664
TUB-130	2.11	2.105	2.105
TUB-131	2.27	2.274	2.274
TUB-132	2.37	2.368	2.368
TUB-133	2.11	2.105	2.105
TUB-134	1.58	2.274	2.274
TUB-135	2.37	1.053	1.053
TUB-136	2.11	2.105	2.105
TUB-137	1.18	0.758	0.758
TUB-138	1.18	2.105	2.105
TUB-139	1.58	1.579	1.579
TUB-140	1.05	1.053	1.053
TUB-141	1.18	0.758	0.758
TUB-142	0.95	0.947	0.947
TUB-143	1.18	1.184	1.184
TUB-144	0.89	0.888	0.888
TUB-145	1.05	1.516	1.516
TUB-146	0.76	0.758	0.758

Fuente: Elaboración propia

Figura 100

Variación de las presiones método clásico, algoritmos genéticos y algoritmos genéticos telescópico



Fuente: Elaboración propia

Analizando las velocidades a partir de la Tabla 18 y Figura 88, se puede notar que el método clásico cumple las restricciones hidráulicas de velocidad en los 31 tramos de tuberías, mientras el método de los algoritmos genéticos mediante Redes 2019 cumplen la velocidad mínima y máxima solo en 30 tramos de tubería HDPE, siendo el tramo TUB-125 el infractor con velocidad de 3.031m/s. Cabe indicar que los métodos heurísticos no pretenden reemplazar de ninguna manera los criterios ingenieriles, entonces, siempre en cuando es permisible, se procedió a modificar la velocidad en la tubería TUB-125 aumentando el diámetro comercial de 40mm a 50mm, lo cual influyó en la incrementación de las presiones en los hidrantes H-113, H-114, H-115 e H-116. Finalmente, junto a la revisión de las velocidades, se evaluó la telescopicidad disminuyendo y/o incrementando los diámetros en las tuberías que lo requieran de tal manera que los diámetros

disminuyan a medida que los ramales se alejan del reservorio, esto inevitablemente tuvo un impacto en el costo directo de la obra, esta modificación fue denominado Método (AG) Redes 2019 - telescópico.

Tabla 22

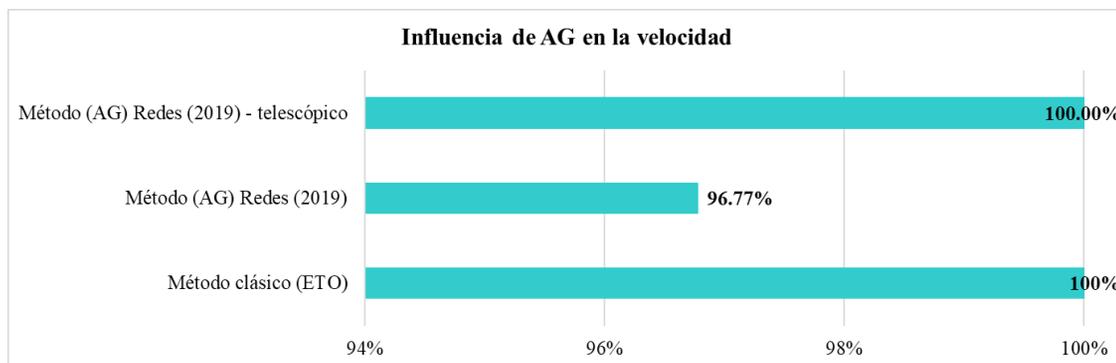
Confiabilidad del método de los algoritmos genéticos en velocidades

Método	Porcentaje	N° Tubería
Método clásico (ETO)	100%	31
Método (AG) Redes (2019)	96.77%	30
Método (AG) - Redes (2019) telescópico	100.00%	31

Fuente: Elaboración propia

Figura 101

Influencia de los algoritmos genéticos en la velocidad



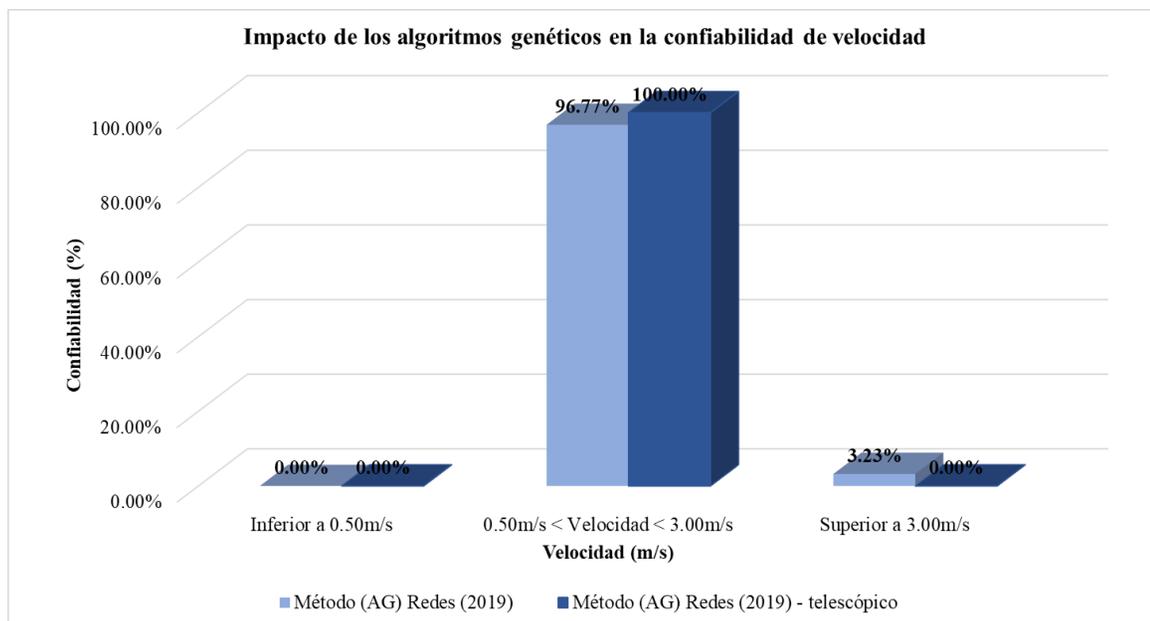
Fuente: Elaboración propia generado en Ms Excel

La Tabla 19 y la Figura 89 evidencia que el método de los algoritmos genéticos empleando el software comercial de código cerrado Redes 2019 cumple en 96.77% la normativa sectorial y/o subsectorial para proyectos de riego tecnificado presurizado vigente en el Perú, siendo el infractor la tubería TUB-125 con velocidad 3.031m/s por encima del máximo permisible, mientras que el método clásico cumple al 100%, no obstante, considerando el criterio ingenieril del tesista se hizo la modificación del diámetro de la tubería TUB-125 de 40mm a 50mm, considerando que existe

una relación inversa con la velocidad, se obtuvo 2.105m/s, dicha red modificada se denominó método de los algoritmos genéticos Redes 2019 – telescópico.

Figura 102

Confiabilidad de velocidades, mediante el software Redes 2019



Fuente: Elaboración propia generado en Ms Excel

El 96.77% de las velocidades cumplen con la restricción hidráulica de velocidad, solo el 3.23% infringen la velocidad máxima contemplada en la normativa vigente en Perú.

4.7.3. Resultado de costos - Algoritmos Genéticos (AG) en Redes 2019

Finalmente se evaluó la influencia de los algoritmos genéticos en los costos de la red de distribución de riego tecnificado presurizado del subproyecto Villa sol, para lo cual se realizó la comparación del método clásico, cuyo cálculo hidráulico se realizó en el software WaterCAD v8i, método de los algoritmos genéticos y método de los algoritmos genéticos - telescópico empleando el software Redes 2019. Los resultados de los diámetros se presentan en la siguiente tabla.

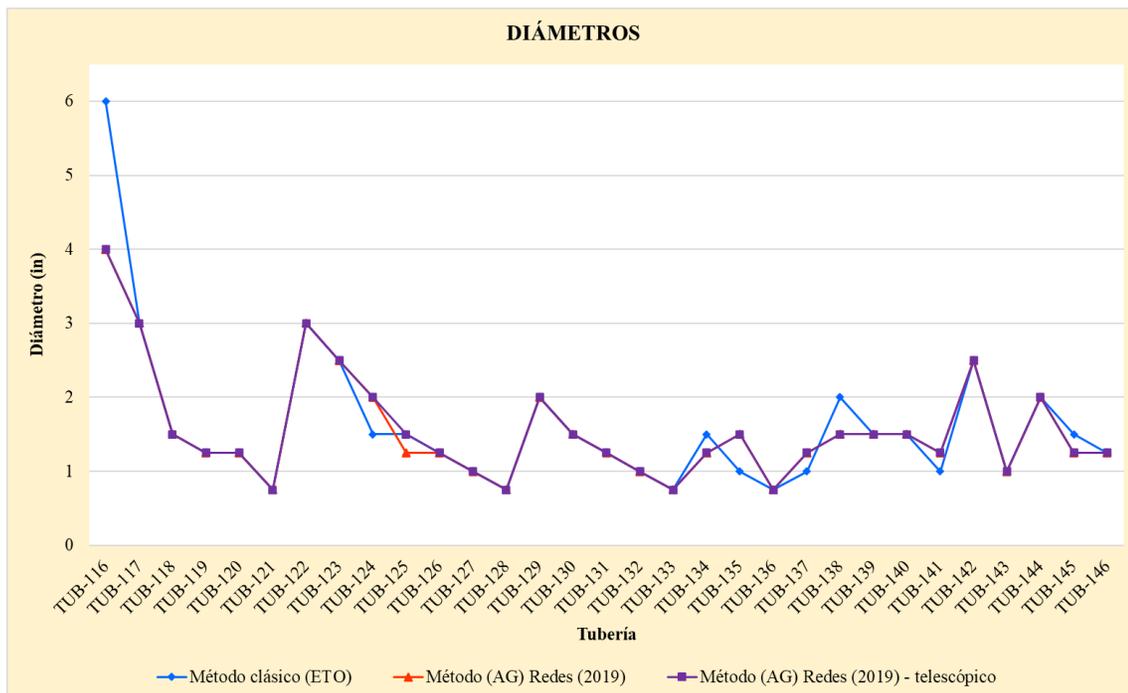
Tabla 23*Resultado de diámetros método clásico, algoritmos genéticos y algoritmos genéticos telescópico*

Tubería	Método clásico (ETO)	Método (AG) Redes (2019)	Método (AG) - Redes (2019) telescópico
	Diámetro (in)	Diámetro (in)	Diámetro (in)
TUB-116	6	4	4
TUB-117	3	3	3
TUB-118	1.5	1.5	1.5
TUB-119	1.25	1.25	1.25
TUB-120	1.25	1.25	1.25
TUB-121	0.75	0.75	0.75
TUB-122	3	3	3
TUB-123	2.5	2.5	2.5
TUB-124	1.5	2	2
TUB-125	1.5	1.25	1.5
TUB-126	1.25	1.25	1.25
TUB-127	1	1	1
TUB-128	0.75	0.75	0.75
TUB-129	2	2	2
TUB-130	1.5	1.5	1.5
TUB-131	1.25	1.25	1.25
TUB-132	1	1	1
TUB-133	0.75	0.75	0.75
TUB-134	1.5	1.25	1.25
TUB-135	1	1.5	1.5
TUB-136	0.75	0.75	0.75
TUB-137	1	1.25	1.25
TUB-138	2	1.5	1.5
TUB-139	1.5	1.5	1.5
TUB-140	1.5	1.5	1.5
TUB-141	1	1.25	1.25
TUB-142	2.5	2.5	2.5
TUB-143	1	1	1
TUB-144	2	2	2
TUB-145	1.5	1.25	1.25
TUB-146	1.25	1.25	1.25

Fuente: Elaboración propia

Figura 103

Variación de los diámetros método clásico, algoritmos genéticos y algoritmos genéticos telescópico



Fuente: Elaboración propia en base al Ms Excel

Se constató que existen diferencias significativas entre el método clásico del expediente técnico de obra y el método de los algoritmos genéticos Redes 2019 en 8 tramos de la tubería HDPE de la red distribución de riego tecnificado presurizado del subproyecto Villa Sol, dicha variación influyó en el costo de dicha red de distribución.

los resultados del costo directo de la obra y costo total del proyecto se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 24*Costos de infraestructura método tradicional, AG y AG telescópico*

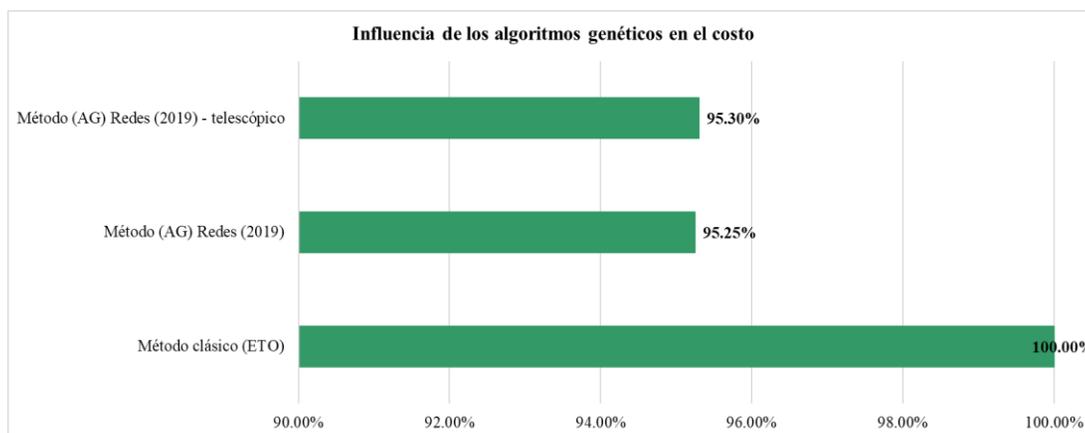
Estructura del presupuesto	Método clásico (ETO)	Método (AG) Redes (2019)	Método (AG) Redes (2019) - telescópico
Costo directo	S/ 110,484.81	S/ 105,236.92	S/ 105,294.89
Gastos Generales (9.00%)	S/ 9,943.63	S/ 9,471.32	S/ 9,476.54
Utilidad (7.00%)	S/ 7,733.94	S/ 7,366.58	S/ 7,370.64
Sub total	S/ 128,162.38	S/ 122,074.83	S/ 122,142.07
Impuesto General a las Ventas (18.00%)	S/ 23,069.23	S/ 21,973.47	S/ 21,985.57
Presupuesto total de la obra	S/ 151,231.61	S/ 144,048.30	S/ 144,127.65
Supervisión de obra (5.00%)	S/ 7,561.58	S/ 7,202.41	S/ 7,206.38
Costo total del proyecto	S/ 158,793.19	S/ 151,250.71	S/ 151,334.03

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25*Variación de costos de infraestructura*

Método	Costo total del proyecto	Porcentaje
Método clásico (ETO)	S/ 158,793.19	100.00%
Método (AG) Redes (2019)	S/ 151,250.71	95.25%
Método (AG) Redes (2019) - telescópico	S/ 151,334.03	95.30%

Fuente: Elaboración propia

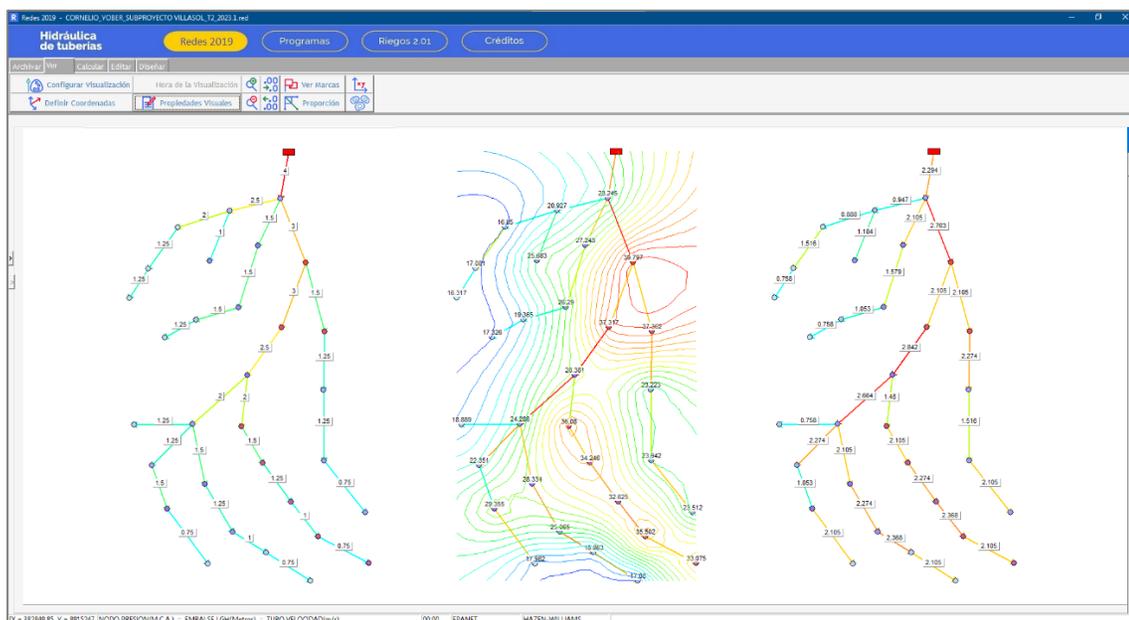
Figura 104*Influencia de los algoritmos genéticos en costos de infraestructura*

Fuente: Elaboración propia

De la Tabla 21, 22 y Figura 91 se nota que empleando el método de los algoritmos genéticos mediante el software Redes en el diseño de la red de distribución de riego tecnificado presurizado en el subproyecto Villa Sol el costo total del subproyecto asciende a S/ 151,250.71, mientras con el método clásico de ensayo error el costo total del subproyecto es de S/ 158,793.19 existiendo una diferencia de 4.75%, lo cual corresponde a un ahorro de S/ 7,542.48. Sin embargo, considerando el criterio ingenieril del tesista, se ajustó los diámetros dentro de las restricciones hidráulicas de presión y velocidad para cumplir de manera más estricta la telescopicidad, entonces el costo asciende a S/ 151,334.03 existiendo una diferencia respecto al método clásico de 4.70%, lo cual se traduce aun en un ahorro de S/ 7,459.16.

Figura 105

Red óptima de distribución de riego tecnificado presurizado sub proyecto Villa Sol



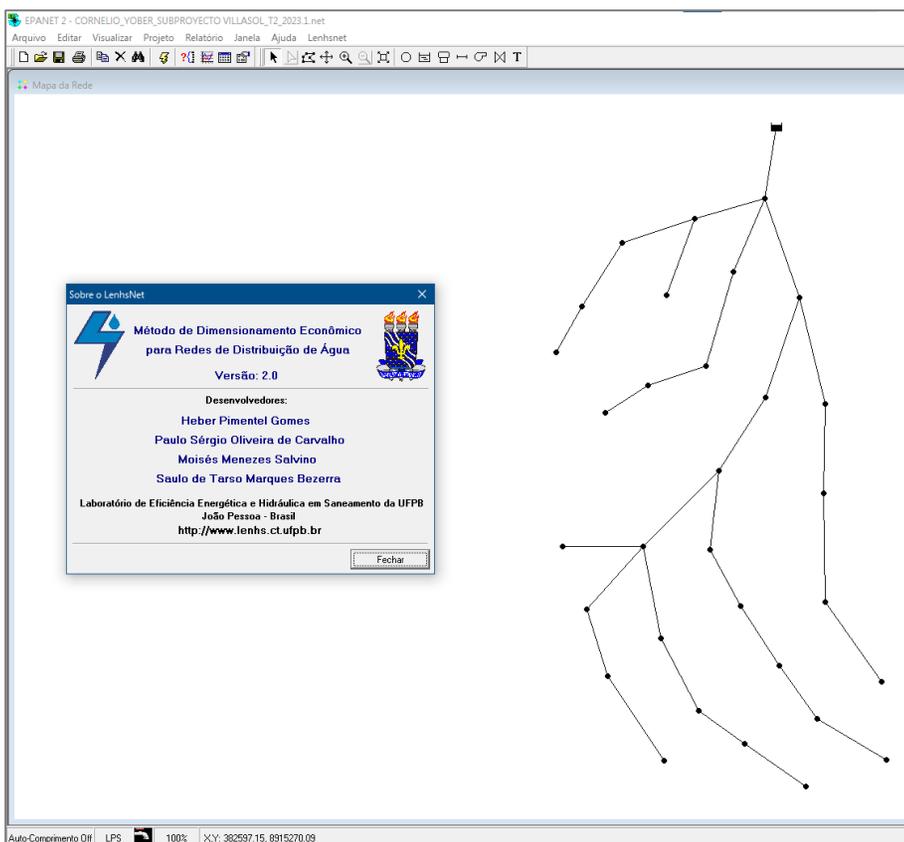
Fuente: Elaboración propia en base al software Redes 2019

4.8. Los algoritmos genéticos mediante el software Epanet Brasil (2020)

El software Epanet 2.0 Brasil es un software no comercial de código abierto que trae consigo la herramienta “Lenhsnet”, lo cual está configurado mediante los principios de los algoritmos genéticos. Similar que el método de los algoritmos genéticos aplicando el software WaterGEMS CONNECT Edition (2022) y Redes (2019), la topografía del área de influencia, la topología de la red, las coordenadas UTM de los nodos y el caudal en los hidrantes de toda la red de distribución de riego tecnificado presurizado son los insumos de entrada, dichos parámetros tendrán valores en el sistema internacional tal como se muestra en la siguiente figura.

Figura 106

Topografía y topología de la red de distribución de riego tecnificado subproyecto Villa Sol



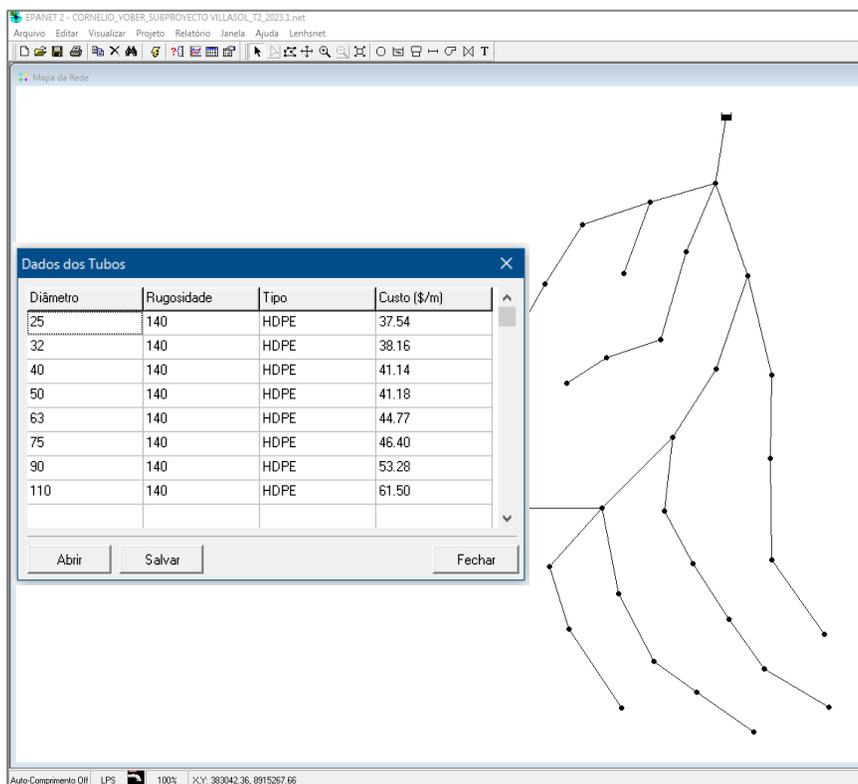
Fuente: Elaboración propia

En “Ajuda” → “Unidades” se inició haciendo las configuraciones de las unidades, presiones en mca, velocidades en m/s, caudal en l/s, diámetros en mm y longitudes en m; además, en “Projeto” → “Configuracoes Pré-Definidas” → “Hidráulica” la ecuación de pérdida a utilizar fue la de Hazen – Williams.

Por otro lado, para realizar el diseño de la red de distribución de riego tecnificado presurizado en “Lenhsnet” → “Dados dos Tubos” los valores solicitados fueron de: Diámetro, rugosidad, material y costo por metro lineal. Los diámetros de la tubería a utilizar fueron NPT ISO 4427, el material fue HDPE, el coeficiente de Hazen-Williams fue de 140 y el costo por metro lineal fue el costo de la tubería y el costo de la instalación de la misma.

Figura 107

Detalle de tuberías comerciales discretos utilizadas por el software



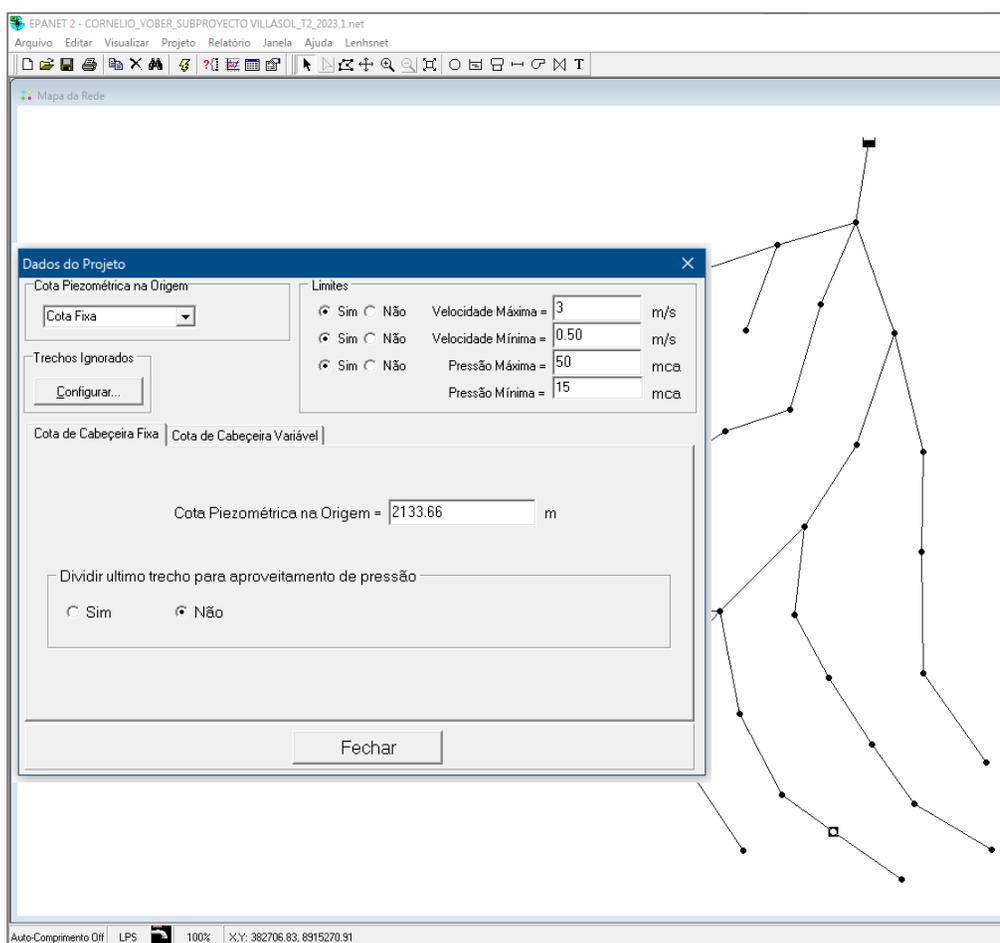
Diámetro	Rugosidade	Tipo	Custo (\$/m)
25	140	HDPE	37.54
32	140	HDPE	38.16
40	140	HDPE	41.14
50	140	HDPE	41.18
63	140	HDPE	44.77
75	140	HDPE	46.40
90	140	HDPE	53.28
110	140	HDPE	61.50

Fuente: Elaboración propia basado en Epanet 2.0 Brasil

Assim mesmo, em “Lenhsnet” → “Dados do Projeto” realizamos a configuração referente a las restricciones hidráulicas de presión y velocidad. Cabe precisar que dichos extremos son las mismas consideradas por el proyectista en el expediente técnico de obra. Entonces, las velocidades del flujo varían de 0.50m/s a 3.00m/s y las presiones de 15mca a 50mca. Esto con la finalidad de que los resultados sean las más confiables posibles. En “Cota Piezométrica na Origem” se digita la cota del reservorio, en nuestro caso cámara de derivación CD-2, esto es, 2133.66 msnm.

Figura 108

Establecimiento de restricciones hidráulicas de velocidad y presión



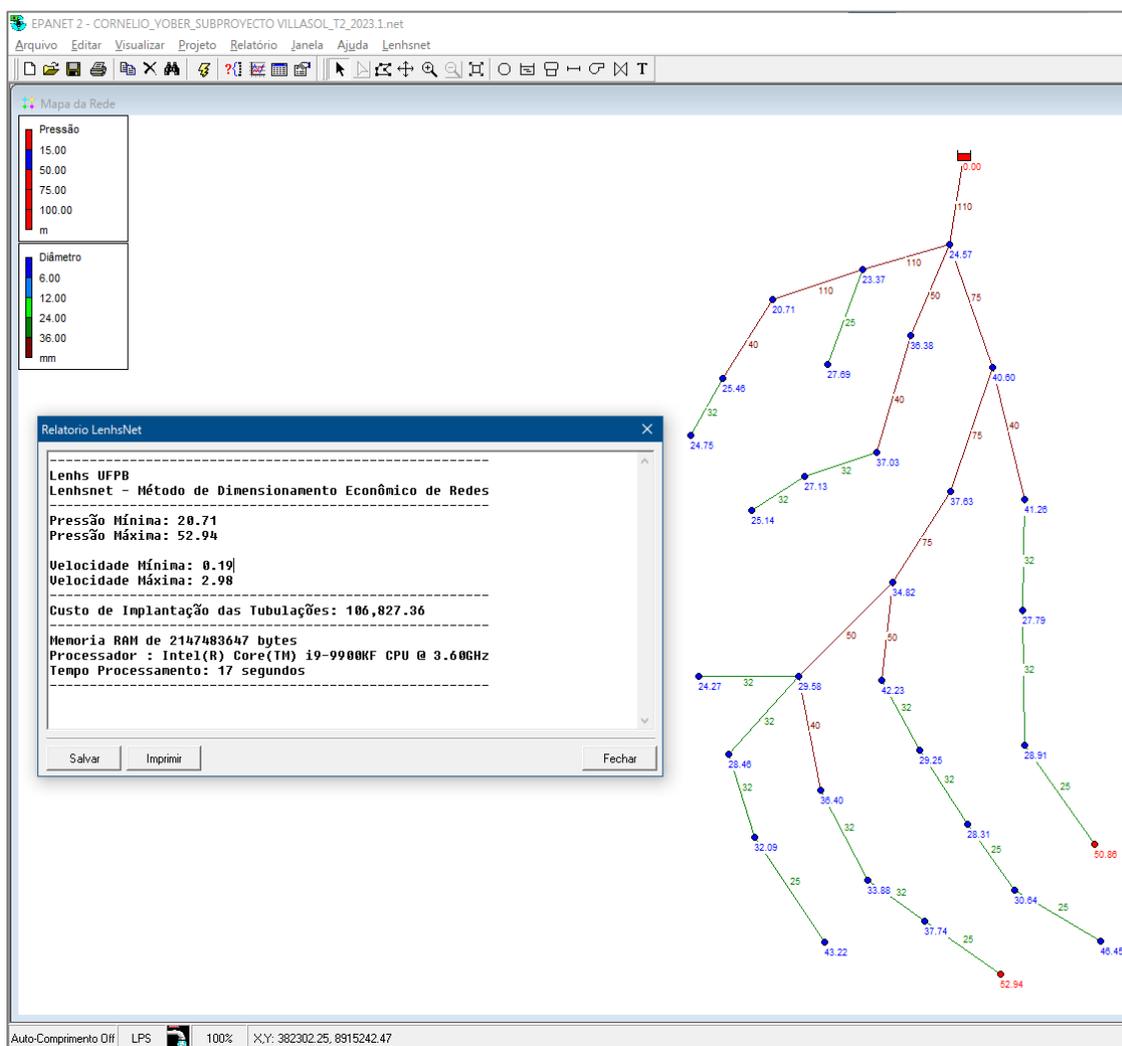
Fuente: Elaboración propia basado en Epanet 2.0 Brasil

La red que fue importada de WaterGEMS tiene todos los tramos tubería de diámetro de 2 pulgadas o 32mm, es con esta red que sea realiza el diseño en Epanet 2.0 Brasil.

Finalmente, con todos los valores explicados previamente en el software Epanet 2.0 Brasil se realizó el diseño aplicando el método de los algoritmos genéticos.

Figura 109

Cálculo hidráulico de la red de distribución de riego tecnificado subproyecto Villa Sol



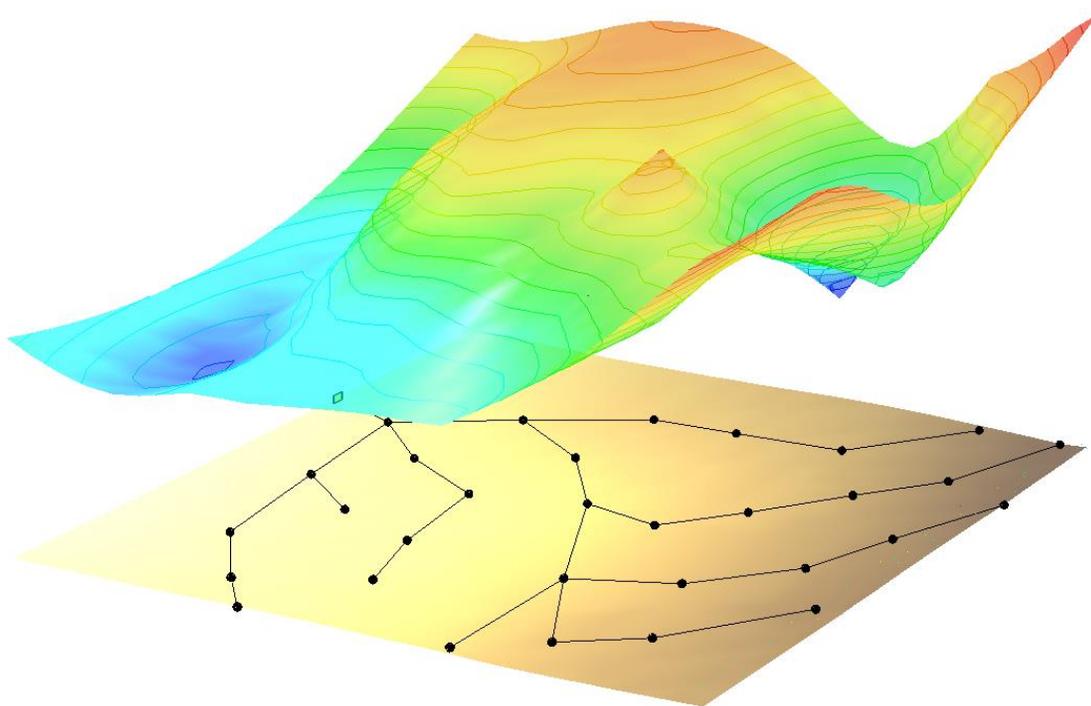
Fuente: Elaboración propia

La simulación sucedió en 17 segundos, demostrando una alta eficiencia, cuya red de distribución tiene un costo directo de S/ 106,827.36. Las restricciones hidráulicas de velocidad y presión en 99%. Además, la telescopicidad cumple al 100%.

La superficie de presiones se observa en la siguiente figura, lo cual indica que tiene una buena aproximación al terreno, haciendo que las presiones en los nodos de toda la red sean las óptimas.

Figura 110

Superficie óptima de gradiente hidráulico



Fuente: Elaboración propia en base al software Redes 2019

La superficie de presiones muestra una tendencia a ser una superficie convexa, lo cual según Saldarriaga (2019) es la forma más recomendable para garantizar el diseño de una red de distribución de agua potable o con fines de riego.

4.8.1. Resultado de presiones - Algoritmos Genéticos (AG) en EPANET 2.0 Brasil

Para evaluar la influencia del método de los algoritmos genéticos referente a la presión en los nodos en Epanet 2.0 Brasil se comparó con el método clásico o tradicional contemplado en el expediente técnico de obra, los resultados de las presiones en todos los hidrantes de la red de distribución de riego tecnificado presurizado del subproyecto Villasol se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 26

Resultado de presiones método tradicional, algoritmos genéticos y algoritmos genéticos telescópico

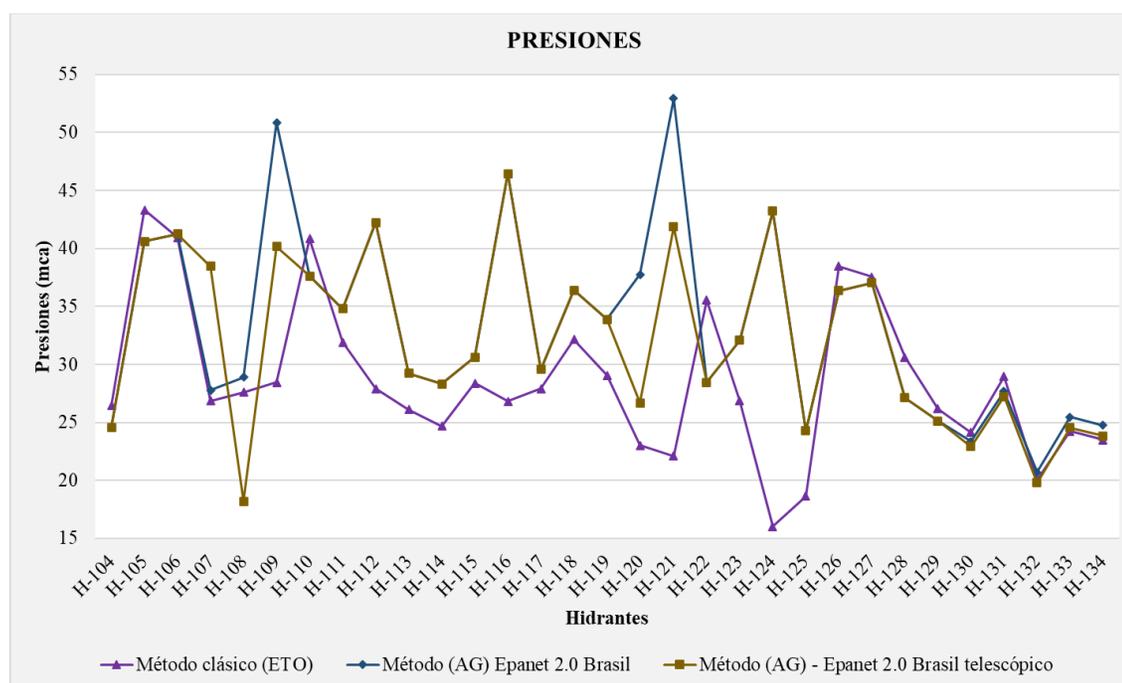
Hidrante	Método clásico (ETO)	Método (AG) Epanet 2.0 Brasil	Método (AG) Epanet 2.0 Brasil - telescópico
	Presión (mca)	Presión (mca)	Presión (mca)
H-104	26.46	24.57	24.57
H-105	43.31	40.60	40.60
H-106	40.96	41.26	41.26
H-107	26.86	27.79	38.48
H-108	27.62	28.91	18.21
H-109	28.46	50.86	40.16
H-110	40.83	37.63	37.63
H-111	31.92	34.82	34.82
H-112	27.90	42.23	42.23
H-113	26.12	29.25	29.25
H-114	24.68	28.31	28.31
H-115	28.38	30.64	30.64
H-116	26.82	46.45	46.45
H-117	27.92	29.58	29.58
H-118	32.14	36.40	36.40
H-119	29.05	33.88	33.88
H-120	23.03	37.74	26.68
H-121	22.09	52.94	41.88
H-122	35.55	28.46	28.46
H-123	26.87	32.09	32.09
H-124	16.04	43.22	43.22

Hidrante	Método clásico (ETO) Presión (mca)	Método (AG) Epanet 2.0 Brasil Presión (mca)	Método (AG) Epanet 2.0 Brasil - telescópico Presión (mca)
H-125	18.65	24.27	24.27
H-126	38.48	36.38	36.38
H-127	37.54	37.03	37.03
H-128	30.64	27.13	27.13
H-129	26.17	25.14	25.14
H-130	24.15	23.37	22.92
H-131	28.95	27.69	27.24
H-132	20.08	20.71	19.79
H-133	24.26	25.46	24.54
H-134	23.50	24.75	23.83

Fuente: Elaboración propia

Figura 111

Variación de presiones en los hidrantes método tradicional, AG y AG telescópico



Fuente: Elaboración propia realizado en Ms Excel

La figura muestra las presiones en los 31 hidrantes de la red de distribución de riego tecnificado del subproyecto Villa Sol, así mismo las variaciones con respecto al método clásico del expediente técnico de obra.

Evaluando las presiones a partir de la Tabla 23 y Figura 98, se puede notar que el método clásico cumple las restricciones hidráulicas de presión en los 31 nodos, mientras el método de los algoritmos genéticos mediante Epanet 2.0 Brasil cumplen la presión mínima y máxima solo en 29 nodos. Cabe indicar que los métodos heurísticos no pretenden reemplazar de ninguna manera los criterios ingenieriles, entonces, siempre en cuando se pueda, se procedió a modificar la presión en el hidrante H-109 y H-121, esto se logró disminuyendo y/o aumentando los diámetros al inmediato inferior y/o superior en las tuberías TUB-119, TUB-120 y TUB-132. Finalmente, junto a la revisión de las presiones, se evaluó la telescopicidad disminuyendo y/o incrementando los diámetros en las tuberías que lo requieran de tal manera que los diámetros disminuyan a medida que disminuyen los caudales en los ramales, esto inevitablemente tuvo un impacto en el costo directo de la obra, esta modificación fue denominado Método (AG) Epanet 2.0 Brasil - telescópico.

Tabla 27

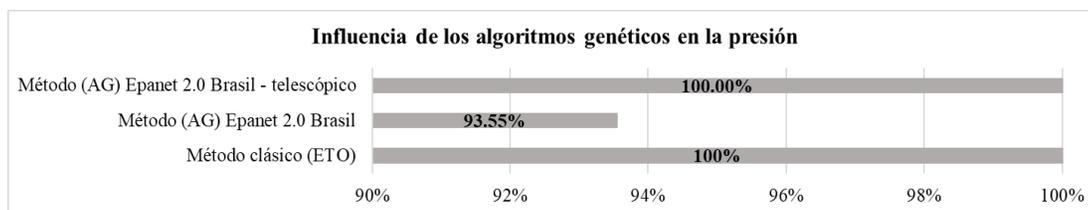
Confiabilidad de AG en presiones de los hidrantes de la red

Método	N° Hidrante	Porcentaje
Método clásico (ETO)	31	100%
Método (AG) Epanet 2.0 Brasil	29	93.55%
Método (AG) Epanet 2.0 Brasil - telescópico	31	100%

Fuente: Elaboración propia

Figura 112

Influencia de los algoritmos genéticos en la presión de los hidrantes de la red

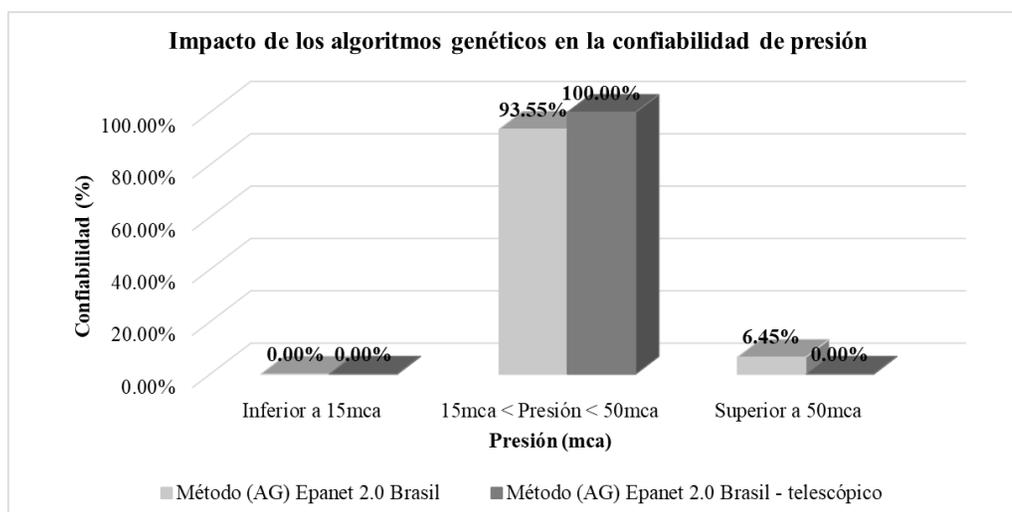


Fuente: Elaboración propia realizado en Ms Excel

La tabla 24 y la figura 99 evidencia que el método de los algoritmos genéticos empleando el software no comercial de código abierto Epanet 2.0 Brasil cumple en 93.55% la normativa sectorial y/o subsectorial vigente del Perú, siendo los infractores los hidrantes H-109 y H-121, mientras que el método clásico cumple al 100%; sin embargo, considerando el criterio ingenieril se hizo las modificaciones pertinentes, al cual se le denominó método de los algoritmos genéticos Epanet 2.0 Brasil – telescópico.

Figura 113

Confiabilidad de presiones, mediante el software Epanet Brasil 2020



Fuente: Elaboración propia realizado en Ms Excel

4.8.2. Resultado de velocidades - Algoritmos Genéticos (AG) en EPANET 2.0 Brasil

Para evaluar la influencia del método de los algoritmos genéticos referente a la velocidad en las tuberías en Epanet 2.0 Brasil se comparó con el método clásico o tradicional contemplado en el expediente técnico de obra, los resultados de las velocidades en todas las tuberías de la red de distribución de riego tecnificado presurizado del subproyecto Villa Sol se muestran en la siguiente tabla.

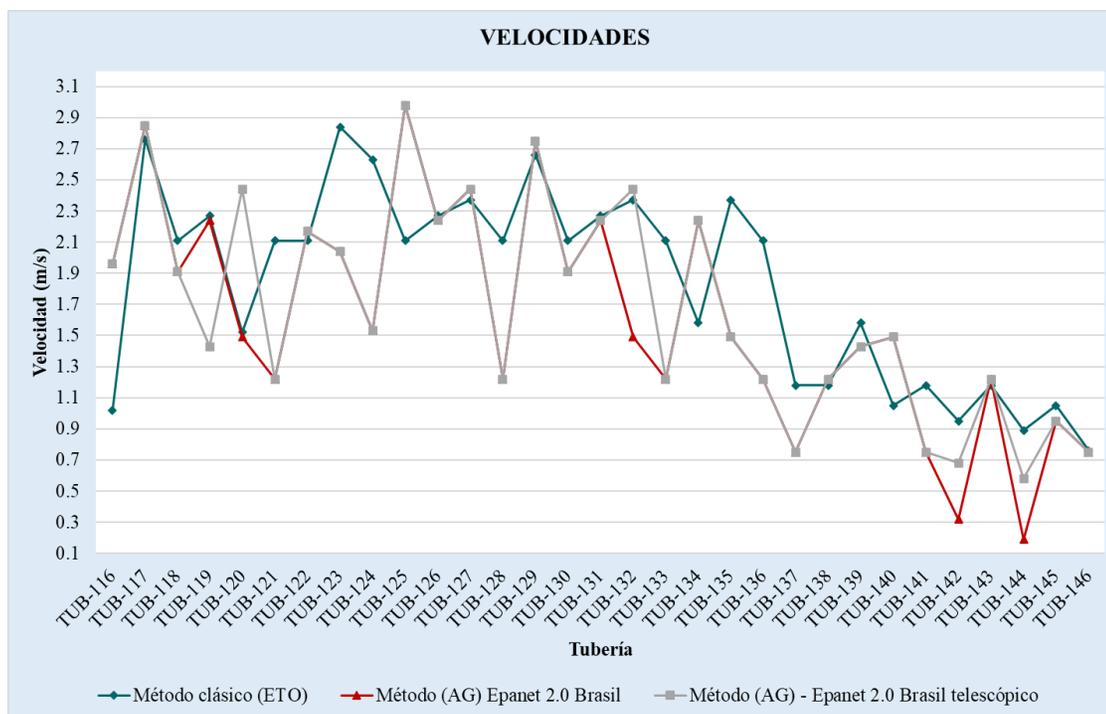
Tabla 28*Resultado de velocidades método clásico, AG y AG telescópico*

Tubería	Método clásico (ETO)	Método (AG) Epanet 2.0 Brasil	Método (AG) - Epanet 2.0 Brasil telescópico
	Velocidad (m/s)	Velocidad (m/s)	Velocidad (m/s)
TUB-116	1.02	1.96	1.96
TUB-117	2.76	2.85	2.85
TUB-118	2.11	1.91	1.91
TUB-119	2.27	2.24	1.43
TUB-120	1.52	1.49	2.44
TUB-121	2.11	1.22	1.22
TUB-122	2.11	2.17	2.17
TUB-123	2.84	2.04	2.04
TUB-124	2.63	1.53	1.53
TUB-125	2.11	2.98	2.98
TUB-126	2.27	2.24	2.24
TUB-127	2.37	2.44	2.44
TUB-128	2.11	1.22	1.22
TUB-129	2.66	2.75	2.75
TUB-130	2.11	1.91	1.91
TUB-131	2.27	2.24	2.24
TUB-132	2.37	1.49	2.44
TUB-133	2.11	1.22	1.22
TUB-134	1.58	2.24	2.24
TUB-135	2.37	1.49	1.49
TUB-136	2.11	1.22	1.22
TUB-137	1.18	0.75	0.75
TUB-138	1.18	1.22	1.22
TUB-139	1.58	1.43	1.43
TUB-140	1.05	1.49	1.49
TUB-141	1.18	0.75	0.75
TUB-142	0.95	0.32	0.68
TUB-143	1.18	1.22	1.22
TUB-144	0.89	0.19	0.58
TUB-145	1.05	0.95	0.95
TUB-146	0.76	0.75	0.75

Fuente: Elaboración propia

Figura 114

Variación de velocidades en las tuberías método clásico, AG y AG telescópico



Fuente: Elaboración propia generado en Ms Excel

Evaluando las velocidades a partir de la Tabla 25 y Figura 100, se puede notar que el método clásico cumple las restricciones hidráulicas de velocidad en los 31 tramos de tuberías, mientras el método de los algoritmos genéticos mediante Epanet 2.0 Brasil cumplen la velocidad mínima y máxima solo en 29 tramos de tubería HDPE. Cabe indicar que los métodos heurísticos no pretenden reemplazar de ninguna manera los criterios ingenieriles, entonces, siempre en cuando es permisible, se procedió a modificar la velocidad en la tubería TUB-142 y TUB-144 disminuyendo el diámetro comercial de 110mm a 75mm y 110mm a 63mm respectivamente. Finalmente, junto a la revisión de las velocidades, se evaluó la telescopicidad disminuyendo y/o incrementando los diámetros en las tuberías que lo requieran de tal manera que los diámetros disminuyan a medida que los ramales se alejan del reservorio, esto inevitablemente tuvo un

impacto en el costo directo de la obra, esta modificación fue denominado Método (AG) Epanet 2.0 Brasil - telescópico.

Tabla 29

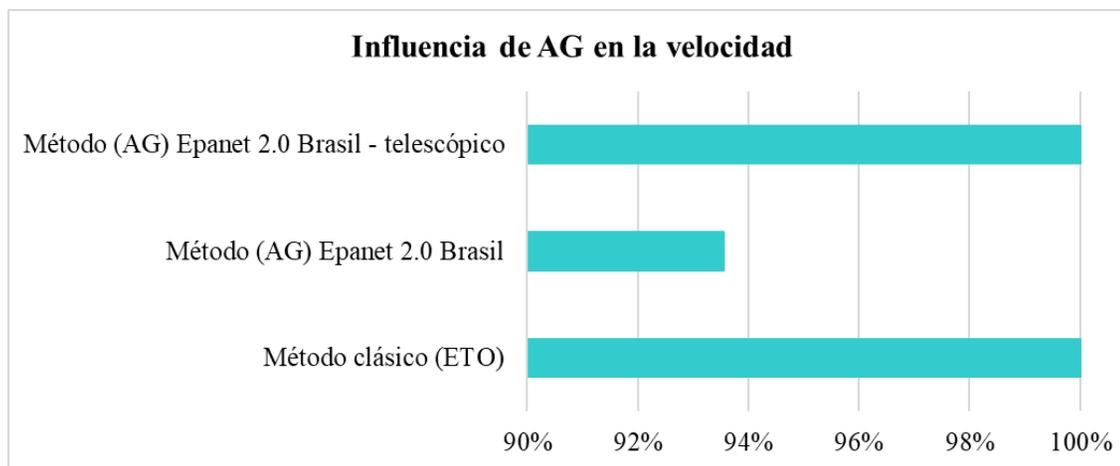
Confiabilidad de los algoritmos genéticos en las velocidades de las tuberías de la red

Método	N° Tubería	Porcentaje
Método clásico (ETO)	31	100%
Método (AG) Epanet 2.0 Brasil	29	93.55%
Método (AG) Epanet 2.0 Brasil - telescópico	31	100%

Fuente: Elaboración propia

Figura 115

Influencia de los algoritmos genéticos en la velocidad



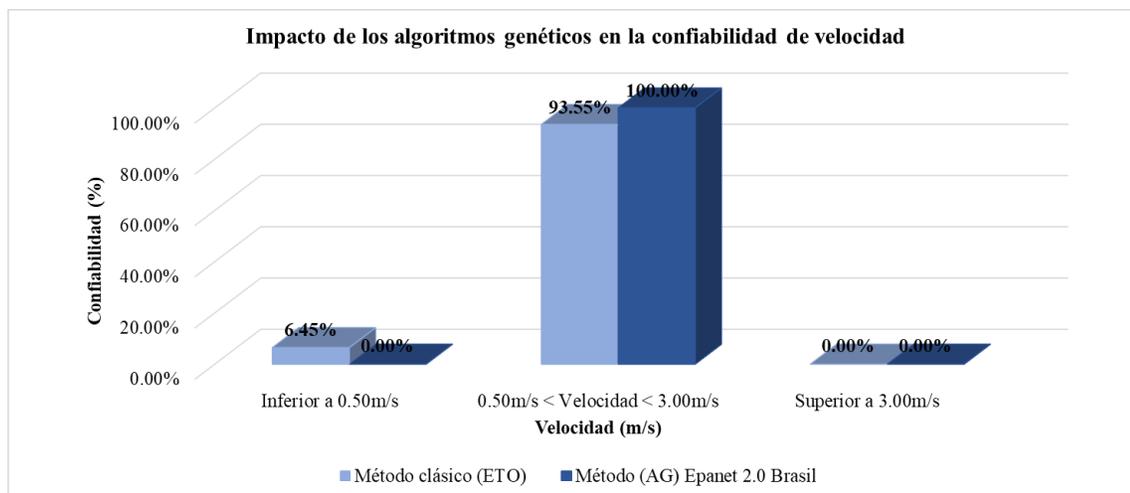
Fuente: Elaboración propia realizado en Ms Excel

La Tabla 26 y la Figura 101 evidencia que el método de los algoritmos genéticos empleando el software comercial de código abierto Epanet 2.0 Brasil cumple en 93.55% la normativa sectorial y/o subsectorial de proyecto de riego tecnificado presurizado vigente en el Perú, siendo los infractores las tuberías TUB-142 y TUB-144 con velocidades por debajo de la mínima de 0.32m/s y 0.19m/s respectivamente, mientras que el método clásico cumple al 100%,

no obstante, considerando el criterio ingenieril del testista se hizo las modificaciones pertinentes, al cual se le denominó método de los algoritmos genéticos Epanet 2.0 Brasil – telescópico.

Figura 116

Confiabilidad de presiones, mediante el software Epanet Brasil 2020



Fuente: Elaboración propia realizado en Ms Excel

El 93.55% de las velocidades cumplen con el intervalo permisible por la normativa, mientras que el 6.45% de dichas velocidades incumplen la velocidad máxima.

4.8.3. Resultado de costos - Algoritmos Genéticos (AG) en EPANET 2.0 Brasil

Finalmente se evaluó la influencia de los algoritmos genéticos en los costos de la red de distribución de riego tecnificado presurizado del subproyecto Villa Sol, para lo cual se realizó la comparación del método clásico, cuyo cálculo hidráulico se realizó en el software WaterCAD v8i, método de los algoritmos genéticos y método de los algoritmos genéticos - telescópico empleando el software Epanet 2.0 Brasil. Los resultados de los diámetros se presentan en la siguiente tabla.

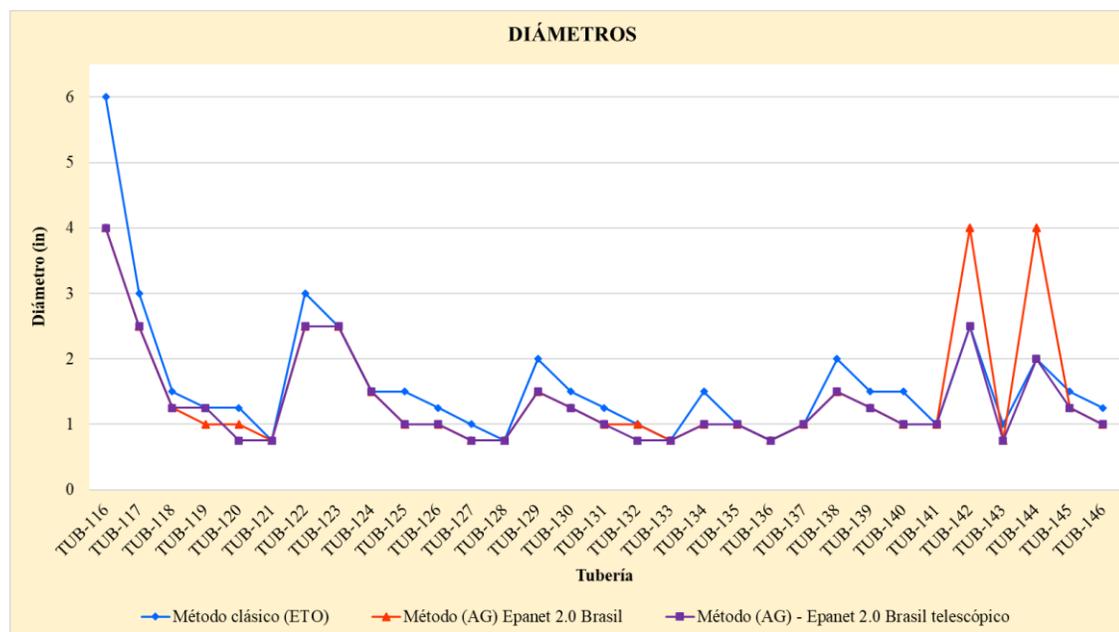
Tabla 30*Resultado de diámetros método clásico, AG y AG telescópico*

Tubería	Método clásico (ETO)	Método (AG) Epanet 2.0 Brasil	Método (AG) - Epanet 2.0 Brasil telescopico
	Diámetro (in)	Diámetro (in)	Diámetro (in)
TUB-116	6	4	4
TUB-117	3	2.5	2.5
TUB-118	1.5	1.25	1.25
TUB-119	1.25	1	1.25
TUB-120	1.25	1	0.75
TUB-121	0.75	0.75	0.75
TUB-122	3	2.5	2.5
TUB-123	2.5	2.5	2.5
TUB-124	1.5	1.5	1.5
TUB-125	1.5	1	1
TUB-126	1.25	1	1
TUB-127	1	0.75	0.75
TUB-128	0.75	0.75	0.75
TUB-129	2	1.5	1.5
TUB-130	1.5	1.25	1.25
TUB-131	1.25	1	1
TUB-132	1	1	0.75
TUB-133	0.75	0.75	0.75
TUB-134	1.5	1	1
TUB-135	1	1	1
TUB-136	0.75	0.75	0.75
TUB-137	1	1	1
TUB-138	2	1.5	1.5
TUB-139	1.5	1.25	1.25
TUB-140	1.5	1	1
TUB-141	1	1	1
TUB-142	2.5	4	2.5
TUB-143	1	0.75	0.75
TUB-144	2	4	2
TUB-145	1.5	1.25	1.25
TUB-146	1.25	1	1

Fuente: Elaboración propia

Figura 117

Variación de diámetros método tradicional, AG y AG telescópico



Fuente: Elaboración propia generado en base a Ms Excel

Se constató que existen diferencias significativas entre el método clásico del expediente técnico de obra y el método de los algoritmos genéticos Epanet 2.0 Brasil en 21 tramos de la tubería HDPE de la red distribución de riego tecnificado presurizado del subproyecto Villasol, dicha variación influyó en el costo de dicha red de distribución.

los resultados del costo directo de la obra y costo total del proyecto se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 31*Costos de infraestructura*

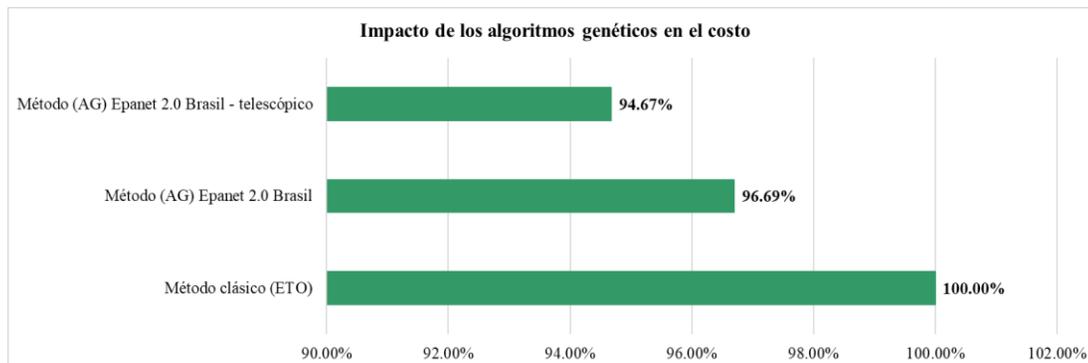
Estructura del presupuesto	Método clásico	Método (AG) Epanet 2.0 Brasil	Método (AG) Epanet 2.0 Brasil - telescópico
Costo directo	S/ 110,484.81	S/ 106,827.36	S/ 104,598.09
Gastos Generales (9.00%)	S/ 9,943.63	S/ 9,614.46	S/ 9,413.83
Utilidad (7.00%)	S/ 7,733.94	S/ 7,477.92	S/ 7,321.87
Sub total	S/ 128,162.38	S/ 123,919.74	S/ 121,333.78
Impuesto General a las Ventas (18.00%)	S/ 23,069.23	S/ 22,305.55	S/ 21,840.08
Presupuesto total de la obra	S/ 151,231.61	S/ 146,225.29	S/ 143,173.87
Supervisión de obra (5.00%)	S/ 7,561.58	S/ 7,311.26	S/ 7,158.69
Costo total del proyecto	S/ 158,793.19	S/ 153,536.55	S/ 150,332.56

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32*Variación de costos de infraestructura respecto al método clásico*

Método	Costo total del proyecto	Porcentaje
Método clásico (ETO)	S/ 158,793.19	100.00%
Método (AG) Epanet 2.0 Brasil	S/ 153,536.55	96.69%
Método (AG) Epanet 2.0 Brasil - telescópico	S/ 150,332.56	94.67%

Fuente: Elaboración propia

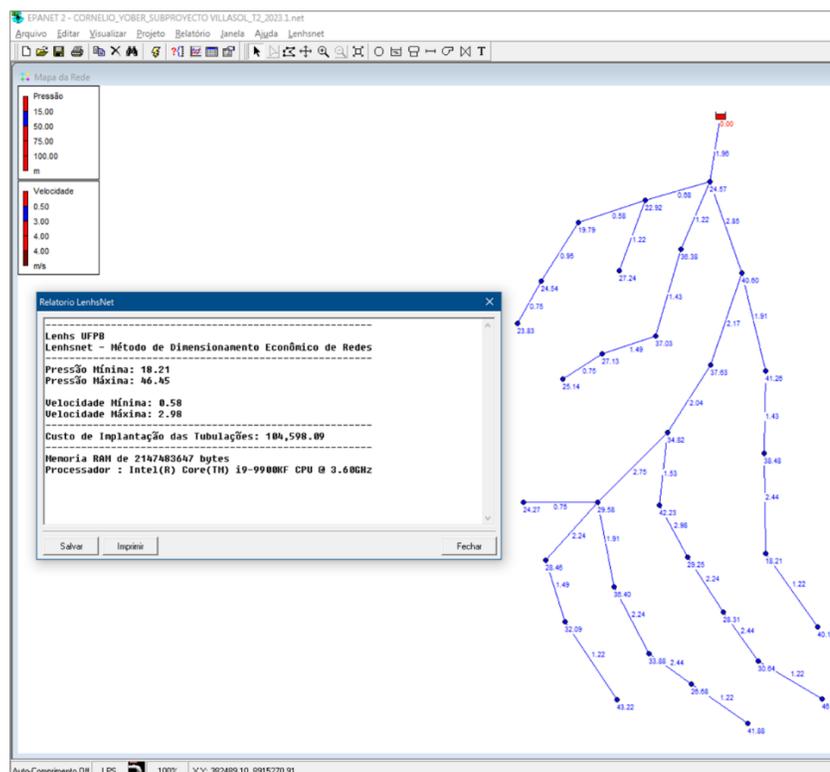
Figura 118*Impacto de los algoritmos genéticos en costos de infraestructura*

Fuente: Elaboración propia realizado en Ms Excel

De la Tabla 29, 30 y Figura 103 se nota que empleando el método de los algoritmos genéticos mediante el software Epanet 2.0 Brasil en el diseño de la red de distribución de riego tecnificado presurizado en el subproyecto Villa Sol el costo total del subproyecto asciende a S/ 153,536.55, mientras con el método clásico de ensayo error el costo total del subproyecto es de S/ 158,793.19 existiendo una diferencia de 3.31%, lo cual corresponde a un ahorro de S/ 5,256.63. Por otro lado, considerando el criterio ingenieril del tesista, se ajustó los diámetros dentro de las restricciones hidráulicas de presión y velocidad para cumplir de manera más estricta la telescopicidad, entonces el costo desciende a S/ 150,332.56 existiendo una diferencia respecto al método clásico de 5.33% respecto al clásico o tradicional, lo cual se traduce en un ahorro de S/ 8,460.63.

Figura 119

Óptimo diseño de la red de distribución tecnificado del subproyecto Villa Sol



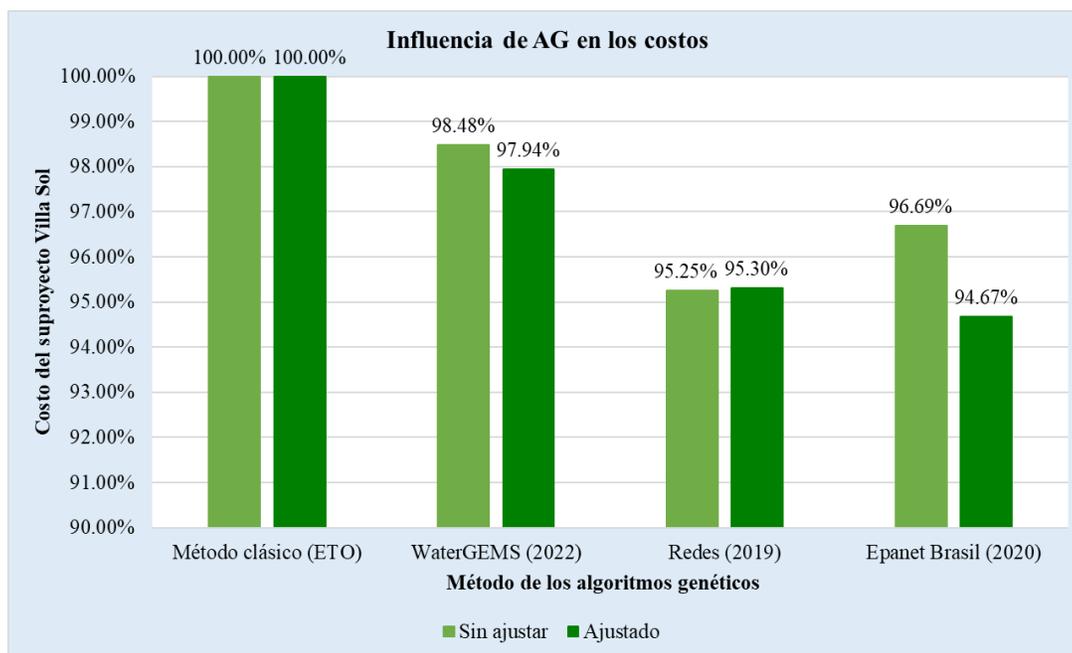
Fuente: Elaboración propia basado en Epanet 2.0 Brasil

4.9. Resultados finales

Una vez los softwares hayan diseñado la red aplicando el método de los algoritmos genéticos y nosotros hayamos manualmente realizado el ajuste del criterio de telescopicidad se procedió a realizar la comparación de los resultados finales de presiones, velocidades y costos.

Figura 120

Influencia de los AG y AG telescópico en costos de infraestructura



Fuente: Elaboración propia elaborado en Ms Excel

4.9.1. Algoritmos genéticos – presión

Los softwares de modelación de redes de distribución de agua con fines riego que traen consigo incorporado los algoritmos genéticos son el WaterGEMS 2022, Epanet 2.0 Brasil y Redes 2019, los cuales empleando dicha metodología y considerando las restricciones hidráulicas y económicas realizan el diseño de redes de distribución de riego tecnificado presurizado a nivel de cabecera de parcelas. En esa línea, evaluamos la influencia de los algoritmos genéticos en las presiones de los nudos de la red de distribución de riego tecnificado, dicho objetivo se logró

comparando el diseño clásico o tradicional y el diseño aplicando algoritmos genéticos empleando los tres softwares antes mencionados.

Mediante los resultados generados previamente se puede evidenciar que los algoritmos genéticos optimizaron los diseños de la red de distribución de riego tecnificado presurizado del subproyecto del centro poblado de Villa Sol, cumpliendo los requerimientos mínimos y máximos de presión contemplados en la normativa vigente del Perú, se constató que en los tres softwares el diseño mejoró considerablemente el diseño clásico, la cual se muestra en la siguiente tabla y figura.

Tabla 33

Resultados telescópicos de presiones aplicando algoritmos genéticos

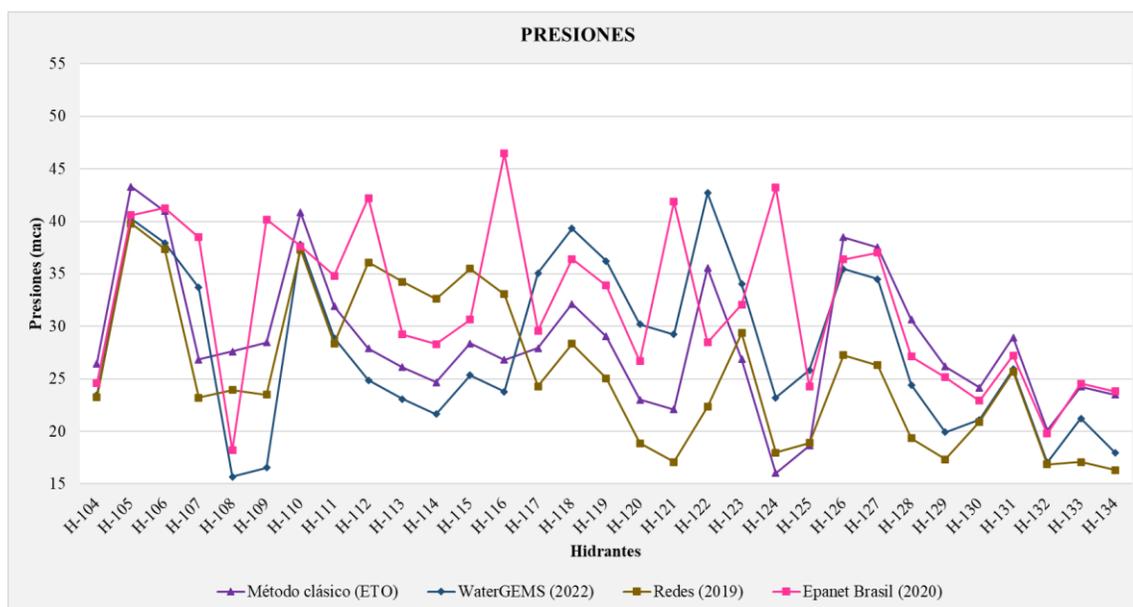
Hidrante	Método clásico	WaterGEMS	Redes (2019)	Epanet Brasil
	(ETO)	(2022)		(2020)
	Presión (mca)	Presión (mca)	Presión (mca)	Presión (mca)
H-104	26.46	23.43	23.245	24.57
H-105	43.31	40.28	39.797	40.6
H-106	40.96	37.93	37.362	41.26
H-107	26.86	33.69	23.223	38.48
H-108	27.62	15.69	23.942	18.21
H-109	28.46	16.53	23.512	40.16
H-110	40.83	37.81	37.317	37.63
H-111	31.92	28.89	28.381	34.82
H-112	27.9	24.88	36.08	42.23
H-113	26.12	23.09	34.246	29.25
H-114	24.68	21.65	32.625	28.31
H-115	28.38	25.35	35.502	30.64
H-116	26.82	23.79	33.075	46.45
H-117	27.92	35.08	24.286	29.58
H-118	32.14	39.31	28.334	36.4
H-119	29.05	36.21	25.065	33.88
H-120	23.03	30.19	18.863	26.68
H-121	22.09	29.25	17.08	41.88
H-122	35.55	42.71	22.351	28.46
H-123	26.87	34.03	29.355	32.09
H-124	16.04	23.2	17.982	43.22

Hidrante	Método clásico (ETO)	WaterGEMS (2022)	Redes (2019)	Epanet Brasil (2020)
	Presión (mca)	Presión (mca)	Presión (mca)	Presión (mca)
H-125	18.65	25.81	18.889	24.27
H-126	38.48	35.45	27.248	36.38
H-127	37.54	34.51	26.29	37.03
H-128	30.64	24.41	19.365	27.13
H-129	26.17	19.94	17.326	25.14
H-130	24.15	21.12	20.927	22.92
H-131	28.95	25.92	25.683	27.24
H-132	20.08	17.05	16.85	19.79
H-133	24.26	21.23	17.081	24.54
H-134	23.5	17.97	16.317	23.83

Fuente: Elaboración propia

Figura 121

Variación respecto al método tradicional de las presiones aplicando algoritmos genéticos



Fuente: Elaboración propia

4.9.2. Algoritmos genéticos – velocidad

El método de los algoritmos genéticos buscó optimizar el diseño de la red de distribución de riego tecnificado presurizado, dicho diseño óptimo sucede cuando las presiones son las más bajas posibles con diámetros discretos o comerciales mínimos posibles y velocidades altas sin superar el máximo y mínimo definido por la normativa vigente peruana. La tabla y figura muestra la influencia considerable de los algoritmos genéticos en las velocidades de los tramos de la red.

Tabla 34

Resultados telescópicos de velocidades aplicando algoritmos genéticos

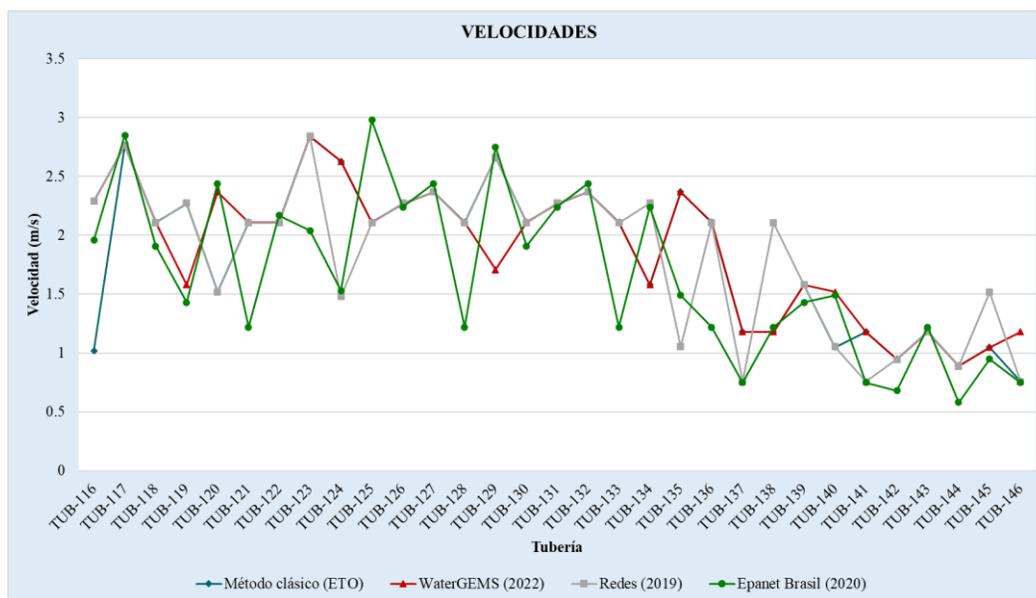
Tubería	Método clásico (ETO)	WaterGEMS (2022)	Redes (2019)	Epanet Brasil (2020)
	Velocidad (m/s)	Velocidad (m/s)	Velocidad (m/s)	Velocidad (m/s)
TUB-116	1.02	2.29	2.294	1.96
TUB-117	2.76	2.76	2.763	2.85
TUB-118	2.11	2.11	2.105	1.91
TUB-119	2.27	1.58	2.274	1.43
TUB-120	1.52	2.37	1.516	2.44
TUB-121	2.11	2.11	2.105	1.22
TUB-122	2.11	2.11	2.105	2.17
TUB-123	2.84	2.84	2.842	2.04
TUB-124	2.63	2.63	1.48	1.53
TUB-125	2.11	2.11	2.105	2.98
TUB-126	2.27	2.27	2.274	2.24
TUB-127	2.37	2.37	2.368	2.44
TUB-128	2.11	2.11	2.105	1.22
TUB-129	2.66	1.71	2.664	2.75
TUB-130	2.11	2.11	2.105	1.91
TUB-131	2.27	2.27	2.274	2.24
TUB-132	2.37	2.37	2.368	2.44
TUB-133	2.11	2.11	2.105	1.22
TUB-134	1.58	1.58	2.274	2.24
TUB-135	2.37	2.37	1.053	1.49
TUB-136	2.11	2.11	2.105	1.22
TUB-137	1.18	1.18	0.758	0.75

Tubería	Método clásico (ETO)	WaterGEMS (2022)	Redes (2019)	Epanet Brasil (2020)
	Velocidad (m/s)	Velocidad (m/s)	Velocidad (m/s)	Velocidad (m/s)
TUB-138	1.18	1.18	2.105	1.22
TUB-139	1.58	1.58	1.579	1.43
TUB-140	1.05	1.52	1.053	1.49
TUB-141	1.18	1.18	0.758	0.75
TUB-142	0.95	0.95	0.947	0.68
TUB-143	1.18	1.18	1.184	1.22
TUB-144	0.89	0.89	0.888	0.58
TUB-145	1.05	1.05	1.516	0.95
TUB-146	0.76	1.18	0.758	0.75

Fuente: Elaboración propia

Figura 122

Variación respecto al método tradicional de las velocidades aplicando algoritmos genéticos



Fuente: Elaboración propia

Se nota que el software Redes 2019 simuló las mejores velocidades, esto muy probablemente, se deba a que los algoritmos genéticos consiguieron la red más próxima a la óptima Ruiz (2014), lo cual obedece a que la red padre estuvo mejor estructurada en cuanto a diámetros

discretos de la red se refiere para lo cual necesitó de pocas generaciones para dar con la red de menor costo en comparación de las simuladas en WaterGEMS y Epanet Brasil.

4.9.3. Algoritmos genéticos – costos

El método de los algoritmos genéticos buscó optimizar el diseño de la red de distribución de riego tecnificado presurizado, dicho diseño óptimo sucedió cuando los diámetros discretos o comerciales fueron las mínimas posibles dentro de los posibles diámetros por el catálogo del fabricante.

Tabla 35

Resultados telescópicos de diámetros aplicando algoritmos genéticos

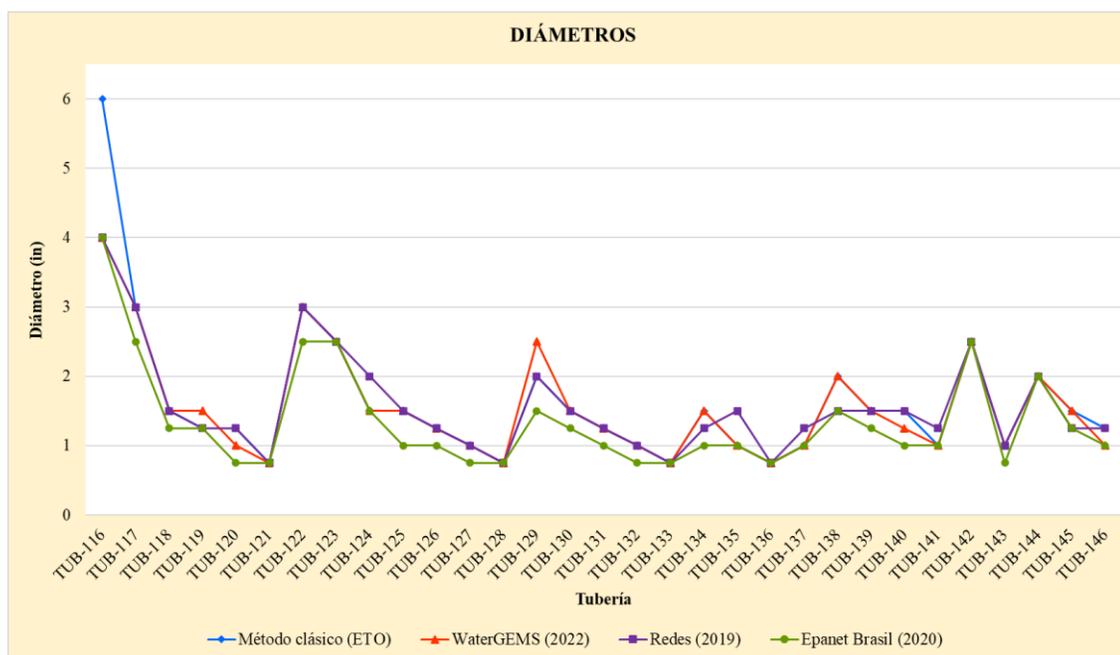
Tubería	Método clásico (ETO)	WaterGEMS (2022)	Redes (2019)	Epanet Brasil (2020)
	Diámetro (in)	Diámetro (in)	Diámetro (in)	Diámetro (in)
TUB-116	6	4	4	4
TUB-117	3	3	3	2.5
TUB-118	1.5	1.5	1.5	1.25
TUB-119	1.25	1.5	1.25	1.25
TUB-120	1.25	1	1.25	0.75
TUB-121	0.75	0.75	0.75	0.75
TUB-122	3	3	3	2.5
TUB-123	2.5	2.5	2.5	2.5
TUB-124	1.5	1.5	2	1.5
TUB-125	1.5	1.5	1.5	1
TUB-126	1.25	1.25	1.25	1
TUB-127	1	1	1	0.75
TUB-128	0.75	0.75	0.75	0.75
TUB-129	2	2.5	2	1.5
TUB-130	1.5	1.5	1.5	1.25
TUB-131	1.25	1.25	1.25	1
TUB-132	1	1	1	0.75
TUB-133	0.75	0.75	0.75	0.75
TUB-134	1.5	1.5	1.25	1
TUB-135	1	1	1.5	1
TUB-136	0.75	0.75	0.75	0.75

Tubería	Método clásico (ETO)	WaterGEMS (2022)	Redes (2019)	Epanet Brasil (2020)
	Diámetro (in)	Diámetro (in)	Diámetro (in)	Diámetro (in)
TUB-137	1	1	1.25	1
TUB-138	2	2	1.5	1.5
TUB-139	1.5	1.5	1.5	1.25
TUB-140	1.5	1.25	1.5	1
TUB-141	1	1	1.25	1
TUB-142	2.5	2.5	2.5	2.5
TUB-143	1	1	1	0.75
TUB-144	2	2	2	2
TUB-145	1.5	1.5	1.25	1.25
TUB-146	1.25	1	1.25	1

Fuente: Elaboración propia

Figura 123

Variación respecto al método tradicional de las velocidades aplicando algoritmos genéticos



Fuente: Elaboración propia

En los 3 softwares se realizó el computo de las longitudes de todos los tramos de los ramales y su correspondiente diámetro de tubería del cálculo hidráulico, los cuales fueron afectados por el costo de la tubería por unidad de longitud, obteniéndose de ese modo el costo directo de la

obra y consecuentemente el costo total del subproyecto Villa Sol teniendo en cuenta la estructura de costo del expediente técnico de obra, cuyos resultados se muestran la siguiente tabla.

Tabla 36

Variación respecto al diseño tradicional de los costos de infraestructura

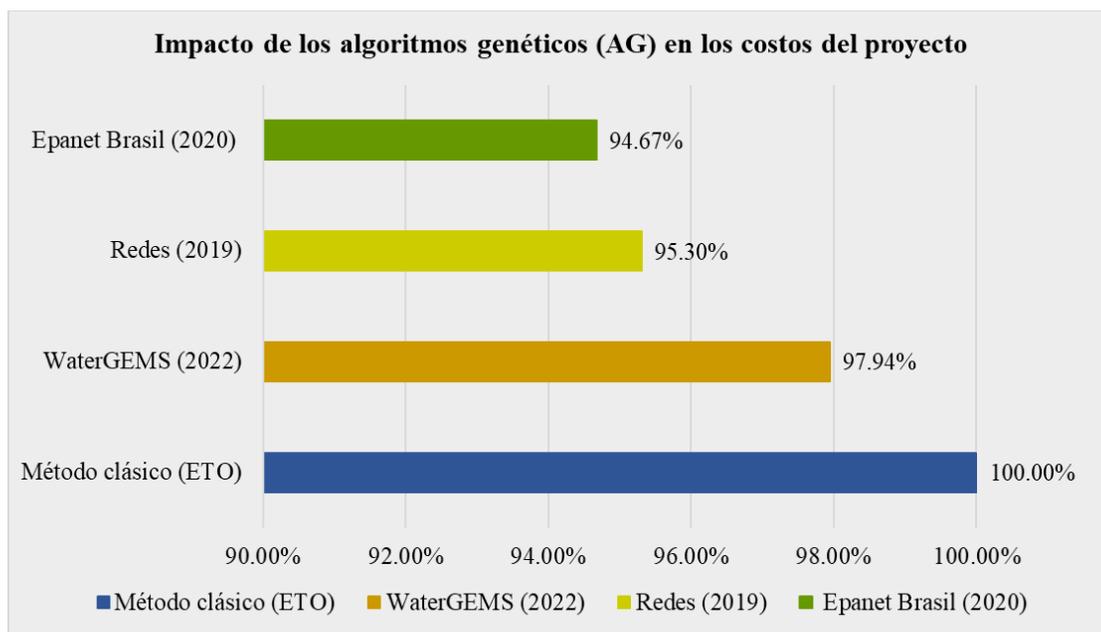
	Costo total del proyecto	Diferencias	Porcentaje	Situación
Método clásico (ETO)	S/ 158,793.19	S/ 0.00	0.00%	Referencia
WaterGEMS (2022)	S/ 155,525.87	S/ 3,267.32	2.10%	Ahorro
Redes (2019)	S/ 151,334.03	S/ 7,459.16	4.93%	Ahorro
Epanet Brasil (2020)	S/ 150,332.56	S/ 8,460.63	5.63%	Ahorro

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la Tabla 36, empleando los softwares WaterGEMS 2022, Redes 2019 y Epanet Brasil 2020, los algoritmos genéticos economizaron el costo de la red de distribución de riego tecnificado presurizado en el orden de 2.10% - 5.63%, unas en mayor porcentaje que otros debido principalmente al tipo de red padre de ingreso y la configuración interna de cada software.

Figura 124

Impacto de los algoritmos genéticos en los costos de infraestructura del proyecto



Fuente: Elaboración propia

En definitiva, de acuerdo a la Figura 110 se puede evidenciar que el método de los algoritmos genéticos, empleando softwares para tales fines, lograron optimizar el diseño de la red de riego tecnificado presurizado en el centro poblado de Villa Sol, cuyos costos representan de 94.67% a 97.94%. respecto al diseño clásico o tradicional contemplado en el expediente técnico de obra.

4.10. Análisis y cálculo de riesgos en el diseño hidráulico de la red de distribución

4.10.1. Análisis cualitativo de riesgos

Los riesgos fueron reconocidos a través de una sesión de lluvia de ideas considerando la experiencia de los ingenieros en el área mediante los trabajos de investigación precedentes, tales como los de Narváez (2014). Asimismo, se llevó a cabo una estimación de la probabilidad e impacto de estos riesgos en base a los valores recomendados por la directiva N°012-2017-OSCE/CD y la guía PMBOK (2021), los cuales se muestran en la Figura 125. En la Tabla N°37 se presentan la identificación, clasificación, codificación, valoración de la probabilidad de ocurrencia e impacto del análisis cualitativo de riesgos en el diseño hidráulico de la red de distribución de riego tecnificado presurizado operando a turnos.

Figura 125

Matriz de probabilidad e impacto según la guía PMBOK

1. PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	Muy Alta	0.90	0.045	0.090	0.180	0.360	0.720
	Alta	0.70	0.035	0.070	0.140	0.280	0.560
	Moderada	0.50	0.025	0.050	0.100	0.200	0.400
	Baja	0.30	0.015	0.030	0.060	0.120	0.240
	Muy Baja	0.10	0.005	0.010	0.020	0.040	0.080
2. IMPACTO EN EL DISEÑO DEL PROYECTO			0.05	0.10	0.20	0.40	0.80
			Muy Bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy Alto
3. PRIORIDAD DEL RIESGO				Baja	Moderada	Alta	

Fuente: Anexo N°1 de la directiva N°012-2017-OSCE/CD

Tabla 37*Análisis cualitativo de riesgos en la etapa de diseño del subproyecto Villa Sol*

Identificación y clasificación de riesgos		Matriz de probabilidad e impacto		
Códigos	Lista de riesgos	Probabilidad	Impacto	P x I
R1	Rotación o reemplazo del personal técnico encargado de la gestión, coordinación y evaluación del diseño.	0.50	0.40	0.20
R2	Ausencia de transparencia y/o claridad en la comunicación entre los profesionales que participan del diseño.	0.70	0.20	0.14
R3	Incoherencias y/o incompatibilidades entre el diseño hidráulico planificado y las condiciones del terreno, debido a dificultades en el estudio de suelos y topográficos.	0.90	0.40	0.36
R4	Limitaciones en la disponibilidad de recursos financieros para los estudios básicos de ingeniería, los cuales son los insumos del diseño hidráulico de la red distribución.	0.30	0.20	0.06
R5	Inadecuada consideración de los aspectos sociales y culturales.	0.50	0.40	0.20
R6	Diseño de las tuberías sub o sobredimensionadas por errores en la configuración previa de los softwares de hidráulica de tuberías a utilizar para la simulación o modelación.	0.50	0.20	0.10
R7	Incompatibilidades e incoherencias técnicas en el proceso de elaboración de los planos.	0.70	0.10	0.07
R8	Errores surgidos en el diseño debido a la falta de consideración de los requisitos normativos vigentes en el Perú.	0.50	0.20	0.10

Identificación y clasificación de riesgos		Matriz de probabilidad e impacto		
Códigos	Lista de riesgos	Probabilidad	Impacto	P x I
R9	Errores en el diseño y la necesidad de realizar correcciones debido a la falta de claridad en la información proporcionada como base para el dimensionado de las tuberías.	0.50	0.20	0.10
R10	Errores humanos del proyectista: falta de criterio, experiencia y falta de conocimientos en hidráulica de tuberías.	0.70	0.40	0.28
R11	Retrasos en la realización de modificaciones y ajustes a los diseños.	0.50	0.10	0.05
R12	Dificultades en el manejo de los softwares de hidráulica de tuberías utilizados para el diseño hidráulico de redes de distribución y elaboración de planos.	0.30	0.20	0.06
R13	Deficiencias en la selección y ubicación de equipos de control tales como válvulas, cámaras rompe presión, válvulas reductoras de presión y materiales como tipos de tuberías, accesorios y materiales de construcción.	0.30	0.40	0.12
R14	Inadecuada o la no consideración de la calidad del agua para riego tecnificado.	0.50	0.80	0.40
R15	Errores en la estimación de la demanda de agua.	0.30	0.40	0.12
R16	Deficiencia en la planificación de los procedimientos de cálculos.	0.70	0.20	0.14

Identificación y clasificación de riesgos		Matriz de probabilidad e impacto		
Códigos	Lista de riesgos	Probabilidad	Impacto	P x I
R17	Reformulación de diseños por falta de coordinación con otros proyectos o servicios públicos, tales como carreteras, saneamiento, entre otros.	0.30	0.20	0.06
R18	Necesidad de realizar nuevamente el análisis y la modelación debido a los requisitos normativos.	0.50	0.10	0.05
R19	Ajustes y/o modificaciones en la normativa vigente en Perú.	0.30	0.20	0.06
R20	Necesidad de realizar nuevamente procesos y diseños debido a la falta de aprobación de las Licencias, autorizaciones, permisos, servidumbres y similares para consultoría de obra.	0.30	0.20	0.06
R21	Necesidad de llevar a cabo procedimientos adicionales o solicitar nuevos permisos.	0.30	0.10	0.03
R22	Perdidas de archivos debido a cortes del fluido eléctrico, problemas en la base de datos de los softwares y/o fallas informáticas.	0.50	0.10	0.05
R23	Uso inapropiado o incorrecto de la tecnología disponible.	0.30	0.10	0.03
R24	Diseños desactualizados en comparación con la tecnología actual.	0.30	0.20	0.06
R25	Limitaciones en el acceso a datos geoespaciales y geodésicos y falta de integración con sistemas de monitoreo y control.	0.50	0.40	0.20

Fuente: Elaboración propia generado en Ms Excel

Los riesgos que se muestran en la tabla anterior son producto del criterio ingenieril del tesista y las referencias bibliográficas para tales fines, esto no indica que dichos riesgos son los únicos, por contrario, pueden presentarse muchos más durante el diseño del proyecto.

Figura 126

Matriz de niveles de riesgo - Análisis cualitativo de riesgos

1. PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	Muy Alta	0.90	0.045		0.090		0.180		0.360	R3	0.720		
	Alta	0.70	0.035		0.070	R7	0.140	R2 R16	0.280	R10	0.560		
	Moderada	0.50	0.025		0.050		0.100	R6 R8 R9	0.200	R1 R5 R25	0.400		
	Baja	0.30	0.015		0.030	R21 R23	0.060	R4 R12 R17 R19 R20 R24	0.120	R13 R15	0.240		
	Muy Baja	0.10	0.005	R11 R18 R22	0.010		0.020		0.040	R14	0.080		
	2. IMPACTO EN EL DISEÑO DEL PROYECTO			0.05	0.10	0.20	0.40	0.80					
				Muy Bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy Alto					
	3. PRIORIDAD DEL RIESGO						Baja	Moderada	Alta				
	PRIORIDAD DEL RIESGO (%)						24.00%	56.00%	20.00%				

Fuente: Elaboración propia generado en base al Anexo N°1 de la directiva N°012-2017-OSCE/CD

En la figura precedente se puede evidenciar la ubicación de los riesgos producto de los resultados de la probabilidad de ocurrencia e impacto, esto es, $P \times I$. El 56% de los riesgos identificados en el diseño de la red de distribución de riego tecnificado presurizado tiene una prioridad moderada, mientras el 24% y 20% tienen prioridad baja y alta respectivamente.

Tabla 38*Planes de Respuesta de Riesgos*

Código de riesgo	Información del riesgo	Plan de respuesta a los riesgos					Acciones a realizar en el marco del plan de respuesta
		Prioridad del riesgo	Estrategia seleccionada				
			Mitigar el riesgo	Evitar el riesgo	Aceptar el riesgo	Transferir el riesgo	
R1	Rotación o reemplazo del personal técnico encargado de la gestión, coordinación y evaluación del diseño.	Alta	x				Es fundamental mitigar y evitar estos riesgos que están bajo el control del proyectista, y en el extremo que este no sea responsable como es el caso la rotación del personal en la entidad, solicitar ampliaciones de plazos debidamente acreditados para la entrega del diseño del proyecto. La claridad en la comunicación es vital para lograr el diseño esperado, se sugiere implementar un plan de gestión de información. Así mismo, es importante generar una reserva de contingencia para afrontar los costos de los imprevistos durante la realización de los
R2	Ausencia de transparencia y/o claridad en la comunicación entre los profesionales que participan del diseño.	Moderada		x			
R3	Incoherencias y/o incompatibilidades entre el diseño hidráulico planificado y las condiciones del terreno, debido a dificultades en el estudio de suelos y topográficos.	Alta				x	

R4	Limitaciones en la disponibilidad de recursos financieros para los estudios básicos de ingeniería, los cuales son los insumos del diseño hidráulico de la red distribución.	Moderada	x	estudios hidrológicos, agronómicos, geotécnicos, entre otros, así como definir los honorarios de los especiales acorde a la complejidad del proyecto. Estos estudios pasaran a ser insumos fundamentales para un diseño óptimo de la red de distribución. Designar un equipo técnico de relaciones comunitarias para gestionar las relaciones y atender las inquietudes de la comunidad. Los conflictos sociales son causas de la modificación del diseño del proyecto.
R5	Inadecuada consideración de los aspectos sociales y culturales.	Alta	x	Si el origen del riesgo se encuentra en las modificaciones de la normativa, es posible transferir dicho riesgo a la entidad y realizar la implementación correspondiente. En cuanto a las modificaciones, es fundamental realizar una revisión exhaustiva por parte de todos los profesionales del plantel técnico antes de la entrega del diseño, ya que es
R6	Diseño de las tuberías sub o sobredimensionadas por errores en la configuración previa de los softwares de hidráulica de tuberías a utilizar para la simulación o modelación.	Moderada	x	
R7	Incompatibilidades e incoherencias técnicas en el proceso de elaboración de los planos.	Moderada	x	

R8	Errores surgidos en el diseño debido a la falta de consideración de los requisitos normativos vigentes en el Perú.	Moderada	x		<p>muy probable que cada uno identifique errores adicionales, lo que evitaría procesos innecesarios y posibles fallas técnicas. Es importante que todos los integrantes del equipo tengan una comprensión clara del proyecto, sus características y un conocimiento general, de manera que puedan contribuir con ideas, complementar el trabajo y cumplir con todos los requisitos necesarios. Implementar el plan de gestión de la información.</p> <p>Considerar en los términos de referencia consultores especializados en elaboración de expedientes técnicos y ejecución de obras, en caso de necesitar conocimientos técnicos adicionales como el manejo de softwares de hidráulica de tuberías se debe solicitar certificación y licencias de dichos softwares.</p>
R9	Errores en el diseño y la necesidad de realizar correcciones debido a la falta de claridad en la información proporcionada como base para el dimensionado de las tuberías.	Moderada		x	
R10	Errores humanos del proyectista: falta de criterio, experiencia y falta de conocimientos en hidráulica de tuberías.	Alta	x	x	
R11	Retrasos en la realización de modificaciones y ajustes a los diseños.	Baja		x	
R12	Dificultades en el manejo de los softwares de hidráulica de tuberías utilizados para el diseño hidráulico de redes de distribución y elaboración de planos.	Moderada	x	x	

R13	Deficiencias en la selección y ubicación de equipos de control tales como válvulas, cámaras rompe presión, válvulas reductoras de presión y materiales como tipos de tuberías, accesorios y materiales de construcción.	Moderada	x	x	Establecer un plan de contingencia para casos de fallas en los equipos de control, incorporar caudalímetros y transductores de presiones para realizar la calibración de red, de esto modo detectar los puntos vulnerables.
R14	Inadecuada o la no consideración de la calidad del agua para riego tecnificado.	Baja		x	Realizar análisis de calidad del agua y aplicar técnicas de tratamiento si es necesario, como desalinización o filtración. Realizar un análisis detallado de la demanda de agua en función de los requerimientos de los cultivos y las condiciones climáticas, considerando también la variabilidad estacional.
R15	Errores en la estimación de la demanda de agua.	Moderada	x	x	Contar con ingenieros especializados en hidráulica de riego tecnificado y utilizar herramientas de diseño adecuadas para garantizar un diseño óptimo.
R16	Deficiencia en la planificación de los procedimientos de cálculos.	Moderada		x	Diseñar alternativas de trazado y rutas de tuberías para evitar conflictos.
R17	Reformulación de diseños por falta de coordinación con otros proyectos o servicios públicos, tales como	Moderada		x	

	carreteras, saneamiento, entre otros.				
R18	Necesidad de realizar nuevamente el análisis y la modelación debido a los requisitos normativos.	Baja	x	x	
R19	Ajustes y/o modificaciones en la normativa vigente en Perú.	Moderada			Aceptar el riesgo y mantener una comunicación fluida con entidades reguladoras y contar con asesoramiento legal especializado en diseño de redes de distribución de riego tecnificado presurizado operando a turnos.
R20	Necesidad de realizar nuevamente procesos y diseños debido a la falta de aprobación de las Licencias, autorizaciones, permisos, servidumbres y similares para consultoría de obra.	Moderada	x	x	
R21	Necesidad de llevar a cabo procedimientos adicionales o solicitar nuevos permisos.	Baja	x		
R22	Perdidas de archivos debido a cortes del fluido eléctrico, problemas en la base de datos de los softwares y/o fallas informáticas.	Baja	x		Realizar una investigación exhaustiva sobre las opciones disponibles en el mercado, comparar características técnicas, vida útil, costo y disponibilidad de repuestos, y

R23	Uso inapropiado o incorrecto de la tecnología disponible.	Baja		x	seleccionar equipos y tecnología adecuados para el diseño del proyecto. Así mismo, fomentar la adopción a la tecnología actualizada y realizar inversiones en capacitación de los ingenieros, con el objetivo de mejorar y optimizar los procesos de diseño. Por otro lado, salvaguardar copias de seguridad de los archivos del expediente técnico en el cual están los diseños o las memorias de cálculos.
R24	Diseños desactualizados en comparación con la tecnología actual.	Moderada		x	
R25	Limitaciones en el acceso a datos geoespaciales y geodésicos y falta de integración con sistemas de monitoreo y control.	Alta	x	x	

Fuente: Elaboración propia generado en base al Anexo N°1 de la directiva N°012-2017-OSCE/CD

4.11. Calibración de la red de distribución de riego tecnificado – Subproyecto Villa Sol

La calibración del presente diseño hidráulico de la red de distribución se realizó siguiendo los criterios de caudal y presión establecidos por *American Water Works Association* (2020). Por otro lado, debido a que no se cuentan con los datos de presión y caudal registrados en campo dicha calibración se realizó mediante un estudio similar, es decir, características topográficas, topológicas e hidráulicas, lo cuales se muestran en la Figura 123 y 124. Así mismo, para optimizar dicha calibración se hizo uso de la herramienta “*Darwin Calibrator*” del software WaterGEMS 2022, el cual hace uso del método heurístico de la Inteligencia Artificial denominado algoritmos genéticos.

4.11.1. Red de distribución de riego tecnificado – Cariyacu

Lapo (2019) en su tesis doctoral realizó investigación orientado a diseño hidráulico de la red de distribución de riego tecnificado empleando los algoritmos genéticos. La red está constituida por 67 hidrantes localizados en los nudos de demanda de 0.56 l/s, el cual cubre 26.07 hectáreas de áreas de riego, la red opera a 2 turnos. El reservorio está ubicado en la cota 2597 msnm, así mismo la red fue diseñada para una presión mínima de 23 mH₂O.

Figura 127

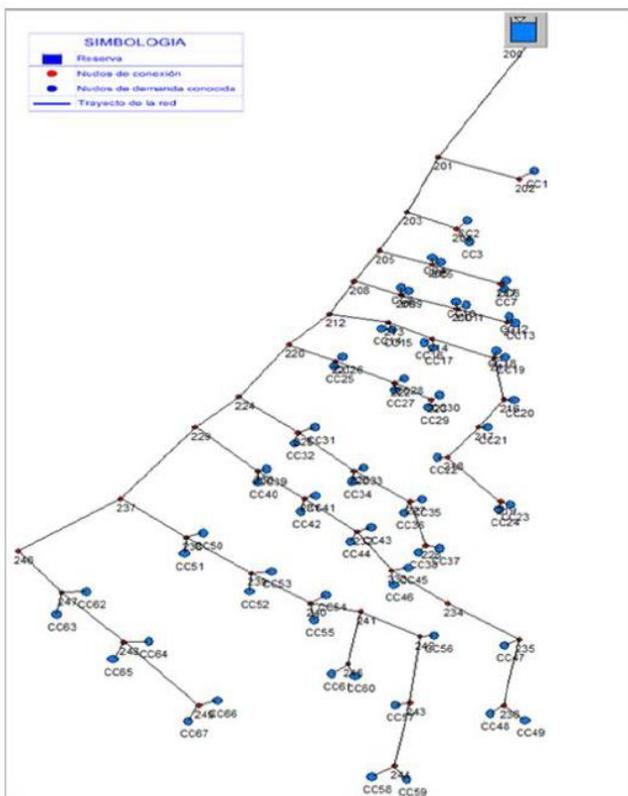
Nudos y elevaciones de la red de distribución Cariyacu - Ecuador

ID Nudo	Cota [m]	ID Nudo	Cota [m]	ID Nudo	Cota [m]
200	2597	217	2534	234	2525
201	2573	218	2532	235	2516
202	2562	219	2521	236	2510
203	2569	220	2564	237	2556
204	2562	221	2556	238	2548
205	2568	222	2548	239	2538
206	2561	223	2542	240	2534
207	2548	224	2558	241	2531
208	2567	225	2555	242	2526
209	2558	226	2545	243	2516
210	2548	227	2536	244	2506
211	2537	228	2520	245	2514
212	2566	229	2557	246	2555
213	2558	230	2554	247	2554
214	2549	231	2547	248	2544
215	2544	232	2540	249	2535
216	2535	233	2533		

Fuente: Lapo (2019)

Figura 128

Topología y topografía de la red de distribución Cariyacu - Ecuador



Fuente: Lapo (2019)

Los insumos de entrada para la calibración hidráulica de la red de distribución del subproyecto Villa Sol son las gradientes hidráulicas, los cuales provienen de la suma algebraica de las presiones en los nodos de la red Cariyacu y las elevaciones del subproyecto Villa Sol detallados en la Tabla 38, esto debido a que las elevaciones de la red Cariyacu son excesivamente superiores a las de la red materia de estudio. Es evidente que el ajuste estuvo por encima de los niveles de calibración establecidos en las secciones precedentes. Esto se evidencia mediante la Figura 125.

Tabla 39*Presiones, cotas y caudal de la red Cariyacu - Ecuador*

Nodos	Tuberías	Longitud (m)	Presión (mH₂O)	Cota (msnm)	GH (msnm)	Q (l/s)
200				2597	2597	
201	200-201	126	22.85	2573	2595.85	15.86
203	201-203	58.14	25.61	2569	2594.61	
205	203-205	82.01	24.88	2568	2592.88	
208	205-208	82.01	24.18	2567	2591.18	
212	208-212	114	23	2566	2589	
220	212-220	72.03	22.82	2564	2586.82	
224	220-224	110	25.29	2558	2583.29	
225	224-225	40.11	23	2555	2578	
226	225-226	80.62	23	2545	2568	

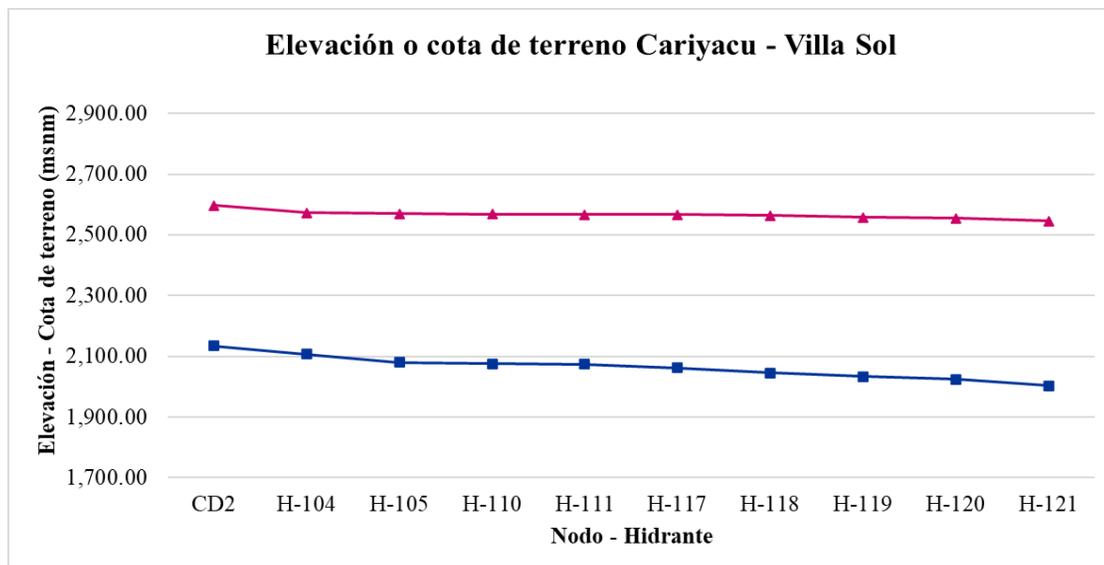
Fuente: Elaboración propia generado en base a Lapo (2019)**Tabla 40***Nodos, Elevaciones y gradientes hidráulicos subproyecto Villa Sol*

Nodos	Elevación (msnm)	Gradiente Hidráulico (msnm)
CD2	2,133.66	2,133.66
H-104	2,106.65	2,129.50
H-105	2,079.65	2,105.26
H-110	2,075.97	2,100.85
H-111	2,073.90	2,098.08
H-117	2,062.51	2,085.51
H-118	2,045.96	2,068.78
H-119	2,033.72	2,059.01
H-120	2,025.08	2,048.08
H-121	2,003.99	2,026.99

Fuente: Elaboración propia generado en Ms Excel

Figura 129

Cotas de terreno de la Red Cariyacu y suproyecto Villa Sol

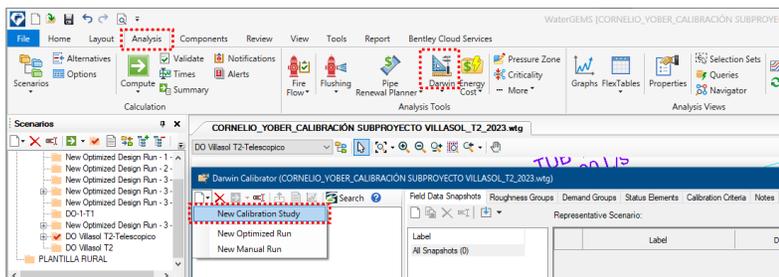


Fuente: Elaboración propia generada en Ms Excel

Como se mencionó previamente el método de la calibración a utilizar fue automático mediante la técnica de los algoritmos genéticos. Entonces, en WaterGEMS tomando como escenario base estático el “DO Villa Sol T2 – Telescópico” se procedió a realizar el ingreso de los datos hidráulicos de caudal y gradiente hidráulico. En “Analysis” → “Darwin” → “Darwin Calibrator” → “New Calibration Study” se creó el campo “Calibración del modelo”.

Figura 130

Escenario de Darwin Calibrator



Fuente: Elaboración propia generado en base al software WaterGEMS 2022

Posteriormente en “*Field Data Snapshots*” → “*New*” → “*Observed Target*” se creó el campo “*GH Cariyacu*” en el cual se ingresaron los datos de caudal de la línea de aducción y los gradientes hidráulicos de los nodos de la red primaria. Así mismo, en “*Roughness Groups*” creamos el campo de agrupación de las rugosidades de las tuberías de la red del subproyecto Villa Sol.

Figura 131

Introducción de los datos del gradiente hidráulico y grupo de rugosidad de las tuberías

The figure consists of two screenshots from the WaterGEMS 2022 software interface, showing the configuration of field data snapshots and roughness groups for a water distribution network.

Top Screenshot: Field Data Snapshots Configuration

The "Field Data Snapshots" dialog box is open, showing the configuration for a new snapshot named "GH CARİYACU". The "Observed Target" tab is selected, and the "Field Data Set" table is populated with the following data:

ID	Label	Element	Attribute	Value
1	GH CARİYACU	H-104	Hydraulic Grade (m)	2,129.50
2	GH CARİYACU	H-105	Hydraulic Grade (m)	2,105.28
3	GH CARİYACU	H-110	Hydraulic Grade (m)	2,100.85
4	GH CARİYACU	H-111	Hydraulic Grade (m)	2,098.08
5	GH CARİYACU	H-117	Hydraulic Grade (m)	2,085.51
6	GH CARİYACU	H-118	Hydraulic Grade (m)	2,068.78
7	GH CARİYACU	H-119	Hydraulic Grade (m)	2,059.51
8	GH CARİYACU	H-120	Hydraulic Grade (m)	2,048.08
9	GH CARİYACU	H-121	Hydraulic Grade (m)	2,026.99
10	GH CARİYACU	TUB-116	Discharge (L/s)	0.0000

Handwritten notes on the right side of the screenshot indicate: "TUB-116" and "Q=18,6000 L/s".

Bottom Screenshot: Roughness Groups Configuration

The "Roughness Groups" dialog box is open, showing the configuration for a new group named "TUBERIAS - HDPE". The "Selection Set" dialog box is also open, showing a list of elements to be included in the group:

Label	Element ID
TUB-141	628
TUB-146	648
TUB-132	708
TUB-140	818
TUB-125	857
TUB-127	908
TUB-135	983
TUB-126	1011
TUB-142	1037
TUB-133	1065
TUB-145	1072
TUB-144	1086
TUB-124	1121
TUB-138	1135

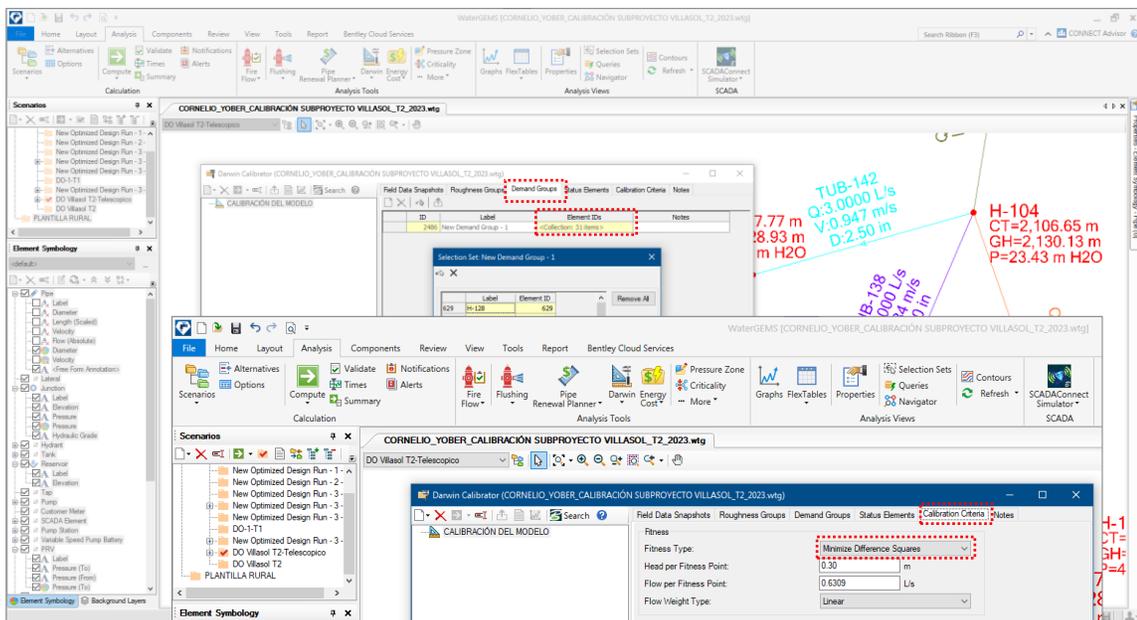
Handwritten notes on the right side of the screenshot indicate: "TUB-118", "Q=2,405 m/s", "V=2.150 in", "H-106", "CT=2,067", "GH=2,101", and "P=37.93".

Fuente: Elaboración propia generado en base al software WaterGEMS 2022

Seguidamente en “Demand Groups” → “New” realizamos la agrupación de los hidrantes en el cual están concentradas los caudales de demanda. Los valores de los criterios de diseño en “Calibration Criteria” se dejan por defecto, debido a que son los valores adecuados para lograr con la calibración óptima, minimizando la diferencia de los valores simulados vs los reales.

Figura 132

Grupos de demanda y criterios de calibración



Fuente: Elaboración propia generado en base al software WaterGEMS 2022

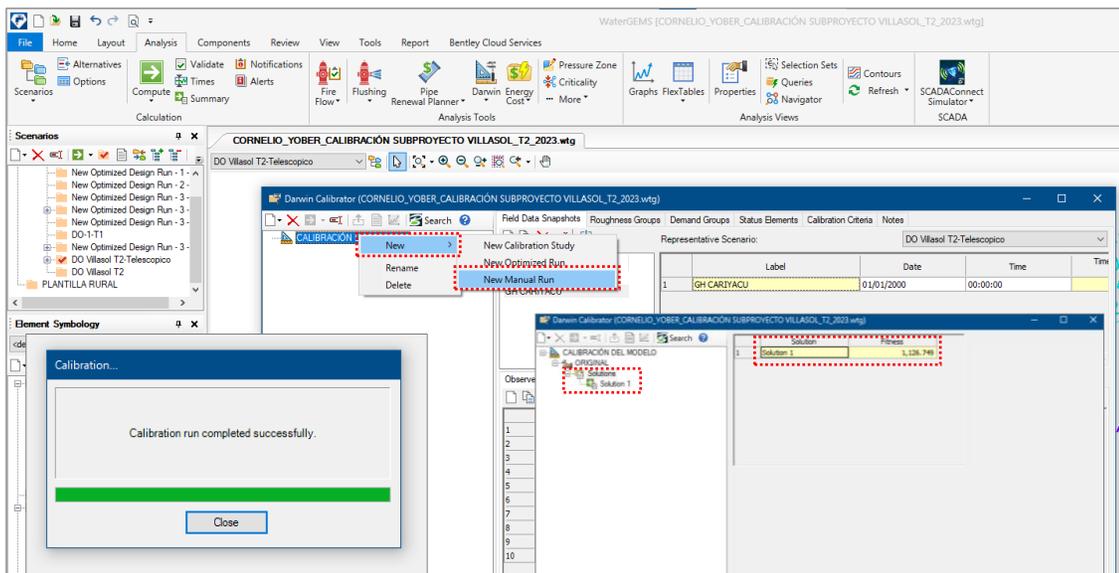
El coeficiente rugosidad de Hazen – Williams es un parámetro a calibrar, debido a que si modificamos dicha rugosidad cambia las pérdidas de carga, como consecuencia de esto cambia las presiones. Entonces, en el proceso de calibración se modificó el coeficiente de rugosidad de tal manera que las presiones modeladas se aproximen a las presiones que se registraron en campo, en nuestro caso a las presiones del estudio Cariyacu – Ecuador.

En “New” → “New Manual Run” se realiza la simulación manual con la finalidad de conocer en cuanto se diferencia los valores simulados de los observados en el estudio similar, es decir, el “Fitness” cuyo valor cuantitativo de diferencia asciende a 1,126.749. Dicho valor supera

en sobremanera los niveles de calibración establecidos en las secciones precedentes. Por tratarse de proceso iterativo, esto conlleva a que se tiene que optar por la optimización de la calibración, cumpliendo los criterios de caudal y presión permisibles.

Figura 133

Calibración manual de la red del subproyecto Villa Sol

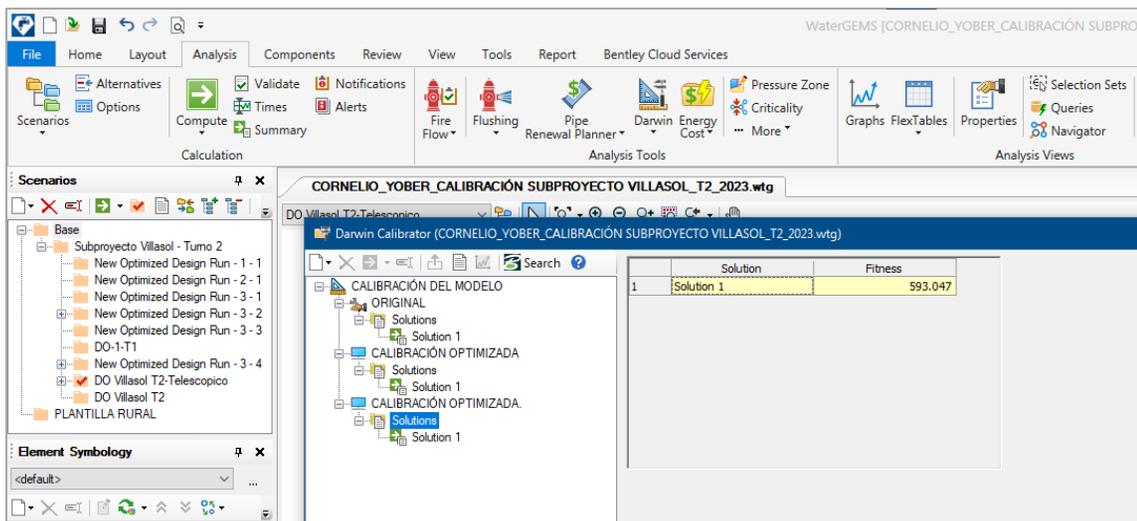
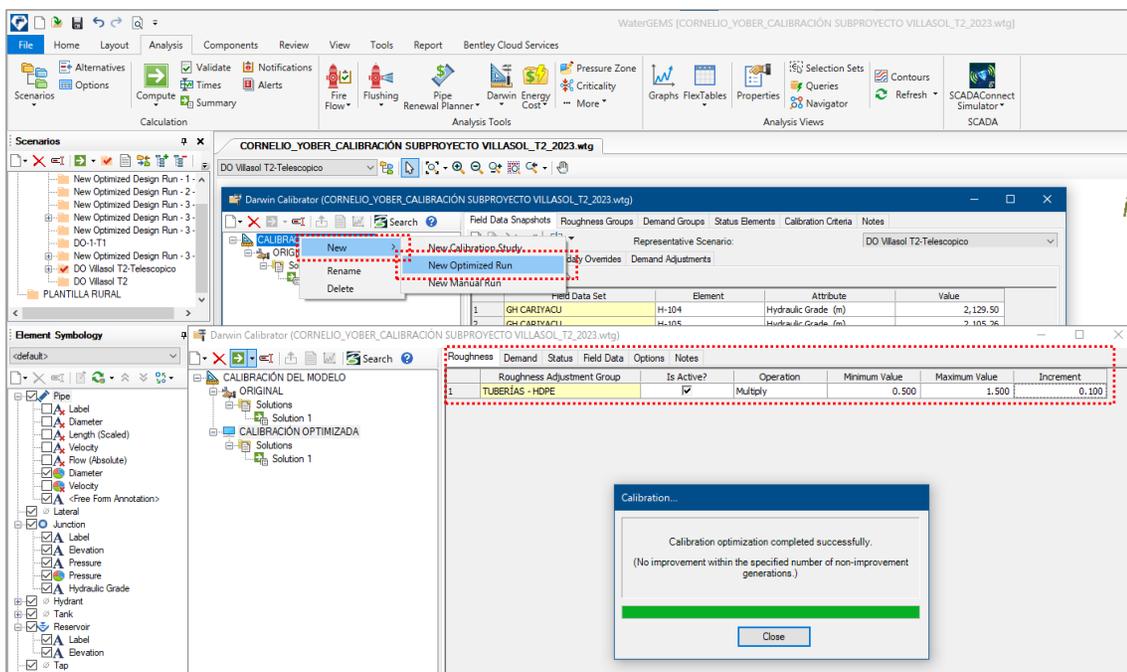


Fuente: Elaboración propia generado en base al software WaterGEMS 2022

Ahora se procede a calibrar mediante la técnica automatizada de *Darwin Calibrator*. Entonces, “New” → “New Optimized Run” creamos el escenario de optimización. Seguidamente, en “Roughness” → “Minimum Value”, “Maximum Value” y “Increment” establecemos los valores mínimos de 0.50 y máximo de 1.00 en el cual variará el coeficiente de rugosidad de Hazen – Williams durante la calibración con incremento de 0.1, debido a que durante la etapa del diseño dicho coeficiente no debe superar los 140 por tratarse de tuberías nuevas. Por otro lado, en “Demand” → “Minimum Demand Multiplier”, “Maximum Demand Multiplier” y “Demand Multiplier Increment” establecemos los valores mínimos de 0.50 y máximo de 1.50 en el cual variará la demanda en los nodos durante la calibración con incremento de 0.1.

Figura 134

Calibración automática mediante algoritmos genéticos del subproyecto Villa Sol



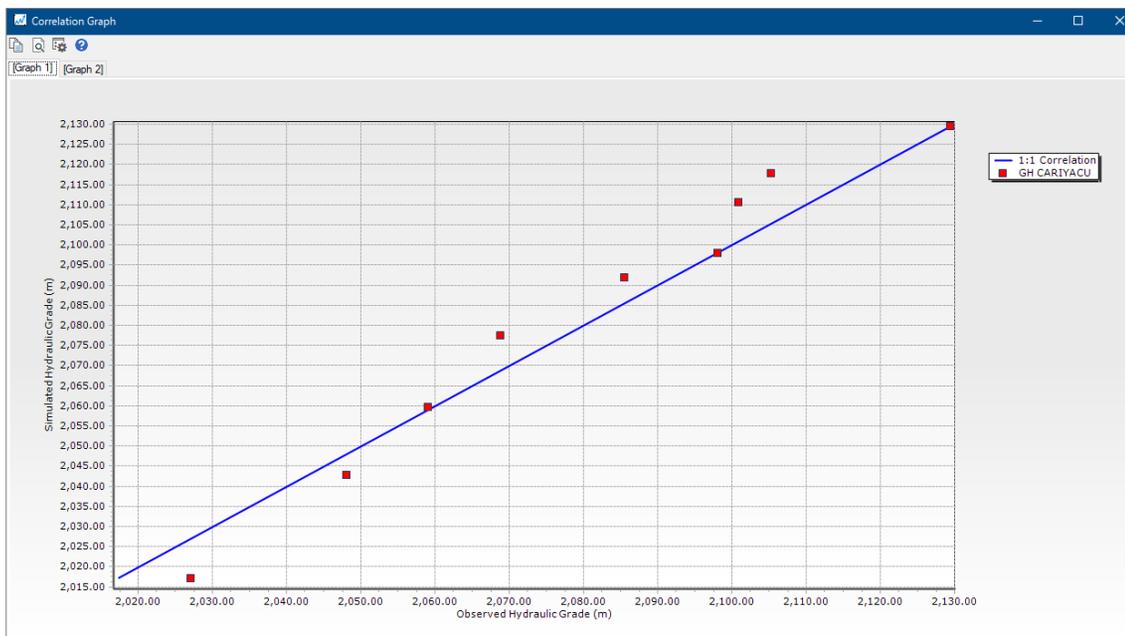
Fuente: Elaboración propia generado en base al software WaterGEMS 2022

Se puede notar que la función objetivo de la calibración, es decir, el Fitness tiene un valor que supera en sobremanera lo establecido en los niveles de calibración AWWA (2020) recomienda que dicho valor debe ser lo más cercano a cero, esto garantiza una calibración efectiva. Sin

embargo, en la calibración de la red de distribución de riego tecnificado del subproyecto Villa Sol el valor de la función objetivo fue de 593.047, lo cual refleja que la calibración no fue efectiva. El motivo radica fundamentalmente en que la red similar de Cariyacu materia de comparación tiene topología, topografía y demanda propias distintas a las del centro poblado de Villa Sol. Por tanto, cabe precisar que los diseños hidráulicos de las redes de distribución varían conforme varía los parámetros orográficos de la zona, así como los caudales de demanda producto de los requerimientos de riego propios de las parcelas de cultivo. Finalmente, la calibración de la red de distribución de riego tecnificado del subproyecto Villa Sol se debe realizar considerando el registro de datos de presiones y caudales de campo en situaciones de consumo máximo.

Figura 135

Correlación del gradiente hidráulico de la red Cariyacu - Ecuador



Fuente: Elaboración propia generado en base al software WaterGEMS 2022

4.11.2. Incidencia de factores condicionantes de calibración

Un modelo hidráulico de la red de distribución de riego tecnificado que esté adecuadamente calibrado posibilita la evaluación de la eficacia de la operación, la identificación de áreas problemáticas dentro de la red, la detección de zonas con altos niveles de fugas, entre otros. Los principales factores que inciden en la calibración del modelo hidráulico son los siguientes:

Tabla 41

Factores condicionantes de calibración en una red de distribución de riego tecnificado

Factores condicionantes	Descripción	Incidencia (%)
Personal (responsables de recolección de datos de campo)	Es importante tener conceptos claros de instrumentación, en materia específica de rangos de medida, precisión, error máximo, error relativo, repetibilidad, entre otros. Para lo cual es necesario tener conocimientos sólidos del funcionamiento de los equipos de acuerdo a los lineamientos establecidos por el fabricante, es decir, de los caudalímetros ultrasónicos o electromagnéticos y transductores de presión.	80
Equipos (dispositivos de recolección de datos de campo)	Previamente los dispositivos de medición deben estar adecuadamente calibrados en laboratorio, así como, tener en cuenta los tipos de exactitudes que suelen recomendar los fabricantes de los instrumentos y/o equipos de medición de los datos de campo. Por ejemplo, en la medición de presiones mediante los transductores de presión la precisión de la medida debe estar en el orden de $\pm 0.50 \text{ mH}_2\text{O} - 1 \text{ mH}_2\text{O}$, del flujo mediante los caudalímetros debe estar en el orden de $\pm 5\%$ y en niveles de reservorio en el orden de 50cm de acuerdo a <i>American Water Works Association</i> (2020).	90

Factores condicionantes	Descripción	Incidencia (%)
Tiempo	A las preguntas de ¿Cuándo o cómo recolectar los datos? no existe respuesta única; sin embargo, se recomienda tener registros en puntos estratégicos de la red. Por ejemplo, se suele excluir puntos cercanos a reservorios, bombas, válvulas reductoras de presión debido a que usualmente ya se tienen datos allí, también se recomienda realizar las mediciones en periodos de alta demanda y sin interrupción del servicio.	60
(momento de recolección de datos de campo)		

Fuente: Elaboración propia generado en base *Bentley OpenFlows for Water Infrastructure* (2020)

En la calibración del presente trabajo de investigación, por tratarse de estudio similar, son las que se muestra en la Figura 136. El principal factor condicionante de la calibración es la topografía del terreno, ya que afecta la presión y el flujo del agua. Es necesario considerar las diferencias de elevación y las pendientes para lograr una adecuada calibración del modelo hidráulico de una red de distribución de riego tecnificado presurizado.

Figura 136

Porcentajes de incidencia de los factores condicionantes

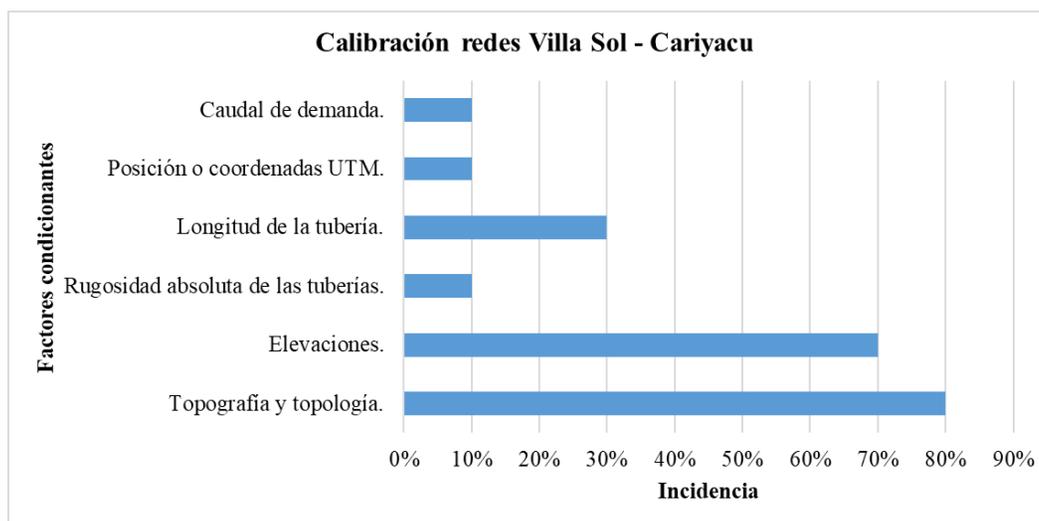


Tabla 42*Porcentaje de incidencia en la calibración del subproyecto Villa Sol*

Factores condicionantes	Red Cariyacu	Red Villa Sol	Incidencia (%)
Topografía y topología.	Moderada y empinada, cuyas pendientes de terreno varían en el orden de 10% a 20%. Los nodos de conexión de las conducciones (unión) se encuentran en la línea principal de la red y los nodos de demanda conocidas (hidrantes).	Empinada y escarpada o accidentada con pendientes en el intervalo de 15% a 30%. Los nodos de conducciones del ramal principal, secundario y terciarios contienen caudal de demanda mediante hidrantes ubicados en las cabeceras de parcela.	80
Elevaciones.	La cota máxima y mínima fue de 2597msnm y 2510 msnm respectivamente, cuya diferencia de 87m.	La cota máxima y mínima fue de 2,133.66msnm y 2000.87 msnm respectivamente, cuya diferencia de 132.79m.	70
Rugosidad absoluta de las tuberías.	Polietileno de alta densidad, cuya rugosidad absoluta es de 0.0017mm y C = 140 Hazen-Williams.	La tubería tiene una rugosidad absoluta de 0.0015mm y coeficiente de C = 140 de Hazen-Williams	10

Factores condicionantes	Red Cariyacu	Red Villa Sol	Incidencia (%)
Longitud de la tubería.	Las longitudes de las tuberías varían en el orden de 40.48m a 126m.	Las longitudes de las tuberías están dentro del rango de 51.07m a 110.07m	30
Coordenadas UTM.	Se encuentra en la zona 17S	Se encuentra en la zona 18S	10
Caudal de demanda.	El caudal ficticio continuo en los hidrantes es de 0.56 l/s/ha.	El caudal de demanda en los hidrantes expresado en es de 0.60 l/s/ha.	20

Fuente: Elaboración propia

Se puede constatar de la Tabla 46 que los principales factores que incidieron en la calibración de la red de distribución de riego tecnificado presurizado del subproyecto Villa Sol fueron la topografía del terreno y la topología de la red en 80%, las elevaciones de los nodos y tuberías en 70%, las longitudes de las tuberías en 30% y caudal de demanda en los hidrantes en 20%. Cabe mencionar que las valoraciones de los factores condicionantes fueron realizadas en base al criterio ingenieril del tesista y las experiencias de los investigadores precedentes.

4.12. Prueba estadística

4.12.1. Prueba de homogeneidad para datos de presión, velocidad y costos

Se asume que existe homogeneidad debido a que las muestras son dependientes.

4.12.2. Prueba de normalidad para datos de presión

Planteamiento de hipótesis

Ho: Los datos tienen una distribución normal

Ha: Los datos no tienen una distribución normal

El nivel de significancia

Confianza: 95%

Significancia (α): 5%

Criterio de decisión utilizado

Si $p < 0.05$, entonces rechazamos la Ho y aceptamos la Ha

Si $p \geq 0.05$, entonces aceptamos la Ho y rechazamos la Ha

Prueba estadística a emplear

De acuerdo a Romero (2016) se usó la prueba estadística de bondad de ajuste de Shapiro – Wilk debido a que los datos de la muestra de presiones son inferiores a 50 unidades.

Tabla 43*Prueba de normalidad*

IC 95%	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig. (p)
ETO	0.913	31	0.015
WaterGEMS 2022	0.962	31	0.320
Redes 2019	0.932	31	0.050
Epanet Brasil 2020	0.936	31	0.063

Fuente: Elaboración propia generada en el software SPSS

Tras observar los resultados notamos que las presiones del diseño tradicional del expediente técnico de obra (ETO) tiene un $p = 0.015 < 0.05$, para dichos datos rechazamos la H_0 y aceptamos la H_a , es decir los datos no tienen distribución normal. Por otro lado, las presiones del diseño empleando algoritmos genéticos mediante los softwares WaterGEMS, Redes y Epanet Brasil tienen $p = 0.320, 0.050$ y 0.063 respectivamente, los cuales son mayores o iguales a 0.05 , entonces aceptamos la H_0 y rechazamos la H_a , es decir, dichos datos tienen una distribución normal. Sin embargo, debido a que existe aparente contradicción se precedió a evaluar las diferencias.

Tabla 44*Prueba de normalidad de la diferencia de los datos de presiones del ETO y WaterGEMS 2022*

IC 95%	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig. (p)
Diferencia ETO -WaterGEMS 2022	0.949	31	0.149

Fuente: Elaboración propia generada en el software SPSS**Tabla 45***Prueba de normalidad de la diferencia de los datos de presiones del ETO y Redes 2019*

IC 95%	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig. (p)
Diferencia ETO - Redes 2019	0.953	31	0.184

Fuente: Elaboración propia generada en el software SPSS

Tabla 46

Prueba de normalidad de la diferencia de los datos de presiones del ETO y Epanet Brasil 2020

IC 95%	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig. (p)
Diferencia ETO – Epanet Brasil 2019	0.961	31	0.304

Fuente: Elaboración propia generada en el software SPSS

Usando las diferencias, de acuerdo a la Tabla 42,43 y 44, se observa que $p > 0.05$, entonces se confirma que la distribución de los datos de presiones analizados cumple el supuesto de normalidad, en consecuencia, se debe optar por una prueba paramétrica, considerando las sugerencias de Hernández – Sampiere et al. (2018) se optará por la prueba t de Student.

4.12.3. Prueba de normalidad para datos de velocidad

Siguiendo los mismos lineamientos de planteamiento de hipótesis, nivel de significancia y el criterio de decisión utilizado, detallados previamente se evalúa el supuesto de la prueba de normalidad para las velocidades.

Prueba estadística a emplear

De acuerdo a Romero (2016) se usó la prueba estadística de bondad de ajuste de Shapiro – Wilk debido a que los datos de la muestra de velocidades son inferiores a 50 unidades.

Tabla 47

Prueba de normalidad

IC 95%	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig. (p)	Estadístico	gl	Sig. (p)
ETO	0.251	31	0.000	0.907	31	0.011
WaterGEMS 2022	0.241	31	0.000	0.921	31	0.025
Redes 2019	0.287	31	0.000	0.899	31	0.007
Epanet Brasil 2020	0.130	31	0.196	0.951	31	0.162

Fuente: Elaboración propia generada en el software SPSS

Decisión y conclusión

Tras observar los resultados notamos que las velocidades del diseño tradicional, algoritmos genéticos mediante WaterGEMS y Redes tienen un $p = 0.015 < 0.05$, para dichos datos rechazamos la H_0 y aceptamos la H_a , es decir los datos no tienen distribución normal. Por otro lado, las presiones del diseño empleando algoritmos genéticos mediante el software Epanet Brasil tiene $p = 0.162$, los cuales son mayores o iguales a 0.05 , entonces aceptamos la H_0 y rechazamos la H_a , es decir, dichos datos tienen una distribución normal. Sin embargo, debido a que existe aparente contradicción se procedió a evaluar las diferencias con respecto al diseño tradicional.

Tabla 48

Prueba de normalidad de la diferencia de velocidades del ETO y WaterGEMS 2022

IC 95%	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig. (p)	Estadístico	gl	Sig. (p)
Diferencia ETO -WaterGEMS 2022	0.246	31	0.000	0.909	31	0.012

Fuente: Elaboración propia generada en el software SPSS

Se observa que $p = 0.012 < 0.05$, entonces se confirma que la distribución de los datos de velocidades analizados no cumple el supuesto de normalidad, en consecuencia, se debe optar por la prueba no paramétrica, prueba t de Wilcoxon.

Tabla 49

Prueba de normalidad de la diferencia de velocidades del ETO y Redes 2019

IC 95%	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig. (p)	Estadístico	gl	Sig. (p)
Diferencia ETO - Redes 2019	0.284	31	0.000	0.885	31	0.003

Fuente: Elaboración propia generada en el software SPSS

Se puede observar que $p = 0.003 < 0.05$, entonces se confirma que la distribución de los datos de velocidades analizados no cumple el supuesto de normalidad, en consecuencia, se debe optar por la prueba no paramétrica, prueba t de Wilcoxon.

Tabla 50

Prueba de normalidad de la diferencia de velocidades del ETO y Epanet Brasil 2020

IC 95%	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig. (p)	Estadístico	gl	Sig. (p)
Diferencia ETO -Epanet Brasil 2020	0.184	31	0.009	0.934	31	0.055

Fuente: Elaboración propia generada en el software SPSS del laboratorio de cómputo Fica-Unheval

De la Tabla 41 se observa que $p = 0.055 > 0.05$, entonces se confirma que la distribución de los datos de velocidades analizados cumple el supuesto de normalidad, en consecuencia, se decide por una prueba paramétrica, teniendo en cuenta las consideraciones de Hernández – Sampiere et al. (2018) se optó por la prueba t de Student.

4.12.4. Prueba de normalidad para datos de costos de infraestructura

Siguiendo los mismos lineamientos de planteamiento de hipótesis, nivel de significancia y el criterio de decisión utilizado se evalúa para el supuesto de normalidad para costos.

Prueba estadística a emplear

De acuerdo a Romero (2016) se usó la prueba estadística de bondad de ajuste de Shapiro – Wilk debido a que los datos de la muestra de velocidades son inferiores a 50 unidades.

Tabla 51

Prueba de normalidad mediante Shapiro-Wilk

95%	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig. (p)
Método tradicional		3	
Algoritmos genéticos	0.888	3	0.349

Fuente: Elaboración propia generada en el software SPSS

Decisión y conclusión

De la Tabla 51 se observa que $p = 0.349 > 0.05$, entonces se confirma que la distribución de los datos de velocidades analizados cumple el supuesto de normalidad, en consecuencia, se decide por una prueba paramétrica, teniendo en cuenta las consideraciones de Hernández – Sampiere et al. (2018) se optó por la prueba t de Student.

4.12.5. Muestras de comparación

Las muestras de comparación es el diseño de la red de distribución de riego tecnificado presurizado clásico o tradicional y los diseños de dicha red aplicando el método de los algoritmos genéticos mediante los softwares, WaterGEMS, Redes y Epanet Brasil en lo que corresponde a presiones, velocidades y costos.

4.12.6. Ensayo de hipótesis - Presión

Tabla 52

Comparación de presiones del diseño clásico y empleando algoritmos genéticos

	Presión (mca)	Presión (mca)	Presión (mca)	Presión (mca)	Presión (mca)	Presión (mca)	Presión (mca)
Hidrante	Método clásico (ETO)	WaterGEM S (2022)	Redes (2019)	Epanet Brasil (2020)	Diferencia Eto y WaterGE MS 2022	Diferenci a Eto y Redes 2019	Diferencia Eto y Epanet Brasil 2020
H-104	26.46	23.43	23.245	24.57	3.03	3.215	1.89
H-105	43.31	40.28	39.797	40.6	-13.82	-13.337	-14.14
H-106	40.96	37.93	37.362	41.26	-11.47	-10.902	-14.8
H-107	26.86	33.69	23.223	38.48	-7.23	3.237	-12.02
H-108	27.62	15.69	23.942	18.21	10.77	2.518	8.25
H-109	28.46	16.53	23.512	40.16	9.93	2.948	-13.7
H-110	40.83	37.81	37.317	37.63	-11.35	-10.857	-11.17
H-111	31.92	28.89	28.381	34.82	-2.43	-1.921	-8.36
H-112	27.9	24.88	36.08	42.23	1.58	-9.62	-15.77
H-113	26.12	23.09	34.246	29.25	3.37	-7.786	-2.79
H-114	24.68	21.65	32.625	28.31	4.81	-6.165	-1.85
H-115	28.38	25.35	35.502	30.64	1.11	-9.042	-4.18
H-116	26.82	23.79	33.075	46.45	2.67	-6.615	-19.99

H-117	27.92	35.08	24.286	29.58	-8.62	2.174	-3.12
H-118	32.14	39.31	28.334	36.4	-12.85	-1.874	-9.94
H-119	29.05	36.21	25.065	33.88	-9.75	1.395	-7.42
H-120	23.03	30.19	18.863	26.68	-3.73	7.597	-0.22
H-121	22.09	29.25	17.08	41.88	-2.79	9.38	-15.42
H-122	35.55	42.71	22.351	28.46	-16.25	4.109	-2
H-123	26.87	34.03	29.355	32.09	-7.57	-2.895	-5.63
H-124	16.04	23.2	17.982	43.22	3.26	8.478	-16.76
H-125	18.65	25.81	18.889	24.27	0.65	7.571	2.19
H-126	38.48	35.45	27.248	36.38	-8.99	-0.788	-9.92
H-127	37.54	34.51	26.29	37.03	-8.05	0.17	-10.57
H-128	30.64	24.41	19.365	27.13	2.05	7.095	-0.67
H-129	26.17	19.94	17.326	25.14	6.52	9.134	1.32
H-130	24.15	21.12	20.927	22.92	5.34	5.533	3.54
H-131	28.95	25.92	25.683	27.24	0.54	0.777	-0.78
H-132	20.08	17.05	16.85	19.79	9.41	9.61	6.67
H-133	24.26	21.23	17.081	24.54	5.23	9.379	1.92
H-134	23.5	17.97	16.317	23.83	8.49	10.143	2.63

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la prueba de normalidad se concluyó utilizar una prueba paramétrica, considerando el diseño de la presente investigación, cuyas muestras mantienen una relación de causa – efecto, se optó por la prueba *t* de Student.

Comparación de presiones método tradicional y algoritmos genéticos mediante WaterGEMS 2022. Para tal efecto se sigue los siguientes procesos:

Planteamiento de hipótesis

Ho: No existe diferencia significativa entre los datos, es decir, $\mu_1 = \mu_2$.

Ha: Existe diferencia significativa entre los datos, es decir, $\mu_1 \neq \mu_2$.

El nivel de significancia

La confianza fue del 95% y la significancia (α) del 5%

Criterio de decisión utilizado

Si $p > 0.05$, aceptamos la Ho y rechazamos la Ha

Si $p < 0.05$, rechazamos la H_0 y aceptamos la H_a

Prueba estadística a emplear. Para tal efecto se empleó el software Ms Excel, en “Datos”
 → “Análisis” → “Análisis de datos” → “Prueba t para medias de dos muestras emparejadas”,
 cuyos resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 53

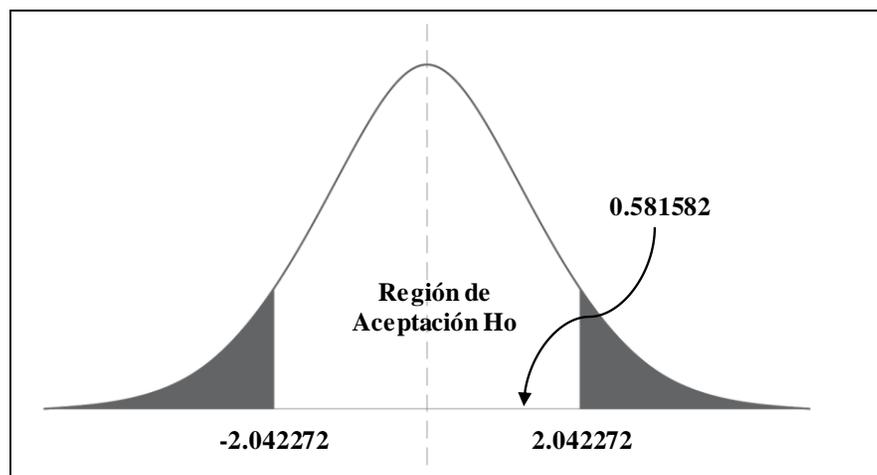
Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

	<i>Método clásico (ETO)</i>	<i>WaterGEMS (2022)</i>
Media	28.56225806	27.9483871
Varianza	42.77113806	60.25787398
Observaciones	31	31
Coefficiente de correlación de Pearson	0.674564191	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	30	
Estadístico t	0.581582503	
P(T<=t) una cola	0.282596369	
Valor crítico de t (una cola)	1.697260887	
P(T<=t) dos colas	0.565192738	
Valor crítico de t (dos colas)	2.042272456	

Fuente: Elaboración propia generado en Ms Excel

Figura 137

Curva de la distribución normal

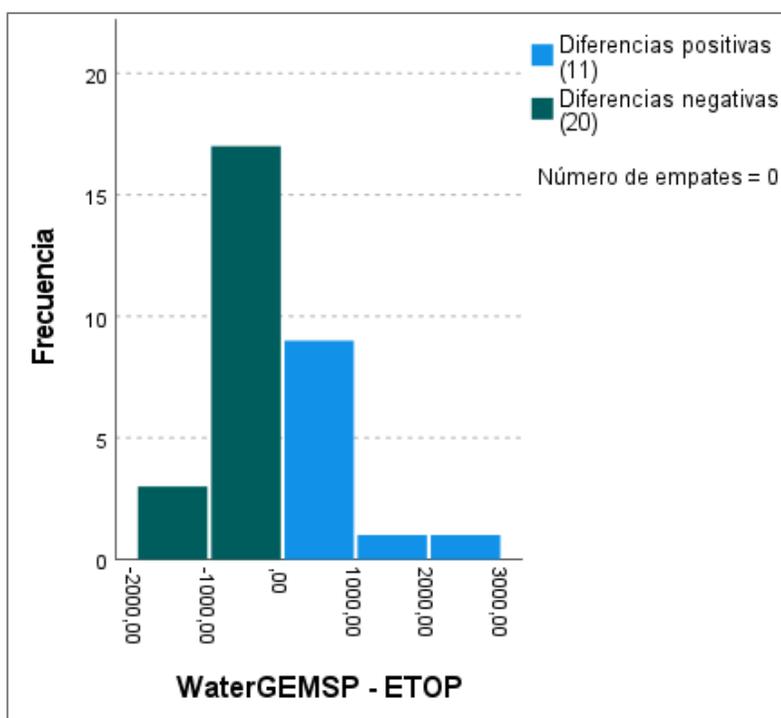


Fuente: Elaboración propia generado en AutoCAD y Ms Excel

Resultado y conclusión. Como $t = 0.581582 < t_c = 2.042272$ y $p = 0.565 > 0.05$, entonces aceptamos la H_0 y rechazamos la H_a , es decir, las medias entre el pre test y pos test no son significativamente diferentes, en consecuencia, concluimos que las presiones del diseño tradicional de la red de distribución de riego tecnificado del subproyecto Villa Sol es estadísticamente igual que el diseño de dicha red de distribución aplicando el método de los algoritmos genético mediante el software WaterGEMS 2022.

Figura 138

Prueba de rangos con signo para muestras relacionadas de presiones



Fuente: Elaboración propia generado en base al software SPSS

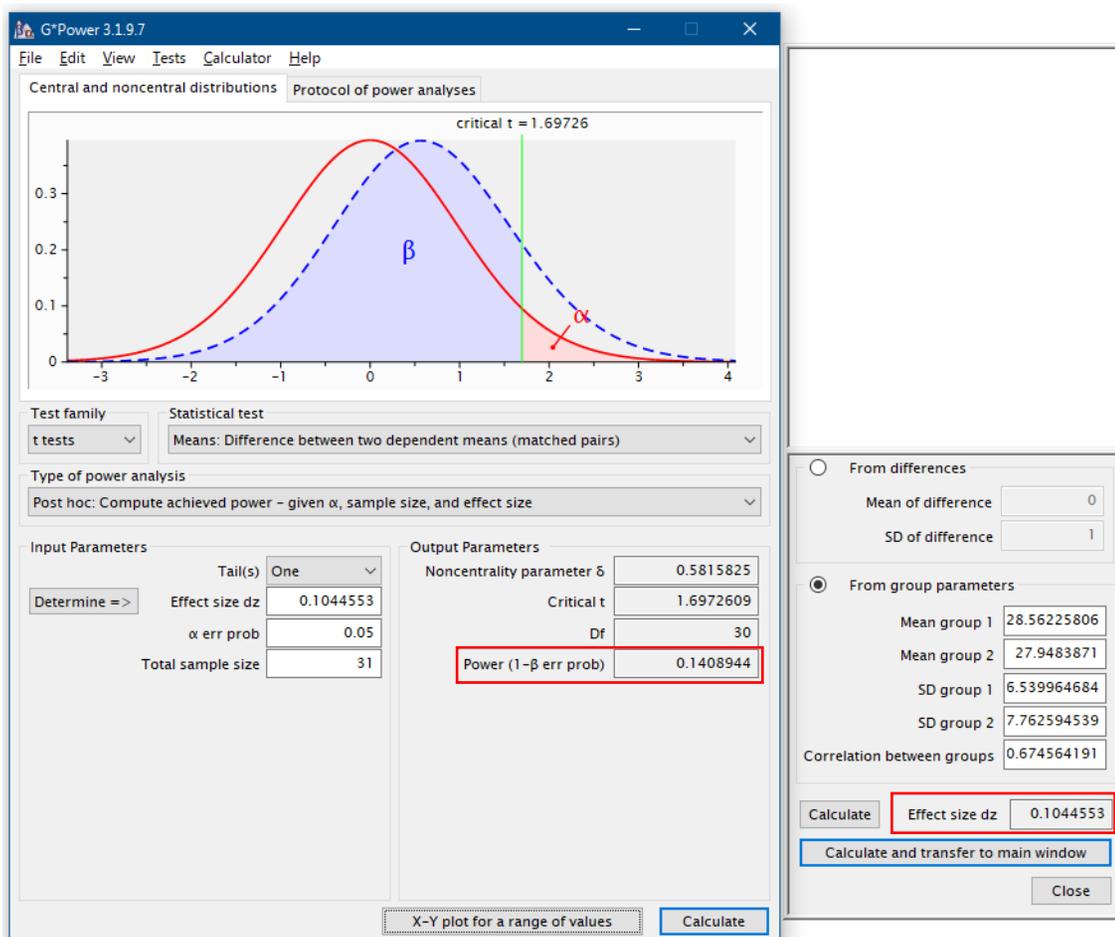
Como se puede apreciar en la figura anterior, la red más próxima al óptima sucede cuando las presiones se acercan a la mínima establecida, lo cual sucede cuando la diferencia de presiones del diseño clásico y el método de los algoritmos genéticos empleando WaterGEMS 2022 es positivo, de acuerdo al histograma las presiones mejoraron en 35.48%.

Seguidamente se evaluará el tamaño del efecto y potencia estadística

Tamaño del efecto y potencia estadística de la comparación de presiones método tradicional y algoritmos genéticos mediante WaterGEMS 2022. Para ello, se cuantificó la magnitud del efecto encontrado entre la media de las presiones del método clásico o tradicional y la media de las presiones aplicando algoritmos genéticos, lo cual se realizó mediante el software estadístico de distribución gratuita GPower.

Figura 139

Tamaño del Efecto y Potencia estadística de método clásico y AG waterGEMS 2022



Fuente: Elaboración propia generado en base al software estadístico GPower

Tabla 54*Efecto de los algoritmos genéticos mediante WaterGEMS 2022 en las presiones*

Método	Media	Desviación estándar	t-Student	p	Δ Cohen
Clásico	28.56	6.54			
AG WaterGEMS 2022	27.95	7.76	0.5816	.5652	0.1045

Fuente: Elaboración propia

Se observó que las presiones del diseño clásico ($n=31$, $M=28.56$ y $DE=6.54$) en comparación con el diseño aplicando algoritmos genéticos mediante el software WaterGEMS 2022 ($n=31$, $M=27.95$ y $DE=7.76$) puntuó no significativo. Estas diferencias fueron no significativas estadísticamente ($t(30) = 0.5816$, $p = 0.5652$, $IC95\% [12.10, 43.80]$)

Por otro lado, se apreció que el Tamaño del Efecto ($d = 0.1045$) se puede considerar pequeño ya que se encuentra alrededor de 0.20, es decir, la diferencia de presiones del diseño clásico comparado con el diseño aplicando algoritmos genéticos se debe a un tamaño de efecto pequeño.

Finalmente, se observó que la potencia estadística ($1-\beta = .14089$), lo cual no supera los niveles mínimos exigidos (80%), constatándose en la Figura 139 que existe una alta probabilidad de cometer un Error tipo II (85.91%) si se acepta la hipótesis nula.

Comparación de presiones método tradicional y algoritmos genéticos mediante Redes 2019. Para tal efecto se siguieron el planteamiento de hipótesis, nivel de significancia, criterio de decisión utilizado y la prueba estadística mediante el software Ms Excel. Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 55

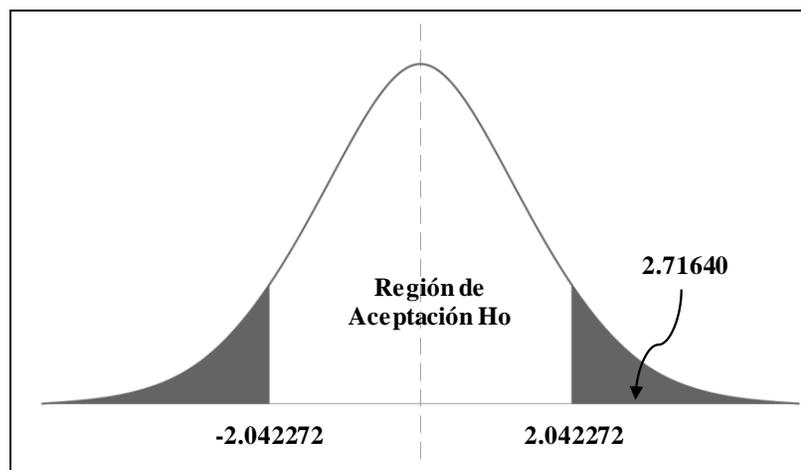
Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

	<i>Método clásico (ETO)</i>	<i>Redes (2019)</i>
Media	28.56225806	25.729
Varianza	42.77113806	50.4480918
Observaciones	31	31
Coefficiente de correlación de Pearson	0.640398396	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	30	
Estadístico t	2.716400415	
P(T<=t) una cola	0.005423525	
Valor crítico de t (una cola)	1.697260887	
P(T<=t) dos colas	0.01084705	
Valor crítico de t (dos colas)	2.042272456	

Fuente: Elaboración propia generado en Ms Excel

Figura 140

Curva de la distribución normal

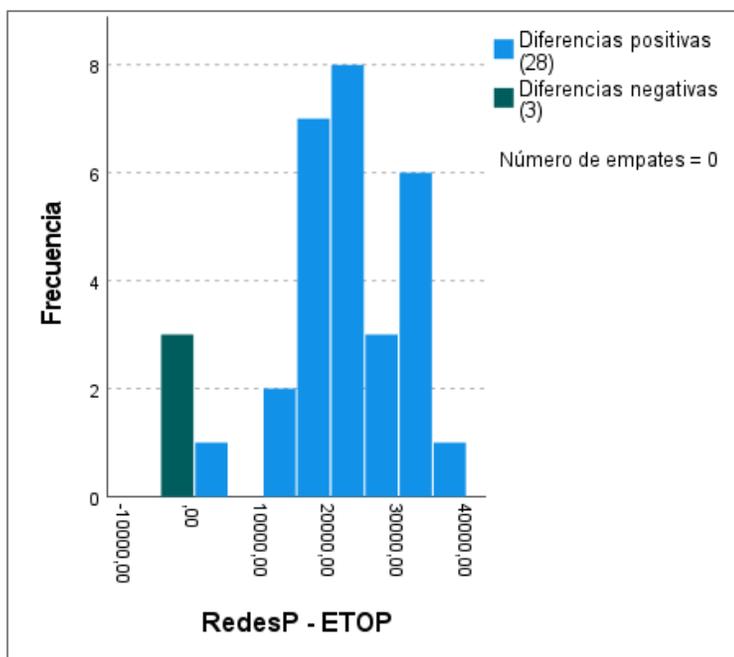


Fuente: Elaboración propia generado en AutoCAD y Ms Excel

Resultado y conclusión. Como $t = 2.71640 > t_c = 2.042272$ y $p = 0.0108 < 0.05$, entonces rechazamos la H_0 y aceptamos la H_a , es decir, las medias entre el pre test y pos test son significativamente diferentes, en consecuencia, concluimos que las presiones del diseño tradicional de la red de distribución de riego tecnificado del subproyecto Villa sol es estadísticamente diferente que el diseño de dicha red de distribución aplicando el método de los algoritmos genético mediante el software Redes 2019.

Figura 141

Rangos con signo para muestras relacionadas de presiones



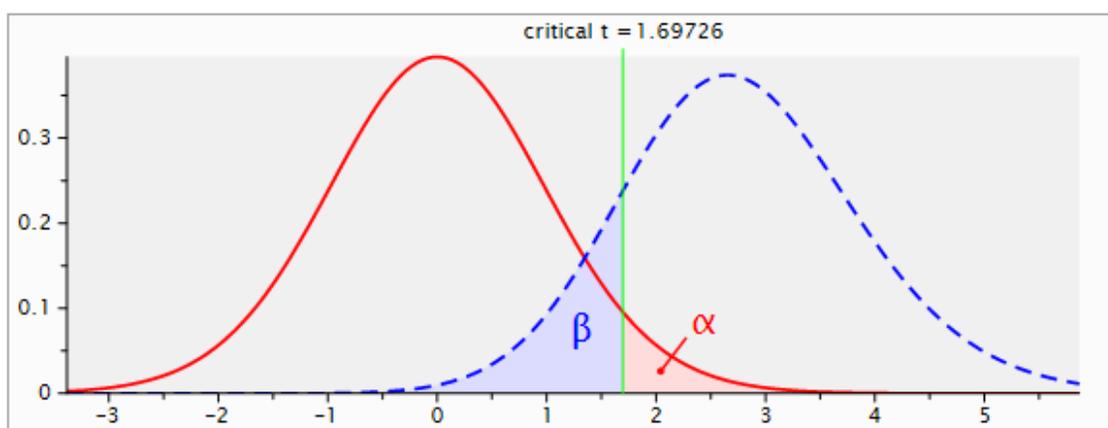
Fuente: Elaboración propia generado en base al software SPSS

Como se puede apreciar en la figura anterior, la red más próxima al óptima sucede cuando las presiones se acercan a la mínima establecida, lo cual sucede cuando la diferencia de presiones del diseño clásico y el método de los algoritmos genéticos empleando Redes 2019 es positivo, de acuerdo al histograma de frecuencias las presiones mejoraron en 90.32%.

Tamaño del efecto y potencia estadística de la comparación de presiones método tradicional y algoritmos genéticos mediante Redes 2019. Para ello, similar al anterior se cuantificó la magnitud del efecto encontrado entre la media de las presiones del método clásico o tradicional y la media de las presiones aplicando algoritmos genéticos, dicho cálculo se realizó mediante el software estadístico de distribución gratuita GPower.

Figura 142

Tamaño del Efecto y Potencia estadística de método clásico y AG Redes 2019



Fuente: Elaboración propia generado en base al software estadístico GPower

Tabla 56

Efecto de los algoritmos genéticos mediante WaterGEMS 2022 en las presiones

Método	Media	Desviación estándar	t-student	p	Δ Cohen	Potencia (1-β)
Clásico	28.56	6.54				
AG Redes (2019)	25.73	7.10	2.7164	.0108	0.4879	.8436

Fuente: Elaboración propia generado en base al software GPower

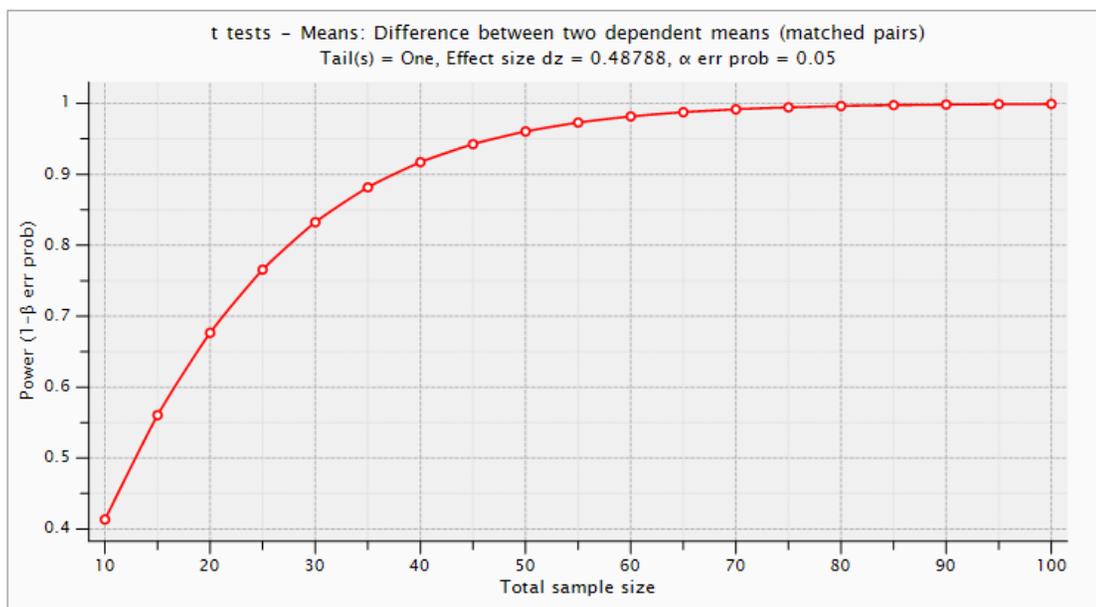
Se observó que las presiones del diseño clásico ($n=31$, $M=28.56$ y $DE=6.54$) en comparación con el diseño aplicando algoritmos genéticos mediante el software Redes 2019 ($n=31$, $M=25.73$ y $DE=7.10$) puntuó significativo. Estas diferencias significativas estadísticamente fueron ($t(30) = 2.7164$, $p = 0.0108$, $IC95\% [11.22, 40.23]$).

Por otro lado, se apreció que el Tamaño del Efecto ($d = 0.4879$) se puede considerar mediano, en concordancia con la Tabla 56, ya que se encuentra alrededor de 0.50, es decir, la diferencia de presiones del diseño clásico comparado con el diseño aplicando algoritmos genéticos se debe a un tamaño de efecto mediano (0.50).

Finalmente, se observó que la potencia estadística ($1-\beta = .8436$), lo cual supera los niveles mínimos exigidos (80%), constatándose en la Figura 138 y Tabla 54 que existe una baja probabilidad de cometer un Error tipo II (15.64%) si se rechazara la hipótesis nula.

Figura 143

Tamaño muestrales para evitar cometer Error tipo II



Fuente: Elaboración propia generado en base al software estadístico GPower

Comparación de presiones método tradicional y algoritmos genéticos mediante Epanet Brasil 2020. Para lo cual se siguieron los procesos previamente detallados, estos son, el planteamiento de hipótesis, nivel de significancia, criterio de decisión utilizado y la prueba estadística mediante el software Ms Excel.

Tabla 57

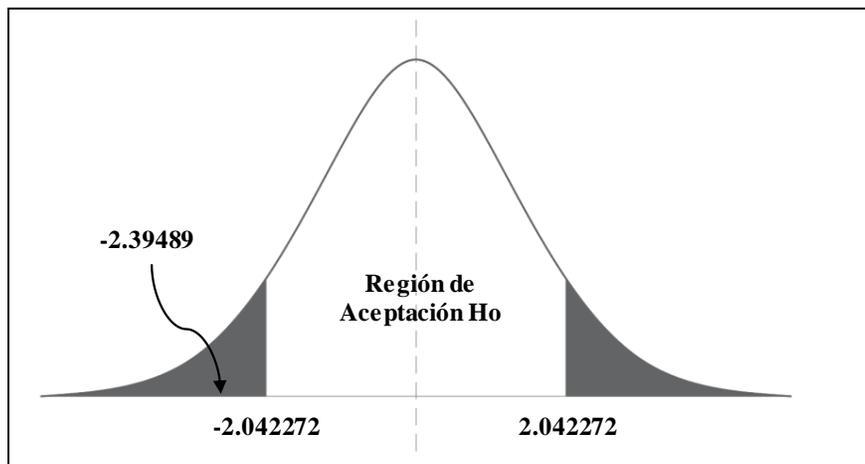
Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

	<i>Método clásico (ETO)</i>	<i>Epanet Brasil (2020)</i>
Media	28.56225806	32.03451613
Varianza	42.77113806	57.81491892
Observaciones	31	31
Coefficiente de correlación de Pearson	0.356154796	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	30	
Estadístico t	-2.394894352	
P(T<=t) una cola	0.011536684	
Valor crítico de t (una cola)	1.697260887	
P(T<=t) dos colas	0.023073367	
Valor crítico de t (dos colas)	2.042272456	

Fuente: Elaboración propia generado en Ms Excel

Figura 144

Curva de la distribución normal

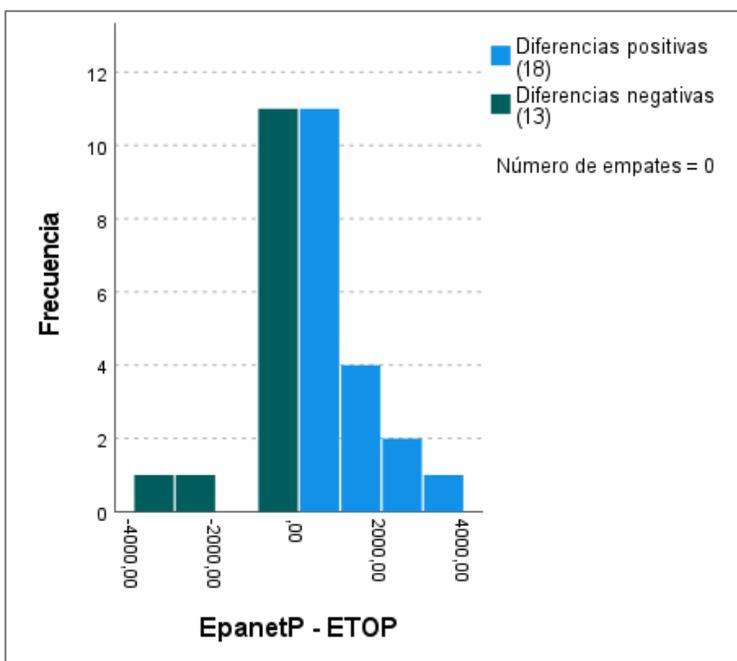


Fuente: Elaboración propia generado en AutoCAD y Ms Excel

Resultado y conclusión. Como $t = -2.39489 > t_c = 2.042272$ y $p = 0.0230 < 0.05$, entonces rechazamos la H_0 y aceptamos la H_a , es decir, las medias entre el pre test y pos test son significativamente diferentes, en consecuencia, concluimos que las presiones del diseño tradicional de la red de distribución de riego tecnificado del subproyecto Villa sol es estadísticamente diferente que el diseño de dicha red de distribución aplicando el método de los algoritmos genético mediante el software Epanet Brasil 2020.

Figura 145

Rangos con signo para muestras relacionadas de presiones



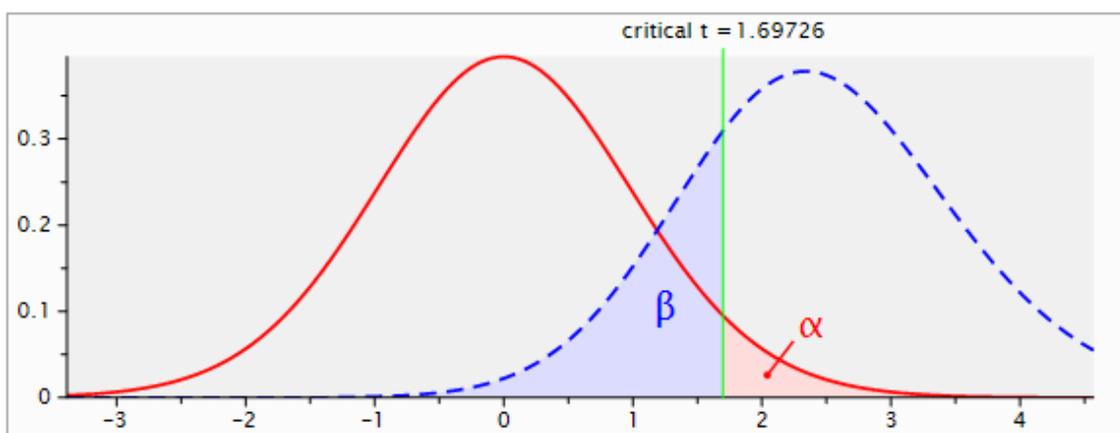
Fuente: Elaboración propia generado en base al software SPSS

Como se puede apreciar en la figura anterior, la red más próxima al óptima sucede cuando las presiones se acercan a la mínima establecida, lo cual sucede cuando la diferencia de presiones del diseño clásico y el método de los algoritmos genéticos empleando Epanet Brasil 2020 sea positivo, de acuerdo al histograma las presiones mejoraron en 58.06%.

Tamaño del efecto y potencia estadística de la comparación de presiones método tradicional y algoritmos genéticos mediante Epanet Brasil 2020. Similar al anterior proceso se cuantificó la magnitud del efecto encontrado entre la media de las presiones del método clásico o tradicional y la media de las presiones aplicando algoritmos genéticos, dicho cálculo se realizó mediante el software estadístico de distribución gratuita GPower.

Figura 146

Tamaño del Efecto y Potencia estadística de método clásico y AG Epanet Brasil 2020



Fuente: Elaboración propia generado en base al software estadístico GPower

Tabla 58

Efecto de los algoritmos genéticos mediante Epanet Brasil 2020 en las presiones

Método	Media	Desviación estándar	t-tudent	p	Δ Cohen	Potencia (1- β)
Clásico	28.56	6.54				
AG Epanet Brasil 2020	32.03	7.60	-2.3949	.0231	0.4301	.7566

Fuente: Elaboración propia generado en base al software GPower

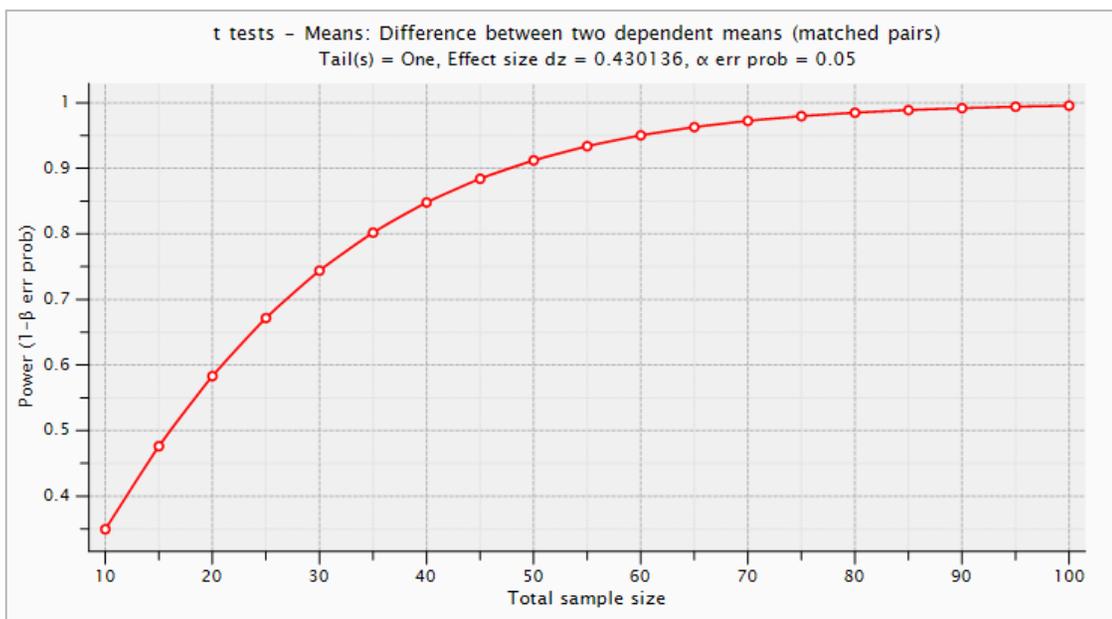
Se observó que las presiones del diseño clásico ($n=31$, $M=28.56$ y $DE=6.54$) en comparación con el diseño aplicando algoritmos genéticos mediante el software Epanet Brasil 2020 ($n=31$, $M=32.03$ y $DE=7.60$) puntuó significativo. Estas diferencias significativas estadísticamente fueron ($t(30) = 2.7164$, $p = 0.0231$, $IC95\% [16.51, 47.56]$).

Por otro lado, se apreció que el Tamaño del Efecto ($d = 0.4301$) se puede considerar mediano, en concordancia con la Tabla 58, ya que se encuentra alrededor de 0.50, es decir, la diferencia de presiones del diseño clásico comparado con el diseño aplicando algoritmos genéticos se debe a un tamaño de efecto mediano (0.50).

Finalmente, se observó que la potencia estadística ($1-\beta = .7566$), lo cual no supera los niveles mínimos exigidos (80%), constatándose en la Figura 142 y Tabla 56 que existe una mediana probabilidad de cometer un Error tipo II (24.34%) si se rechazara la hipótesis nula.

Figura 147

Tamaño de las muestras para evitar cometer Error tipo II



Fuente: Elaboración propia generado en base al software estadístico GPower

4.12.7. Ensayo de hipótesis - Velocidad

Tabla 59

Comparación de velocidades del diseño clásico y empleando algoritmos genéticos

Velocidad (m/s)	Velocidad (m/s)	Velocidad (m/s)	Velocidad (m/s)	Velocidad (m/s)	Velocidad (m/s)	Velocidad (m/s)
Método clásico (ETO)	WaterGEMS (2022)	Redes (2019)	Epanet Brasil (2020)	Diferencia Eto y WaterGEMS 2022	Diferencia Eto y Redes 2019	Diferencia Eto y Epanet Brasil 2020
1.02	2.29	2.294	1.96	-1.27	-1.274	-0.94
2.76	2.76	2.763	2.85	-1.74	-1.743	-1.83
2.11	2.11	2.105	1.91	-1.09	-1.085	-0.89
2.27	1.58	2.274	1.43	-0.56	-1.254	-0.41
1.52	2.37	1.516	2.44	-1.35	-0.496	-1.42
2.11	2.11	2.105	1.22	-1.09	-1.085	-0.2
2.11	2.11	2.105	2.17	-1.09	-1.085	-1.15
2.84	2.84	2.842	2.04	-1.82	-1.822	-1.02
2.63	2.63	1.48	1.53	-1.61	-0.46	-0.51
2.11	2.11	2.105	2.98	-1.09	-1.085	-1.96
2.27	2.27	2.274	2.24	-1.25	-1.254	-1.22
2.37	2.37	2.368	2.44	-1.35	-1.348	-1.42
2.11	2.11	2.105	1.22	-1.09	-1.085	-0.2
2.66	1.71	2.664	2.75	-0.69	-1.644	-1.73
2.11	2.11	2.105	1.91	-1.09	-1.085	-0.89
2.27	2.27	2.274	2.24	-1.25	-1.254	-1.22
2.37	2.37	2.368	2.44	-1.35	-1.348	-1.42
2.11	2.11	2.105	1.22	-1.09	-1.085	-0.2
1.58	1.58	2.274	2.24	-0.56	-1.254	-1.22
2.37	2.37	1.053	1.49	-1.35	-0.033	-0.47
2.11	2.11	2.105	1.22	-1.09	-1.085	-0.2
1.18	1.18	0.758	0.75	-0.16	0.262	0.27
1.18	1.18	2.105	1.22	-0.16	-1.085	-0.2
1.58	1.58	1.579	1.43	-0.56	-0.559	-0.41
1.05	1.52	1.053	1.49	-0.5	-0.033	-0.47
1.18	1.18	0.758	0.75	-0.16	0.262	0.27
0.95	0.95	0.947	0.68	0.07	0.073	0.34
1.18	1.18	1.184	1.22	-0.16	-0.164	-0.2
0.89	0.89	0.888	0.58	0.13	0.132	0.44
1.05	1.05	1.516	0.95	-0.03	-0.496	0.07
0.76	1.18	0.758	0.75	-0.16	0.262	0.27

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la prueba de normalidad se concluyó utilizar una prueba no paramétrica para las dos primeras comparaciones y paramétrica para la tercera, considerando el diseño de la presente investigación, cuyas muestras mantienen una relación de causa – efecto, se optó por la prueba *t* de Wilcoxon y Student.

Comparación de velocidades método tradicional y algoritmos genéticos mediante WaterGEMS 2022. Para tal efecto se utilizó la prueba *t* de Wilcoxon sigue los siguientes procesos:

Planteamiento de hipótesis

Ho: No existe diferencia significativa entre los datos, es decir, $Me_1 = Me_2$.

Ha: Existe diferencia significativa entre los datos, es decir, $Me_1 \neq Me_2$.

El nivel de significancia

La confianza fue del 95% y la significancia (α) del 5%

Criterio de decisión utilizado

Si $p > 0.05$, aceptamos la Ho y rechazamos la Ha

Si $p < 0.05$, rechazamos la Ho y aceptamos la Ha

Prueba estadística a emplear. Para tal efecto se empleó el software SPSS del laboratorio de la Fica - Unheval, en “*Analyze*” → “*Nonparametric Tests*” → “*Related Samples*” → “*Objective*” → “*Cusomize analysis*”, cuyos resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 60

Resumen de contrastes de hipótesis t de Wilcoxon

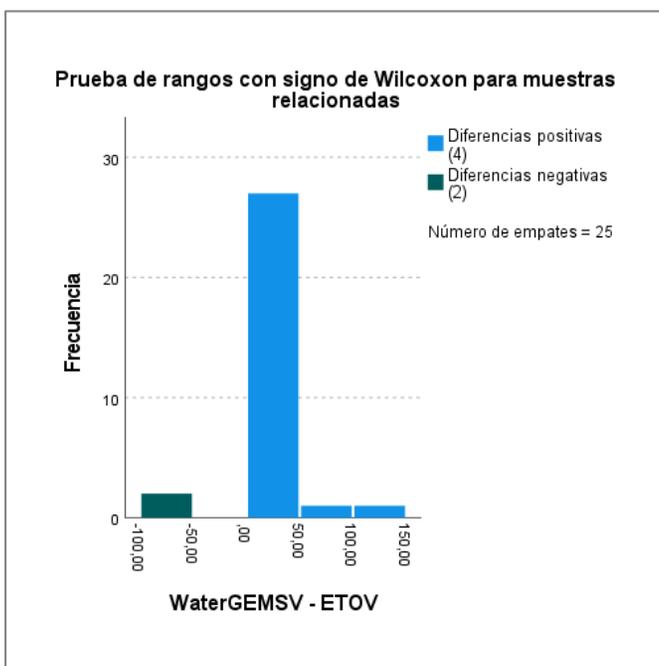
	Hipótesis nula	Prueba	Sig. (p)	Decisión
1	La mediana de diferencias de velocidades entre ETO y WaterGEMS 2022 es igual a 0.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas	0.600	Conserve la hipótesis nula.

Fuente: Elaboración propia generado en el Software SPSS

Resultado y conclusión. La prueba t no paramétrica de Wilcoxon reportó resultado en función a la mediana y p-valor, como $p = 0.600 > 0.05$, entonces aceptamos la H_0 y rechazamos la H_a , es decir, las medianas entre el pre test y pos test no son significativamente diferentes, por tanto, concluimos que las velocidades del diseño tradicional de la red de distribución de riego tecnificado del subproyecto Villa sol es estadísticamente igual que el diseño de dicha red de distribución aplicando el método de los algoritmos genético mediante el software WaterGEMS 2022.

Figura 148

Rangos con signo para muestras relacionadas de velocidades



Fuente: Elaboración propia generado en función al software SPSS

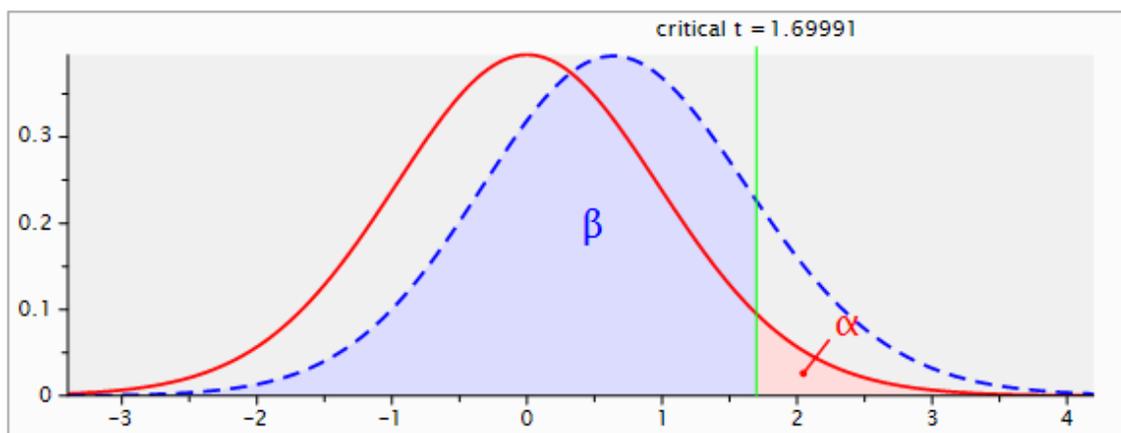
De acuerdo a las fórmulas de Hazen – Williams y Darcy – Weisbach, la relación entre la velocidad y el diámetro de la tubería es directa, entonces, la red optima se logra disminuyendo los diámetros, en consecuencia, la velocidad aumenta, bajo esa premisa los algoritmos genéticos

mediante WaterGEMS 2022 ha mejorado las velocidades en 4 tramos de tuberías, los cual representa el 12.90% de los tramos de la red de distribución del subproyecto Villa Sol.

Tamaño del efecto y potencia estadística en la comparación de velocidades entre el método tradicional y algoritmos genéticos mediante WaterGEMS 2022. Similar a los procesos detalladas previamente se cuantificó la magnitud del efecto encontrado entre la media de las velocidades del método clásico o tradicional y la media de las velocidades aplicando algoritmos genéticos, dicho cálculo se realizó mediante el software estadístico de distribución gratuita GPower. Es preciso indicar que los valores g de Hedges y d de Cohen son muy similares, por esa razón se decidió realizar el cálculo de la magnitud de las diferencias mediante d de Cohen.

Figura 149

Tamaño del Efecto y Potencia estadística de método clásico y AG WaterGEMS 2022



Fuente: Elaboración propia generado en base al software estadístico GPower

Tabla 61

Efecto de los algoritmos genéticos mediante Epanet Brasil 2020 en las velocidades

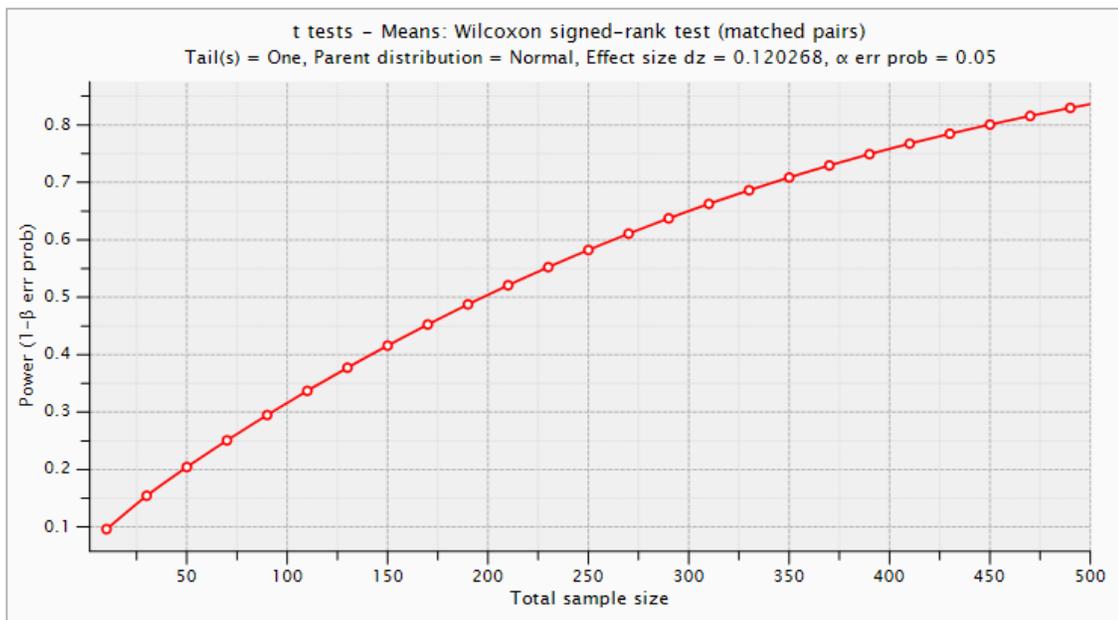
Método	Media	Desviación estándar	P	Δ Cohen	Δ Hedges	Potencia (1- β)
Clásico	1.83	0.63				
AG WaterGEMS 2022	1.88	0.56	.60	0.1203	0.1171	.1572

Fuente: Elaboración propia generado en base al software GPower

Se observó que las velocidades del diseño clásico ($n=31$, $M=1.83$ y $DE=0.63$) en comparación con el diseño aplicando algoritmos genéticos mediante el software WaterGEMS 2022 ($n=31$, $M=1.88$ y $DE=0.56$) puntuó no significativo. Estas diferencias no significativas estadísticamente fueron ($p = 0.60$, nivel de significancia de $\alpha=0.05$). Por otro lado, se apreció que el Tamaño del Efecto ($d = 0.1203$) se puede considerar pequeño ya que se encuentra alrededor de 0.20, es decir, la diferencia de presiones del diseño clásico comparado con el diseño aplicando algoritmos genéticos se debe a un tamaño de efecto pequeño. Finalmente, se observó que la potencia estadística ($1-\beta = .1572$), lo cual no supera los niveles mínimos exigidos (80%), constatándose en la Figura 149 y Tabla 61 que existe una alta probabilidad de cometer un Error tipo II (84.28%) si se acepta la hipótesis nula.

Figura 150

Tamaño de las muestras para evitar cometer Error tipo II



Fuente: Elaboración propia generado en base al software estadístico GPower

Comparación de velocidades método tradicional y algoritmos genéticos mediante Redes 2019. Para tal efecto se siguieron los mismos lineamientos para la prueba t no paramétrica de Wilcoxon, estos son, el planteamiento de hipótesis, nivel de significancia, criterio de decisión utilizado y la prueba estadística mediante el software SPSS del laboratorio Fica - Unheval. Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 62

Resumen de contrastes de hipótesis t de Wilcoxon

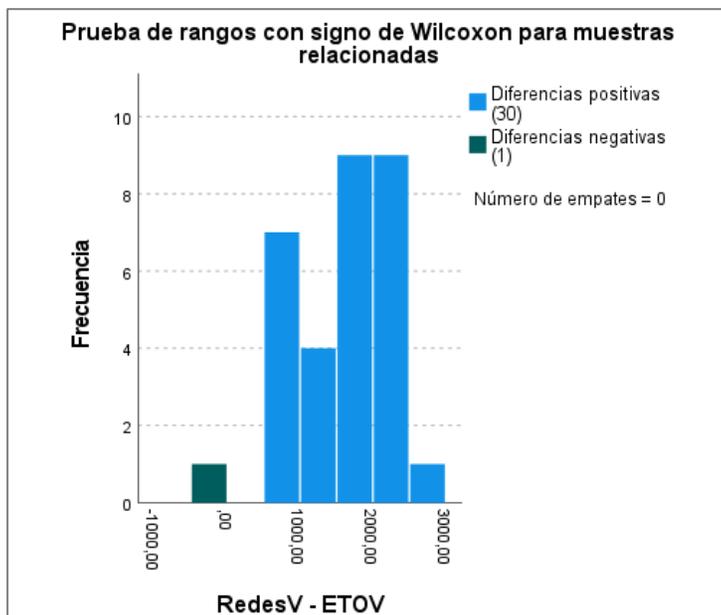
	Hipótesis nula	Prueba	Sig. (p)	Decisión
1	La mediana de diferencias de velocidades entre ETO y Redes 2019 es igual a 0.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas	0.000	Rechace la hipótesis nula.

Fuente: Elaboración propia generado en el Software SPSS

Como $p = 0.000 < 0.05$, entonces rechazamos la H_0 y aceptamos la H_a , es decir, las medianas entre el pre test y pos test son significativamente diferentes, por tanto, concluimos que las velocidades del diseño tradicional de la red de distribución de riego tecnificado del subproyecto Villa sol es estadísticamente diferente que el diseño de dicha red de distribución aplicando el método de los algoritmos genético mediante el software WaterGEMS 2022.

Figura 151

Rangos con signo para muestras relacionadas de velocidades



Fuente: Elaboración propia generado en función al software SPSS

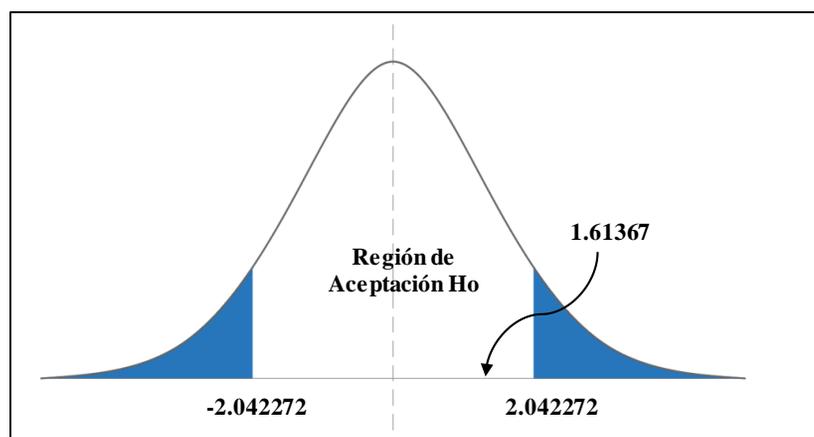
De acuerdo a las fórmulas de Hazen – Williams y Darcy – Weisbach, la relación entre la velocidad y el diámetro de la tubería es directa, entonces, la red optima sucede cuando disminuyen los diámetros, en consecuencia, la velocidad aumenta, bajo esa premisa los algoritmos genéticos mediante Redes 2019 ha mejorado las velocidades en 30 tuberías, lo cual representa el 96.77% de los tramos de la red de distribución del subproyecto Villa Sol, lo cual es acorde a la siguiente figura.

Comparación de velocidades entre método tradicional y algoritmos genéticos mediante Epanet Brasil 2020. Para lo cual se siguieron los procesos previamente detallados, estos son, el planteamiento de hipótesis, nivel de significancia, criterio de decisión utilizado y la prueba estadística paramétrica t de Student y no paramétrica t de Wilcoxon mediante el software Ms Excel y SPSS respectivamente.

Tabla 63*Prueba t para medias de dos muestras emparejadas*

	<i>Método clásico (ETO)</i>	<i>Epanet Brasil (2020)</i>
Media	1.832580645	1.669677419
Varianza	0.396113118	0.475163226
Observaciones	31	31
Coefficiente de correlación de Pearson	0.640036137	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	30	
Estadístico t	1.613676601	
P(T<=t) una cola	0.058534311	
Valor crítico de t (una cola)	1.697260887	
P(T<=t) dos colas	0.117068623	
Valor crítico de t (dos colas)	2.042272456	

Fuente: Elaboración propia generado en Ms Excel



Fuente: Elaboración propia

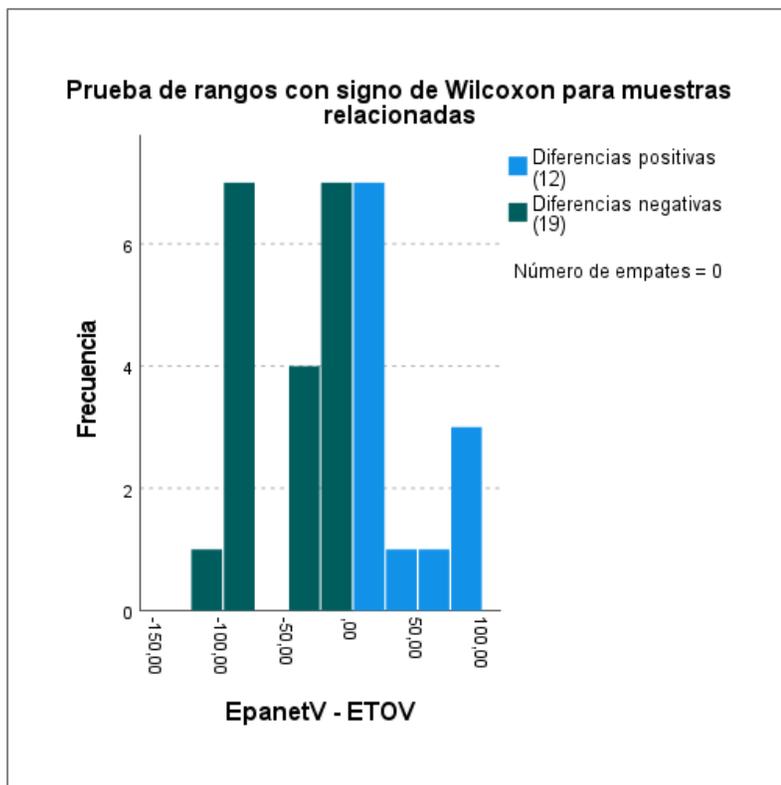
Tabla 64*Resumen de contrastes de hipótesis t de Wilcoxon*

	Hipótesis nula	Prueba	Sig. (p)	Decisión
1	La mediana de diferencias de velocidades entre ETO y Epanet Brasil 2020 es igual a 0.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas	0.126	Conserve la hipótesis nula

Fuente: Elaboración propia generado en el Software SPSS

Figura 152

Prueba de rangos con signo para muestras relacionadas de velocidades



Fuente: Elaboración propia generada en base al software SPSS

De acuerdo a las fórmulas de Hazen – Williams y Darcy – Weisbach, la relación entre la velocidad y el diámetro de la tubería es directa, entonces, la red optima sucede cuando disminuyen los diámetros, en consecuencia, las velocidades aumentan, bajo esa premisa los algoritmos genéticos mediante Epanet Brasil 2020 ha mejorado las velocidades en 12 tuberías, lo cual representa el 38.71% de los tramos de la red de distribución del subproyecto Villa Sol.

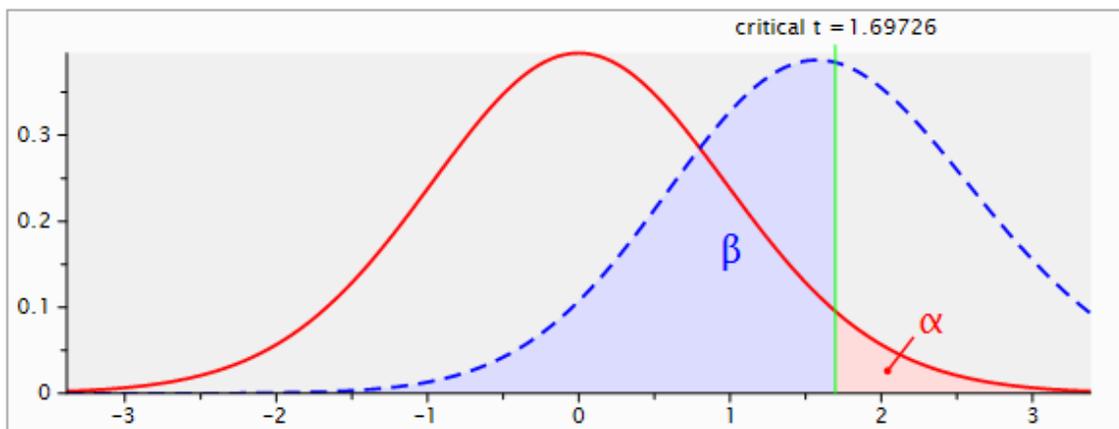
Resultado y conclusión. Debido a que $p = 0.126 > 0.05$, entonces aceptamos la H_0 y rechazamos la H_a , es decir, las medianas entre el pre test y pos test no son significativamente diferentes, por tanto, concluimos que las velocidades del diseño tradicional de la red de distribución de riego tecnificado del subproyecto Villa sol es estadísticamente igual que el diseño

de dicha red de distribución aplicando el método de los algoritmos genético mediante el software WaterGEMS 2022.

Tamaño del efecto y potencia estadística en la comparación de velocidades entre el método tradicional y algoritmos genéticos mediante Epanet Brasil 2020. Similar a los procesos detalladas previamente se cuantificó la magnitud del efecto encontrado entre la media de las velocidades del método clásico o tradicional y la media de las velocidades aplicando algoritmos genéticos, dicho cálculo se realizó mediante el software estadístico de distribución gratuita GPower.

Figura 153

Tamaño del Efecto y Potencia estadística de método clásico y AG Epanet Brasil 2020



Fuente: Elaboración propia generado en base al software estadístico GPower

Tabla 65

Efecto de los algoritmos genéticos mediante Epanet Brasil 2020 en las presiones

Método	Media	Desviación estándar	t-Student	p	Δ Cohen	Potencia (1- β)
Clásico	1.83	0.63				
AG Epanet Brasil 2020	1.67	0.69	1.6137	0.1171	0.2898	0.4730

Fuente: Elaboración propia generado en base al software GPower

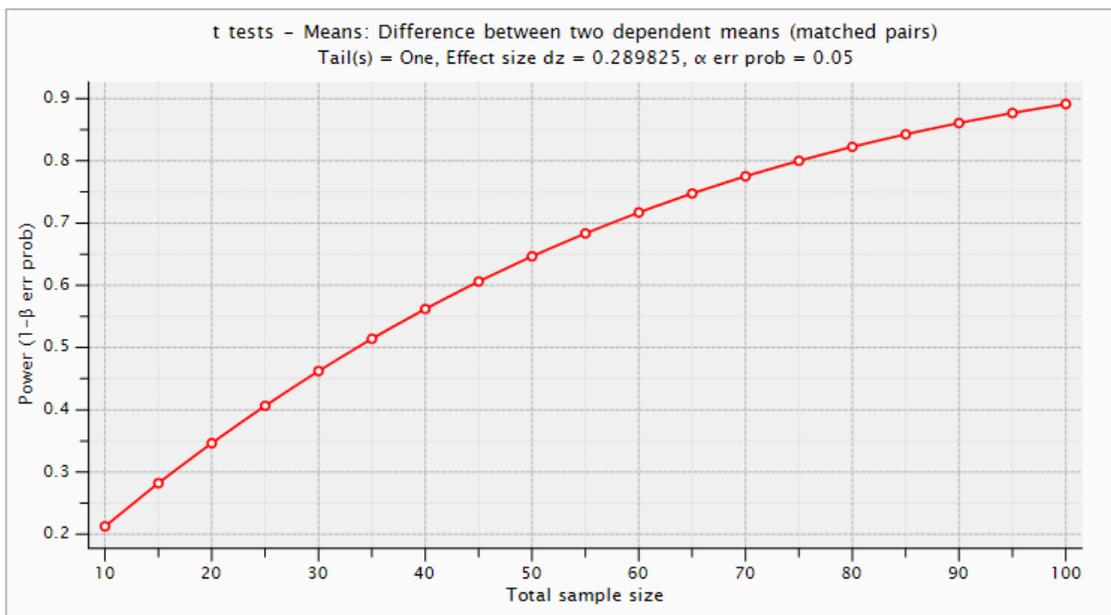
Se observó que las presiones del diseño clásico ($n=31$, $M=1.83$ y $DE=0.63$) en comparación con el diseño aplicando algoritmos genéticos mediante el software Epanet Brasil 2020 ($n=31$, $M=1.67$ y $DE=0.69$) puntuó no significativo. Estas diferencias no significativas estadísticamente fueron ($t(30) = 1.6137$, $p = 0.1171$, $IC95\% [0.26, 3.08]$).

Por otro lado, se apreció que el Tamaño del Efecto ($d = 0.2898$) se puede considerar pequeño, de acuerdo a la Tabla 65, ya que se encuentra alrededor de 0.20, es decir, la diferencia de velocidades del diseño clásico comparado con el diseño aplicando algoritmos genéticos se debe a un tamaño de efecto pequeño (0.20).

Finalmente, se observó que la potencia estadística ($1-\beta = .4730$), lo cual no supera los niveles mínimos exigidos (80%), constatándose en la Figura 153 y Tabla 65 que existe una alta probabilidad de cometer un Error tipo II (52.70%) si se acepta la hipótesis nula.

Figura 154

Tamaño de las muestras para evitar cometer Error tipo II



Fuente: Elaboración propia generado en base al software estadístico GPower

4.12.8. Ensayo de hipótesis - Costos

Tabla 66

Comparación de costos del diseño tradicional y empleando algoritmos genéticos

	Tradicional ETO	Algoritmos Genéticos
WaterGEMS 2022	S/ 158,793.19	S/ 155,525.87
Redes 2019	S/ 158,793.19	S/ 151,334.03
Epanet Brasil 2020	S/ 158,793.19	S/ 150,332.56

Fuente: Elaboración propia

La prueba de normalidad concluyó utilizar una prueba paramétrica, considerando el diseño de la presente investigación, cuyas muestras mantienen una relación de causa – efecto, de acuerdo a Hernández – Sampiere et al. (2018) se optó por la prueba *t* de Student.

Comparación de presiones método tradicional y algoritmos genéticos mediante los softwares WaterGEMS 2022, Redes 2019 y Epanet Brasil 2020. Para tal efecto se sigue los siguientes procedimientos:

Planteamiento de hipótesis

Ho: Existe diferencia significativa entre los datos, es decir, $\mu_d \leq 0$.

Ha: No existe diferencia significativa entre los datos, es decir, $\mu_d > 0$.

El nivel de significancia

La confianza fue del 95% y la significancia (α) del 5%

Criterio de decisión utilizado

Si $p > 0.05$, aceptamos la Ho y rechazamos la Ha

Si $p < 0.05$, rechazamos la Ho y aceptamos la Ha

Prueba estadística a emplear. Para tal efecto se empleó el software Ms Excel, en “Datos” → “Análisis” → “Análisis de datos” → “Prueba *t* para medias de dos muestras emparejadas”, cuyos resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 67*Prueba t para medias de dos muestras emparejadas con una cola*

	<i>Clásico ETO</i>	<i>Algoritmos genéticos</i>
Media	158793.1883	152397.4858
Varianza	0.000008	7590829.449
Observaciones	3	3
Coefficiente de correlación de Pearson	0.268199683	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	2	
Estadístico t	4.020724047	
P(T<=t) una cola	0.02832597	
Valor crítico de t (una cola)	2.91998558	
P(T<=t) dos colas	0.056651941	
Valor crítico de t (dos colas)	4.30265273	

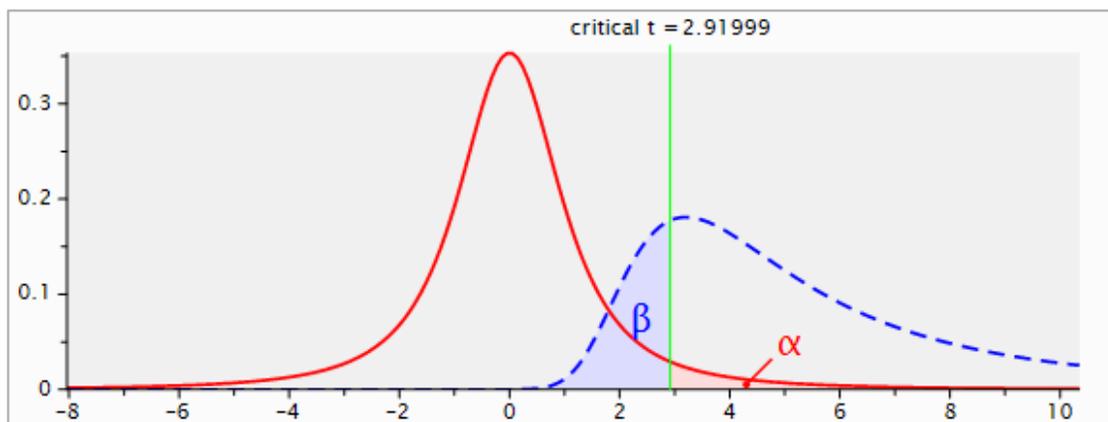
Fuente: Elaboración propia generado en Ms Excel

Resultado y conclusión. Debido a que $t > t_c$ y $p = 0.02833 < 0.05$, entonces rechazamos la H_0 y aceptamos la H_a , es decir, las medias entre el pre test y pos test son significativamente diferentes, por tanto, concluimos que los costos de infraestructura del diseño clásico o tradicional de la red de distribución de riego tecnificado presurizado a turnos del subproyecto Villa Sol es estadísticamente diferente que el diseño de dicha red de distribución aplicando el método de los algoritmos genético mediante los softwares WaterGEMS 2022, Redes 2019 y Epanet Brasil 2020.

Tamaño del efecto y potencia estadística en la comparación de costos entre el método tradicional y algoritmos genéticos. Se cuantificó la magnitud del efecto encontrado entre la media de los costos del método clásico o tradicional y la media de los costos aplicando algoritmos genéticos, dicho cálculo se realizó mediante el software estadístico de distribución gratuita GPower.

Figura 155

Tamaño del Efecto y Potencia estadística de método clásico y algoritmos genéticos



Fuente: Elaboración propia generado en base al software estadístico GPower

Tabla 68

Efecto de los algoritmos genéticos en los costos de infraestructura

Método	Media	Desviación estándar	t-Student	p	Δ Cohen	Potencia (1- β)
Clásico	158793.19	0.00				
Algoritmos genéticos	152397.49	2755.15	4.0207	.0283	2.3214	.8062

Fuente: Elaboración propia generado en base al software GPower

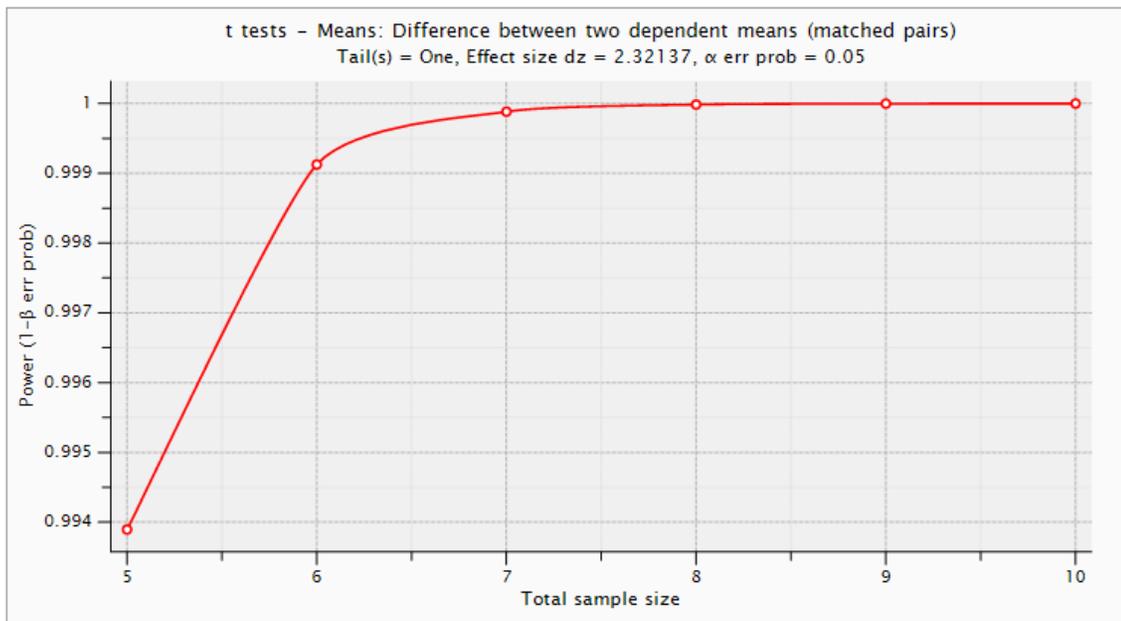
Se observó que las presiones del diseño clásico ($n=3$, $M=158793.19$ y $DE=0.00$) en comparación con el diseño aplicando algoritmos genéticos mediante el software Epanet Brasil 2020 ($n=3$, $M=152397.49$ y $DE=2755.15$) puntuó significativo. Estas diferencias significativas estadísticamente fueron ($t(2) = 4.0207$, $p = 0.0283$, $IC95\% [0, 3.68]$).

Por otro lado, se apreció que el Tamaño del Efecto ($d = 2.3214$) se puede considerar grande, en concordancia con la Tabla 68, ya que se encuentra alrededor de 0.80, es decir, la diferencia de costos del diseño clásico comparado con el diseño aplicando algoritmos genéticos se debe a un tamaño de efecto grande (0.80).

Finalmente, se observó que la potencia estadística ($1-\beta = .8062$), lo cual supera los niveles mínimos exigidos (80%), constatándose en la Figura 155 y Tabla 68 que existe una baja probabilidad de cometer un Error tipo II (19.38%) si se rechaza la hipótesis nula H_0 .

Tabla 69

Tamaños muestrales para evitar cometer un Error tipo II



Fuente: Elaboración propia generado en base al software estadístico GPower

V. DISCUSIÓN

En base a los resultados obtenidos, aceptamos la hipótesis general que indica que la aplicación de los algoritmos genéticos mediante los softwares de hidráulica de tuberías optimiza el diseño hidráulico de la red de distribución de riego tecnificado presurizado en el centro poblado de Villa Sol, distrito de Chinchao, provincia y departamento de Huánuco – 2023.

Estos resultados guardan relación con lo que sostiene Lapo (2019), Lapo et al. (2020), Ponce y López (2019) y Vásquez (2021) que los algoritmos genéticos optimizan el diseño de la red de distribución de agua potable y con fines de riego, minimizando el factor económico y mejorando las restricciones hidráulicas de presión y velocidad. Ello es conforme con lo que en el presente estudio se halló.

Los resultados obtenidos en esta investigación corresponden en definitiva al área de riego tecnificado presurizado, esto no impide a que se pueda generalizar a los proyectos de saneamiento, cuya configuración de su red sea ramificada o abierta, debido a que existe mucha similitud en cuanto a su topología y topografía se refiere y las diferencias radican fundamentalmente en la asignación de los caudales de demanda y las restricciones hidráulicas de presión y velocidad. Acorde a los resultados, es preciso indicar que la mayoría de los proyectos que se ejecutan no consideran con rigurosidad el método de los algoritmos genéticos seguido de los criterios del proyectista; por tanto, este estudio mantiene diferencias a las investigaciones precedentes.

En la optimización del diseño hidráulico de la red de distribución de riego tecnificado presurizado aplicando algoritmos genéticos mediante los softwares de hidráulica de tuberías en la localidad de Villa Sol, el diseño depende mucho de las características topográficas, topológicas y las restricciones que indican las normativas técnicas tal como la *Guía para la elaboración de expedientes técnicos de riego presurizado del Programa Subsectorial de Irrigaciones* y el

Reglamento Nacional de Edificaciones que contemplan los lineamientos de los parámetros de diseño, consideraciones para telescopicidad de la red y restricciones agronómicas e hidráulicas. En consecuencia, los resultados de las características hidráulicos con el método de los algoritmos genéticos fueron considerables, mejorando las presiones en el orden de 35.48% a 90.32%, así mismo, las velocidades mejoraron de 12.90% a 96.77% respecto al diseño clásico, evidenciando tener una mejor superficie de gradiente hidráulico de la red de distribución de riego tecnificado. Referente al factor económico el método de los algoritmos genéticos economizó la red de distribución hasta un 5.63% respecto al diseño clásico de prueba y error, estas conclusiones son muy similares a Lapo (2019) y Vásquez (2021) con diferencia que en este último fueron redes de agua potable, topografía, topología y telescopicidad diferente a nuestra investigación.

El impacto que tuvo el método de los algoritmos genéticos en las presiones de los hidrantes de la red de distribución de riego tecnificado en el centro poblado de Villa Sol fue muy positivo, debido a que se encontraron diferencias significativas a las consideradas en el diseño del expediente técnico de obra del proyecto en evaluación, dichas diferencias significativas fueron medianas donde el d de Cohen estuvieron de 0.43-0.49 y de importancia considerable dado que la potencia estadística dieron valores alrededor del mínimo recomendado 0.76 – 0.84, con mejoras mediante WaterGEMS en 35.48%, Redes 90.32% y Epanet Brasil 58.06% respecto al diseño clásico, llegando a cumplir el 100% de la normativa vigente Peruana, los cuales son acorde a lo que sostiene Vásquez (2021) y Saldarriaga (2019) que la red más cercana a la óptima se logra cuando las presiones son las mínimas posibles. Por otro lado, El método de los algoritmos genéticos no tuvo un impacto considerable en las velocidades respecto al diseño clásico, lo cual se evidencia con la magnitud de dichas diferencia donde el d de Cohen estuvieron en 0.12-0.29 y de importancia mediana dado que la potencia estadística dieron valores en 0.12 – 0.47, encontrándose

una mínima diferencia estadística, el software WaterGEMS mejoró en 12.90%, Redes 96.77% y Epanet Brasil en 38.71%, siendo el software Redes el más consistente en su resultado y llegando a cumplir el 100% la restricción por la normativa vigente Peruana, los cuales son acorde a lo que sostiene Vásquez (2021), que las velocidades óptimas son aquellas que están muy cercanas a la velocidad máxima restringido por la normativa.

El método de los algoritmos genéticos influyó de manera positiva en los costos de infraestructura del subproyecto Villa sol, encontrándose diferencia significativa con respecto al diseño clásico o sin optimizar, cuya magnitud mediante d de Cohen fue de 2.32 indicando un tamaño de efecto grande y de importancia alta donde la potencia estadística fue de 0.806. Las diferencias que se obtuvieron, oscilan de S/ 150,332.56 a S/ 155,525.87, los cuales expresados en porcentajes representan de 2.10% a 5.63%, estos resultados son conformes a lo que sostiene Lapo (2019), Vásquez (2021) y Saldarriaga (2019).

El impacto del método de los algoritmos genéticos en la confiabilidad en líneas generales es positivo, empleando el software WaterGEMS las presiones en los hidrantes y las velocidades en las tuberías cumplieron en 100% las restricciones hidráulicas en la normativa vigente, el software Redes en cuanto a presiones cumplió en 100% y velocidades en 96.77% y el software Epanet Brasil en presiones y velocidades se obtuvieron una confiabilidad de 93.55%, los cuales refuerzan las posiciones de Ponce y López (2019), Vargas et al. (2019) y Saldarriaga (2019), quienes sostienen que los algoritmos genéticos dan resultados lo más próximo al óptimo global.

El método de los algoritmos genéticos dio una muy buena aproximación al diseño óptimo de redes de distribución de riego tecnificado presurizado teniendo como objetivo minimizar el costo del proyecto, sin embargo, esto no garantiza una confiabilidad de presiones, velocidades y telescopicidad al 100%, pudiendo en ocasiones encontrarse presiones y velocidades fuera del rango

establecido por la normativa vigente en Perú. Es en esta situación cuando entra a tallar los criterios ingenieriles del proyectista, esto es acorde a Lapo (2020) y Saldarriaga (2019) y Millet (2014) quienes sostienen que los métodos heurísticos de la Inteligencia Artificial tal como los algoritmos genéticos, no pretenden encontrar soluciones óptimas, sino cercanas a ella, consecuentemente no podrán superar el buen criterio del diseñador.

CONCLUSIONES

La aplicación de los algoritmos genéticos mediante los softwares de hidráulica de tuberías influyó positivamente en el diseño hidráulico de la red de distribución de riego tecnificado del centro poblado Villa Sol con respecto al diseño clásico, tal es así que el costo de infraestructura disminuyó hasta en 94.37%, generando un ahorro en el orden de S/ 8,460.63, cuyos tiempos de simulación en los softwares sucedieron en el orden de 0 segundos a 17 segundos evidenciando un alta eficiencia; así mismo, las restricciones hidráulicas de velocidad y presión cumplieron la normativa vigente de 93.55% a 100% notándose una alta confiabilidad como se muestra en la Figura 118, 119, 120, 121, 122 y Tabla 33, 34, 35, 36. Considerando todo los turnos de las redes de distribución de Villa Sol y Cochas el ahorro asciende a S/ 85,067.42, con los cuales se podría cubrir algunos costos de los riesgos a nivel de diseño y ejecución, por ejemplo, con dicho ahorro se podría construir 13 cámaras rompe presión o 9 cámaras de derivación. Así mismo, pudiéndose aplicar la metodología de los algoritmos genéticos en los diversos componentes del proyecto, tales como línea de conducción, reservorios, bocatoma, desarenador, entre otros. El ahorro podría ascender a S/ 455,294.34, con ello se podría cubrir los posibles costos de las prestaciones adicionales, ampliaciones de plazo, capacitaciones a los personales de operación y mantenimiento, saneamiento de terrenos, etc.

Referente a las diferencias significativas en la comparación de los resultados a nivel de presión y velocidad, haciendo un análisis de la presión vemos mediante el software WaterGEMS 2022 que los 31 hidrantes cumplieron con la presión mínima y máxima de la normativa, existiendo una diferencia positiva y negativa en 11 y 20 hidrantes respectivamente, para los cuales estadísticamente no existen diferencias significativas respecto al diseño clásico o sin optimizar, según d de Cohen la magnitud de la diferencia asciende a 0.1045 lo que es equivalente a un tamaño

de efecto pequeño (0.20); empleando el software Redes 2019 notamos que también los 31 hidrantes cumplen con la normativa vigente en el Perú, de los cuales se encontraron 28 diferencias positivas y 3 negativa, para los cuales existen estadísticamente diferencias significativas, según d de Cohen la magnitud de dicha diferencia asciende a 0.4879 lo que es equivalente a un tamaño de efecto mediano (0.50) ; y, mediante el software Epanet Brasil 2020 evidenciamos que los 31 hidrantes cumplen con la presión mínima y máxima establecido por la normativa, de los cuales se encontraron 18 diferencias positivas y 13 negativas, existiendo diferencia estadística significativa, cuya magnitud de dicha diferencia asciende a 0.4301 y por estar muy cerca de 0.50 se considera un tamaño de efecto mediano. Cabe mencionar que el motor de cálculo de los softwares fueron el método del gradiente hidráulico, una alternativa moderna en el diseño de las redes de distribución de agua y con fines de riego tecnificado.

Respecto a la diferencia significativa en la comparación de los resultados de costos de la red de distribución de riego presurizado a turnos optimizado y sin optimizar, habiendo realizado la evaluación del diseño clásico y aplicando los algoritmos genéticos vemos que mediante el software WaterGEMS 2022 se obtuvo un diseño cuyo costo de construcción fue de S/ 155,525.87, lo cual genera un ahorro del 2.10%; empleando Redes 2019 se obtuvo S/ 151,334.03 economizando la red en 4.93% y mediante el software Epanet Brasil 2020 se obtuvo un costo de construcción de S/ 150,332.56, generando un ahorro del orden de 5.63% respecto del diseño clásico de ensayo – error, a partir de los cuales se concluye que existen diferencias significativas grande cuya magnitud asciende a 2.3214 y de importancia alta donde la potencia estadística fue de 0.806. Dentro de los costos de infraestructura se consideraron los costos de las tuberías y accesorios, así como los costos de instalación dentro de los cuales se consideraron los costos de trabajos preliminares, movimiento de tierras y suministro e instalación de tuberías.

Correspondiente a la efectividad y confiabilidad, cumpliendo las restricciones técnicas y normativas vigentes en Perú, de la aplicación de los algoritmos genéticos cabe mencionar que empleando el software WaterGEMS 2022 se constató una confiabilidad de 100% para las presiones en los hidrantes y velocidades en las tuberías, es decir, cumplen satisfactoriamente las restricciones hidráulicas de la normativa vigente en el Perú; mientras que empleando Redes 2019 en cuanto a presiones cumplen al 100% la presión mínima y máxima, pero las velocidades cumplen en 99.77% el intervalo de velocidades admisibles incumpliendo en 3.23% la velocidad máxima; y, mediante el software Epanet Brasil 2020 referente a presiones cumplen la restricción mínima y máxima el 93.55% de los hidrantes, mientras que las velocidades cumplen dicha restricción hidráulica en 93.55% siendo el 6.45% de las tuberías que infringen la velocidad mínima. Sin embargo, dichas infracciones en presiones y velocidades fueron superadas manualmente mediante el criterio ingenieril del tesista, logrando cumplir al 100% las restricciones hidráulicas.

Se constató mediante el análisis hidráulico en los softwares de hidráulica de tuberías y análisis estadístico que el método de los algoritmos genéticos optimizó el diseño de la red de distribución de riego tecnificado presurizado operando a turnos en el centro poblado de Villa Sol, Huánuco. En base a los costos de infraestructura y confiabilidad en presiones y velocidades es posible seleccionar el diseño definitivo de dicha red de distribución. Teniendo en consideración los resultados descritos podemos concluir que los algoritmos genéticos no pretenden obtener el óptimo global, sino acercarse lo más que pueda al diseño óptimo global, cumpliendo el factor económico, la telescopicidad y las restricciones hidráulicas establecidas en las normas técnicas subsectoriales y nacionales vigentes en Perú.

RECOMENDACIONES O SUGERENCIAS

Considerando los resultados positivos obtenidos en la aplicación de algoritmos genéticos y software de hidráulica de tuberías en el diseño de la red de distribución de riego tecnificado del centro poblado Villa Sol, se recomienda ampliar el uso de esta técnica en otros proyectos similares. La significativa reducción en los costos de infraestructura, el ahorro económico y la alta eficiencia en los tiempos de simulación demuestran que esta metodología puede ser altamente beneficiosa en el diseño hidráulico de redes de distribución. Asimismo, la alta confiabilidad en el cumplimiento de las restricciones hidráulicas es un factor determinante para garantizar el cumplimiento de las normativas vigentes. Implementar algoritmos genéticos en el diseño de sistemas de distribución de agua puede llevar a resultados más eficientes, económicos y confiables en el futuro.

Considerando las diferencias significativas encontradas al comparar los resultados de presión y velocidad utilizando diferentes softwares de hidráulica de tuberías, se recomienda realizar un análisis más detallado para comprender las causas de estas variaciones. Es importante investigar y evaluar los parámetros y algoritmos utilizados en cada software para determinar su influencia en los resultados. Además, se sugiere llevar a cabo pruebas adicionales y comparativas utilizando otros softwares de análisis hidráulico como es el caso de WaterGEMS, Redes y Epanet Brasil, así como considerar la utilización de métodos y herramientas alternativas para el diseño y análisis de redes de distribución de agua y riego tecnificado. Esto permitirá obtener una visión más amplia y precisa de los resultados, asegurando la confiabilidad y la calidad del diseño hidráulico. Asimismo, se recomienda investigar y considerar otros factores importantes en el diseño de redes de distribución, como la eficiencia energética, la sostenibilidad y la gestión óptima del agua, para asegurar un enfoque integral en la toma de decisiones.

Basándonos en las diferencias significativas en los resultados de costos al comparar el diseño de la red de distribución de riego presurizado a turnos optimizado y sin optimizar, se recomienda utilizar los algoritmos genéticos y los softwares de análisis hidráulico para el diseño de futuros proyectos de redes de distribución de riego. Además, es importante también tener en cuenta los factores específicos del proyecto, como las condiciones geográficas, los requerimientos del área de riego y las normativas locales, para garantizar un diseño óptimo y una implementación exitosa. En definitiva, se recomienda aprovechar los beneficios de los algoritmos genéticos y los softwares de hidráulica de tuberías tales como WaterGEMS, Redes y Epanet Brasil, en el diseño hidráulico de redes de distribución de riego, junto con un enfoque integral que considere aspectos económicos, energéticos y ambientales, para lograr soluciones óptimas y sostenibles.

Aunque se logró alcanzar la confiabilidad y cumplir con las restricciones técnicas y normativas vigentes en Perú mediante la aplicación de algoritmos genéticos en los softwares de análisis hidráulico, se sugiere realizar una validación más exhaustiva de los resultados obtenidos en cada software, especialmente en aquellos casos donde se presentaron infracciones de velocidad o presión y calibrar el modelo con datos de campo para las mejores tomas de decisiones en la etapa de operación y mantenimiento. Esto puede incluir la comparación con resultados de otros software o métodos de análisis hidráulico, así mismo, es recomendable estar al tanto de las actualizaciones de las normativas vigentes en Perú relacionadas con las restricciones hidráulicas. Finalmente, es importante que el personal técnico encargado del diseño y evaluación hidráulica de las redes de distribución cuente con una formación adecuada en los softwares utilizados y en los aspectos teóricos y prácticos de la hidráulica de tuberías.

Difundir los métodos heurísticos de la Inteligencia Artificial, dentro de ello los algoritmos genéticos, así mismo investigar las aplicaciones del método “búsqueda de armonía” y/o “colonial artificial de abejas”, de ese modo se realizarán los diseños de redes de distribución de riego tecnificado presurizado optimizando costos e incrementando la efectividad y confiabilidad. Es preciso indicar que esta tesis ha dejado algunas variables interesantes, las cuales se recomienda investigar, tal es el caso de la relación que existe entre la altura piezométrica necesario, el costo del diseño de la red y la distribución de los caudales en los ramales de dicha red distribución empleando los algoritmos genéticos, así como la resiliencia de las redes de distribución de riego tecnificado presurizado operando a turnos, considerando los criterios ambientales y la escasez de agua en algunos departamentos del Perú.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bentley OpenFlows for Water Infrastructure. (30 de noviembre de 2020). Curso Fundamentos WaterCAD/WaterGEMS - Parte 8: Calibración de Modelos Hidráulicos [Archivo de Vídeo]. YouTube. https://youtu.be/KBjLynOqVCI?list=PLLCOESNdmKSITydR3T4fVH_gme_h9AmQYV.
- Choque Cutipa, J. H., & Arce Neira, E. A. (2016). *Optimización de redes de distribución de agua con algoritmos genéticos en el Centro Poblado Jayllihuaya*.
- Cárdenas Castro, J. M., & Arancibia Martini, H. (2016). Potencia estadística y cálculo del tamaño del efecto en G*Power: complementos a las pruebas de significación estadística y su aplicación en psicología. *Salud & Sociedad*, 5(2), 210-244. <https://doi.org/10.22199/S07187475.2014.0002.00006>.
- Correll, J., Mellinger, C., McClelland, G. H., & Judd, C. M. (2020). Avoid Cohen's 'small', 'medium', and 'large' for power analysis. *Trends in cognitive sciences*, 24(3), 200-207. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2019.12.009>.
- Cucho Rojas, E.W. (2018) “*Diseño hidráulico del sistema de riego tecnificado en las áreas verdes del condominio el nuevo rancho, distrito de Miraflores, Lima- Lima*”
- Diaz German, E. (2020). *Diseño de la red de distribución del servicio de riego tecnificado para la producción agrícola*.
- De la Cruz, R.A. (2020). *Watergems frente al diseño convencional de redes de agua para la ciudad de Querecotillo*.
- Fuentes Yagüe, J.L. y García Legaspi, G. (1999). *Técnicas de Riego-Sistemas de riego en la agricultura*. Primera Edición. México: Mundi-prensa México, S.A. de C.V.

- Fuertes, V. S., García-Serra, J., Iglesias, P. L., López, G., Martínez, F. J., & Pérez, R. (2002). *Modelación y diseño de redes de abastecimiento de agua. Grupo Mecánica de Fluidos—Universidad Politécnica de Valencia.*
- Gómez Gutiérrez, R. G. (2018). *Diseño del Sistema de Riego Tecnificado “Huasa Pampa, Alcalá.*
- Gonzales Huamani, E. A. (2020). *Comportamiento hidráulico del sistema de riego por aspersión mediante herramientas computacionales, Paras, Ayacucho 2020.*
- Herbas Merida, W. (2018). *Diseño Hidráulico del Sistema de Riego Tecnificado “Jatun Kocha”, (Totorá, Cochabamba).*
- Hernández-Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2018). *Metodología de la investigación* (Vol. 4, pp. 310-386). México: McGraw-Hill Interamericana.
- Jiménez, M. (2004). *Diseño óptimo de redes de distribución de agua potable utilizando un algoritmo genético* (Doctoral dissertation, Tesis de maestría en Ingeniería. México, DF: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, División de Estudios de Postgrado).
- Lapo Pauta, C. M. (2019). *Diseño óptimo de redes de riego a presión para su explotación a turnos* (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).
- Lapo, C. M., Pérez-García, R., Aliod-Sebastián, R., & Martínez-Solano, F. J. (2020). *Diseño óptimo de redes de riego a turnos y caracterización de su flexibilidad. Tecnología y ciencias del agua*, 11(1), 266-314.
- López Juárez, J.I. (2018). *Diseño óptimo de redes de distribución de agua potable utilizando el método evolución diferencial.*
- Mora, D. (2012). *Diseño de redes de distribución de agua mediante algoritmos evolutivos. Análisis de eficiencia* (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).

- Millet, M. (2014). *Diseño óptimo de una red de distribución de agua con objetivos múltiples utilizando métodos heurísticos (algoritmos genéticos)*.
- Ministerio de Educación del Perú. (22 de septiembre de 2017). Todo lo que tienes que saber sobre investigación aplicada [Archivo de Vídeo]. YouTube. https://youtu.be/2_87761_yJg
- Narváez Rosero, M. D. P. (2014). Gestión de riesgos en la fase de diseño para proyectos de construcción utilizando la guía PMBOK.
- Ñaupas, H., Mejía, E., Novoa, E. y Villagómez A. (2014). *Metodología de la investigación cuantitativa – cualitativa y redacción de la tesis*. Ediciones de la U.
- Pimienta, J. H. y De la Orden, A. (2017). *Metodología de la investigación*. Pearson Educación de México.
- PMBOK, G. (2021). Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos. *Project Management Institute*, Inc. EE. UU
- Ponce, M. A., y López, I. L. (2019) Diseño de redes de riego mediante algoritmos de evolución diferencial y colonia artificial de abejas.
- Quevedo Porras, V. Z. (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*.
- Romero Saldaña, M. (2016). Pruebas de bondad de ajuste a una distribución normal. *Revista Enfermería del Trabajo* 2016; 6:3 (105-114).
- Ruiz Beamonte, D. (2014). *Dimensionado óptimo con EPANET de redes de riego a presión*.
- Saldarriaga, J. (2007). *Hidráulica de Tuberías de Abastecimiento de Agua, Redes, Riegos*. Colombia: Editorial Alfaomega.

- Saldarriaga, J.G., Mendoza, F.L. (2010). *Diseño optimizado de redes de distribución de agua potable incluyendo análisis de costo mínimo versus resiliencia de la red*. Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Punto del este, Uruguay. Noviembre del 2010.
- Saldarriaga, J. (2019). *Hidráulica de tuberías abastecimiento de agua, redes y riegos*. Colombia: Editorial Alfaomega
- Ugarte, F. (2016). *Mecánica de fluidos I*. Lima: Editorial San Marcos.
- Vargas, E. P., Porras, V. Q., Ravello, L. A., & Jihuallaga, C. A. (2019). *Aplicación de algoritmos genéticos spea & magno para diseño óptimo de redes de distribución de agua, viñani, tacna*.
- Vásquez, F. X. (2021). *Inteligencia artificial en el dimensionamiento de redes de distribución de agua en el centro poblado de Chaquicocha – 2017*.
- Vilca Callata, F. I. (2019). *Diseño hidráulico y optimización de recurso hídrico con fines de riego a presión en la Comunidad de Ancara - Distrito de Umachiri - Melgar - Puno*.
- Villegas, G. (2017). *Metodología computarizada de dimensionamiento de redes de agua potable*. (Tesis de pregrado). Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Piura, Perú.
- Walski, T. M., Chase, D. V., Savic, D. A., Grayman, W., Beckwith, S., & Koelle, E. (2003). *Advanced water distribution modeling and management*.

ANEXOS

Anexo 1

Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
X = Diseño hidráulico de la red de distribución de riego tecnificado	Es el diseño hidráulico cumple con los requisitos de rendimiento en la red, asegurando la conservación de masa en los nodos, la conservación de energía en los circuitos, la presión mínima en los nodos de consumo y el uso de diámetros comerciales adecuados en las tuberías. Además, se tiene en cuenta el factor económico, garantizando que el diseño cumpla con el mínimo costo.	Operacionalmente el diseño hidráulico de la red de distribución de riego tecnificado se define por sus características hidráulicas, confiabilidad hidráulica y el factor económico (costo).	Características hidráulicas	Velocidad Presión
			Confiabilidad cinemática	Velocidad Presión
				Telescopicidad
			Factor económico	Costos

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2

Matriz de consistencia

**TÍTULO: OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO HIDRÁULICO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE RIEGO TECNIFICADO
APLICANDO ALGORITMOS GENÉTICOS: SUBPROYECTO VILLA SOL, CHINCHAO, HUÁNUCO, 2022.**

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES
(Problema General)	(Objetivo General)	(Hipótesis General)	
¿La aplicación de los algoritmos genéticos mediante los softwares de hidráulica de tuberías optimizará el diseño hidráulico de la red de distribución de riego tecnificado presurizado operando a turnos?	Aplicar los algoritmos genéticos mediante los softwares de hidráulica de tuberías para optimizar el diseño hidráulico de la red de distribución de riego tecnificado presurizado operando a turnos.	La aplicación de los algoritmos genéticos mediante los softwares de hidráulica de tuberías optimiza el diseño hidráulico de la red de distribución de riego tecnificado presurizado operando a turnos.	Diseño hidráulico de la red de distribución de riego tecnificado
(Problemas Específicos)	(Objetivos Específicos)	(Hipótesis Específicas)	
P1.- ¿Existen diferencias significativas con d de Cohen superiores a 0.20 en la comparación de los resultados a nivel de características hidráulicas de una red de distribución de riego tecnificado presurizado sin optimización y optimizada?	O1.- Determinar las diferencias significativas con d de Cohen superiores a 0.20 en la comparación de los resultados a nivel de características hidráulicas de una red de distribución de riego tecnificado presurizado sin optimización y optimizada.	H1.- Existen diferencias significativas con d de Cohen superiores a 0.20 en la comparación de los resultados a nivel de características hidráulicas de una red de distribución de riego tecnificado presurizado sin optimización y optimizada.	X1: Características hidráulicas S/AG X2: Costos S/AG X3: Confiabilidad S/AG X1': Características hidráulicas C/AG X2': Costos C/AG X3': Confiabilidad C/AG

(Problemas Específicos)	(Objetivos Específicos)	(Hipótesis Específicas)
<p>P2.- ¿Existe diferencia significativa fuerte e importante con d de Cohen superior a 0.50 en la comparación de los resultados a nivel de costos de una red de distribución de riego tecnificado presurizado sin optimización y optimizada?</p>	<p>O2.- Determinar la diferencia significativa fuerte e importante con d de Cohen superior a 0.50 en la comparación de los resultados a nivel de costos de una red de distribución de riego tecnificado presurizado sin optimización y optimizada.</p>	<p>H2.- Existe diferencia significativa fuerte e importante con d de Cohen superior a 0.50 en la comparación de resultados a nivel de costos de una red de distribución de riego tecnificado presurizado sin optimización y optimizada.</p>
<p>P3.- ¿Qué tan confiable, cumpliendo las restricciones técnicas y normativas vigentes en Perú, es la aplicación de los algoritmos genéticos mediante los softwares WaterGEMS 2022, Redes 2019 y Epanet Brasil 2020 en la solución del problema planteado?</p>	<p>O3.- Evaluar la confiabilidad, cumpliendo las restricciones técnicas y normativas vigentes en Perú, de la aplicación de los algoritmos genéticos mediante los softwares WaterGEMS 2022, Redes 2019 y Epanet Brasil 2020 en la solución del problema planteado.</p>	<p>H3.- La aplicación de los algoritmos genéticos mediante los softwares WaterGEMS 2022, Redes 2019 y Epanet Brasil 2020 es confiable al 100%, cumpliendo las restricciones técnicas y normativas vigentes en Perú, en la solución del problema planteado.</p>

Fuente: Elaboración propia

Anexo 3

Instrumento de Recolección de datos (WaterGEMS CONNECT Edition Update 3)

The image displays the Bentley Education website interface. The main heading is "Unplug your limitless possibilities". Below this, there is a navigation menu with "Software", "Students", "Educators", and "Support". A dropdown menu is open for "Hydraulics and Hydrology". The main content area features three software options:

- OpenFlows SewerGEMS**: Engineers use OpenFlows SewerGEMS to analyze, design, and operate sanitary and combined sewer systems. Its dynamic wave engine solves the full St. Venant equations. The engine is especially suited for combined sewer systems where the hydrology of direct runoff into the collection system must be modeled. OpenFlows SewerGEMS is a superset of OpenFlows SewerCAD and can be run in Esri ArcGIS, AutoCAD, MicroStation, or as a stand-alone application.
- OpenFlows StormCAD**: OpenFlows StormCAD is a hydraulic modeling application for the peak flow analysis of storm sewer systems. OpenFlows StormCAD assists land and site developers, roadway and transportation designers, and stormwater master planners and reviewers, by automatically determining cost-effective pipe sizes, invert elevations and inlet sizes.
- OpenFlows WaterGEMS**: OpenFlows WaterGEMS helps engineers analyze, design, and operate water distribution systems. It includes genetic algorithm optimization modules for automated calibration, design and rehabilitation, and pump operations. It also includes modules for pipe renewal optimization, intelligent network simplification, and for the connection of a SCADA system to the water model. OpenFlows WaterGEMS is a superset of OpenFlows WaterCAD, and can be run in Esri ArcGIS, AutoCAD, MicroStation, or as a stand-alone application.

A red dashed arrow points from the "OpenFlows WaterGEMS" section to a login window. The login window is titled "Iniciar sesión" and contains the following fields and buttons:

- Dirección de correo electrónico**: yober.cornelio@unheval.pe
- Contraseña**: [Empty field]
- Iniciar sesión** (blue button)
- Atrás** (white button)
- ¿Desea cambiar la contraseña? | ¿Ha olvidado su contraseña?** (links)
- Debe iniciar sesión para usar su aplicación Bentley.** (message)
- ¿Ha olvidado su contraseña?** (link)
- ¿Nuevo usuario? Registrar ahora** (link)

The splash screen for Bentley WaterGEMS CONNECT Edition is also visible, showing the version information: Update 3, 10.03.05.05, 64-bit, 15/09/2021. The splash screen also includes a copyright notice: Protected by US and international copyright laws as described in Help>About. Copyright © 2021 Bentley Systems, Inc. All Rights Reserved.

Fuente: Elaboración propia en base a las capturas de pantalla de la página web oficial de Bentley.

Anexo 4

Autorización para el uso del software Redes 2019 versión académica

Alpha Editorial S.A
 NIT: 830.011.857-3
 (571)7460102 Calle 62 # 20-46
 puntodeventa@alpha-editorial.com
 www.alpha-editorial.com

Fecha de Expedición: 30/04/2023
Documento Equivalente No.: FP20443

Ub Cod.	Descripción	Cnt.	Valor
EBK 9789587786255	<u>E-BOOK, HIDRAULICA DE TUBERIAS 4ED.</u>	1	70,922
** SUBTOTAL / TOTAL----->:		1	70,922

Cambio: 0

Total Articulos Vendidos:= 1

REGIMEN COMÚN

Comprador: Yober Rolando Cornelio Falcón
NIT: DNI: 76054390

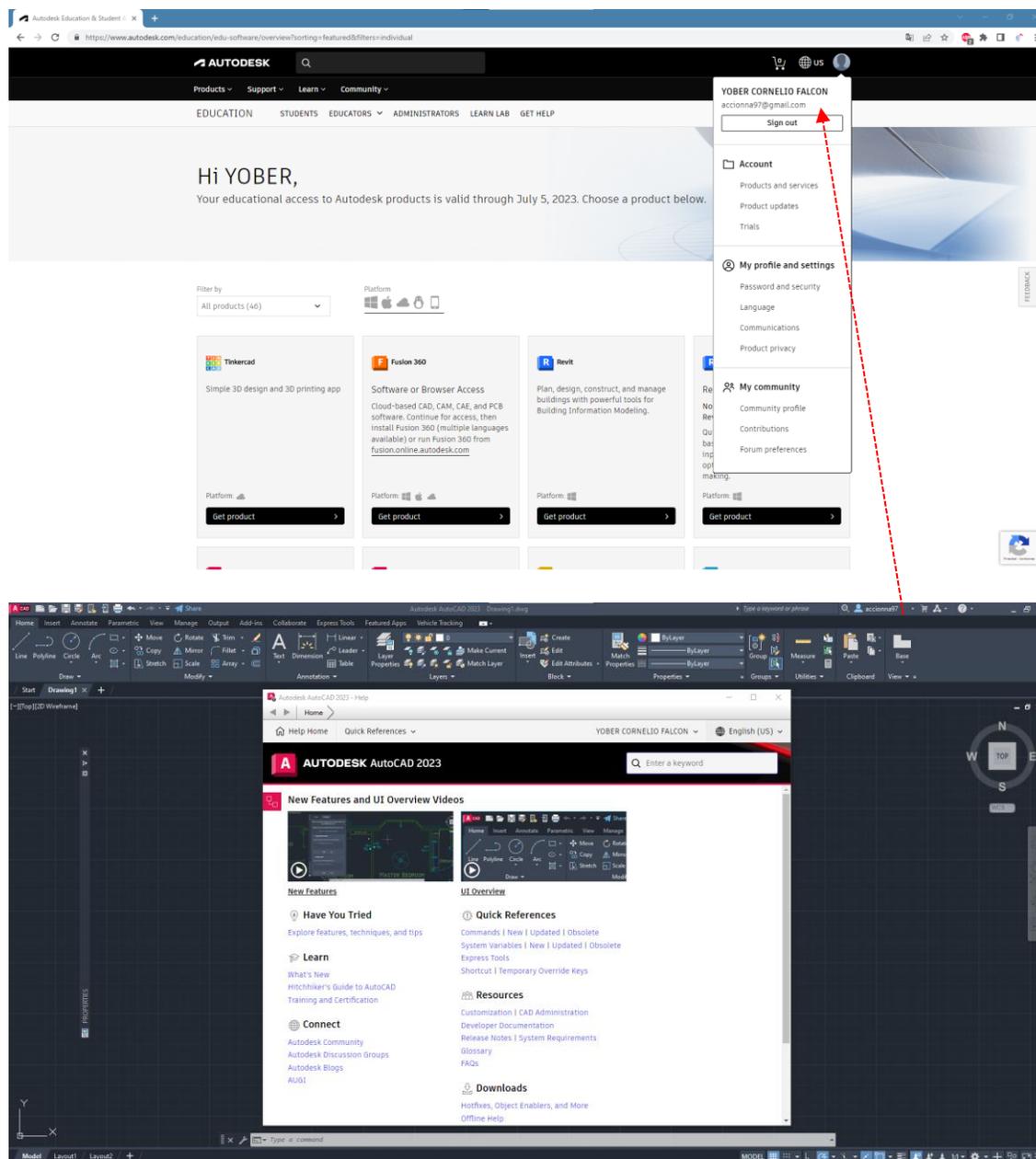
Lo Atendió: JULIET YESENIA THOMA

*Resolución de Facturación POS
 No 13028070964400 del 10-01-2023 - 12 Meses
 Rango Autorizado del FP20001 Al FP30000*

Fuente: Correo institucional del tesista

Anexo 5

Autorización de Autodesk para el uso de sus Productos en Versión Estudiante - 2022



Fuente: Elaboración propia en base a las capturas de pantalla de la página web oficial de Autodesk.

Anexo 6

Acreditación de disponibilidad Hídrica

2825

Proyecto: "MEJORAMIENTO Y AMPLIACION DEL SISTEMA DE RIEGO TECNIFICADO EN LAS LOCALIDADES DE QUINTA PRAGA, COCHAS CHICO, VILLA SOL, DISTRITO DE CHINCHAO, PROVINCIA DE HUANUCO, REGION HUANUCO"



FORMATO ANEXO N° 01

SOLICITUD

SEÑOR.
AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA

PRESENTE.-
SOLICITA.- Acreditación de disponibilidad hídrica

DATOS DEL SOLICITANTE.-

- Nombre o Razón social
CONSORCIO QUINTA PRAGA AMBO
- DNI/RUC
20603225024
- Domicilio legal
**URB. LAS FLORES MZ "B" LOTE 02 -
CAYHUAYNITA - PILLCO MARCA - HUANUCO -
HUANUCO**
- Correo Electrónico
slj_p22@hotmail.com
- Teléfono de contacto
945055164


Joe Cabanillas Hernandez
INGENIERO AGRICOLA
R/CIP 159574


Inocencio Javier Gutierrez Caspuchagua
INGENIERO CIVIL - CIP N° 86183
EVALUADOR DE PROYECTOS DE INVERSION

DETALLE DE LO SOLICITADO:

Me dirijo a su despacho para solicitarle la Acreditación de Disponibilidad Hídrica ya que es parte fundamental para el desarrollo del proyecto:
"MEJORAMIENTO Y AMPLIACION DEL SISTEMA DE RIEGO TECNIFICADO EN LAS LOCALIDADES DE QUINTA PRAGA, COCHAS CHICO, VILLA SOL, DISTRITO DE CHINCHAO, PROVINCIA DE

CONSORCIO QUINTA PRAGA AMBO


Ing. Pedro David Cordova Trujillo
INGENIERO AGRICOLA
ESPECIALISTA EN HIDROLOGIA E HIDRAULICA
CIP N° 44801

CONSORCIO QUINTA PRAGA AMBO

Pascual José Solorzano León
Representante Legal
D.N.E. 47964088

CONSORCIO QUINTA PRAGA AMBO

Ing. Melby Esteban de Trécul Tito
INGENIERO AGRICOLA
JEFE DE PROYECTO
CIP N° 69189

Fuente: Elaboración propia del Expediente Técnico de Obra "Mejoramiento y ampliación del servicio de agua del sistema de riego tecnificado en las localidades Quinta Praga, Cochas Chico, Villa Sol, distrito de Chinchao, provincia de Huánuco, región Huánuco"

Anexo 7

Autorización de Ejecución de obras en la fuente de natural de quebrada Sogobamba

Autoridad Nacional Del Agua
 Autoridad Administrativa del Agua Huallaga

El Fedatario que suscribe, certifica que el presente documento que ha tenido a la vista es COPIA FIEL DEL ORIGINAL, y al que me remito en caso necesario de lo que doy fe.

02 AGO 2021
 Tarapoto, _____

Graciela Monteluz Torrejón
 FEDATARIA



RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 318-2021-ANA/AAA-HUALLAGA

Tarapoto, 02 de agosto de 2021

VISTO:

El Expediente Administrativo con CUT N° 27725-2021, sobre Autorización de Ejecución de Obra en fuente natural, y;

CONSIDERANDO:

Que, mediante Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos y su Reglamento, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2010-AG, modificado con Decreto Supremo N° 023-2014-MINAGRI se regula la administración y gestión de los recursos hídricos en el país; asimismo, a través de la Resolución Jefatural N° 007-2015-ANA, se aprueba el "Reglamento de Procedimientos Administrativos para el Otorgamiento de Derechos de Uso de Agua y de Autorización de Ejecución de Obras en Fuentes Naturales de Agua";

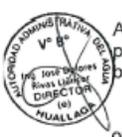
Que, el artículo 104° de la precitada Ley, señala que la Autoridad Nacional del Agua, aprueba la ejecución de obras de infraestructura pública o privada que se proyecten en los cauces y cuerpos de agua naturales y artificiales, así como en los bienes asociados al agua;

Que, el artículo 36° del Reglamento de Procedimientos Administrativos para el otorgamiento de Derechos de Uso de Agua y Autorizaciones de Ejecución de Obras en Fuentes Naturales de Agua, aprobado por Resolución Jefatural 007-2015-ANA, dispone la autorización de ejecución de obras, con fines distintos al aprovechamiento, en fuentes naturales de agua o infraestructura hidráulica pública multisectorial faculta a su titular para instalar estructuras, realizar obras temporales o permanentes en fuentes naturales de agua (cauce, riberas o fajas marginales) o en infraestructura hidráulica pública multisectorial;

Que, a través del Decreto Legislativo N° 1497 a través del cual se "Establece medidas para promover y facilitar condiciones regulatorias que contribuyan a reducir el impacto en la economía peruana por la emergencia sanitaria producida por el COVID-19". Al respecto, el artículo 3 de dicho Decreto Legislativo incorpora un párrafo a la Ley N° 27444, tal como se muestra a continuación:

"(...)
 "Artículo 20.- Modalidades de notificación
 (...)
 El consentimiento expreso a que se refiere el quinto párrafo del numeral 20.4 de la presente Ley puede ser otorgado por vía electrónica." (...).

Que, a través de Resolución Directoral N° 173-2020-ANA/AAA HUALLAGA, de fecha 06 de julio de 2020, la AAA Huallaga resuelve aprobar la Acreditación de Disponibilidad Hídrica Superficial para Uso Productivo Agrario - Agrícola, proveniente de la quebrada Sagobamba y de los manantiales Jishugaga y Jishugaga baja, para el



Fuente: Elaboración propia del Expediente Técnico de Obra "Mejoramiento y ampliación del servicio de agua del sistema de riego tecnificado en las localidades Quinta Praga, Cochas Chico, Villa Sol, distrito de Chinchao, provincia de Huánuco, región Huánuco

Anexo 8

Presupuesto del Subproyecto Villa Sol – método clásico ETO

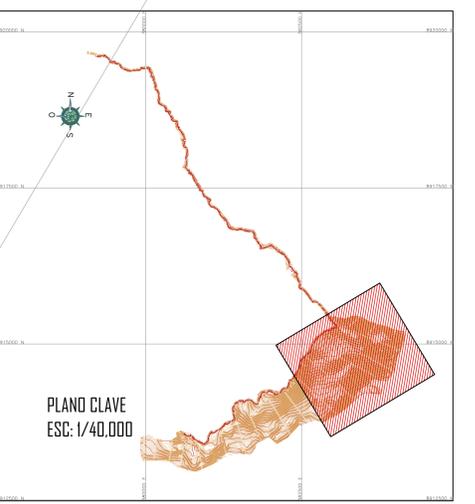
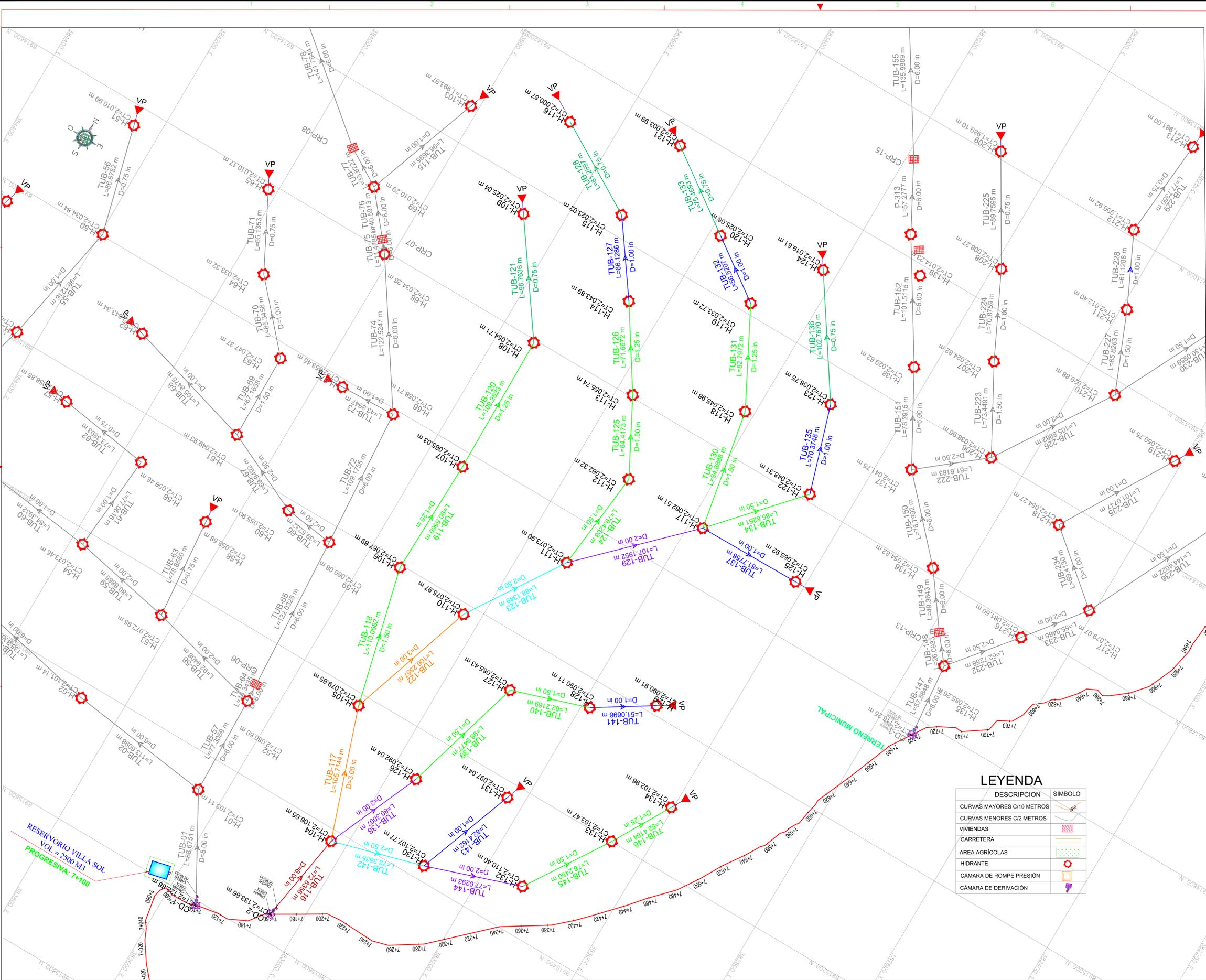
Presupuesto

Presupuesto	1101015	MEJORAMIENTO Y AMPLIACION DEL SERVICIO DE AGUA DEL SISTEMA DE RIEGO TECNIFICADO EN LAS LOCALIDADES DE QUINTA PRAGA, COCHAS CHICO, VILLA SOL, DISTRITO DE CHINCHAO, PROVINCIA DE HUÁNUCO, REGION HUÁNUCO		
Subpresupuesto	008	CORNELIO YOBER SUBPROYECTI VILLASOL_T2		
Cliente		GOBIERNO REGIONAL HUÁNUCO	Costo al	28/08/2020
Lugar		HUANUCO - HUANUCO - CHINCHAO		

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01.07.04	LINEA DE DISTRIBUCIÓN (L= 33,859.41 ML)				110,484.81
01.07.04.01	TRABAJOS PRELIMINARES				3,485.98
01.07.04.01.01	LIMPIEZA DE TERRENO MANUAL	M2	1,022.28	0.77	787.16
01.07.04.01.02	TRAZO, NIVELACIÓN Y REPLANTEO	M2	1,022.28	2.64	2,698.82
01.07.04.02	MOVIMIENTO DE TIERRAS				85,446.41
01.07.04.02.01	EXCAVACION CON EQUIPO EN TERRENO COMPACTO	M3	613.37	34.32	21,050.86
01.07.04.02.02	REFINE Y NIVELACION DE ZANJAS	ML	2,555.69	5.15	13,161.80
01.07.04.02.03	CAMA DE APOYO DE ARENA GRUESA B=0.4 (H=0.10M)	ML	2,555.69	8.59	21,953.38
01.07.04.02.04	RELLENO Y COMPACTADO CON MATERIAL PROPIO SELECCIONADO	M3	255.57	39.59	10,118.02
01.07.04.02.05	RELLENO Y COMPACTADO CON MATERIAL PROPIO	M3	255.57	28.15	7,194.30
01.07.04.02.06	ELIMINACIÓN Y ACOMODO DE MATERIAL EXCEDENTE DIST/PROM = 100M	M3	465.14	25.73	11,968.05
01.07.04.03	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERIAS				21,552.42
01.07.04.03.01	TUBERIA ISO 4427-HDPE DN=200MM (8")	ML		83.30	
01.07.04.03.02	TUBERIA ISO 4427-HDPE DN=160MM (6")	ML	72.64	53.78	3,906.58
01.07.04.03.03	TUBERIA ISO 4427-HDPE DN=110MM (4")	ML		26.62	
01.07.04.03.04	TUBERIA ISO 4427-HDPE DN=90MM (3")	ML	211.95	18.48	3,916.84
01.07.04.03.05	TUBERIA ISO 4427-HDPE DN=75MM (2 1/2")	ML	161.49	11.60	1,873.28
01.07.04.03.06	TUBERIA ISO 4427-HDPE DN=63MM (2")	ML	264.53	9.97	2,637.36
01.07.04.03.07	TUBERIA ISO 4427-HDPE DN=50MM (1 1/2")	ML	671.83	6.38	4,286.28
01.07.04.03.08	TUBERIA ISO 4427-HDPE DN=45MM (1 1/4")	ML	406.72	6.34	2,578.60
01.07.04.03.09	TUBERIA ISO 4427-HDPE DN=32MM (1")	ML	408.29	3.36	1,371.85
01.07.04.03.10	TUBERIA ISO 4427-HDPE DN=25MM (3/4")	ML	358.26	2.74	981.63
	Costo Directo				110,484.81

SON : CIENTO DIEZ MIL CUATROCIENTOS OCHENTICUATRO Y 81/100 NUEVOS SOLES

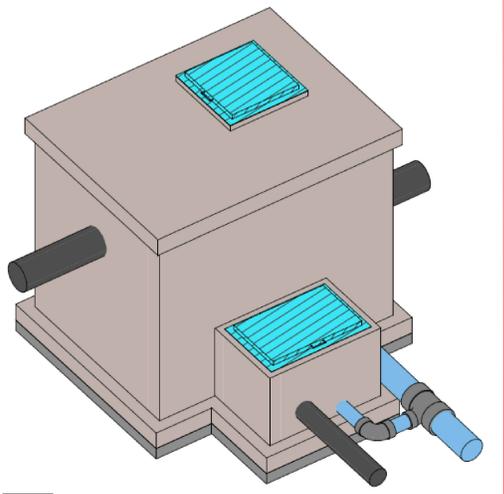
PLANO DE LA RED DISTRIBUCIÓN DE RIEGO TECNIFICADO
SUBPROYECTO VILLA SOL CON METODO CLÁSICO



PLANO CLAVE
ESC: 1/40,000

SECTOR 1 - SUBPROYECTO VILLASOL									
Tubería	Longitud	Nudo Inicio	Nudo Final	Díametro	Material	Velocidad	Caudal	Hazen-Williams	
TUB-116	72.6356	CD-2	H-104	6	HDPE	1.02	18.6	340	
TUB-117	105.7144	H-104	H-105	3	HDPE	2.76	12.6	340	
TUB-118	110.0682	H-105	H-106	1.5	HDPE	2.11	2.4	340	
TUB-119	90.556	H-106	H-107	1.25	HDPE	2.27	1.8	340	
TUB-120	109.2823	H-107	H-108	1.25	HDPE	1.52	1.2	340	
TUB-121	98.7036	H-108	H-109	0.75	HDPE	2.11	0.6	340	
TUB-122	106.2357	H-105	H-110	3	HDPE	2.11	9.6	340	
TUB-123	88.1349	H-110	H-111	2.5	HDPE	2.84	9	340	
TUB-124	79.4208	H-111	H-112	1.5	HDPE	2.63	3	340	
TUB-125	64.4173	H-112	H-113	1.5	HDPE	2.11	2.4	340	
TUB-126	71.6672	H-113	H-114	1.25	HDPE	2.27	1.8	340	
TUB-127	66.1286	H-114	H-115	1	HDPE	2.37	1.2	340	
TUB-128	81.2597	H-115	H-116	0.75	HDPE	2.11	0.6	340	
TUB-129	107.1952	H-111	H-117	2	HDPE	2.66	5.4	340	
TUB-130	94.8888	H-117	H-118	1.5	HDPE	2.11	2.4	340	
TUB-131	82.7972	H-118	H-119	1.25	HDPE	2.27	1.8	340	
TUB-132	56.2007	H-119	H-120	1	HDPE	2.37	1.2	340	
TUB-133	75.4693	H-120	H-121	0.75	HDPE	2.11	0.6	340	
TUB-134	85.8263	H-122	H-123	1.5	HDPE	1.58	1.8	340	
TUB-135	102.7478	H-122	H-124	0.75	HDPE	2.37	1.2	340	
TUB-136	102.767	H-117	H-125	1	HDPE	2.11	0.6	340	
TUB-137	81.7758	H-118	H-126	1	HDPE	1.18	0.6	340	
TUB-138	80.3007	H-104	H-126	2	HDPE	1.18	2.4	340	
TUB-139	98.9477	H-126	H-127	1.5	HDPE	1.58	1.8	340	
TUB-140	62.2169	H-127	H-128	1.5	HDPE	1.05	1.2	340	
TUB-141	60.6996	H-128	H-129	1	HDPE	1.18	0.6	340	
TUB-142	73.73	H-129	H-130	2.5	HDPE	0.95	0.3	340	
TUB-143	82.4162	H-130	H-131	1	HDPE	1.18	0.6	340	
TUB-144	77.0293	H-130	H-132	2	HDPE	0.89	1.8	340	
TUB-145	76.245	H-132	H-133	1.5	HDPE	1.05	1.2	340	
TUB-146	60.6996	H-133	H-134	1.5	HDPE	0.76	0.6	340	

CÁMARA DE DERIVACIÓN (CD)-02



LEYENDA

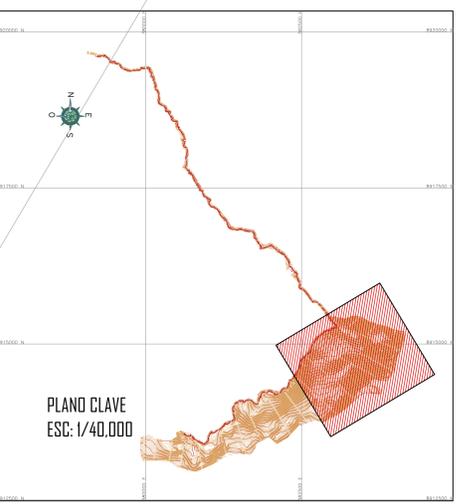
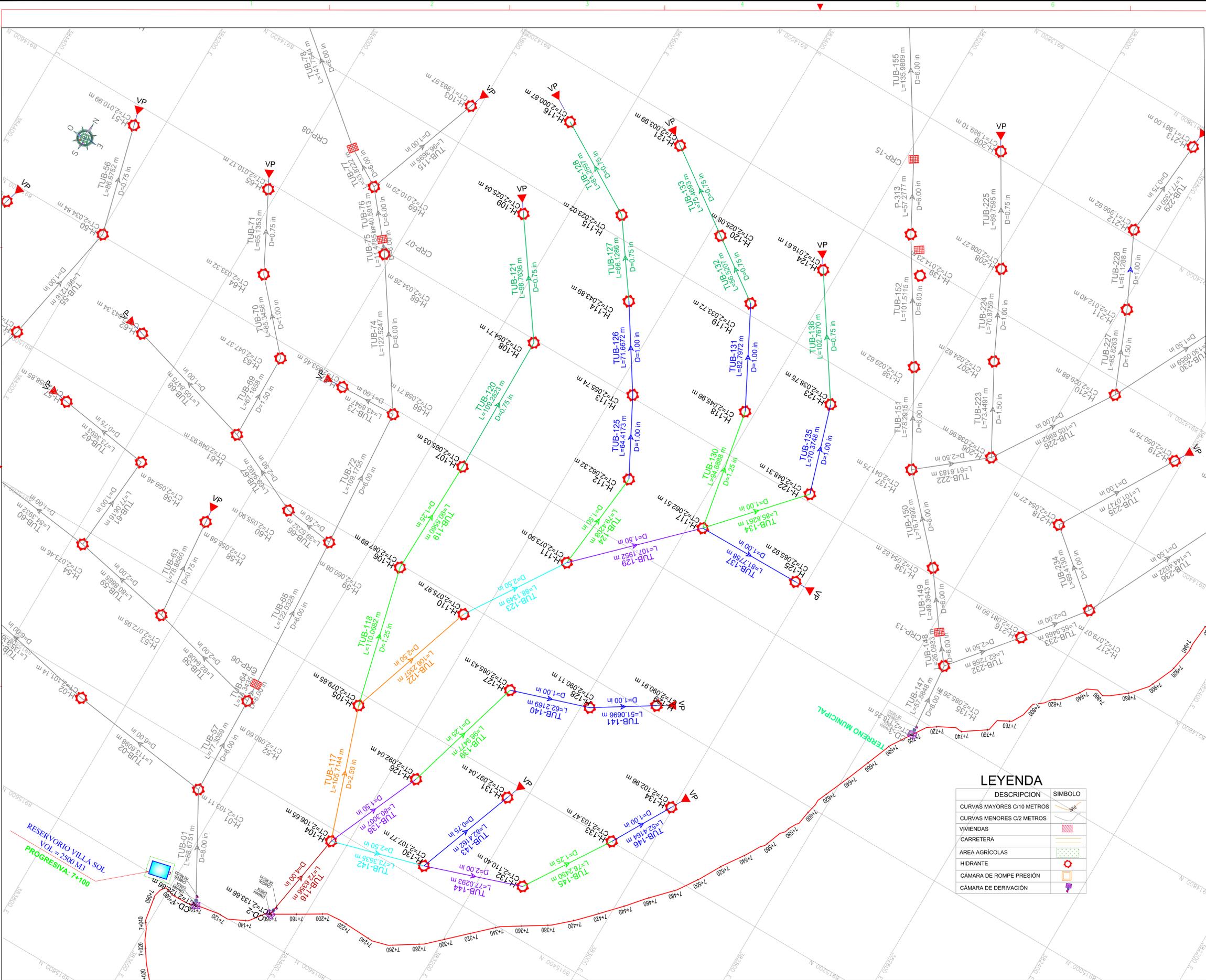
DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO
CURVAS MAYORES C/10 METROS	
CURVAS MENORES C/2 METROS	
VIVIENDAS	
CARRETERA	
AREA AGRICOLAS	
HIDRANTE	
CÁMARA DE ROMPE PRESIÓN	
CÁMARA DE DERIVACIÓN	

DIAMETROS Y LONGITUDES 01

Esc. 1:1000

	UNIVERSIDAD NACIONAL HERMINIO VALDIZAN FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL		UBICACION: REGION : HUANUCO PROVINCIA : HUANUCO DISTRITO : CHINCHAHO LOCALIDAD : VILLASOL
	PLANO: PLANO DE REDES DE AGUA CON FINES DE RIEGO METODOS CLASIFICADOS: DIAMETROS Y LONGITUDES 01	LINEA DE INVESTIGACION: HIDRAULICA	LAMINA: DC-01
ASESOR: ING. EVER OSORIO FLORES	REALIZADO POR: CORNELIO	FECHA: JUNIO 2023	ESCALA: 1/1000

**PLANO DE LA RED DISTRIBUCIÓN DE RIEGO TECNIFICADO
SUBPROYECTO VILLA SOL CON ALGORITMOS GENÉTICOS**



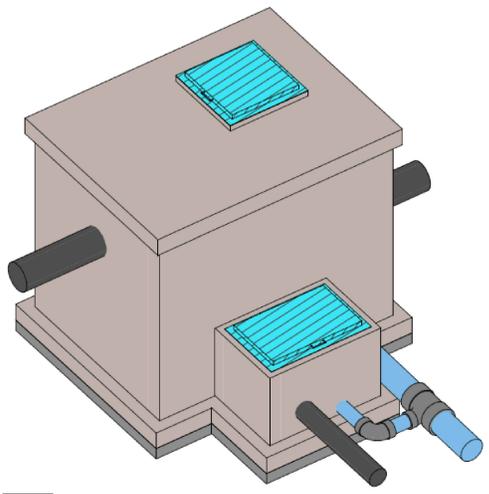
SECTOR 1 - SUBPROYECTO VILLASOL

Tubería	Longitud	Nudo Inicio	Nudo Final	Diámetro	Material	Velocidad	Caudal	Hazen-Williams
TUB-116	72.6356	CD-2	H-104	4	HDPE	1.96	18.6	140
TUB-117	105.7144	H-104	H-105	2.5	HDPE	2.85	12.6	140
TUB-118	110.0882	H-105	H-106	1.25	HDPE	1.91	2.4	140
TUB-119	90.5556	H-106	H-107	1.25	HDPE	1.43	1.8	140
TUB-120	109.2823	H-107	H-108	0.75	HDPE	2.44	1.2	140
TUB-121	98.7636	H-108	H-109	0.75	HDPE	1.22	0.6	140
TUB-122	106.2357	H-105	H-110	2.5	HDPE	2.17	9.6	140
TUB-123	88.1349	H-110	H-111	2.5	HDPE	2.04	9	140
TUB-124	79.4208	H-111	H-112	1.5	HDPE	1.53	3	140
TUB-125	64.4173	H-112	H-113	1	HDPE	2.98	2.4	140
TUB-126	71.6672	H-113	H-114	1	HDPE	2.24	1.8	140
TUB-127	66.1286	H-114	H-115	0.75	HDPE	2.44	1.2	140
TUB-128	81.2597	H-115	H-116	0.75	HDPE	1.22	0.6	140
TUB-129	107.1952	H-111	H-117	1.5	HDPE	2.75	2.4	140
TUB-130	94.6888	H-117	H-118	1.25	HDPE	1.91	2.4	140
TUB-131	82.7972	H-118	H-119	1	HDPE	2.24	1.8	140
TUB-132	56.5207	H-119	H-120	0.75	HDPE	2.44	1.2	140
TUB-133	75.4693	H-120	H-121	0.75	HDPE	1.22	0.6	140
TUB-134	85.2951	H-117	H-122	1	HDPE	2.24	1.8	140
TUB-135	70.3748	H-122	H-123	1	HDPE	1.49	1.2	140
TUB-136	102.767	H-123	H-124	0.75	HDPE	1.22	0.6	140
TUB-137	81.178	H-123	H-125	1	HDPE	0.75	0.6	140
TUB-138	80.3007	H-104	H-126	1.5	HDPE	1.22	2.4	140
TUB-139	98.9477	H-126	H-127	1.25	HDPE	1.43	1.8	140
TUB-140	62.2169	H-127	H-128	1	HDPE	1.49	1.2	140
TUB-141	141.9096	H-128	H-129	1	HDPE	0.75	0.6	140
TUB-142	73.5535	H-104	H-130	2.5	HDPE	0.68	0.6	140
TUB-143	82.8162	H-130	H-131	0.75	HDPE	1.22	0.6	140
TUB-144	77.6293	H-131	H-132	2	HDPE	0.58	1.8	140
TUB-145	76.245	H-132	H-133	1.25	HDPE	0.95	1.2	140
TUB-146	92.8124	H-133	H-134	1	HDPE	0.75	0.6	140

LEYENDA

DESCRIPCION	SIMBOLO
CURVAS MAYORES C/10 METROS	
CURVAS MENORES C/2 METROS	
VIVIENDAS	
CARRETERA	
AREA AGRICOLAS	
HIDRANTE	
CÁMARA DE ROMPE PRESIÓN	
CÁMARA DE DERIVACIÓN	

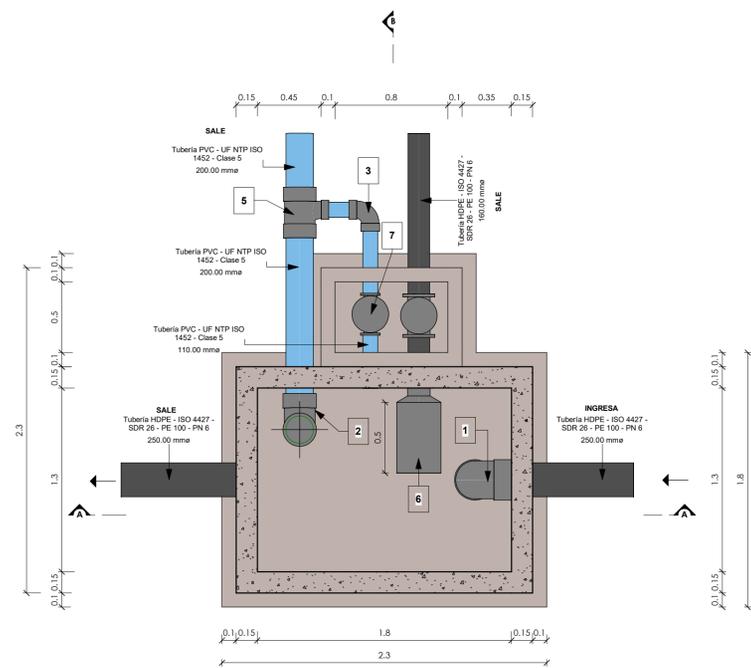
CÁMARA DE DERIVACIÓN (CD)-02



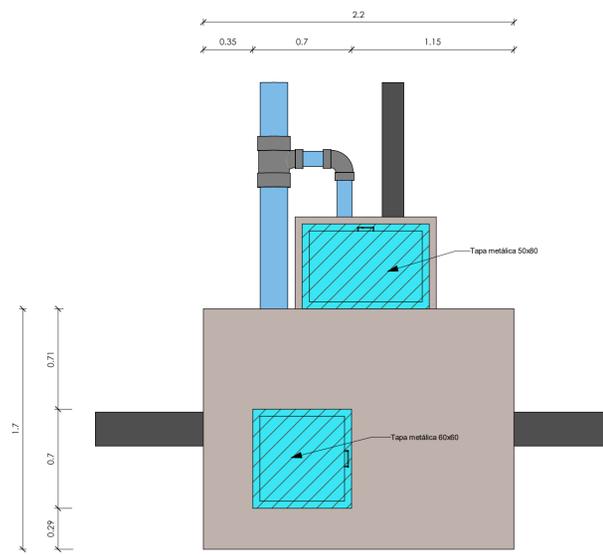
DIAMETROS Y LONGITUDES 01

Esc. 1:1000

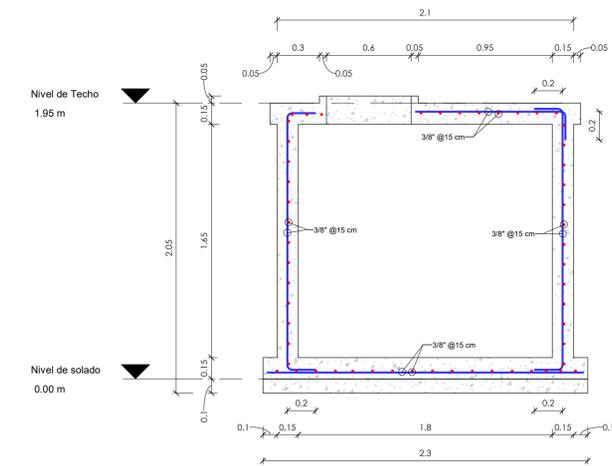
	FACULTAD NACIONAL HERMILO VALDIZAN FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL		UBICACION: REGION: HUANUCO PROVINCIA: HUANUCO DISTRITO: CHINCHAJO LOCALIDAD: VILLASOL
	PLANO: PLANO DE REDES DE AGUA CON FINES DE RIEGO METODO ALGORITMOS GENETICOS: DIAMETROS Y LONGITUDES 01	LINEA DE INVESTIGACION: HIDRAULICA	LAMINA: DC-01
ASESOR: ING. EVER OSORIO FLORES	REALIZADO POR: CORNELIO	FECHA: JUNIO 2023	ESCALA: 1/1000



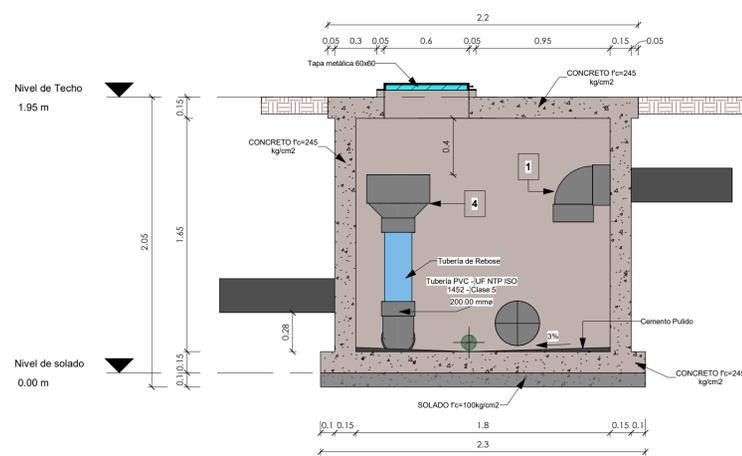
PLANO DE PLANTA
1:25



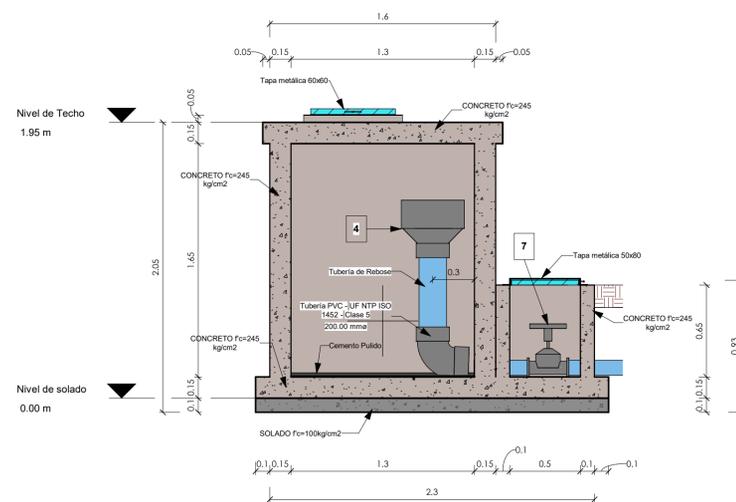
PLANO DE TECHO
1:25



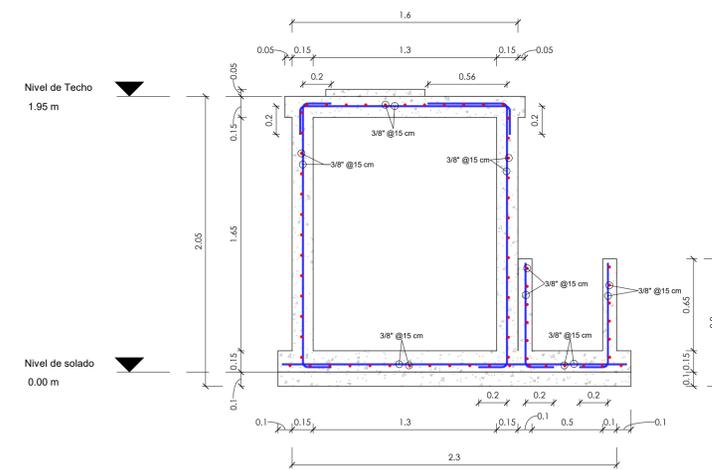
ARMADURA CORTE A-A
1:25



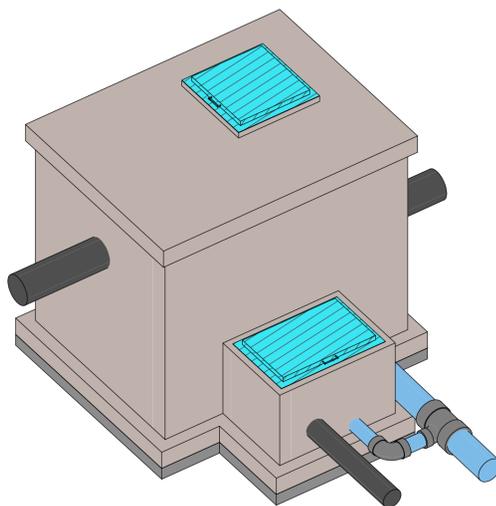
CORTE A-A
1:25



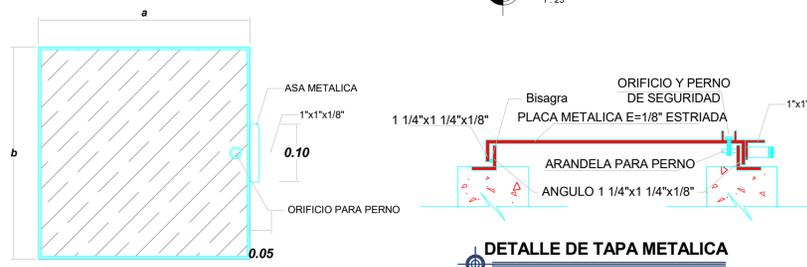
CORTE B-B
1:25



ARMADURA CORTE B-B
1:25



VISTA 3D



TAPA 1: a=0.50 m x b=0.50 m.
TAPA 2: a=0.60 m x b=0.60 m.
TAPA 3: a=0.50 m x b=0.80 m.

UBICACIÓN DE CDR EN LINEA DE CONDUCCIÓN 01

CDR	PROG.
CDR N°09	10+595 KM

ESPECIFICACIONES DE ESTRUCTURAS METALICAS

1.-) ACERO:	Planchas y Perfiles Metalicos	ASTM A-36
2.-) SOLDADURA:	Electrodo	E60xx
3.-) PERNOS:	Pernos de Anclaje	A-307
	Pernos de Conexion	Grado 5
4.-) ESTRIADO, GALVANIZADO Y PINTURA:	Estriado	
	Galvanizado de Perfiles y Planchas: Cantidad de Galvanizado 550 gr/m²	
	Galvanizado de Tuercas y Pernos: Cantidad de Galvanizado 350 gr/m²	
	Una capa de anticorrosivo de película seca.	
	Dos capas de pintura esmalte de película seca cada una.	

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

CONCRETO

- F'c= 245 Kg/cm², para paredes, losa de fondo y losa de techo de Caja Rompe Presión.
- F'c= 100 Kg/cm², para solado Mezcla 1:12 (C:H)
- Cemento, para toda la obra de concreto, se utilizará cemento Portland TIPO I - V
- Acero: f'yd= 200 Kg/cm².

RECUBRIMIENTO

- Losa de fondo = 5.0 cm.
- Paredes = 4.0 cm.
- Losa de techo = 4.0 cm.

TRASLAPES

TRASLAPES NO PERMITIDOS

- En la Pared (en el acero vertical)

REVESTIMIENTOS

- Las estructuras en contacto con el agua, serán cara vista siguiente forma:
 - PARED Y LOSA DE FONDO, serán cara vista.
- Las muros exteriores y la losa de techo de la caja, será revestido con mezcla de cemento-arena 1:5 con espesor de 2 cms., acabado frotado.

TODAS LAS BARRAS SERÁN DOBLADAS EN FRÍO.

VIBRAR EL CONCRETO CON EL VIBRADOR DE AGUIJA

CURAR EL CONCRETO POR VIA HUMEDA

DESCRIPCIÓN DE ACCESORIOS

Marca	Descripción	Cantidad
1	Codo de HDPE transformado DN = 250mm x 90°	1
2	Codo de PVC NTP ISO 1452 DN = 200mm x 90°	1
3	Codo de PVC NTP ISO 1452 DN = 110mm x 90°	1
4	Cono de rebose de PVC de 200x400mm	1
5	TEE de PVC NTP ISO 1452 DN = 200mm con reducción a 110mm	1
6	CANASTILLA DE PVC DE 50 CM DE 160 MM A 315MM CON 681 ORIFICIOS DE 8MM	1
7	Válvula de H.D Luflex de 110mm	1
8	Válvula de H.D Luflex de 200mm	1

UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

INVESTIGACIÓN:
"OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO HIDRÁULICO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE RIEGO TECNIFICADO APLICANDO ALGORITMOS GENÉTICOS: SUBPROYECTO VILLA SOL, CHINCHAO, HUÁNUCO, 2022"

PLANO: PLANO DE LA CÁMARA DE DERIVACIÓN CD-02

LINEA DE INVESTIGACIÓN: HIDRÁULICA

ASESOR: ING. EVER OSORIO FLORES

REALIZADO POR: CORNELIO

FECHA: JUNIO 2023

ESCALA: 1/1000

UBICACIÓN:
REGION: HUÁNUCO
PROVINCIA: HUÁNUCO
DISTRITO: CHINCHAO
LOCALIDAD: VILLA SOL

LIBRETA: **CD-02**

Análisis de precios unitarios

Presupuesto **1101015** MEJORAMIENTO Y AMPLIACION DEL SERVICIO DE AGUA DEL SISTEMA DE RIEGO TECNIFICADO EN LAS LOCALIDADES DE QUINTA PRAGA, COCHAS CHICO, VILLA SOL, DISTRITO DE CHINCHAO, PROVINCIA DE HUÁNUCO, REGION HUÁNUCO
 Subpresupuesto **008** CORNELIO YOBER SUBPROYECTI VILLASOL_T2 Fecha presupuesto **28/08/2020**

Partida **01.07.04.01.01** LIMPIEZA DE TERRENO MANUAL

Rendimiento **M2/DIA** MO. **200.0000** EQ. **200.0000** Costo unitario directo por : M2 **0.77**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0101010002	CAPATAZ	hh	0.1000	0.0040	25.04	0.10
0101010005	PEON	hh	1.0000	0.0400	16.34	0.65
0.75						
Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	0.75	0.02
0.02						

Partida **01.07.04.01.02** TRAZO, NIVELACIÓN Y REPLANTEO

Rendimiento **M2/DIA** MO. **500.0000** EQ. **500.0000** Costo unitario directo por : M2 **2.64**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0101010002	CAPATAZ	hh	0.1000	0.0016	25.04	0.04
0101010005	PEON	hh	3.0000	0.0480	16.34	0.78
0101030000	TOPOGRAFO	hh	1.0000	0.0160	23.65	0.38
1.20						
Materiales						
02130300010003	YESO EN BOLSAS DE 18 KG.	BLS		0.0500	18.64	0.93
0231000013	MADERA NACIONAL TIPO "C"	P2		0.0100	4.00	0.04
0240020003	PINTURA ESMALTE SINTETICO	GLN		0.0010	32.12	0.03
1.00						
Equipos						
0301000011	TEODOLITO	HM	1.0000	0.0160	6.15	0.10
0301000021	MIRAS Y JALONES	HM	1.0000	0.0160	0.83	0.01
0301000022	NIVEL TOPOGRAFICO	HM	1.0000	0.0160	6.00	0.10
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	1.20	0.04
03014700010013	WINCHA DE 30 MTRS.	Pza		0.0034	55.00	0.19
0.44						

Partida **01.07.04.02.01** EXCAVACION CON EQUIPO EN TERRENO COMPACTO

Rendimiento **M3/DIA** MO. **30.0000** EQ. **30.0000** Costo unitario directo por : M3 **34.32**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0101010002	CAPATAZ	hh	0.1000	0.0267	25.04	0.67
0101010005	PEON	hh	1.0000	0.2667	16.34	4.36
01010100060002	OPERADOR DE EQUIPO LIVIANO	hh	1.0000	0.2667	23.56	6.28
11.31						
Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	11.31	0.34
03011600020005	MINI EXCAVADORA BOBCAT 334	HM	1.0000	0.2667	85.00	22.67
23.01						

Partida **01.07.04.02.02** REFINE Y NIVELACION DE ZANJAS

Rendimiento **ML/DIA** MO. **120.0000** EQ. **120.0000** Costo unitario directo por : ML **5.15**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0101010002	CAPATAZ	hh	0.1000	0.0067	25.04	0.17
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.0667	22.86	1.52
0101010005	PEON	hh	1.0000	0.0667	16.34	1.09
01010100060002	OPERADOR DE EQUIPO LIVIANO	hh	1.0000	0.0667	23.56	1.57
4.35						
Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	4.35	0.13
0301100009	COMPACTADOR VIBRATORIO TIPO PLANCHA 4 HP	HM	1.0000	0.0667	10.00	0.67
0.80						

Análisis de precios unitarios

Presupuesto 1101015 MEJORAMIENTO Y AMPLIACION DEL SERVICIO DE AGUA DEL SISTEMA DE RIEGO TECNIFICADO EN LAS LOCALIDADES DE QUINTA PRAGA, COCHAS CHICO, VILLA SOL, DISTRITO DE CHINCHAO, PROVINCIA DE HUÁNUCO, REGION HUÁNUCO
 Subpresupuesto 008 CORNELIO YOBER SUBPROYECTI VILLASOL_T2 Fecha presupuesto 28/08/2020

Partida 01.07.04.02.03 CAMA DE APOYO DE ARENA GRUESA B=0.4 (H=0.10M)

Rendimiento ML/DIA MO. 150.0000 EQ. 150.0000 Costo unitario directo por : ML 8.59

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0101010002	CAPATAZ	hh	0.1000	0.0053	25.04	0.13
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.0533	22.86	1.22
0101010005	PEON	hh	1.0000	0.0533	16.34	0.87
2.22						
Materiales						
02070200010002	ARENA GRUESA	M3		0.0630	100.00	6.30
6.30						
Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	2.22	0.07
0.07						

Partida 01.07.04.02.04 RELLENO Y COMPACTADO CON MATERIAL PROPIO SELECCIONADO

Rendimiento M3/DIA MO. 25.0000 EQ. 25.0000 Costo unitario directo por : M3 39.59

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0101010002	CAPATAZ	hh	0.1000	0.0320	25.04	0.80
0101010005	PEON	hh	4.0000	1.2800	16.34	20.92
01010100060002	OPERADOR DE EQUIPO LIVIANO	hh	1.0000	0.3200	23.56	7.54
29.26						
Materiales						
02070400010010	MATERIAL SELECCIONADO (DE LA ZONA)	M3		1.0500	5.00	5.25
0290130022	AGUA	M3		0.0500	4.00	0.20
5.45						
Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	29.26	0.88
0301100009	COMPACTADOR VIBRATORIO TIPO PLANCHA 4 HP	HM	1.0000	0.3200	10.00	3.20
0301400004	ZARANDA	HM	1.0000	0.3200	2.50	0.80
4.88						

Partida 01.07.04.02.05 RELLENO Y COMPACTADO CON MATERIAL PROPIO

Rendimiento M3/DIA MO. 25.0000 EQ. 25.0000 Costo unitario directo por : M3 28.15

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0101010002	CAPATAZ	hh	0.1000	0.0320	25.04	0.80
0101010005	PEON	hh	3.0000	0.9600	16.34	15.69
01010100060002	OPERADOR DE EQUIPO LIVIANO	hh	1.0000	0.3200	23.56	7.54
24.03						
Materiales						
0290130022	AGUA	M3		0.0500	4.00	0.20
0.20						
Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	24.03	0.72
0301100009	COMPACTADOR VIBRATORIO TIPO PLANCHA 4 HP	HM	1.0000	0.3200	10.00	3.20
3.92						

Análisis de precios unitarios

Presupuesto 1101015 MEJORAMIENTO Y AMPLIACION DEL SERVICIO DE AGUA DEL SISTEMA DE RIEGO TECNIFICADO EN LAS LOCALIDADES DE QUINTA PRAGA, COCHAS CHICO, VILLA SOL, DISTRITO DE CHINCHAO, PROVINCIA DE HUÁNUCO, REGION HUÁNUCO
 Subpresupuesto 008 CORNELIO YOBER SUBPROYECTI VILLASOL T2 Fecha presupuesto 28/08/2020

Partida 01.07.04.02.06 ELIMINACIÓN Y ACOMODO DE MATERIAL EXCEDENTE DIST/PROM = 100M

Rendimiento M3/DIA MO. 40.0000 EQ. 40.0000 Costo unitario directo por : M3 25.73

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0101010002	CAPATAZ	hh	0.1000	0.0200	25.04	0.50
0101010005	PEON	hh	1.0000	0.2000	16.34	3.27
01010100060002	OPERADOR DE EQUIPO LIVIANO	hh	1.0000	0.2000	23.56	4.71
8.48						
Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	8.48	0.25
03011600020001	MINI CARGADOR BOBCAT S770	HM	1.0000	0.2000	85.00	17.00
17.25						

Partida 01.07.04.03.01 TUBERIA ISO 4427-HDPE DN=200MM (8")

Rendimiento ML/DIA MO. 120.0000 EQ. 120.0000 Costo unitario directo por : ML 83.30

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0101010002	CAPATAZ	hh	0.1000	0.0067	25.04	0.17
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.0667	22.86	1.52
0101010005	PEON	hh	2.0000	0.1333	16.34	2.18
3.87						
Materiales						
02050700020138	TUBERIA ISO 4427-HDPE DN=200MM (8")	ML		1.0200	76.67	78.20
78.20						
Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	3.87	0.12
0.12						
Subcontratos						
04000100010022	SERVICIO DE TERMOFUSION (SOLDADURA) TUBERIA HDPE DN UND 20MM A DN 800 MM. (INCL. PRUEBA DE VERIFICACION SOLDADURA)			0.2220	5.00	1.11
1.11						

Partida 01.07.04.03.02 TUBERIA ISO 4427-HDPE DN=160MM (6")

Rendimiento ML/DIA MO. 160.0000 EQ. 160.0000 Costo unitario directo por : ML 53.78

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0101010002	CAPATAZ	hh	0.1000	0.0050	25.04	0.13
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.0500	22.86	1.14
0101010005	PEON	hh	2.0000	0.1000	16.34	1.63
2.90						
Materiales						
02050700020137	TUBERIA ISO 4427-HDPE DN=160MM (6")	ML		1.0200	48.97	49.95
49.95						
Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	2.90	0.09
0.09						
Subcontratos						
04000100010022	SERVICIO DE TERMOFUSION (SOLDADURA) TUBERIA HDPE DN UND 20MM A DN 800 MM. (INCL. PRUEBA DE VERIFICACION SOLDADURA)			0.1670	5.00	0.84
0.84						

Análisis de precios unitarios

Presupuesto **1101015** MEJORAMIENTO Y AMPLIACION DEL SERVICIO DE AGUA DEL SISTEMA DE RIEGO TECNIFICADO EN LAS LOCALIDADES DE QUINTA PRAGA, COCHAS CHICO, VILLA SOL, DISTRITO DE CHINCHAO, PROVINCIA DE HUÁNUCO, REGION HUÁNUCO
 Subpresupuesto **008** CORNELIO YOBER SUBPROYECTI VILLASOL_T2 Fecha presupuesto **28/08/2020**

Partida **01.07.04.03.03** TUBERIA ISO 4427-HDPE DN=110MM (4")

Rendimiento **ML/DIA** MO. **180.0000** EQ. **180.0000** Costo unitario directo por : ML **26.62**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0101010002	CAPATAZ	hh	0.1000	0.0044	25.04	0.11
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.0444	22.86	1.01
0101010005	PEON	hh	2.0000	0.0889	16.34	1.45
2.57						
Materiales						
02050700020123	TUBERIA ISO 4427-HDPE DN=110MM (4")	ML		1.0200	23.37	23.84
23.84						
Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	2.57	0.08
0.08						
Subcontratos						
04000100010022	SERVICIO DE TERMOFUSION (SOLDADURA) TUBERIA HDPE DN UND 20MM A DN 800 MM. (INCL. PRUEBA DE VERIFICACION SOLDADURA)			0.0250	5.00	0.13
0.13						

Partida **01.07.04.03.04** TUBERIA ISO 4427-HDPE DN=90MM (3")

Rendimiento **ML/DIA** MO. **200.0000** EQ. **200.0000** Costo unitario directo por : ML **18.48**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0101010002	CAPATAZ	hh	0.1000	0.0040	25.04	0.10
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.0400	22.86	0.91
0101010005	PEON	hh	2.0000	0.0800	16.34	1.31
2.32						
Materiales						
02050700020125	TUBERIA ISO 4427-HDPE DN=90MM (3")	ML		1.0200	15.65	15.96
15.96						
Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	2.32	0.07
0.07						
Subcontratos						
04000100010022	SERVICIO DE TERMOFUSION (SOLDADURA) TUBERIA HDPE DN UND 20MM A DN 800 MM. (INCL. PRUEBA DE VERIFICACION SOLDADURA)			0.0250	5.00	0.13
0.13						

Partida **01.07.04.03.05** TUBERIA ISO 4427-HDPE DN=75MM (2 1/2")

Rendimiento **ML/DIA** MO. **220.0000** EQ. **220.0000** Costo unitario directo por : ML **11.60**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0101010002	CAPATAZ	hh	0.1000	0.0036	25.04	0.09
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.0364	22.86	0.83
0101010005	PEON	hh	2.0000	0.0727	16.34	1.19
2.11						
Materiales						
02050700020126	TUBERIA ISO 4427-HDPE DN=75MM (2 1/2")	ML		1.0200	9.12	9.30
9.30						
Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	2.11	0.06
0.06						
Subcontratos						
04000100010022	SERVICIO DE TERMOFUSION (SOLDADURA) TUBERIA HDPE DN UND 20MM A DN 800 MM. (INCL. PRUEBA DE VERIFICACION SOLDADURA)			0.0250	5.00	0.13
0.13						

Análisis de precios unitarios

Presupuesto **1101015** MEJORAMIENTO Y AMPLIACION DEL SERVICIO DE AGUA DEL SISTEMA DE RIEGO TECNIFICADO EN LAS LOCALIDADES DE QUINTA PRAGA, COCHAS CHICO, VILLA SOL, DISTRITO DE CHINCHAO, PROVINCIA DE HUÁNUCO, REGION HUÁNUCO
 Subpresupuesto **008** CORNELIO YOBER SUBPROYECTI VILLASOL_T2 Fecha presupuesto **28/08/2020**

Partida **01.07.04.03.06** TUBERIA ISO 4427-HDPE DN=63MM (2")

Rendimiento **ML/DIA** MO. **240.0000** EQ. **240.0000** Costo unitario directo por : ML **9.97**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0101010002	CAPATAZ	hh	0.1000	0.0033	25.04	0.08
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.0333	22.86	0.76
0101010005	PEON	hh	2.0000	0.0667	16.34	1.09
1.93						
Materiales						
02050700020124	TUBERIA ISO 4427-HDPE DN=63MM (2")	ML		1.0200	7.70	7.85
7.85						
Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	1.93	0.06
0.06						
Subcontratos						
04000100010022	SERVICIO DE TERMOFUSION (SOLDADURA) TUBERIA HDPE DN UND 20MM A DN 800 MM. (INCL. PRUEBA DE VERIFICACION SOLDADURA)			0.0250	5.00	0.13
0.13						

Partida **01.07.04.03.07** TUBERIA ISO 4427-HDPE DN=50MM (1 1/2")

Rendimiento **ML/DIA** MO. **260.0000** EQ. **260.0000** Costo unitario directo por : ML **6.38**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0101010002	CAPATAZ	hh	0.1000	0.0031	25.04	0.08
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.0308	22.86	0.70
0101010005	PEON	hh	1.0000	0.0308	16.34	0.50
1.28						
Materiales						
02050700020127	TUBERIA ISO 4427-HDPE DN=50MM (1 1/2")	ML		1.0200	4.83	4.93
4.93						
Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	1.28	0.04
0.04						
Subcontratos						
04000100010022	SERVICIO DE TERMOFUSION (SOLDADURA) TUBERIA HDPE DN UND 20MM A DN 800 MM. (INCL. PRUEBA DE VERIFICACION SOLDADURA)			0.0250	5.00	0.13
0.13						

Partida **01.07.04.03.08** TUBERIA ISO 4427-HDPE DN=45MM (1 1/4")

Rendimiento **ML/DIA** MO. **270.0000** EQ. **270.0000** Costo unitario directo por : ML **6.34**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0101010002	CAPATAZ	hh	0.1000	0.0030	25.04	0.08
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.0296	22.86	0.68
0101010005	PEON	hh	1.0000	0.0296	16.34	0.48
1.24						
Materiales						
02050700020142	TUBERIA ISO 4427-HDPE DN=45MM (1 1/4")	ML		1.0200	4.83	4.93
4.93						
Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	1.24	0.04
0.04						
Subcontratos						
04000100010022	SERVICIO DE TERMOFUSION (SOLDADURA) TUBERIA HDPE DN UND 20MM A DN 800 MM. (INCL. PRUEBA DE VERIFICACION SOLDADURA)			0.0250	5.00	0.13
0.13						

Análisis de precios unitarios

Presupuesto 1101015 MEJORAMIENTO Y AMPLIACION DEL SERVICIO DE AGUA DEL SISTEMA DE RIEGO TECNIFICADO EN LAS LOCALIDADES DE QUINTA PRAGA, COCHAS CHICO, VILLA SOL, DISTRITO DE CHINCHAO, PROVINCIA DE HUÁNUCO, REGION HUÁNUCO
 Subpresupuesto 008 CORNELIO YOBER SUBPROYECTI VILLASOL_T2 Fecha presupuesto 28/08/2020

Partida 01.07.04.03.09 TUBERIA ISO 4427-HDPE DN=32MM (1")

Rendimiento ML/DIA MO. 280.0000 EQ. 280.0000 Costo unitario directo por : ML 3.36

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0101010002	CAPATAZ	hh	0.1000	0.0029	25.04	0.07
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.0286	22.86	0.65
0101010005	PEON	hh	1.0000	0.0286	16.34	0.47
1.19						
Materiales						
02050700020128	TUBERIA ISO 4427-HDPE DN=32MM (1")	ML		1.0200	1.96	2.00
2.00						
Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	1.19	0.04
0.04						
Subcontratos						
04000100010022	SERVICIO DE TERMOFUSION (SOLDADURA) TUBERIA HDPE DN UND 20MM A DN 800 MM. (INCL. PRUEBA DE VERIFICACION SOLDADURA)			0.0250	5.00	0.13
0.13						

Partida 01.07.04.03.10 TUBERIA ISO 4427-HDPE DN=25MM (3/4")

Rendimiento ML/DIA MO. 300.0000 EQ. 300.0000 Costo unitario directo por : ML 2.74

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0101010002	CAPATAZ	hh	0.1000	0.0027	25.04	0.07
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.0267	22.86	0.61
0101010005	PEON	hh	1.0000	0.0267	16.34	0.44
1.12						
Materiales						
02050700020129	TUBERIA ISO 4427-HDPE DN=25MM (3/4")	ML		1.0200	1.43	1.46
1.46						
Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	1.12	0.03
0.03						
Subcontratos						
04000100010022	SERVICIO DE TERMOFUSION (SOLDADURA) TUBERIA HDPE DN UND 20MM A DN 800 MM. (INCL. PRUEBA DE VERIFICACION SOLDADURA)			0.0250	5.00	0.13
0.13						



RESOLUCIÓN VIRTUAL N°532-2023-UNHEVAL-FICA-D

Cayhuayna, 11 julio 2023

VISTO: La solicitud virtual enviada por correo, de fecha 10.JUL.2023, del Bachiller en Ingeniería civil **YOBBER ROLANDO CORNELIO FALCÓN**, pidiendo fecha y hora para sustentación de Tesis

CONSIDERANDO:

Que, con solicitud virtual enviada por correo, de fecha 10.JUL.2023 del Bachiller en Ingeniería civil **YOBBER ROLANDO CORNELIO FALCÓN**, pidiendo fecha y hora para sustentación de Tesis titulada: OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO HIDRÁULICO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE RIEGO TECNIFICADO APLICANDO ALGORITMOS GENÉTICOS: SUBPROYECTO VILLA SOL, CHINCHAO, HUÁNUCO;

Que, con Resolución Virtual N°413-2023-UNHEVAL-FICA-D, de fecha 06.JUN.2023, se designo la comisión de Revisar y Evaluar la Tesis a los docentes: PRESIDENTE: Ing. Clifton Paucar y Montenegro, SECRETARIO: Mg. Ing. Mauro Antonio Domínguez Magino, VOCAL: Mg. Ing. Elisa Raquel Quintanilla Herrera, ACCESITARIO: Mg. Ing. Luis Fernando Narro Jara, como jurados revisores de Tesis del Bachiller de Ingeniería Civil **YOBBER ROLANDO CORNELIO FALCÓN**;

Que, con INFORME N°003-2023-CPyM-DO/FICA del Ing. Clifton Paucar y Montenegro, OFICIO N°032-2023-UNHEVAL/ADOMA-DOC-FICyA, del Mg. Ing. Mauro Antonio Domínguez Magino, Carta N° 64-2023-JD-ERQH del Mg. Ing. Elisa Raquel Quintanilla Herrera, CARTA N° 003-2023-EOF/D/FICA/UNHEVAL, del asesor Mg. Ing. Ever Osorio Flores, dan la conformidad a la tesis Titulado: OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO HIDRÁULICO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE RIEGO TECNIFICADO APLICANDO ALGORITMOS GENÉTICOS: SUBPROYECTO VILLA SOL, CHINCHAO, HUÁNUCO, del Bachilleres en Ingeniería Civil **YOBBER ROLANDO CORNELIO FALCÓN**;

Que, mediante Resolución Consejo Universitario N° 3412 – 2022 – UNHEVAL, de fecha 24 de octubre del 2022 en el Capítulo IV – Título III – Tesis – Art. 44° Una vez que los miembros de Jurado de Tesis informen al Decano acerca de la suficiencia del trabajo de tesis para su sustentación, el interesado presentará una solicitud dirigida al Decano pidiendo se fije lugar, fecha y hora para el acto de sustentación...;

Estando a las atribuciones conferidas al Decano por Ley Universitaria N° 30220 y por el Estatuto de la UNHEVAL;

SE RESUELVE:

- 1° **SEÑALAR** Fecha y hora para la sustentación Presencial de la tesis titulada: OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO HIDRÁULICO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE RIEGO TECNIFICADO APLICANDO ALGORITMOS GENÉTICOS: SUBPROYECTO VILLA SOL, CHINCHAO, HUÁNUCO, de la Bachiller de Ingeniería civil **YOBBER ROLANDO CORNELIO FALCÓN**, para el **jueves 20 julio 2023 a horas 11.00 am**, en modalidad Presencial, en el Auditorio de la FICyA por los considerandos anotados.

Regístrese, comuníquese y archívese.



Victor Manuel Goicochea Vargas
DECANO



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL

En la ciudad universitaria de Cayhuayna, a los 20 días del mes de julio de 2023, siendo las 11.00 am, se dará cumplimiento a la Resolución de Decano N°413-2023-UNHEVAL-FICA-D (Designando a la Comisión de Revisión y sustentación de tesis) y la Resolución Virtual N°532-2023-UNHEVAL-FICA-D, de fecha 11.JUL.2023 (Fijando fecha y hora de sustentación de tesis), en concordancia con el Reglamento General de Grados y Títulos, en virtud de la Resolución Consejo Universitario N°3412-2022-UNHEVAL (Aprobando el procedimiento de la Sustentación de Tesis), los Miembros del Jurado van a proceder a la evaluación de la sustentación en acto público presencial de la tesis titulada: **OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO HIDRÁULICO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE RIEGO TECNIFICADO APLICANDO ALGORITMOS GENÉTICOS: SUBPROYECTO VILLA SOL, CHINCHAO, HUÁNUCO**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil del Bachiller **YOBER ROLANDO CORNELIO FALCÓN**, reuniéndose en el auditorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura, el jurado examinador integrado por los Docentes: Ing. Clifton Paucar y Montenegro PRESIDENTE – Ing. Mauro Antonio Domínguez Magino, SECRETARIO – Mg. Ing. Elisa Raquel Quintanilla Herrera, VOCAL y el bachiller mencionado, a fin de proceder con la evaluación y calificación de la sustentación de tesis y obtener el **Título Profesional de Ingeniero Civil** de la Carrera Profesional de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura.

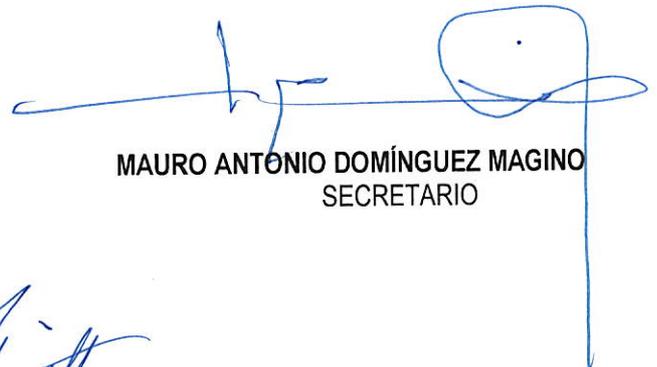
Concluido el acto de defensa los miembros de jurado, procedió a la evaluación del aspirante al Título Profesional de Ingeniero Civil, obteniendo luego el resultado siguiente:

APellidos y Nombres	DICTAMEN	NOTA	CALIFICATIVO
CORNELIO FALCÓN YOBER ROLANDO	APROBADO	18.00	MUY BUENO

Calificación que se realizó de acuerdo con la Resolución Consejo Universitario N°3412-2022-UNHEVAL -Título VII- Capítulo VI Art.78 Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán.

Dándose por finalizado dicho acto a las 01:25pm del mismo día 20/07/2023 con lo que se dio por concluido, y en fe de lo cual firmamos.


CLIFTON PAUCAR Y MONTENEGRO
 PRESIDENTE


MAURO ANTONIO DOMÍNGUEZ MAGINO
 SECRETARIO


ELISA RAQUEL QUINTANILLA HERRERA
 VOCAL



"Año de la Unidad, la Paz y el Desarrollo"

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN



DJLVG 2023

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

N°029-2023- DI/FICyA

El director de investigación de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán de Huánuco

HACE CONSTAR que:

La Tesis "**OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO HIDRÁULICO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE RIEGO TECNIFICADO APLICANDO ALGORITMOS GENÉTICOS: SUBPROYECTO VILLA SOL, CHINCHAO, HUÁNUCO**" del Bachiller **Yober Rolando Cornelio Falcón** de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Cuenta con un índice de similitud del 26 % verificable en el Reporte de Originalidad del software anti-plagio Turnitin. Luego del análisis se concluye que, cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio, por lo expuesto la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias, además de presentar un índice de similitud menor al 35% establecido en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán.

Huánuco, 18 de julio del 2023



[Handwritten signature]
.....
Dr. José Luis VILLAVICENCIO GUARDIA
Director de Investigación FICyA

DJLVG 2023

NOMBRE DEL TRABAJO

OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO HIDRÁULICO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE RIEGO TECNIFICADO APLICANDO ALGORITMOS GENÉTICOS: SUBPROYECTO VILLA SOL, CHINCHAO, HUÁNUCO

AUTOR

Yober Rolando CORNELIO FALCÓN

RECUENTO DE PALABRAS

51046 Words

RECUENTO DE CARACTERES

273776 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

292 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

28.7MB

FECHA DE ENTREGA

Jul 18, 2023 12:49 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jul 18, 2023 12:52 PM GMT-5

● **26% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos es:

- 22% Base de datos de Internet
- 9% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de Crossref
- Base de datos de contenido publicado de Crossref
- 18% Base de datos de trabajos entregados



Dr. Ing. Jose Luis Villavicencio Guardia
DIRECTOR DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
DOCENTE DE LA FICA

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DIGITAL Y DECLARACIÓN JURADA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR UN GRADO ACADÉMICO O TÍTULO PROFESIONAL

1. Autorización de Publicación: (Marque con una "X")

Pregrado	X	Segunda Especialidad		Posgrado:	Maestría		Doctorado
-----------------	----------	-----------------------------	--	------------------	----------	--	-----------

Pregrado (tal y como está registrado en **SUNEDU**)

Facultad	INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional	INGENIERIA CIVIL
Carrera Profesional	INGENIERIA CIVIL
Grado que otorga	-----
Título que otorga	INGENIERO CIVIL

Segunda especialidad (tal y como está registrado en **SUNEDU**)

Facultad	-----
Nombre del programa	-----
Título que Otorga	-----

Posgrado (tal y como está registrado en **SUNEDU**)

Nombre del Programa de estudio	-----
Grado que otorga	-----

2. Datos del Autor(es): (Ingrese todos los **datos** requeridos **completos**)

Apellidos y Nombres:	CORNELIO FALCON YOBER ROLANDO						
Tipo de Documento:	DNI		Pasaporte		C.E.		Nro. de Celular:
Nro. de Documento:	76054390				Correo Electrónico:	yober.cornelio@unheval.pe	

Apellidos y Nombres:							
Tipo de Documento:	DNI		Pasaporte		C.E.		Nro. de Celular:
Nro. de Documento:					Correo Electrónico:		

Apellidos y Nombres:							
Tipo de Documento:	DNI		Pasaporte		C.E.		Nro. de Celular:
Nro. de Documento:					Correo Electrónico:		

3. Datos del Asesor: (Ingrese todos los **datos** requeridos **completos según DNI**, no es necesario indicar el Grado Académico del Asesor)

¿El Trabajo de Investigación cuenta con un Asesor?: (marque con una "X" en el recuadro del costado, según corresponda)							SI	X	NO
Apellidos y Nombres:	OSORIO FLORES EVER				ORCID ID:	https://orcid.org/ 0000-0003-1947-1171			
Tipo de Documento:	DNI	X	Pasaporte		C.E.		Nro. de documento:	22421796	

4. Datos del Jurado calificador: (Ingrese solamente los **Apellidos y Nombres completos según DNI**, no es necesario indicar el Grado Académico del Jurado)

Presidente:	PAUCAR Y MONTENEGRO CLIFTON
Secretario:	DOMÍNGUEZ MAGINO MAURO ANTONIO
Vocal:	QUINTANILLA HERRERA ELISA RAQUEL
Vocal:	
Vocal:	
Accesitario	ASCENCIO CÓNDOR JESÚS FRANCISCO

5. Declaración Jurada: (Ingrese todos los **datos** requeridos **completos**)

a) Soy Autor (a) (es) del Trabajo de Investigación Titulado: (Ingrese el título tal y como está registrado en el Acta de Sustentación)
OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO HIDRÁULICO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE RIEGO TECNIFICADO APLICANDO ALGORITMOS GENÉTICOS: SUBPROYECTO VILLA SOL, CHINCHAO, HUÁNUCO, 2022.
b) El Trabajo de Investigación fue sustentado para optar el Grado Académico ó Título Profesional de: (tal y como está registrado en SUNEDU)
TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL
c) El Trabajo de investigación no contiene plagio (ninguna frase completa o párrafo del documento corresponde a otro autor sin haber sido citado previamente), ni total ni parcial, para lo cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias.
d) El trabajo de investigación presentado no atenta contra derechos de terceros.
e) El trabajo de investigación no ha sido publicado, ni presentado anteriormente para obtener algún Grado Académico o Título profesional.
f) Los datos presentados en los resultados (tablas, gráficos, textos) no han sido falsificados, ni presentados sin citar la fuente.
g) Los archivos digitales que entrego contienen la versión final del documento sustentado y aprobado por el jurado.
h) Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a la Universidad Nacional Hermilio Valdizan (en adelante LA UNIVERSIDAD), cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido del Trabajo de Investigación, así como por los derechos de la obra y/o invención presentada. En consecuencia, me hago responsable frente a LA UNIVERSIDAD y frente a terceros de cualquier daño que pudiera ocasionar a LA UNIVERSIDAD o a terceros, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar causas en la tesis presentada, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello. Asimismo, por la presente me comprometo a asumir además todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse para LA UNIVERSIDAD en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontraren causa en el contenido del trabajo de investigación. De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Nacional Hermilio Valdizan.

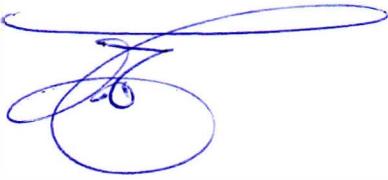
6. Datos del Documento Digital a Publicar: (Ingrese todos los **datos** requeridos **completos**)

Ingrese solo el año en el que sustentó su Trabajo de Investigación: (Verifique la Información en el Acta de Sustentación)			2023			
Modalidad de obtención del Grado Académico o Título Profesional: (Marque con X según Ley Universitaria con la que inició sus estudios)	Tesis	<input checked="" type="checkbox"/>	Tesis Formato Artículo	<input type="checkbox"/>	Tesis Formato Patente de Invención	<input type="checkbox"/>
	Trabajo de Investigación	<input type="checkbox"/>	Trabajo de Suficiencia Profesional	<input type="checkbox"/>	Tesis Formato Libro, revisado por Pares Externos	<input type="checkbox"/>
	Trabajo Académico	<input type="checkbox"/>	Otros (especifique modalidad)	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Palabras Clave: (solo se requieren 3 palabras)	OPTIMIZACIÓN		COSTOS		CONFIABILIDAD	
Tipo de Acceso: (Marque con X según corresponda)	Acceso Abierto	<input checked="" type="checkbox"/>	Condición Cerrada (*)	<input type="checkbox"/>		
	Con Periodo de Embargo (*)	<input type="checkbox"/>	Fecha de Fin de Embargo:			
¿El Trabajo de Investigación, fue realizado en el marco de una Agencia Patrocinadora? (ya sea por financiamientos de proyectos, esquema financiero, beca, subvención u otras; marcar con una "X" en el recuadro del costado según corresponda):					SI	NO <input checked="" type="checkbox"/>
Información de la Agencia Patrocinadora:						

El trabajo de investigación en digital y físico tienen los mismos registros del presente documento como son: Denominación del programa Académico, Denominación del Grado Académico o Título profesional, Nombres y Apellidos del autor, Asesor y Jurado calificador tal y como figura en el Documento de Identidad, Título completo del Trabajo de Investigación y Modalidad de Obtención del Grado Académico o Título Profesional según la Ley Universitaria con la que se inició los estudios.

7. Autorización de Publicación Digital:

A través de la presente. Autorizo de manera gratuita a la Universidad Nacional Hermilio Valdizán a publicar la versión electrónica de este Trabajo de Investigación en su Biblioteca Virtual, Portal Web, Repositorio Institucional y Base de Datos académica, por plazo indefinido, consintiendo que con dicha autorización cualquier tercero podrá acceder a dichas páginas de manera gratuita pudiendo revisarla, imprimirla o grabarla siempre y cuando se respete la autoría y sea citada correctamente. Se autoriza cambiar el contenido de forma, más no de fondo, para propósitos de estandarización de formatos, como también establecer los metadatos correspondientes.

Firma: 		
Apellidos y Nombres:	CORNELIO FALCON YOBER ROLANDO	Huella Digital
DNI:	76054390	
Firma:		
Apellidos y Nombres:		Huella Digital
DNI:		
Firma:		
Apellidos y Nombres:		Huella Digital
DNI:		
Fecha: 25/07/2023		

Nota:

- ✓ No modificar los textos preestablecidos, conservar la estructura del documento.
- ✓ Marque con una **X** en el recuadro que corresponde.
- ✓ Llenar este formato de forma digital, con tipo de letra **calibrí**, **tamaño de fuente 09**, manteniendo la alineación del texto que observa en el modelo, sin errores gramaticales (*recuerde las mayúsculas también se tildan si corresponde*).
- ✓ La información que escriba en este formato debe coincidir con la información registrada en los demás archivos y/o formatos que presente, tales como: DNI, Acta de Sustentación, Trabajo de Investigación (PDF) y Declaración Jurada.
- ✓ Cada uno de los datos requeridos en este formato, es de carácter obligatorio según corresponda.