UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

(Creada por Ley Nº 25265)

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS CIVIL AMBIENTAL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL - LIRCAY

TESIS:

"DISEÑO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN EN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA UTILIZANDO MÉTODOS RACIONALES COMPLEJOS E INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA LOCALIDAD DE CALLQUI GRANDE - HUANCAVELICA"

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA, SANEAMIENTO Y MEDIO AMBIENTE

PRESENTADO POR:

BACH. SOTO GABRIEL, JHOANS MELCHOR

BACH. JURADO PARI, VÍCTOR

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

HUANCAVELICA – PERU

2021

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

(Creada por Ley N ° 25265)

FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS CIVIL AMBIENTAL

AV. CENTENARIO N°1200 TELÉF. 952847104
LICENCIADA BAJO RESOLUCIÓN N° 086-2019-SUNEDU/CD

ACTA DE SUSTENTACIÓN

EN LA CIUDAD DE LIRCAY DEL DIA 14 DE ENERO DEL 2021, SIENDO LAS 03:00 P.M; EN CUMPLIMIENTO A LA ***DIRECTIVA N° 001-VRAC-UNH****, APROBADO CON* ***RESOLUCIÓN N° 355-2020-CU-UNH (20/07/2020)****, MEDIANTE LA PLATAFORMA VIRTUAL MEET SE REUNIERON LOS MIEMBROS DEL JURADO DESIGNADO* CON RESOLUCION **N° 123- 2020 – FIMCA – UNH (03/12/2020)** CONFORMADO EN LA SIGUIENTE MANERA:

PRESIDENTE : ING. ENRIQUE RIGOBERTO CAMAC OJEDA
SECRETARIO : ING. URIEL NEIRA CALSIN
VOCAL : ING. ANDRES ZOSIMO ÑAHUI GASPAR

Y EN CUMPLIMIENTO A LA RESOLUCIÓN DE CONSEJO DE FACULTAD VIRTUAL N° 003-2021-FIMCA-UNH, DE HORA Y FECHA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS TITULADO: **"DISEÑO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN EN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA UTILIZANDO MÉTODOS RACIONALES COMPLEJOS E INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA LOCALIDAD DE CALLQUI GRANDE -HUANCAVELICA"**
CUYO AUTORES (EL) (LOS) GRADUADOS (S):

BACHILLER (S):

SOTO GABRIEL JHOANS MELCHOR
JURADO PARI VICTOR

A FIN DE PROCEDER CON LA SUSTENTACION DE LA TESIS FINAL DE INVESTIGACION CIENTIFICA

ACTO SEGUIDO SE INVITA A LOS SUSTENTANTES Y PÚBLICO EN GENERAL ABANDONAR LA PLATAFORMA DEL MEET POR UNOS MINUTOS PARA LA **DELIBERACIÓN DE LOS RESULTADOS**; LUEGO SE INVITÓ A PASAR NUEVAMENTE AL LA PLATAFORMA DEL MEET A LOS SUSTENTANTES Y PÚBLICO EN GENERAL, EN LA QUE SE DA EL RESULTADO SIENDO **APROBADO POR MAYORÍA,** CULMINANDO A LAS 05:29 P.M.

BACHILLER: SOTO GABRIEL JHOANS MELCHOR

MIEMBROS:	RESULTADO FINAL:
PRESIDENTE	APROBADO POR MAYORÍA
SECRETARIO	
VOCAL	

BACHILLER: JURADO PARI VICTOR

MIEMBROS:	RESULTADO FINAL:
PRESIDENTE	APROBADO POR MAYORÍA
SECRETARIO	
VOCAL	

EN CONFORMIDAD A LO ACTUADO FIRMAMOS AL PIE DEL PRESENTE.

Presidente
ING. ENRIQUE RIGOBERTO CAMAC OJEDA

Secretario
ING. URIEL NEIRA CALSIN

Vocal
ING. ANDRES ZOSIMO ÑAHUI GASPAR

Sustentante
SOTO GABRIEL JHOANS MELCHOR

Sustentante
JURADO PARI VICTOR

TITULO:

“DISEÑO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN EN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA UTILIZANDO MÉTODOS RACIONALES COMPLEJOS E INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA LOCALIDAD DE CALLQUI GRANDE-HUANCAVELICA”

AUTORES:

BACH. JHOANS MELCHOR SOTO GABRIEL

BACH. VICTOR JURADO PARI

ASESOR:

ARQ. HUGO CAMILO SALAS TOCASCA

DEDICATORIA

A mis padres por brindarme su apoyo incondicional y continuo a lo largo de mi formación profesional, a todos mis familiares y amistades por los consejos y ánimos, a todos ellos un agradecimiento eterno.

Jhoans Melchor Soto Gabriel

A Dios por darme la sabiduría, inteligencia y salud para seguir adelante.

A mis Padres, Hermanos y Amigos por su apoyo y confianza en todo lo necesario y estar siempre presentes acompañándome para cumplir mis objetivos.

Victor Jurado Pari

ÍNDICE

Pág.

PORTADA i
ACTA DE SUSTENTACIÓN ii
TITULO iii
AUTORES iv
ASESOR v
DEDICATORIA vi
ÍNDICE vii
ÍNDICE DE TABLAS x
ÍNDICE DE FIGURAS xvi
RESUMEN xviii
ABSTRACT xx
INTRODUCCIÓN xxii

CAPITULO I

EL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 23
1.1.1. DESCRIPCIÓN 23
1.1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 24
1.2. OBJETIVOS 24
1.2.1. OBJETIVO GENERAL 24
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 24
1.3. JUSTIFICACIÓN 25

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES 27
2.1.1. A NIVEL INTERNACIONAL 27
2.1.2. A NIVEL NACIONAL 37
2.1.3. A NIVEL LOCAL 43

2.2. BASES TEÓRICAS: 44
2.2.1. SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA 44
2.2.2. ANÁLISIS DE REDES DE TUBERÍAS 45
2.2.3. METODO DE HARDY CROSS 49
2.2.4. MÉTODO DE GRADIENTE HIDRAULICO 53
2.2.5. MÉTODO DEL ALGORITMO GENÉTICO 59
2.2.6. CONEXIÓN PREDIAL 65
2.3. BASES CONCEPTUALES 66
2.3.1. DISPOSICIONES ESPECÍFICAS PARA DISEÑO DE RED DE DISTRIBUCIÓN 66
2.4. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS: 71
2.5. HIPÓTESIS 72
2.5.1. HIPÓTESIS GENERAL 72
2.5.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICOS 73
2.6. VARIABLES 73
2.7. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLE 74

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ÁMBITO TEMPORAL Y ESPACIAL 75
3.1.1. ÁMBITO TEMPORAL 75
3.1.2. ÁMBITO ESPACIAL 75
3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN 78
3.3. NIVEL DE INVESTIGACIÓN 79
3.4. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO 79
3.4.1. POBLACIÓN 79
3.4.2. MUESTRA 79
3.4.3. MUESTREO 79
3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS 80
3.5.1. TÉCNICAS 80
3.5.2. INSTRUMENTOS 81
3.6. TÉCNICAS Y PROCESAMIENTO DE ANÁLISIS DE DATOS 83

CAPITULO IV

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN 84

4.1.1. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO 84

4.1.2. ANÁLISIS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN POR EL METODO DE HARDY CROSS 92

4.1.3. ANÁLISIS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN POR EL MÉTODO DE GRADIENTE HIDRAULICO 129

4.1.4. ANÁLISIS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN POR EL MÉTODO DEL ALGORITMO GENÉTICO 165

4.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS 202

4.2.1. PRUEBA DE HÍPOTESIS ESPECÍFICA 203

4.2.1.1. MÉTODO DE HARDY CROSS 203

4.2.1.2. METODO DE GRADIENTE HIDRAULICO 206

4.2.1.3. MÉTODO DEL ALGORITMO GENÉTICO 210

4.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS 214

4.3.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL DISEÑO UTILIZANDO EL MÉTODO DE HARDY CROSS 214

4.3.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL DISEÑO UTILIZANDO EL MÉTODO DE GRADIENTE HIDRAULICO 217

4.3.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL DISEÑO UTILIZANDO EL MÉTODO DEL ALGORITMO GENÉTICO 220

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBILOGRAFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: *Coeficientes de fricción "C" en la fórmula de Hazen y Williams* *68*
Tabla 2: *Tabla de operacionalización de variables* *74*
Tabla 3 : *disposición de tuberías* *94*
Tabla 4 : *condiciones de nodos* *95*
Tabla 5: *Suposición de cabezas de presión* *96*
Tabla 6: *Corrección de cabeza en el nodo 2* *97*
Tabla 7: *Corrección de cabeza en el nodo 3* *98*
Tabla 8: *Corrección de cabeza en el nodo 4* *98*
Tabla 9: *Corrección de cabeza en el nodo 5* *98*
Tabla 10: *Corrección de cabeza en el nodo 6* *98*
Tabla 11: *Corrección de cabeza en el nodo 7* *98*
Tabla 12: *Corrección de cabeza en el nodo 8* *99*
Tabla 13: *Corrección de cabeza en el nodo 9* *99*
Tabla 14: *Corrección de cabeza en el nodo 10* *99*
Tabla 15: *Corrección de cabeza en el nodo 11* *99*
Tabla 16: *Corrección de cabeza en el nodo 12* *99*
Tabla 17: *Corrección de cabeza en el nodo 13* *100*
Tabla 18: *Corrección de cabeza en el nodo 14* *100*
Tabla 19: *Corrección de cabeza en el nodo 15* *100*
Tabla 20: *Corrección de cabeza en el nodo 16* *100*
Tabla 21: *Corrección de cabeza en el nodo 17* *100*
Tabla 22: *Corrección de cabeza en el nodo 18* *101*
Tabla 23: *Corrección de cabeza en el nodo 19* *101*
Tabla 24:*: Corrección de cabeza en el nodo 20* *101*
Tabla 25: *Corrección de cabeza en el nodo 21* *101*
Tabla 26: *Corrección de cabeza en el nodo 22* *101*
Tabla 27: *Corrección de cabeza en el nodo 23* *102*
Tabla 28: *Corrección de cabeza en el nodo 24* *102*
Tabla 29: *Corrección de cabeza en el nodo 25* *102*
Tabla 30: *Corrección de cabeza en el nodo 26* *102*

Tabla 31: *Corrección de cabeza en el nodo 27* *102*
Tabla 32: *Corrección de cabeza en el nodo 28* *103*
Tabla 33: *Corrección de cabeza en el nodo 29* *103*
Tabla 34: *Corrección de cabeza en el nodo 30* *103*
Tabla 35: *Corrección de cabeza en el nodo 31* *103*
Tabla 36: *Corrección de cabeza en el nodo 2* *104*
Tabla 37: *Corrección de cabeza en el nodo 3* *104*
Tabla 38: *Corrección de cabeza en el nodo 4* *104*
Tabla 39: *Corrección de cabeza en el nodo 5* *104*
Tabla 40: *Corrección de cabeza en el nodo 6* *104*
Tabla 41: *Corrección de cabeza en el nodo 7* *105*
Tabla 42: *Corrección de cabeza en el nodo 8* *105*
Tabla 43: *Corrección de cabeza en el nodo 9* *105*
Tabla 44: *Corrección de cabeza en el nodo 10* *105*
Tabla 45: *Corrección de cabeza en el nodo 11* *105*
Tabla 46: *Corrección de cabeza en el nodo 12* *106*
Tabla 47: *Corrección de cabeza en el nodo 13* *106*
Tabla 48: *Corrección de cabeza en el nodo 14* *106*
Tabla 49: *Corrección de cabeza en el nodo 15* *106*
Tabla 50: *Corrección de cabeza en el nodo 16* *106*
Tabla 51: *Corrección de cabeza en el nodo 17* *107*
Tabla 52: *Corrección de cabeza en el nodo 18* *107*
Tabla 53: *Corrección de cabeza en el nodo 19* *107*
Tabla 54: *Corrección de cabeza en el nodo 20* *107*
Tabla 55: *Corrección de cabeza en el nodo 21* *107*
Tabla 56: *Corrección de cabeza en el nodo 22* *108*
Tabla 57: *Corrección de cabeza en el nodo 23* *108*
Tabla 58: *Corrección de cabeza en el nodo 24* *108*
Tabla 59: *Corrección de cabeza en el nodo 25* *108*
Tabla 60: *Corrección de cabeza en el nodo 26* *109*
Tabla 61: *Corrección de cabeza en el nodo 27* *109*
Tabla 62: *Corrección de cabeza en el nodo 28* *109*

Tabla 63: *Corrección de cabeza en el nodo 29* *109*
Tabla 64: *Corrección de cabeza en el nodo 30* *109*
Tabla 65: *Corrección de cabeza en el nodo 31* *110*
Tabla 66: *Corrección de cabeza en el nodo 2* *110*
Tabla 67: *Corrección de cabeza en el nodo 3* *110*
Tabla 68: *Corrección de cabeza en el nodo 4* *110*
Tabla 69: *Corrección de cabeza en el nodo 5* *111*
Tabla 70: *Corrección de cabeza en el nodo 6* *111*
Tabla 71: *Corrección de cabeza en el nodo 7* *111*
Tabla 72: *Corrección de cabeza en el nodo 8* *111*
Tabla 73: *Corrección de cabeza en el nodo 9* *111*
Tabla 74: *Corrección de cabeza en el nodo 10* *112*
Tabla 75: *Corrección de cabeza en el nodo 11* *112*
Tabla 76: *Corrección de cabeza en el nodo 12* *112*
Tabla 77: *Corrección de cabeza en el nodo 13* *112*
Tabla 78: *Corrección de cabeza en el nodo 14* *112*
Tabla 79: *Corrección de cabeza en el nodo 15* *113*
Tabla 80: *Corrección de cabeza en el nodo 16* *113*
Tabla 81: *Corrección de cabeza en el nodo 17* *113*
Tabla 82: *Corrección de cabeza en el nodo 18* *113*
Tabla 83: *Corrección de cabeza en el nodo 19* *113*
Tabla 84: *Corrección de cabeza en el nodo 20* *114*
Tabla 85: *Corrección de cabeza en el nodo 21* *114*
Tabla 86: *Corrección de cabeza en el nodo 22* *114*
Tabla 87: *Corrección de cabeza en el nodo 23* *114*
Tabla 88: *Corrección de cabeza en el nodo 24* *114*
Tabla 89: *Corrección de cabeza en el nodo 25* *115*
Tabla 90: *Corrección de cabeza en el nodo 26* *115*
Tabla 91: *Corrección de cabeza en el nodo 27* *115*
Tabla 92: *Corrección de cabeza en el nodo 28* *115*
Tabla 93: *Corrección de cabeza en el nodo 29* *115*
Tabla 94: *Corrección de cabeza en el nodo 30* *116*

Tabla 95: *Corrección de cabeza en el nodo 31* *116*
Tabla 96: *Corrección de cabeza en el nodo 2* *116*
Tabla 97: *Corrección de cabeza en el nodo 3* *116*
Tabla 98: *Corrección de cabeza en el nodo 4* *117*
Tabla 99: *Corrección de cabeza en el nodo 5* *117*
Tabla 100: *Corrección de cabeza en el nodo 6* *117*
Tabla 101: *Corrección de cabeza en el nodo 7* *117*
Tabla 102: *Corrección de cabeza en el nodo 8* *117*
Tabla 103: *Corrección de cabeza en el nodo 9* *118*
Tabla 104: *Corrección de cabeza en el nodo 10* *118*
Tabla 105: *Corrección de cabeza en el nodo 11* *118*
Tabla 106: *Corrección de cabeza en el nodo 12* *118*
Tabla 107: *Corrección de cabeza en el nodo 13* *118*
Tabla 108: *Corrección de cabeza en el nodo 14* *119*
Tabla 109: *Corrección de cabeza en el nodo 15* *119*
Tabla 110: *Corrección de cabeza en el nodo 16* *119*
Tabla 111: *Corrección de cabeza en el nodo 17* *119*
Tabla 112: *Corrección de cabeza en el nodo 18* *119*
Tabla 113: *Corrección de cabeza en el nodo 19* *120*
Tabla 114: *Corrección de cabeza en el nodo 20* *120*
Tabla 115: *Corrección de cabeza en el nodo 21* *120*
Tabla 116: *Corrección de cabeza en el nodo 22* *120*
Tabla 117: *Corrección de cabeza en el nodo 23* *120*
Tabla 118: *Corrección de cabeza en el nodo 24* *121*
Tabla 119: *Corrección de cabeza en el nodo 25* *121*
Tabla 120: *Corrección de cabeza en el nodo 26* *121*
Tabla 121: *Corrección de cabeza en el nodo 27* *121*
Tabla 122: *Corrección de cabeza en el nodo 28* *121*
Tabla 123: *Corrección de cabeza en el nodo 29* *122*
Tabla 124: *Corrección de cabeza en el nodo 30* *122*
Tabla 125: *Corrección de cabeza en el nodo 31* *122*
Tabla 126: *Diámetro de cada tubería* *123*

Tabla 127: *presiones en los nodos 124*
Tabla 128: *velocidad en cada tubería 126*
Tabla 129: *caudal en cada tubería 128*
Tabla 130 : *Resultados de presiones en cada nodo de iteración N° 01. ..... 134*
Tabla 131 : *Resultados de velocidades en cada tubería de iteración N° 01. ..... 135*
Tabla 132 : *Resultados presiones en cada nodo de iteración N° 02. ..... 138*
Tabla 133 : *Resultados velocidad en cada tubería de iteración N° 02. ..... 139*
Tabla 134 : *Resultados presiones en cada nodo de iteración N° 45. ..... 142*
Tabla 135 : *Resultados velocidad en cada tubería de iteración N° 45. ..... 143*
Tabla 136 : *Resultados presiones en cada nodo de iteración N° 46. ..... 146*
Tabla 137 : *Resultados velocidad en cada tubería de iteración N° 46. ..... 147*
Tabla 138 : *Resultados presiones en cada nodo de iteración N° 47 ..... 150*
Tabla 139 : *Resultados velocidad en cada tubería de iteración N° 47. ..... 151*
Tabla 140 : *Resultados presiones en cada nodo de iteración N° 48. ..... 154*
Tabla 141 : *Resultados velocidad en cada tubería de iteración N° 48. ..... 155*
Tabla 142 : *Resultados presiones en cada nodo de iteración N° 49. ..... 158*
Tabla 143 : *Resultados velocidad en cada tubería de iteración N° 49. ..... 159*
Tabla 144 : *Resultados presiones en cada nodo de iteración N° 50. ..... 162*
Tabla 145 : *Resultados velocidad en cada tubería de iteración N° 50. ..... 163*
Tabla 146: *presiones simuladas en función del costo, resultado 01. ..... 171*
Tabla 147: *Presiones simuladas del resultado 01 ..... 172*
Tabla 148: *Velocidades simuladas del resultado 01 ..... 173*
Tabla 149: *Presiones simuladas en función del costo, resultado 02 ` 174*
Tabla 150: *Presiones simuladas del resultado 02 ..... 175*
Tabla 151: *Velocidades simuladas del resultado 02 ..... 176*
Tabla 152: *presiones simuladas en función al costo, resultado 03. ..... 177*
Tabla 153: *Presiones simuladas del resultado 03 ..... 178*
Tabla 154: *Velocidades simuladas del resultado 03 ..... 179*
Tabla 155: *Presiones simuladas en función al costo, resultado 04. ..... 180*
Tabla 156: *Presiones simuladas del resultado 04 ..... 181*
Tabla 157: *Velocidades simuladas del resultado 04 ..... 182*
Tabla 158: *Presiones simuladas en función al costo, resultado 05 ..... 183*

Tabla 159: *Presiones simuladas del resultado 05* *184*
Tabla 160: *Velocidades simuladas del resultado 05* *185*
Tabla 161: *Presiones simuladas en función al costo, resultado 06.* *186*
Tabla 162: *presiones simuladas del resultado 06.* *187*
Tabla 163: *velocidades simuladas del resultado 06.* *188*
Tabla 164: *presiones simuladas en función al costo, resultado 07.* *189*
Tabla 165: *presiones simuladas del resultado 07.* *190*
Tabla 166: *Velocidades simuladas del resultado 07* *191*
Tabla 167: *Presiones simuladas en función al costo, resultado 08.* *192*
Tabla 168: *presiones simuladas del resultado 08.* *193*
Tabla 169: *velocidades simuladas del resultado 08.* *194*
Tabla 170: *presiones simuladas en función al costo, resultado 09.* *195*
Tabla 171: *Presiones simuladas del resultado 09.* *196*
Tabla 172: *Velocidades simuladas del resultado 09.* *197*
Tabla 173: *Presiones simuladas en función al costo, resultado 10* *198*
Tabla 174: *Presiones simuladas del resultado 10.* *199*
Tabla 175: *velocidades simuladas del resultado 10.* *200*
Tabla 176: *Resultados – Tabla y gráfica de objetivos de los pobladores de la malla.* *201*
Tabla 177: *Tratamiento de resultados Hardy Cross* *203*
Tabla 178: *resultados del análisis estadístico WILCOXON* *205*
Tabla 179: *Tratamiento de resultados Gradiente Hidráulico* *207*
Tabla 180: *resultados del análisis estadístico WILCOXON* *209*
Tabla 181: *Tratamiento de resultados Inteligencia artificial* *211*
Tabla 182: *resultados del análisis estadístico WILCOXON* *213*
Tabla 183: *resultados del cálculo Hardy Cross* *215*
Tabla 184 : *resultados del cálculo Gradiente Hidráulico* *218*
Tabla 185 : *resultados del cálculo Inteligencia Artificial* *220*

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: *partes que constan un sistema de abastecimiento de agua. 45*
Figura 2: *red cerrada, caudales consumidos en los nodos, caudales de alimentación a la red." 47*
Figura 3: *Intercambio de información genética entre dos individuos en RDA. 62*
Figura 4: *Mutación modificada al azar parte del cromosoma de los individuos en RDA. 63*
Figura 5: *Imagen de proceso de selección simulada en algoritmo genético. 64*
Figura 6: *Ciclo del algoritmo genético en RDA: selección, cruzamiento, mutación, evaluación. 64*
Figura 7: *Esquema sistema de distribución con tuberías 65*
Figura 8: *Esquema de Macro localización de Callqui Grande 76*
Figura 9: *Esquema de Micro localización de Callqui Grande 77*
Figura 10 : *Cálculo de población futura método aritmético 85*
Figura 11 : *Cálculo de población futura método geométrico 85*
Figura 12 : *Análisis del resultado óptimo de población futura. 86*
Figura 13 : *Tablas de parámetros de diseño para demanda de agua potable. 87*
Figura 14 : *Resultados de cálculo del caudal de demanda. 89*
Figura 15 : *Tabla de áreas para diseño de caudal en cada nodo. 90*
Figura 16 : *Tabla de resultados del caudal de demanda en cada nodo. 91*
Figura 17 *: Esquema topográfico de Callqui Grande. 92*
Figura 18 *: esquema de la red de distribución 93*
Figura 19*: Presiones en cada nodo 125*
Figura 20: *Velocidades en cada tubería 127*
Figura 21*: referencia de variables de gradiente hidráulico. 129*
Figura 22*: Tabla de características de tuberías y cota piezométrica. 130*
Figura 23*: Presion en cada nodo (método de Gradiente Hidráulico). 164*
Figura 24*: Velocidad en cada tubería (método de Gradiente Hidráulico) 164*
Figura 25*: Pantalla de Inicio del software – WATERGEMS V10.01.01.04 ..... 166*
Figura 26*: Configuración de unidades. 166*
Figura 27*: ingreso de grafico Background Layers. 167*

***Figura 28**: ingreso de caudal de demanda en Nodos* *167*
***Figura 29**: Cotas en cada nodo* *168*
***Figura 30**: parámetros de Darwin Designer* *168*
***Figura 31**: Propiedades y costos de tuberías.* *169*
***Figura 32**: Parámetros de algoritmos genéticos.* *169*
***Figura 33**: Previo cálculo de optimización de diseño por algoritmos genéticos.* *170*
***Figura 34**: resultado del cálculo de presiones optimas con AG.* *170*
***Figura 35:** Longitud en función al diámetro, resultado 01.* *172*
***Figura 36**: Longitud en función al diámetro, resultado 02.* *175*
***Figura 37**: Longitud en función al diámetro, resultado 03.* *178*
***Figura 38**: Longitud en función al diámetro, resultado 04.* *181*
***Figura 39**: Longitud en función al diámetro, resultado 05.* *184*
***Figura 40**: Longitud en función al diámetro, resultado 06.* *187*
***Figura 41**: Longitud en función al diámetro, resultado 07.* *190*
***Figura 42**: Longitud en función al diámetro, resultado 08.* *193*
***Figura 43**: Longitud en función al diámetro, resultado 09.* *196*
***Figura 44**: Longitud en función al diámetro, resultado 10.* *199*
***Figura 4**5: Presiones en cada nodo* *216*
***Figura 46:** Velocidades en cada tubería* *217*
***Figura 47:** Presiones en cada nodo* *219*
***Figura 48:** Velocidades en cada tubería* *219*

RESUMEN

El presente proyecto de investigación está enfocado en uno de los problemas de la hidráulica, específicamente el diseño de redes de distribución en sistemas de abastecimiento de agua potable, su importancia radica en la necesidad de una población agrupada de contar con el recurso hídrico para consumo humano. Además, en nuestro país existe una gran población que no tiene acceso y suministro adecuado al agua de calidad originándose una brecha considerable, por lo que vemos de suma importancia el estudio de las metodologías de cálculo para el diseño de redes de distribución como parte del sistema de abastecimiento, para obtener un esquema hidráulico optimo y funcional en las prestaciones del servicio de agua.

Para ello realizamos el diseño del sistema de abastecimiento de agua para la localidad de Callqui Grande del distrito de Ascensión, provincia de Huancavelica y departamento de Huancavelica; utilizando metodologías tradicionales basados en conceptos matemáticos que a la fecha viene utilizándose para la simulación y/o diseño los cuales para la presente investigación tomaremos como metodología de cálculo el método de Hardy Cross y el Método de Gradiente Hidráulico, estas metodologías en términos matemáticos son complejos a media que se incremente el número de variables a analizar y tendremos que realizar un número considerable de iteraciones y ciclos de corrección hasta llegar a un resultado óptimo, lo que hace laborioso el procedimiento.

Además, se viene impulsando al desarrollo de nuevos métodos de cálculo para el diseño de redes de distribución de agua, en tal sentido consideramos para la presente investigación analizar el uso de los algoritmos genéticos que es una técnica de la inteligencia artificial, como alternativa para el diseño de redes de distribución de agua. Esta técnica de inteligencias artificial junto a otras, viene ganando importancia como alternativa para el diseño, con un objetivo tradicional como es la precisión del cálculo y optimización, obteniéndose resultados alentadores además de las bondades que ofrece ya que no es necesario suponer o asumir valores iterativos, influyendo considerablemente en el tiempo que se tiene que invertir para obtener un diseño óptimo.

Estas metodologías fueron implementándose a lo largo de la línea de tiempo cada una de ellas con su particularidad, siendo todas validas como alternativa de cálculo con un criterio y juicio para resolver de manera adecuada los problemas que se pueda presentar según peculiaridad de cada sistema de distribución de agua.

Como resultado obtendremos un análisis de la influencia de las metodologías de cálculo como son el método de Hardy Cross, Gradiente Hidráulico y algoritmo genéticos, en el diseño en redes de distribución de agua.

Palabras Claves: redes de distribución de agua, diseño, influencia, Hardy Cross, Gradiente Hidráulico, Algoritmo Genético.

ABSTRACT

This research project is focused on one of the problems of hydraulics, specifically the design of distribution networks in drinking water supply systems, its importance lies in the need of a grouped population to have water resources for human consumption. In addition, in our country there is a large population that does not have access and adequate supply to quality water, causing a considerable gap, which is why we see the study of calculation methodologies for the design of distribution networks as part of the system of utmost importance. supply, to obtain an optimal and functional hydraulic scheme in the provision of the water service.

To do so, we designed the water supply system for the town of Callqui Grande in the Ascensión district, Huancavelica province and Huancavelica department; Using traditional methodologies based on mathematical concepts that to date have been used for simulation and / or design, which for this research we will take the Hardy Cross method and the Hydraulic Gradient Method as calculation methodology, these methodologies in mathematical terms are complex as the number of variables to be analyzed increases and we will have to carry out a considerable number of iterations and correction cycles until we reach an optimal result, which makes the procedure laborious.

In addition, the development of new calculation methods for the design of water distribution networks has been promoted, in this sense we consider for this research to analyze the use of genetic algorithms, which is an artificial intelligence technique, as an alternative for the design of water distribution networks. This artificial intelligence technique, along with others, has been gaining importance as an alternative for design, with a traditional objective such as the precision of calculation and optimization, obtaining encouraging results in addition to the benefits it offers since it is not necessary to assume or assume iterative values , considerably influencing the time that has to be invested to obtain an optimal design.

These methodologies were implemented along the time line, each one with its particularity, all being valid as a calculation alternative with a criterion and judgment

to adequately solve the problems that may arise according to the peculiarity of each distribution system. of water.

As a result, we will obtain an analysis of the influence of calculation methodologies such as the Hardy Cross method, Hydraulic Gradient and genetic algorithms, on the design of water distribution networks.

Keywords: water distribution networks, design, influence, Hardy Cross, Hydraulic Gradient, Genetic Algorithm.

INTRODUCCIÓN

El suministro de agua potable para una población urbana que está en crecimiento, así como para los centros poblados que se desarrollan en las áreas semi - urbanas, actualmente es una preocupación y conforme aumenta la población se crean nuevas necesidades y hacen que el consumo de agua sea cada vez mayor, por eso se debe proyectar el suministro hacia el futuro teniendo en consideración un diseño optimo que cumpla con los requerimientos y la normativa vigente.

El diseño de las redes de distribución de agua permanece como un problema que no se ha resuelto de una manera eficiente debido a su complejidad, sin embargo, su utilidad y beneficios lo mantienen como uno de los problemas más importantes dentro de la hidráulica.

En la práctica el empleo de redes de distribución cerrada a presión es común en nuestro entorno y su demanda cada vez mayor, diseñar estas redes es de gran importancia, pues ofrece una ventaja técnica y un análisis matemático previo, que nos proporciona una idea del funcionamiento a futuro del sistema además del costo por construcción.

Los métodos más utilizados en el análisis y diseño de redes obedecen a; en primer lugar, los métodos más modernos en los más antiguos, los cuales en términos matemáticos son más sencillos pero un mayor número de iteraciones para llegar a un resultado final. La necesidad de disminuir los tiempos de análisis en computador, aspecto importante en las décadas de 1970 y 1980, impulso al desarrollo de nuevos métodos. En segundo lugar, en el mercado existen programas comerciales basados en diferentes métodos de análisis. Por consiguiente, es importante que los ingenieros encargados del diseño, construcción y operación de redes de agua conozcan la base matemática de los programas a su alcance.

En consecuencia, se deberá analizar y evaluar la influencia del cálculo y diseño de redes de distribución en sistemas de abastecimiento de agua, por los métodos racionales complejos usados en la actualidad y metodologías de inteligencia artificial que han venido ganado protagonismo en estos últimos años.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1. DESCRIPCIÓN

Para el presente proyecto de investigación se tomará como área de estudio la localidad de Callqui Grande del distrito de Ascensión provincia y región de Huancavelica, así mismo se ha identificado que la población no cuenta con un buen servicio de agua potable, por diferentes motivos que a su vez engloban la línea de conducción, reservorio, líneas de aducción, entre otros. hecho que se refleja en que las viviendas tienen pocas horas de dotación del servicio, por lo que se pretende recalcular con mayor precisión los diámetros del sistema de abastecimiento de agua potable, y evaluar el comportamiento de presiones y velocidades óptimas del sistema hidráulico ,así aumentar la serviciabilidad a la población; para ello se analizará la influencia de usar métodos racionales e inteligencia artificial en el diseño de las redes, todo ello con el fin de optimizar, mejorar el servicio y la calidad de vida de la población.

1.1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

a. PROBLEMA GENERAL

¿Cuál será la influencia de usar métodos racionales complejos e inteligencia artificial para diseño de redes de distribución en sistemas de abastecimiento de agua en la localidad de Callqui Grande -Huancavelica?

b. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Cuál será la influencia de usar método de Hardy Cross en el diseño de redes de distribución en sistemas de abastecimiento de agua en la localidad de Callqui Grande -Huancavelica?
- ¿Cuál será la influencia de usar método de Gradiente Hidráulico en el diseño de redes de distribución en sistemas de abastecimiento de agua en la localidad de Callqui Grande -Huancavelica?
- ¿Cuál será la influencia de usar método de algoritmo genético en el diseño de redes de distribución en sistemas de abastecimiento de agua en la localidad de Callqui Grande -Huancavelica?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la influencia de usar métodos racionales complejos e inteligencia artificial para el diseño de redes de distribución en sistemas de abastecimiento de agua en la localidad de Callqui Grande -Huancavelica.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la influencia de usar el método de Hardy Cross en el diseño de redes de distribución en sistemas de abastecimiento de agua en la localidad de Callqui Grande -Huancavelica.

- Determinar la influencia de usar el método de gradiente hidráulico en el diseño de redes de distribución en sistemas de abastecimiento de agua en la localidad de Callqui Grande -Huancavelica.
- Determinar la influencia de usar el método de algoritmo genético en el diseño de redes de distribución en sistemas de abastecimiento de agua en la localidad de Callqui Grande -Huancavelica.

1.3. JUSTIFICACIÓN

Una red de distribución de agua no es más que una serie de componentes que, conectados de modo adecuado entre sí, suministran la cantidad de agua demandada a la presión, velocidad y diámetro establecida. Así, el establecimiento de los diámetros idóneos de los conductos que integran cualquier sistema de distribución de agua no es un problema directo y determinado, como tampoco lo es el resto de elementos que la componen.

El problema de diseño óptimo de redes de agua está sin resolver de una forma completamente satisfactoria, y ello es en parte debido a la gran diversidad de factores que afecta al problema, el diseño de una red de distribución puede presentar multitud de variables y circunstancias, que imposibilitan la definición de una metodología de diseño de redes que pueda considerarse de aplicación general en todos los casos. El proceso de diseño que debe seguirse en cada caso está condicionado a las características de la red objeto de estudio.

Así mismo durante estos últimos años se ha venido tomando fuerza la aplicación de la inteligencia artificial para el mejoramiento en el control de los procesos introduciendo técnicas tales como los sistemas expertos, redes neuronales, algoritmos genéticos y lógica difusa. Todo esto conlleva oportunidades para el desarrollo de soluciones óptimas, en procesos cuyo control mediante el uso de técnicas convencionales resulta muy difícil.

Por todo ello se pretende contribuir con la presente investigación en el análisis del diseño de redes de distribución usando metodologías aceptadas y validadas,

así como evaluar la aplicabilidad de las mismas y el uso de recursos para obtener un resultado óptimo y aceptable.

Justificación Científica: El presente proyecto se justifica científicamente porque permitirá aplicar procedimientos y metodologías para realizar el diseño de la red de abastecimiento de agua potable.

Justificación Técnica: El proyecto de investigación está orientado al diseño de las redes de distribución dentro de lo que comprende un sistema de abastecimiento de agua potable, teniendo como complemento las estructuras de Captación, Reservorio y Línea de Conducción; para ello se regirá por la normativa vigente del Reglamento Nacional de Edificaciones OS 050 y la Norma Técnica de diseño: Opciones tecnológicas para sistemas de saneamiento en el ámbito rural.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

Los antecedentes de la presente investigación se ubican en las siguientes esferas:

2.1.1. A NIVEL INTERNACIONAL

Se tiene las siguientes investigaciones:

Shanel, (2017), realizo la investigación titulada: *"Propuesta de optimización del servicio de la red de distribución de agua potable -RDAP- del Municipio de Madrid, Cundinamarca"*, en la Universidad Católica de Colombia, Colombia. Llegando a las siguientes conclusiones:

1. Se generó un modelo digital optimizado de la red de distribución de agua potable del municipio de Madrid, Cundinamarca, con el fin de mejorar las presiones de servicio y disminuir el índice de agua no contabilizada , este modelo se desarrolló en el programa EPANET. Se espera que con el modelo digital calibrado y optimizado este pueda ayudar a la tomas de decisiones de la empresa para mejorar su funcionamiento.

2. Se analizó toda la información suministrada por la empresa, este fue de gran importancia para la modelación y calibración del modelo digital, vale aclarar que para mayor facilidad del manejo del programa y los resultados que este arroja, es importante conocer más información de la red, se recomienda hacer un seguimiento a la misma para saber el estado actual del arte.
3. En la información que se recibió acerca de la presiones en la red, la toma de estas fueron en horas atípicas, esto hace tediosa la calibración, para esto se recomienda la toma de presiones en horas típicas para saber con certeza el funcionamiento de la misma.
4. En el desarrollo del modelo de simulación digital de la red calibrada se tuvieron que tomar decisiones ya que no se conoce a cabalidad la red, este fue un proceso arduo por la falta de información como: caudales diarios, accesorios en la red y otros factores que afectan la calibración del modelo, para esto es importante contar con datos más precisos de la red para así mejorar el modelo y que este sea cada vez más parecido a la realidad.
5. Con este proyecto se desea mejorar el servicio de la RDAP del municipio de Madrid, Cundinamarca, mejorando presiones de servicio y el funcionamiento de la misma, esto se hizo por medio de un modelo digital que propone algunos cambios en la red para mejorarla.
6. Para poder hacer la modelación se tuvo que tomar decisiones en el modelo, como el cierra de algunos tramos (pipe), ya que la información de la red en su mayoría es por memoria histórica de los trabajadores y estos no saben si hay válvulas en funcionamiento y muchas de ellas no se sabe el lugar donde se encuentran ubicadas. Se sobre dimensiona la red para poder satisfacer la necesidad de la población en la situación más crítica que son los fines de semana.

7. Para una calibración más rigurosa es necesario los caudales mínimos y máximos de la RDAP, para el proyecto se utilizó el caudal dado por la empresa 145 l/s y el consumo por individuo de 99 l. / hab. /día. Para tener un modelo digital calibrado más preciso es necesario contar con datos de caudales horarios, diarios o mensuales.
8. En el punto de muestreo Pedregal se mejora las presiones de servicio de 3 m.c.a. a 32 m.c.a., mejorando la presión de servicio en este punto crítico de la red de distribución de agua potable.
9. En el punto de muestreo San José se tenía una presión de servicio de 6 m.c.a., siendo esta inferior a la presión mínima de 15 m.c.a. según el R.A.S., con el proceso de optimización de la red este punto tiene ahora 34.92 m.c.a. mejorando las condiciones de trabajo.
10. Se sugiere para futuros proyecto de grado la modelación del funcionamiento de la bomba, para optimizar y programar el funcionamiento de la misma y así optimizar los costos de bombeo. Además, podría hacerse el presupuesto de las tuberías de la RDAP, para saber que tubería saldría mejor y así mejorar las inversiones en la RDAP.

Villacís, (2014), en su trabajo de investigación: *"Análisis comparativo técnico y económico de métodos de cálculo y diseño de redes de agua potable"*, en la Universidad Central del Ecuador, Ecuador. Manifiesta:

Luego de la aplicación de cada uno de los métodos de cálculo tales como Método de la superficie de energía, método de cabezas balanceadas, método de la gradiente hidráulica, método de Hardy Cross y método de longitudes equivalentes, que se realizó en una red cerrada que cubrirá todo el Campus Universitario de la Universidad Central del Ecuador, tomando en cuenta que la ubicación de las tuberías vigentes será al norte y al este de las calles, de acuerdo a normas vigentes.

En base a los resultados obtenidos y analizados se obtienen las siguientes conclusiones:

1. El Método de la Superficie de Energía, es un método de fácil aplicación y control en el diseño, puesto que, al permitir el cálculo simultáneo con varios diámetros favorece el control de presiones dinámicas de llegada en cada nodo, pero tiene la desventaja que no permite la iteración de caudales para obtener el caudal real que circulará en cada tramo.
2. El Método de Cabezas Balanceadas no permite una distribución real de caudales, porque no da lugar a descontar los caudales de consumo que se calculan en cada nudo planteado del caudal de ingreso a la red.
3. El Método de la Gradiente Hidráulica, es un método de fácil aplicación, pero su uso resulta mucho más efectivo en redes de agua potable con una sola malla, puesto que permite reemplazar varias líneas de agua potable por una sola con diferentes diámetros.
4. El Método de la Gradiente Hidráulica tiene desventaja porque no permite la afinación de los caudales de flujo en las tuberías.
5. El Método de Longitudes Equivalentes, para el cálculo de las pérdidas de carga utiliza las cotas de terreno en cada nudo, situación que no resulta ser la más adecuada ni real, puesto que las pérdidas de carga en forma segura se calculan por fricción producida internamente a lo largo de la tubería y por accesorios para la unión de la misma.
6. La gran cantidad de iteraciones generadas en el diseño de las redes utilizando el Método de Hardy Cross obedece a una mala repartición inicial de caudales, pero de ninguna manera afecta a la veracidad de los resultados. En todo caso, resulta ser una ventaja del método porque permite la corrección final de caudales. Para bajar el número de iteraciones se debe relacionar en forma directa los caudales tentativos con los diámetros tentativos.

7. En base a la irreal distribución de caudales sugerida en el Método de Cabezas Balanceadas, se concluye que el método no es conveniente para su utilización puesto que genera tuberías y accesorios de mayores diámetros, perjudicando el control económico del proyecto.
8. La mano de obra, materiales y equipos y herramientas incluidos en el análisis de precios unitarios son los mismos para todos los diseños, la diferencia radica en los volúmenes de obra generados (longitudes de tuberías, volúmenes de excavación y relleno) y variabilidad de diámetros existentes entre métodos.
9. Los métodos de Cabezas Balanceadas, Superficie de Energía, Gradiente Hidráulica y Longitudes Equivalentes; son buenas opciones académicas para el diseño de redes de agua, pero por todo lo expuesto en el análisis y las conclusiones anteriores de cada método, no son convenientes para ser aplicados en un diseño real.
10. Por todo lo expuesto en las conclusiones anteriores, el mejor método de diseño de entre los analizados en esta investigación es el Método de Hardy Cross.

Romero, (2013), realizó la investigación: *"problemas en redes de abastecimiento de agua potable"*, en la Universidad Nacional Autónoma de México, México. La investigación llegó a las siguientes conclusiones:

1. Como quedó expuesto en este trabajo son muchos los problemas relacionados con las redes de tuberías de agua potable, los ejemplos más comunes y ocurrentes son las fugas, la intrusión patógena y las pérdidas de energía.
2. En primera lugar, podemos concluir que en el tema de fugas, las cuales producen desperdicio de agua, reducen la eficiencia de las redes y generan una pérdida económica a los organismos operadores del sistema de distribución.

3. Son muy diversas las causas por las cuales se pueden generar fugas y muchas las consecuencias de las mismas, la detección y reparación de fugas es sólo una alternativa de conservación del agua; otras incluyen: instalación de dispositivos de reducción de flujo, control de corrosión, políticas de cuotas de agua que alientan la conservación, programas educativos públicos, reducción de presión, peticiones por reducciones voluntarias o prohibiciones de ciertos usos de agua y reciclaje de agua.

4. Para mejorar el diseño, funcionamiento y operación de redes de distribución, así como para resolver el problema de las fugas, es de primordial importancia disponer de información confiable de la infraestructura, contar con personal técnico debidamente capacitado y con recursos materiales suficientes que apoyen la operación para reducir y controlar las pérdidas de agua. Asimismo, es necesario adecuar el marco regulatorio legal para asegurar la correcta gestión hídrica a un costo razonable.

5. Una consecuencia de las fugas es la intrusión patógena, los problemas de intrusión patógena ocurren como confluencia de tres circunstancias: ha ocurrido una rotura en la conducción; en el exterior de ésta existe fluido contaminado. Si se produce una depresión, bien de carácter permanente o transitorio, que hace que entre contaminante en la red de distribución de agua potable y sea transportado por la misma hasta los puntos de consumo, ello da lugar a una contaminación de carácter microbiano potencialmente causante de enfermedades y con una alta capacidad de alteración de la calidad del agua.

6. Cuando probabilidades de infección asociadas a eventos de intrusión son reportados, es importante que las partes interesadas estén conscientes de los hechos y tomen cartas en el asunto para la pronta solución del problema.

7. La exposición de la población depende de varios factores, entre los que destacan la cantidad de agentes patógenos en el sistema y las concentraciones de patógenos que potencialmente pueden llegar a los consumidores. La duración de la intrusión es sin duda un factor clave que influye en la exposición junto con la probabilidad de que alguien retire agua de la llave al mismo tiempo del paso del contaminante. Riesgos de salud pública asociados con eventos de intrusión pueden estimarse pero tal estimación actualmente se basa en varios supuestos.

Mora, (2012), realizó la investigación: *"Diseño de redes de distribución de agua mediante algoritmos evolutivos análisis de eficiencia"*, en la Universidad Politécnica de Valencia, España. La investigación llegó a las siguientes conclusiones:

1. En el desarrollo de la presente tesis se han estudiado distintas metodologías de diseño de redes de agua, basadas todas ellas en la aplicación de algoritmos de optimización evolutivos. El estudio de cada una de estas metodologías se orienta hacia la obtención de modelos generales de diseño que permita la obtención de la mejor solución posible en el menor espacio de tiempo, de modo que como consecuencia del trabajo realizado han podido establecerse distintas fronteras de aplicación para cada una de ellas.
2. El capítulo 2 establece una serie de principios básicos a considerar cuando se aborda el diseño óptimo de redes de agua. En este sentido, existen multitud de modelos cuando se pretende abordar el diseño de redes hidráulicas, cada uno de los cuales trata de conseguir un determinado estado hidráulico para la red en función de los objetivos marcados en cada caso.
3. Las distintas metodologías aplicadas en este trabajo obtienen el dimensionado hidráulico de la red, de modo que se cumplan unas determinadas condiciones de servicio en la misma, como son

criterios de presión de servicio, velocidad, etc. Estas restricciones deben cumplirse en las condiciones más desfavorables de servicio, por lo que habitualmente se utilizan modelos de régimen permanente.

4. Dada su complejidad, la introducción de este tipo de técnicas está asociada al desarrollo de los ordenadores, por lo que su utilización es relativamente reciente. Las ventajas de este tipo de técnicas son evidentes, puesto que permite la búsqueda de soluciones más allá de los mínimos locales que suelen alcanzar las técnicas de diseño basadas únicamente en criterios hidráulicos. Este tipo de técnicas de optimización permite ampliar el campo de búsqueda, y por tanto, la capacidad de encontrar mejores soluciones.

5. Cualquiera de las metodologías evolutivas ensayadas obtiene en todas las redes al menos una solución que mejora económicamente el diseño de la red obtenido por cualquiera de los métodos funcionales ensayados. Todas las soluciones de diseño obtenidas por cualquier metodología cumplen una serie de restricciones de diseño, ya sea de presión mínima, velocidad mínima, etc.

6. La mejora obtenida no es un parámetro fijo, sino que depende sobretodo de la tipología de la red. Normalmente, cuanto más grande y complejo es el diseño de la red mayor es la diferencia económica entre diseñar con métodos funcionales o métodos evolutivos. Así por ejemplo, en el caso de la red R9 de Joao Pessoa, el ahorro obtenido utilizando un algoritmo evolutivo frente al mejor de los métodos funcionales (LEHNSNET) es de apenas un 3.65%, pero en un caso tan complejo y grande como éste supone un ahorro de 9,25 millones de um. Sin embargo, en una red de menor tamaño y mayor sencillez de diseño, como puede ser la red de Go Yang, el 3% de ahorro obtenido al diseñar mediante metodologías evolutivas tan sólo supone 5500 um.

7. Entre todas las redes ensayadas, el mayor porcentaje de ahorro obtenido utilizando algoritmos evolutivos se da en la red de los túneles de Nueva York, donde el proyecto de rehabilitación tiene un coste inferior en un 6,7% al ofrecido por la mejor de las técnicas funcionales. De los análisis realizados puede estimarse que el ahorro derivado de utilizar algoritmos evolutivos en el diseño de redes de agua está entre un 3 y un 7% respecto a la mejor técnica funcional en cada caso.

8. En las redes de Hanoi, Nueva York, R9 de Joao Pessoa y Go Yang todos los modelos de optimización desarrollados en este trabajo alcanzan la misma solución mínima a excepción del algoritmo de optimización basado en el recocido simulado. Los resultados obtenidos por este algoritmo evolutivo son sustancialmente peores que los del resto, motivo por el que se descartó incluir este modelo en análisis más profundos.

9. El diseño de redes mediante algoritmos heurísticos no sólo permite la obtención de mínimas soluciones, sino que permite obtener un conjunto de posibles soluciones del problema que en ocasiones se encuentran muy cercanas al óptimo. Es por ello que es posible definir el concepto de "buena solución" del problema como aquella que por lo cercana que está al óptimo de diseño también puede ser válida. A lo largo de esta tesis se ha definido el concepto de buena solución como toda aquella que no supera en más de un 3% al coste mínimo obtenido para una determinada red.

López, (2003), en su investigación titulada: *"Diseño de redes de distribución de agua potable de mínimo costo con algoritmo genético"*, en la Universidad de los Andes, Colombia. Llegó a las siguientes conclusiones:

1. Se considera que la adaptación de los algoritmos genéticos al problema de diseño óptimo de redes de distribución de agua potable

fue exitoso. La codificación intrínseca al problema de diseño (las cadenas de diámetros que integran el diseño) y el hecho que dentro de las aplicaciones prácticas reales se diseñe sobre un conjunto discreto (y obviamente finito) de diámetros parece hacer este problema naturalmente apropiado a los algoritmos genéticos. Particularmente, el operador de mutación se adapta bien a esta codificación afectando de manera importante los resultados que se obtienen en el algoritmo.

2. Aunque, por ejemplo, de las 60 corridas que se hicieron sobre la red Ejemplo red en la mayoría de los casos se encontraban resultados por encima del mínimo encontrado (que se encontró en solo dos de estas corridas), en general, una vez se encontraban las variables de algoritmo que optimizaban el desempeño para esta red, los resultados se localizaban todos cerca de este mínimo. Como se afirmó inicialmente, los algoritmos genéticos no son un método de optimización ya que no se asegura encontrar el mínimo global y, ni siquiera, un mínimo local; sin embargo, una vez se adaptó el algoritmo a la red que se pretende diseñar los resultados son consistentemente buenos. El programa no es por tanto una solución inmediata al problema de diseño, ya que primero se debe adaptar éste a la red que se pretenda diseñar.

3. Este programa se convierte en una herramienta útil para el diseño sin sustituir al diseñador. Es decir, sigue siendo necesario el uso del criterio al diseñar ya que el único criterio de diseño no es el costo. El diseñador debe evaluar según su criterio los resultados que se obtengan del algoritmo, ya que éste no tiene en consideración factores como la existencia de tuberías madres que deben tener diámetros considerablemente mayores por seguridad, entre muchos otros factores involucrados en el diseño de un acueducto.

4. Los resultados encontrados por el algoritmo en las redes que se estudiaron parecen confirmar, o al menos "amistar" con el criterio

de diseño conocido como el criterio de Featherstone. Aunque esta apreciación se basa en un número limitado de resultados, este comportamiento, muy interesante desde el punto de vista teórico, merece ser analizado con mayor profundidad ya que se puede constituir en un soporte estadístico contundente a una teoría que no ha sido demostrada de manera definitiva.

5. Se espera que, con desarrollos posteriores que hagan del programa una herramienta más robusta, éste se constituya en un aporte al desarrollo del país. El programa debe permitir mayor investigación en cuanto a los factores que optimizan el diseño de redes de manera analítica, ya que el programa como tal no arroja luz respecto a ello, siendo una "caja negra" de diseño. Además, éste se debe constituir en un aporte a las entidades encargadas del diseño de redes de acueducto, haciendo posible el diseño de acueductos a menores precios y el aumento de la cobertura de agua potable a nivel nacional.

2.1.2. A NIVEL NACIONAL

Se tiene las siguientes investigaciones:

Valle, (2014), realizó la investigación: *"Optimización del diseño de redes de distribución de agua potable, usando algoritmos genéticos con tres funciones objetivo. Caso: Viñani-Tacna"*, en la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. La investigación llegó a las siguientes conclusiones:

1. Se aplicaron modelos matemáticos para la determinación de las características hidráulicas de una RDAP usando el Método del Gradiente Hidráulico como motor de cálculo, el cual fue descrito en forma de ecuaciones, luego en forma matricial y posteriormente codificado en código computacional en lenguaje de programación Java.

2. Se desarrolló un programa de cómputo desarrollado para la optimización de una red de distribución de agua potable considerando tres funciones objetivo como el aumento de la confiabilidad resiliente, reducción de costos y confiabilidad cinemática. En tal sentido se ha desarrollado un software que denominamos MAGMOREDES v 1.0, para la optimización de redes de distribución de agua en base al micro algoritmo genético teniendo la opción de considerar un diseño con las tres funciones objetivo referidas. El algoritmo permitió determinar un costo estimado y el cálculo de la confiabilidad resiliente y cinemática para ambos casos de la red analizada.
3. Se logró evaluar y comparar la red de agua potable existente sin criterios de optimización con la resultante de la aplicación del método de Micro Algoritmos Genéticos con tres funciones objetivo de optimización.
4. Se ha logrado implementar un Micro Algoritmo Genético Multiobjetivo en el desarrollo del software MAGMOREDES para obtener una red de distribución de agua potable en el Sector Viñani optimizada considerando tres funciones objetivo, teniendo un costo estimado de S/. 1 909 755,22, el cual si bien es superior al costo de la red sin optimización de S/. 1 311 550,83, tiene un índice de confiabilidad resiliente optimizado de 0,418, el cual es mucho menor al sin optimización de 0,70; considerando que el cero es el valor óptimo lográndose tener una RDA con menos probabilidad de fallas; y un índice de confiabilidad cinemática optimizado de 0,507, que es mayor al sin optimización de 0,421; considerando el cero el valor más óptimo, lo cual muestra que la velocidad es un problema latente en el diseño de redes de distribución de agua; más se ha logrado optimizar y obtener una red que garantice un mejor servicio a los usuarios finales.

5. Asimismo, el software plantea la opción de utilizar dos funciones objetivo de minimización de costo y maximización de la confiabilidad, teniendo un costo de S/. 1 933 745,61; el cual si bien es mayor al del costo sin optimización de S/. 1 311 550,83; tiene un índice de confiabilidad resiliente optimizado de 0,391, valor menor al sin optimización de 0,70.
6. Se planteó una red realizando un cálculo nuevo de los parámetros de diseño considerando tres funciones objetivo, teniendo un costo de 2’ 204 467,69; un índice de confiabilidad resiliente de 0,417 y un índice de confiabilidad cinemática de 0,493.
7. En el programa elaborado se ha logrado aplicar modelos matemáticos para la determinación de las características hidráulicas requeridas para el diseño de una red de distribución de agua, con la capacidad de desarrollar el diseño de redes e incorporar varias fuentes de agua, válvulas reductoras de presión y bombas con sus respectivas curvas de rendimiento.
8. El software elaborado MAGMOREDES permitió la optimización de la RDA del Sector Viñani, obteniéndose resultados muy aceptables, los cuales permitieron comprobar que el programa es eficiente en el espacio por tener una menor cantidad de memoria requerida para el cálculo, eficiente en el tiempo por necesitar un mínimo tiempo de ejecución y eficaz al alcanzar los objetivos planteados para la resolución de los diferentes consideraciones de diseño.

Anchapuri, (2018), realizó la investigación: *“Determinación del diámetro optimo en redes de distribución de agua potable por el método Hardy Cross en el Centro Poblado de Lampa Putuma Pomata-Chucuito-Puno”*, en la Universidad Nacional del Altiplano. Las principales conclusiones son:

1. Se determinó la eficiencia del diseño de sistema en agua potable con los diámetros óptimos en el Centro Poblado de Lampa Putuma. Se

hizo el análisis de velocidad, presión y caudal en los tres diámetros 2", 2.5" y 3" mediante la modelación del software waterCAD el cual determino cumpliendo restricciones de presión dinámica de 10m columna de agua y con presión estática máxima de 50m columna de agua de acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones. Así considerándose los diámetros óptimos de 0.5", 1", 1.5", 2" y 3", que cumple con la eficiencia hidráulica y a la vez se obtuvo los resultados del paquete estadístico llegando a un resultado.

2. Se determinó el costo óptimo en el sistema de agua potable en el Centro Poblado de Lampa Putuma. Con un costo de financiamiento mínimo del proyecto según la comparación del presupuesto y análisis de precios unitarios por metro lineal con diferentes diámetros óptimos modelados con el software waterCAD con un costo óptimo de S/. 77,869.93 que corresponde al análisis de precios unitarios que cumple con la eficiencia hidráulica y a la vez es mínimo el costo de financiamiento para este proyecto. Por lo que se considera también que el costo de acuerdo a cotización y más comerciable, recomendable en marcas es Plastisur con un precio de 149.50 el cual expresa un mayor beneficio económico.

Villegas, (2017), realizó la investigación que llevo como título: *"Metodología computarizada de dimensionamiento de redes de agua potable",* en la Universidad de Piura. Teniendo como conclusión principalmente las siguientes:

1. Con la metodología propuesta se logró bajo un criterio de optimización y automatización un proceso confiable y eficiente el dimensionamiento de una red de abastecimiento de agua potable. Esta metodología permite una guía desde el trazo de la red, la secuencia de las simulaciones hasta la generación de los resultados del dimensionamiento de redes de agua potable para poblaciones no mayores de 20 000 habitantes. Aunque se deben mejorar algunos puntos. Esto se explica en el apartado de recomendaciones.

2. La nueva metodología visualiza algunas falencias bajo la óptica tradicional. Primero no considera las variaciones de la demanda lo que repercute a futuro en la acumulación de sedimentos en zonas donde el flujo (FCV) está por debajo del límite mínimo. Segundo, la falta de procedimientos de automatización con respecto a las válvulas reguladoras de velocidad, presión y válvulas purgadoras de aire y sedimentos; así como también controles para los tanques de almacenamiento. Tercero, la falta de criterios como el de optimización económica en el dimensionamiento de las redes de abastecimiento de agua potable.

3. Con el avance de la tecnología y la creación de modernos dispositivos de control (válvulas reductoras de presión y flujo, válvulas de control de sobrepresiones entre otros) para los diferentes parámetros del flujo en las tuberías es posible trabajar con velocidades recomendadas por los fabricantes.

4. La comparación de los métodos de cálculo del coeficiente de fricción entre el método racional de Darcy W. y el empírico de Hazen Williams determinó que el método racional de Darcy W. es menos conservador que el de Hazen Williams. Para tuberías con diámetros mayores a 75mm las pérdidas de carga crecen, esto implica una sobreestimación de fricción del flujo con la pared de la tubería. Caso contrario sucede con dímetros menores a 75mm.

5. Las tuberías conectadas directamente al nodo con solicitación de flujo para incendio soportan grandes caudales que pueden provocar su colapso. La mejor solución a este problema es dimensionar un sistema de tubería en paralela que permita distribuir este caudal. La tubería paralela tendrá una válvula sostenedora de flujo (FCV) que solo se activarán en caso de demandas para ocurrencia de incendios.

6. Trabajar con softwares que se vinculan entre sí, permite que se eviten errores en el ingreso de la información. Permitiendo mejorar

la eficiencia en el dimensionamiento de cualquier tipo de red y mejorar el grado de confiabilidad de los resultados.

7. La metodología de gestión de la información de la construcción (CIM) aplicado al dimensionamiento, construcción y operación de sistemas de redes, proporciona un escenario interactivo y vinculado de toda la información generada a partir de un solo modelo virtual. En consecuencia, genera una mayor rentabilidad, credibilidad y eficiencia de este tipo de proyectos. Permite tomar decisiones ante posibles problemas en distintos escenarios a través de modelos virtuales en 3D. En la actualidad existen programas más avanzados de sistemas de agua potable como el software Autodesk Plan 3D que ya tiene incorporada la tecnología CIM generando modelos virtuales en tres dimensiones a partir de objetos paramétricos.
8. De los distintos análisis realizados a la red de abastecimiento de agua potable se observó que al simular distintos eventos como demanda para control de incendios y variaciones de consumo (Simulación en periodo extendido) la red no llega a cumplir realmente con las restricciones impuestas por la norma OS.050.
9. Esta metodología propuesta no cubre todos los parámetros de la red de abastecimiento como el caso de la calidad del agua (Quality water), criterios de la red crítica (Criticality) entre otros que el software WaterGEMS puede simular.

Dávila, (2017), realizaron la investigación que llevo como título: *"Relación entre redes cerradas y el sistema de abastecimiento de agua potable de la localidad de Caja – Huancavelica",* en la Universidad Peruana Los Andes. Al término de su investigación manifiestan que:

1. El diseño de redes cerradas en el abastecimiento de agua potable, permitirá mejorar la calidad de vida de la población teniendo un servicio de forma eficiente y permanente.

2. Los parámetros de diseño son importantes porque permite conocer la cantidad actual de la población y la elección de la fuente de abastecimiento con una adecuada cantidad y calidad de agua para el consumo humano.

3. El uso del programa Watercad permitió analizar las velocidades y presiones a lo largo de la red de distribución el cual permite minimizar el tiempo en obtener resultados y así tomar decisiones con rapidez y precisión.

4. Para que el sistema sea eficiente y de bajo costo, se lleva a cabo una selección de manera iterativa basada en identificar las tuberías de mayor importancia para la conducción y sobre estas proponer cambios de diámetros hasta cumplir el objetivo del menor costo satisfaciendo las condiciones mínimas y máximas de carga de presión en nudos y verificando velocidades en tuberías.

2.1.3. A NIVEL LOCAL

En la región Huancavelica se tiene los siguientes antecedentes.

Huayra y Layme, (2018), realizaron la investigación que llevo como título: *"Comparación de atributos del softwar´s Python con Watercad –Sewercad, en el diseño de suministro de agua potable en el Centro Poblado de Silva -Acoria - Huancavelica"*, en la Universidad Nacional de Huancavelica. Llegando a las siguientes conclusiones:

1. En este proyecto de tesis combinado con la programación Python hemos concluido que la complejidad de los programas a veces es alta y más para nosotros que apenas llevamos las bases, durante este camino tuvimos obstáculos en la programación más sin embargo lo pudimos superar.

2. El programa watercad hace el análisis de redes de agua, el programa sewercad realiza netamente un análisis hidrológico, modela canaletas, alcantarillas, estructuras de registro, lagunas de ponderación.

3. Se concluyó que los ingenieros civiles son aquellas que día con día deben mejorar sus técnicas de trabajo y pues claramente la programación es una forma muy innovadora de hacer las cosas mucho más fáciles y efectivas.
4. El programa watercad realiza un análisis de flujo estático, el programa sewercad realiza un análisis de flujo de periodos extendidos – análisis dinámico – simulación continua – simulación en el tiempo
5. Sewercad no diseña, solo se puede hacer análisis dinámico, Watercad si diseña, solo puede hacer análisis estático.
6. Los suministros del software´s son muy importantes para cada diseño de red que se pueda realizar, de las cuales podemos buscar el diseño más óptimo para el buen funcionamiento de una de conducción y distribución.
7. Se concluyó que se diseñó las líneas de conducción con tuberías PVC de clase 10, de diámetro de 2" y 1 ½" respectivamente.
8. Se concluyó que se diseñó las líneas de distribución con tuberías PVC de clase 10, de diámetro de 1 ½" respectivamente en los softwares utilizados.

2.2. BASES TEÓRICAS:

2.2.1. SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA

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

Un sistema de abastecimiento de agua potable consta fundamentalmente de las siguientes partes:

1.- FUENTES DE ABASTECIMIENTO Y CAPTACIÓN

2.- CONDUCCIÓN

3.- POTABILIZACIÓN

4.- REGULARIZACIÓN

5.- DISTRIBUCIÓN

Además de las obras anteriores puede existir una planta de bombeo.

No en todos los casos se sigue el mismo orden, ni con todas las obras a continuación se presenta un esquema típico.

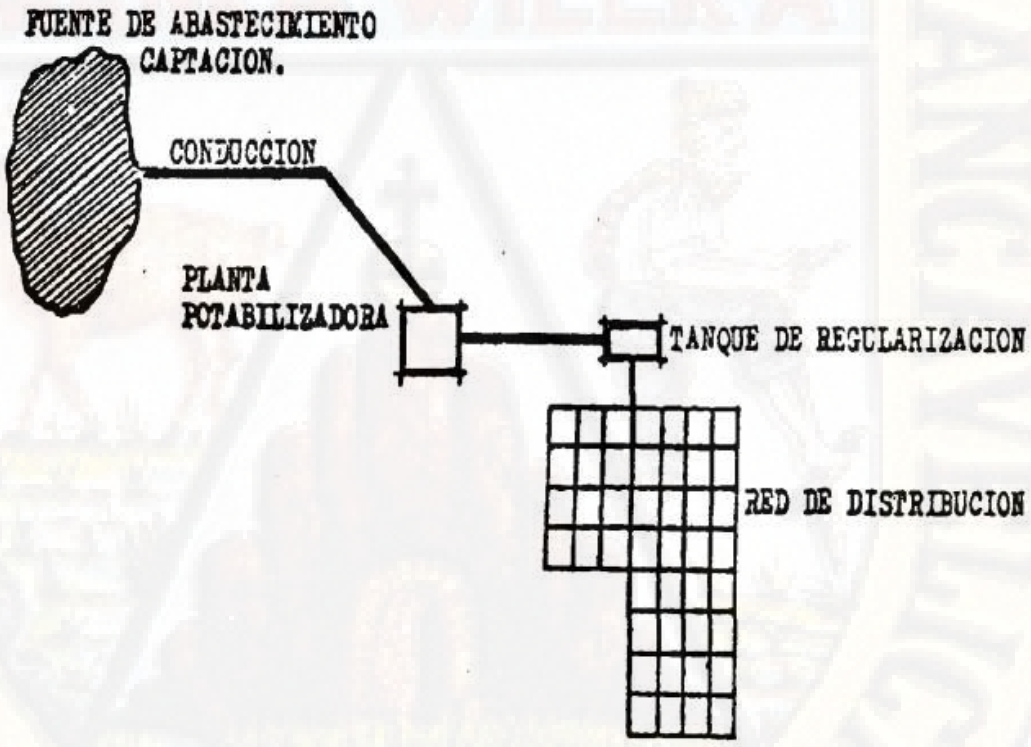


Figura 1: partes que constan un sistema de abastecimiento de agua.
Fuente: Rodriguez

2.2.2. ANÁLISIS DE REDES DE TUBERÍAS

Las redes se caracterizan por tener al menos un circuito cerrado, garantizándose así que cualquier zona cubierta por la red sea alcanzada

simultáneamente por más de una tubería, con el objetivo de aumentar la confiabilidad del abastecimiento. Al igual que para el caso de redes abiertas y de tuberías en serie y en paralelo, los métodos de análisis y diseño de redes cerradas se basan en las ecuaciones y algoritmos racionales.

Los métodos más utilizados en el análisis y diseño, obedece a dos hechos importantes. En primer lugar, los métodos más modernos están basados en los más antiguos, los cuales en términos matemáticos son más sencillos pero requieren un mayor número de iteraciones para llegar a un resultado final. La necesidad de disminuir los tiempos de análisis en computador, aspecto importante en las décadas de1970 y 1980, impulsó el desarrollo de nuevos métodos, En segundo lugar, en el mercado existen programas comerciales basados en diferentes métodos de análisis. Por consiguiente, es importante que los ingenieros encargados del diseño, construcción y operación de redes de acueductos conozcan la base matemática de los programas a su alcance.

En orden cronológico se presentarán los siguientes métodos de análisis y diseño de redes cerradas.

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

PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DE ANÁLISIS DE REDES CERRADAS

Si se considera la red cerrada mostrada en la figura 2 y se tiene en cuenta que QD1, QD2, QD3, QD4,..., QDNO son los caudales consumidos en cada uno de los nodos, algunos de los cuales podrían

tener un valor nulo en un momento dado, y que Qe1, Qe2 Qe3, ... ,Qen, son los caudales que alimentan la red de distribución, se puede establecer la siguiente ecuación:

$$\sum_{i=1}^{m} Q_o = \sum_{i=1}^{N_u} Q_D \qquad (2.1)$$

Donde Nu es el número de uniones (nodos) que existe en la red.

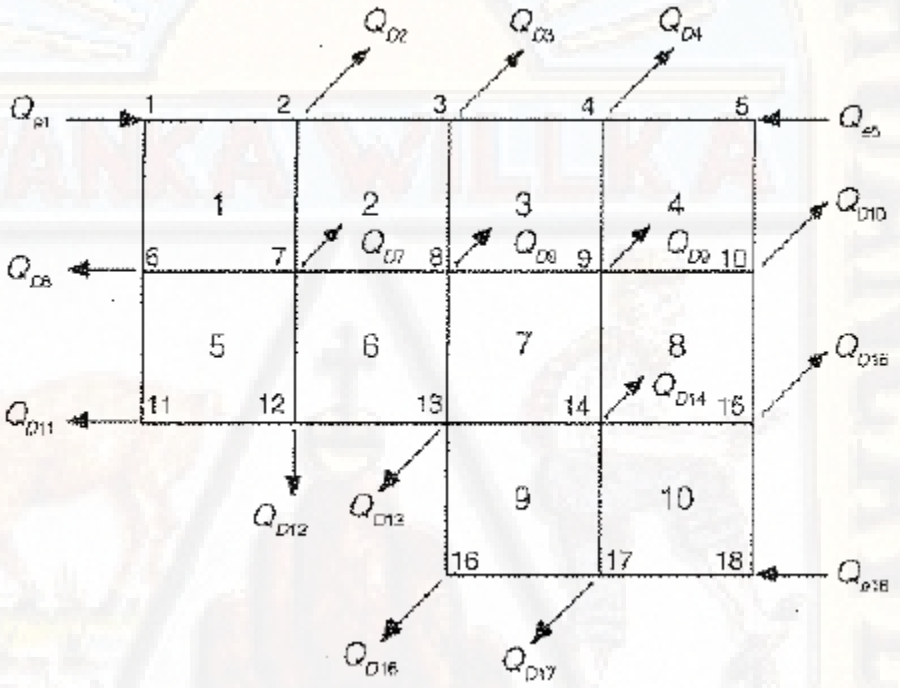


Figura 2: red cerrada, caudales consumidos en los nodos, caudales de alimentación a la red."
Fuente: Saldarriaga

La ecuación 2.1 es una ecuación de conservación de la masa. Por otro lado, para cada uno de los nodos se puede establecer una ecuación similar, debido a que localmente se debe cumplir el que la masa se conserve, Dicha ecuación es:

$$\sum_{j=1}^{NT_j} Q_{ij} - Q_{Di} = 0 \qquad (2.2)$$

Donde NTj es el número de tubos que llegan al nodo í y Qij representa el caudal que pasa por la tubería íj hacia el nodo i desde el nodo j. Puede ser positivo (va hacia el nodo i) o negativo (sale de dicho nodo).

Para cada uno de los caudales Qij de la ecuación 2.2 se puede plantear la siguiente ecuación de conservación de la energía entre los nodos i y j, incluyendo las pérdidas por fricción y las pérdidas menores:

$$H_j - H_i = \sum K_{mij} \frac{V^2{}_{ij}}{2g} + h_f$$

$$H_j - H_i = \frac{V^2{}_{ij}}{2g}\left(\sum K_{mij} + f_{ij}\frac{I_{ij}}{d_{ij}}\right)$$

$$H_j - H_i = \frac{Q^2{}_{ij}}{2gA^2{}_{ij}}\left(\sum K_{mij} + f_{ij}\frac{I_{ij}}{d_{ij}}\right)$$

Si se despeja Q¡j de esta última ecuación se obtiene la siguiente expresión, la cual relaciona el caudal que pasa por la tubería ij con las cabezas en los nodos ¡y j.

$$Q_{ij} = \left(\frac{H_j + H_i}{\sum K_{mij} + f_{ij}\frac{I_{ij}}{d_{ij}}}\right)^2 \sqrt{2g}\ A_{ij} \qquad (2.3)$$

Si se remplaza este último resultado en la ecuación 2.2 se obtiene:

$$\sum_{j=1}^{NT_j}\left(\frac{H_j + H_i}{\sum K_{mij} + f_{ij}\frac{I_{ij}}{d_{ij}}}\right)^2 \sqrt{2g}\ A_{ij} - \ Q_{Di} = 0 \qquad (2.4)$$

Donde NTi representa el número de tuberías que llega a la unión (nodo) i. A fin de tener en cuenta en forma automática el signo del caudal ij la ecuación 2.3 se puede cambiar por la siguiente expresión:

$$\sqrt{2g}\ A_{ij}\frac{H_j + H_i}{\left(\sum K_{mij} + f_{ij}\frac{I_{ij}}{d_{ij}}\right)^2}(|Hj - Hi|)^{\left(-\frac{1}{2}\right)} \qquad (2.5)$$

Este tipo de ecuaciones para el diseño y análisis de redes. Cerradas de tuberías se conocen como las ecuaciones de cabeza. En la red se tienen

en total (Nu-1) ecuaciones de este tipo, debiéndose conocer H, o cualquier otra cabeza en la red para poder solucionar dichas ecuaciones. En caso contrario se puede suponer alguna de las cabezas, ya que los valores absolutos de éstas no afectan la distribución de caudales, y además debe tenerse en cuenta que las ecuaciones de cabeza son ecuaciones no lineales, menciona Saldarriaga, (1998, pp.295, 299).

2.2.3. METODO DE HARDY CROSS

Este método fue desarrollado por el ingeniero Hardy Cross en el año 1936, el mismo que sustenta en suponer caudales en cada uno de los tubos de la red para luego ir corrigiendo esta suposición, dado que las características de la tubería (D, ks, Km, L) se conocen. Este es un método de comprobación de diseño por lo que tendremos que asumir iterativamente los diámetros correspondientes.

Posteriormente en los años (1930-1940) el ingeniero R.J. Cornish, hace una modificación al método original de Hardy Cross la cual en esencia es muy similar al método de balance de cantidad utilizada para el diseño y la comprobación de diseño en el caso de redes abiertas, lo cual muestra ligeramente algunas mejoras al método original, por lo que para la presente investigación utilizaremos este último.

Este método de Hardy Cross con corrección de cabezas se utilizará para resolver las ecuaciones de cabezas, utilizando para el cálculo de la perdida por fricción la ecuación de Darcy-Weisbach, por lo que se tendrá la siguiente ecuación.

$$H_i - H_j = \frac{Q_{ij}^2}{2gA_{ij}^2}\left(\sum Km + f_{ij}\frac{L_{ij}}{D_{ij}}\right)$$

$$Q_{ij} = \left(\frac{H_i - H_j}{\sum Km + f_{ij}\frac{L_{ij}}{D_{ij}}}\right)^{\frac{1}{2}} \sqrt{2gA_{ij}^2} \qquad (\mathbf{2.6})$$

En vez de suponer los caudales en cada uno de los nudos de la red, esta variación define la cabeza en uno de los nodos como conocida o en su defecto tiene que ser supuesta por el diseñador, el resto de los (Nu-1) nodos se hace una suposición de la cabeza en cada uno de ellos. Luego se hace un ajuste de las cabezas supuestas, nodo por nodo, hasta completar todos los nodos de la red. Este proceso se repite tantas veces hasta que la ecuación de continuidad en cada nodo llegue a valores "lo suficiente cercanos" a cero en todos los nodos. Este proceso se detiene cuando el diseñador estime que el valor de la corrección o variación cercana a cero, es aceptable de acuerdo con el criterio y con la red que se esté diseñando.

A continuación, mostraremos el factor de corrección que se utiliza para corregir las cabezas en cada uno de los nodos:

- Considerando que la cabeza Hi del nodo i esta sobreestimada o subestimada, la ecuación 2.6 se convertirá en:

$$Q_{ij} = \left(\frac{(H_i - H_j) - \Delta H_i}{\sum Km + f_{ij} \frac{L_{ij}}{D_{ij}}} \right)^{\frac{1}{2}} \sqrt{2gA_{ij}^2} \qquad (\mathbf{2.7})$$

- Despejando la ecuación anterior:

$$Q_{ij} = \frac{\sqrt{2gA_{ij}^2}}{\left(\sum Km + f_{ij} \frac{L_{ij}}{D_{ij}} \right)^{\frac{1}{2}}} \left((H_i - H_j) - \Delta H_i \right)^{\frac{1}{2}} \qquad (\mathbf{2.8})$$

- Tomaremos el último término de la ecuación 2.8 y utilizando el teorema del binomio se obtendrá:

$$\left|\left((H_i - H_j) - \Delta H_i\right)\right|^{\frac{1}{2}}$$
$$= (H_i - H_j)^{\frac{1}{2}} - \frac{1}{2}(H_i - H_j)^{-\frac{1}{2}}\Delta H_i + \frac{1}{8}(H_i - H_j)^{-\frac{3}{2}}\Delta {H_i}^2$$
$$- \frac{1}{16}(H_i - H_j)^{-\frac{5}{2}}\Delta {H_i}^3 + \frac{5}{128}(H_i - H_j)^{-\frac{7}{2}}\Delta {H_i}^4 + \cdots$$

- Eliminaremos los términos que contienen el fator ΔH_i que involucran las potencias altas, ya que este valor se hace despreciable en comparación con los demás términos, por lo que se tendrá:

$$\left|\left((H_i - H_j) - \Delta H_i\right)\right|^{\frac{1}{2}} = (H_i - H_j)^{\frac{1}{2}} - \frac{1}{2}(H_i - H_j)^{-\frac{1}{2}}\Delta H_i \qquad (\mathbf{2.9})$$

- Remplazando esta última ecuación en la ecuación 2.8, tendremos:

$$Q_{ij} = \frac{\sqrt{2gA_{ij}^2}}{\left(\sum Km + f_{ij}\frac{L_{ij}}{D_{ij}}\right)^{\frac{1}{2}}}\left((H_i - H_j)^{\frac{1}{2}} - \frac{1}{2}(H_i - H_j)^{-\frac{1}{2}}\Delta H_i\right)$$

- Para todas las tuberías que llegan al nodo i se puede plantear la siguiente ecuación:

$$\sum_{j=1}^{NTj} Q_{ij} - Q_{Di} = 0$$

- Remplazando Q_{ij} en la ecuación anterior:

$$\sum_{j=1}^{NTj}\left[\frac{\sqrt{2gA_{ij}^2}}{\left(\sum Km + f_{ij}\frac{L_{ij}}{D_{ij}}\right)^{\frac{1}{2}}}\left((H_i - H_j)^{\frac{1}{2}} - \frac{1}{2}(H_i - H_j)^{-\frac{1}{2}}\Delta H_i\right)\right] - Q_{Di} = 0$$

- En la ecuación anterior se puede identificar Q_{ij} en cada una de las tuberías según la ecuación 4.1, por lo que se tendrá:

$$\sum_{j=1}^{NTj}[Q_{ij}] - Q_{Di} - \frac{\Delta H_i}{2}\sum_{j=1}^{NTj}\left[\frac{Q_{ij}}{H_i - H_j}\right] = 0$$

- Finalmente, al despejar el factor de corrección para las cabezas en los nodos de la red se tiene:

$$\Delta H_i = \frac{2(\sum Q_{ij} - Q_{Di}(+Q_{Di}))}{\sum \frac{Q_{ij}}{H_i - H_j}} \qquad (\mathbf{2.10})$$

En esta última ecuación, cada uno de los caudales Q_{ij} se calcula en función de las cabezas de presión estimada y las corregidas en nodos anteriores, el nodo corregido se calcula según la siguiente ecuación, donde (k) y (k-1) indican la iteración que se hace y la iteración anterior de cada uno de los nodos evaluados:

$$\Delta H_{i(k)} = \Delta H_{i(k-1)} + \Delta H_i \qquad (\mathbf{2.11})$$

Ahora, la ecuación que se utiliza para el cálculo de los caudales sigue siendo la mostrada en la ecuación 2.12:

$$Q_{ij} = \left(\frac{H_i - H_j}{\sum Km + f_{ij}\frac{L_{ij}}{D_{ij}}}\right)^{\frac{1}{2}} \sqrt{2gA_{ij}^2} \qquad (\mathbf{2.12})$$

En caso de que en alguna de las tuberías que conforman la red exista una bomba rotodinámica, la cabeza adicional introducida por esta afecta el caudal respectivo. Si la ecuación de la bomba es de forma:

$$H_B = AQ_{ij}^2 + BQ_{iJ} + C$$

Entonces, para la tubería ij se debe cumplir la ecuación:

$$H_i - H_j = f_{ij}\frac{L_{ij}}{D_{ij}}\frac{Q_{ij}^2}{2gA_{ij}^2} + \left(\sum Km_{ij}\frac{Q_{ij}^2}{2gA_{ij}^2} - \left(AQ_{ij}^2 + BQ_{ij} + C\right)\right) \quad (\mathbf{2.13})$$

Dado que la ecuación es de forma:

$$aQ_{ij}^2 + bQ_{iJ} + c = 0$$

Q_{ij} Podrá calcularse fácilmente

2.2.4. MÉTODO DE GRADIENTE HIDRAULICO

El método del gradiente conocido también como método de la red simultanea es ideal para el análisis, diseño y cálculo de redes de distribución de agua potable, desarrollado por los profesores E.Todini y Conell (1987) en la Universidad de Newscatle Upon Tyne, considera de que al tenerse un flujo permanente se garantiza que se cumpla la ecuación de conservación de la masa en cada uno de los nodos de la red y la ecuación de conservación de la energía en cada uno de los circuitos de ésta. Por consiguiente, el método se basa en las siguientes tres condiciones:

Ecuación de continuidad en los nodos:

$$\sum_{j=1}^{NTi}(Q_{ij} - Q_{Di} + Q_{ei}) = 0 \ldots\ldots\ldots\ldots (2.14)$$

Donde:

- NT : Número de Tuberías
- Q_{ij} : Caudal de salida del nodo
- Q_{Di} : Caudal de demanda del nodo
- Q_{ei} : Caudal de ingreso al nodo

Existir relación no lineal entre las pérdidas por fricción y el caudal para cada uno de los tubos que conforman la red:

Ecuación de Darcy:

$$Hf = \frac{fLV^2}{Hf} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (2.15)$$

Ecuación de Colebrook White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log\left(\frac{K_s}{3.7D} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}}\right) \dots\dots\dots (2.16)$$

Reemplazando en las ecuaciones, tenemos:

$$Hf = \frac{fLV^2}{Hf} \rightarrow \frac{1}{\sqrt{f}} = \frac{LV^2}{2gDHf} \rightarrow \frac{1}{\sqrt{f}} = \frac{\sqrt{LV^2}}{\sqrt{2gDHf}} \dots\dots\dots (2.17)$$

De las ecuaciones tenemos:

$$Q = \frac{-2\sqrt{2gDHf}}{\sqrt{L}} \text{Alog}\left(\frac{K_s}{3.7D} + \frac{2.51v\sqrt{L}}{\sqrt{2gD^3}\sqrt{Hf}}\right) \dots\dots\dots\dots (2.18)$$

En la ecuación (4.16) se ha utilizado la ecuación de Darcy-Weisbach y la de Colebrook-White, ya que durante el proceso de diseño de redes, no se tiene el control sobre el número de Reynolds en todas las tuberías de la red, lo cual invalida el uso de la ecuación de Hazen Williams.

En cada tubo la energía total disponible se gasta en pérdidas por fricción y en pérdidas menores.

$$Hf = hf + \sum h_m \dots\dots\dots (2.19)$$

Si se tiene en cuenta las pérdidas menores causadas por cualquier tipo de accesorio y la posible existencia de bombas en algunos de los tubos de la red, la ecuación (2.19) toma la siguiente forma:

$$Hf = \alpha Q_i^n + \beta Q + \gamma \dots\dots\dots (2.20)$$

Donde:

- n: Exponente que depende de la ecuación de fricción Utilizada (2,0 para el caso de la ecuación de Darcy- Weisbach).
- α, β, ɣ: Parámetros característicos del tubo, válvulas y bombas. En el caso de que en una tubería particular solo ocurren pérdidas por fricción y pérdidas menores normales que son función de la altura de velocidad únicamente, se tendrá:

$$H_1 = \alpha Q_n \dots\dots\dots \quad (2.21)$$

$$hf + \sum h_m = \alpha \dots\dots\dots (2.22)$$

Usando la ecuación de Darcy- Weisbach, se obtiene:

$$\alpha = \frac{f\frac{l}{d} + \sum Km}{2gA^2} \dots\dots\dots (2.23)$$

Definiciones para la descripción de la topología de la red

NT : Número de tuberías de la Red.

NN : Número de nodos con altura piezométrica desconocida.

NS : Número de nodos de altura piezométrica fija o conocida.

[A12] : Matriz de conectividad asociada a cada uno de los nodos de la red. De dimensión: NT x NN.

-1: en la columna que corresponde al nodo inicial del tramo i.

1: en la columna que corresponde al nodo final del tramo i.

[A10] : Matriz topológica tramo a nodo para los números de nodos de altura piezométrica fija o conocida. Su dimensión es NT x NS. -1: en

la fila que corresponde a los tramos conectados a nodos de altura piezométrica fija.

[A21] : Matriz Transpuesta de [A12]

Teniendo en cuenta las definiciones anteriores, la pérdida de carga en cada tramo de tubería que conecte dos nodos de la red es:

Ecuación de Conservación de la Energía

$$[A11][Q] + [A12][H] = -[A10][H_0] \dots\dots\dots (2.24)$$

Donde:

[Q] : Vector de caudales con dimensión NT x 1

[H] : Vector de alturas piezométricas desconocidas con dimensión NN x 1

[Ho] : Vector de alturas piezométricas fijas con dimensión NS x 1

$$[A11] = \begin{bmatrix} \alpha_1 {Q_1}^{(n1-1)} + \beta_1 + \frac{Y_1}{Q_1} & 0 \dots & 0 \\ 0 & \alpha_2 {Q_2}^{(n2-1)} + \beta_2 + \frac{Y_2}{Q_2} \dots & 0 \\ . & . \quad \dots & 0 \\ 0 & 0 \dots & \alpha_{NT} {Q_{NT}}^{(nNT-1)} + \beta_{NT} + \frac{Y_{NT}}{Q_{NT}} \end{bmatrix} \dots (2.25)$$

Ecuación de continuidad para todos los nodos de la red

$$[A21][Q] = -[q] \dots\dots\dots (2.26)$$

$[q]$: Vector de consumo (demanda) o de entrada (oferta) en cada nodo de la red. Dimensión NN x 1.

Por tanto, de las ecuaciones 2.23 y 2.24 en términos matriciales se tiene:

$$\begin{bmatrix} A11 & [A12] \\ A21 & [0] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [Q] \\ [H] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -[A10]\,[H_0] \\ [q] \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2.26)$$

Para la ecuación (2.26), la parte superior corresponde a la relación Q versus H y la inferior a la conservación de la masa en cada uno de los nodos, siendo la parte superior no lineal no se puede resolver en forma directa; es por ello se utilizará el algoritmo iterativo del método del gradiente. Al operar simultáneamente:

$$\begin{bmatrix} [N][A11] & [A12] \\ A21 & [0] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [dQ] \\ [dH] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [dE] \\ [dq] \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2.27)$$

Donde:

$[A11]$: Matriz con dimensión NT x NT:

$$[A11] = \begin{bmatrix} \alpha_1 {Q_1}^{(n1-1)} & 0 \dots & 0 \\ 0 & \alpha_2 {Q_2}^{(n2-1)} \dots & 0 \\ 0 & 0 \dots & \alpha_{NT} {Q_{NT}}^{(NT-1)} \end{bmatrix} \dots\dots (2.28)$$

En base a las condiciones y ecuaciones dadas, finalmente se tiene:

$$[H_{i+1}] = \left\{[A21]\left([N][A11]'\right)^{-1}[A12]\right\}^{-1} \left\{[A21]\left([N][A11]'\right)^{-1}([A11][Q_1] + [A10][H_0]) - ([A21][Q_1] - [q])\right\}$$

$$[Q_{i+1}] = \left\{\left\{[I] - \left([N][A11]'\right)^{-1}[A11]\right\}[Q_1]\right\} - \left\{\left([N][A11]'\right)^{-1}([A12][H_{i+1}] + [A10][H_0])\right\}$$

Siendo respectivamente las ecuaciones anteriores la numero (2.27) y (2.28).

Características especiales del método

El método de gradiente hidráulico es un método muy adecuado para su automatización debido a la alta precisión de cálculos con formulación matricial a continuación se presenta algunas características.

- Se pue-de implementar un método de cálculo eficiente, basado en el algoritmo del gradiente conjugado pre condicionado con la factorización incompleta de Cholesky y tratamiento de matrices dispersas.
- La manipulación de las matrices dispersas típicas del método del gradiente reduce la memoria requerida y el tiempo de cálculo en el computador.
- Todo lo anterior no es posible en el método de la teoría lineal, ya que este sistema que tiene que ser resuelto no es simétrico.
- El método del gradiente resuelve un sistema de dimensión NN x NN, mientras que el método de la teoría lineal resuelve un sistema de NT x NT.

Debido a que en todos los casos NN < NT, el método del gradiente es más veloz y requiere menos memoria en el computador, aun utilizando el mismo algoritmo de solución. El sistema de ecuaciones que se monta puede llegar a ser 50% menor en el caso de redes grandes.

- El método del gradiente calcula y ajusta simultáneamente los caudales y las alturas piezométricas, ya que es el método más eficiente, esto reduce el número de iteraciones con respecto al método de la teoría lineal.

- El método del gradiente no requiere la definición de caminos de energía o circuitos, lo cual implica que el número de datos que el usuario debe proporcionar al computador es menor, facilitándose así el manejo de los mismos.

2.2.5. MÉTODO DEL ALGORITMO GENÉTICO

Koza (1992) define el algoritmo genético como un algoritmo matemático altamente paralelo que transforma un conjunto de objetos matemáticos individuales con respecto al tiempo usando operaciones modeladas de acuerdo al principio Darwiniano de reproducción y supervivencia del más apto, y tras haberse presentado de forma natural una serie de operaciones genéticas de entre las que destaca la recombinación sexual. Cada uno de estos objetos matemáticos suele ser una cadena de caracteres (letras o números) de longitud fija que se ajusta al modelo de las cadenas de cromosomas, y se les asocia con una cierta función matemática que refleja su aptitud.

Holland (1975), los AG son algoritmos matemáticos de optimización de propósito general basados en mecanismos naturales de selección y genética. Los AG han proporcionado excelentes soluciones a problemas complejos con gran número de parámetros y conforman un paradigma de búsqueda probabilística, inspirada en la teoría de la evolución de Darwin.

Su objetivo principal es evolucionar a partir de una población de soluciones para un determinado problema, intentando producir nuevas generaciones de soluciones que sean mejores que la anterior. Estos algoritmos operan en un ciclo simple: creación de la población inicial, selección y reproducción. Este último implica una recombinación y mutación del material genético de las soluciones. Goldberg (1989). Un AG empieza con un conjunto inicial (población) de soluciones alternativas (individuos) para el problema a resolver, las cuales son

evaluadas en términos de la adecuación de la solución. Los operadores de selección, cruza y mutación son aplicados para obtener nuevos individuos (descendientes) que constituyen una nueva población. La interacción de los operadores a los individuos más aptos conduce al incremento de la calidad de las soluciones durante el curso de muchas iteraciones (generaciones). Cuando se encuentra un criterio de terminación, finaliza el proceso de búsqueda y se presenta la solución. El AG utiliza un conjunto de parámetros que el usuario introduce para guiar el proceso evolutivo, tales como el tamaño de la población, el número máximo de generaciones y las probabilidades de cruza y mutación. A continuación se describirán cada una de estas etapas.

Representación

Coello (1995) en términos biológicos, un cromosoma es una solución del problema en un AG. Estos están compuestos por unidades binarias denominadas genes. Cada gen posee un valor denominado alelo y a su posición en el cromosoma "lugar". Al paquete genético total se le denomina genotipo y a la interacción del genotipo con su entorno se le denomina fenotipo. La adaptación de cada individuo depende de su fenotipo, el cual se puede inferir de su genotipo.

En un AG aplicado a redes de distribución de agua, las soluciones potenciales a un problema se representan mediante los diámetros (cromosomas) de cada tramo de tubería, cuyo número es igual a las variables existentes en la solución. En base a ellos se tiene el conjunto de solución (genotipo), que vendrá a ser una mejor o peor solución al problema de acuerdo a sus características (fenotipo).

Población inicial

Coello (1995). Una población inicial está formada por un conjunto de m (tamaño de la población) individuos, donde m es un parámetro de entrada al AG. Para obtener la población inicial se generan cadenas

aleatoriamente, pudiendo contener cada gen uno de los posibles valores con probabilidad uniforme. El procedimiento de inicialización de un individuo consiste simplemente en asignar, para cada gen de su cromosoma, que en el caso de redes de distribución de agua son los diámetros de cada tramo.

Funciones de aptitud

Coello (1995). Consiste en asignar un valor numérico de adaptación a cada cromosoma, el cual es proporcional a la utilidad o habilidad del individuo representado. Por otra parte una dificultad en el comportamiento del AG puede ser la existencia de gran cantidad de óptimos locales, así como el hecho de que el óptimo global se encuentre muy aislado.

Adicionalmente debe ser rápida, ya que hay que aplicarla para cada individuo de cada población en las sucesivas generaciones, por lo cual, gran parte del tiempo de corrida de un algoritmo genético se emplea en la función de evaluación. Toscano (2001). Un problema habitual presentado en la función de aptitud es la convergencia prematura, es decir cuando existen individuos con una adaptación al problema muy superior al resto, los cuales dominan a la población a medida que avanza el algoritmo. Por medio de una transformación en la función, en este caso una compresión del rango de variación de la función o bien controlando el número de oportunidades reproductivas de cada individuo, se pretende que dichos súper individuos no lleguen a dominar la población. También en el caso contrario, una convergencia lenta del algoritmo se resolvería de manera análoga, pero en este caso efectuando una expansión del rango de la función.

Operadores Genéticos

Goldberg (1989). Después de ser evaluadas todas las soluciones de la población en una generación, el proceso evoluciona hacia una nueva

generación. Esta nueva generación sufrirá transformaciones dentro de un esquema básico de funcionamiento. Los cambios en la nueva generación están dados básicamente por medio de tres operadores genéticos: reproducción, cruzamiento y mutación.

El cruzamiento, o reproducción, es sinónimo de apareamiento entre dos individuos de diferente sexo. Así, en un AG se debe escoger a una pareja de individuos que cruzarán sus cromosomas para generar dos descendientes donde se combinan las características de ambos cromosomas padres. La selección de los individuos que funcionarán como padres puede ser aleatoria o permitiendo que al menos uno de los padres pertenezca al grupo de mejores individuos, tal como se lleva a cabo en la naturaleza donde los cromosomas del individuo más fuerte o mejor adaptado son transferidos a su descendencia. El intercambio de la información genética del par de individuos también se puede llevar a cabo de diferentes formas. Una de ellas se ilustra en la Figura 3, donde aleatoriamente se ha seleccionado un punto de corte común a ambos padres, y que sirve como referencia para intercambiar su información genética para producir dos hijos con características diferentes a los padres, aunque éstos hereden parte de su información genética.

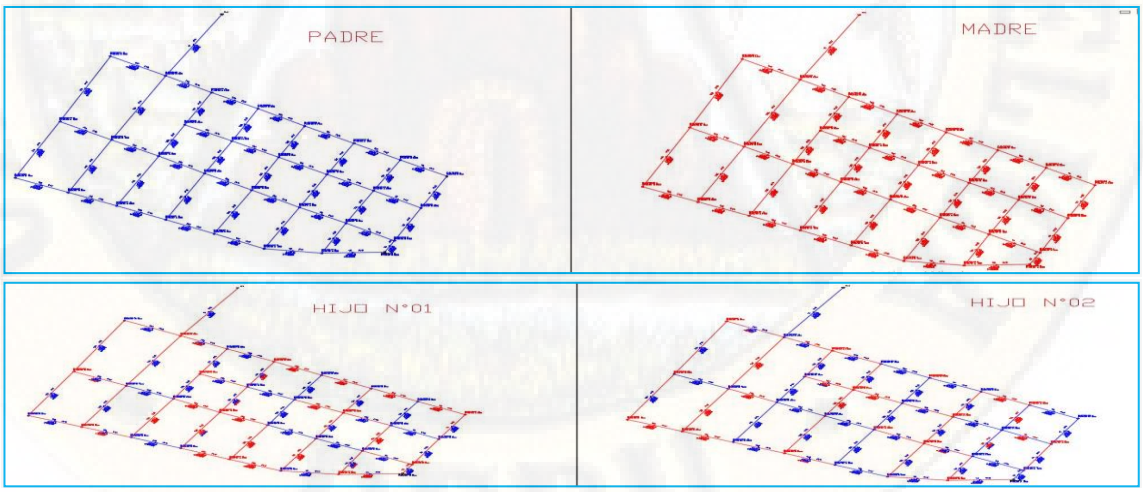


Figura 3: Intercambio de información genética entre dos individuos en RDA.
Fuente: Elaboración propia

En la evolución una mutación es un suceso bastante poco común, sucede aproximadamente una en cada mil apareamientos. En la mayoría de los casos las mutaciones son letales o no tienen sentido, pero en promedio, contribuyen a la diversidad genética. La mutación modifica al azar parte del cromosoma de los individuos (ver Figura 4), y permite alcanzar zonas del espacio de búsqueda que no estaban cubiertas por los individuos de la población actual.

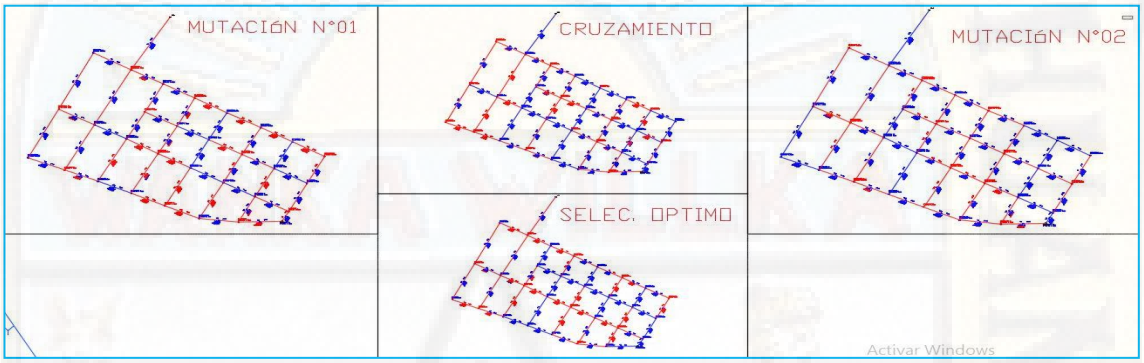


Figura 4: Mutación modificada al azar parte del cromosoma de los individuos en RDA.
Fuente: Elaboración propia

Finalmente una vez aplicados los operadores genéticos, se seleccionan los mejores individuos para conformar la población de la generación siguiente. Este proceso se realiza por medio de la evaluación de cada individuo con la función de aptitud y se reemplaza la población original.

El AG se deberá detener cuando se alcance la solución óptima, por lo general ésta se desconoce, así que se deben utilizar otros criterios de detención. Normalmente se usan dos criterios: 1) correr el AG un número máximo de iteraciones (generaciones), y 2) detenerlo cuando no haya cambios en la población. Mientras no se cumpla la condición de término se repite el ciclo:

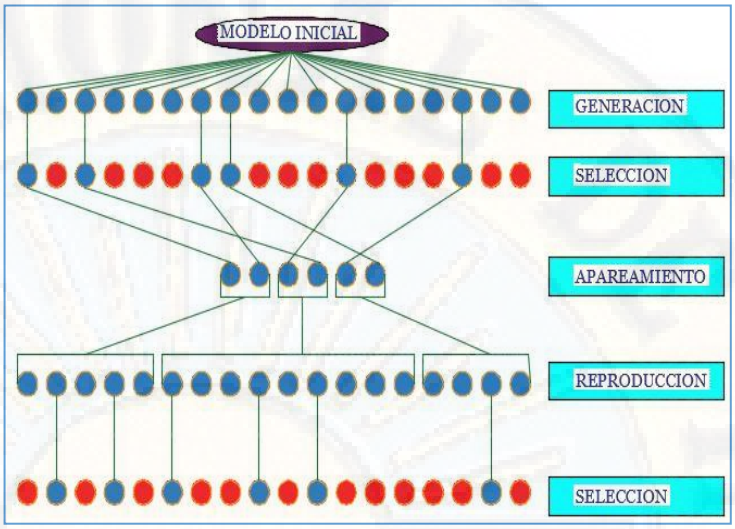


Figura 5: Imagen de proceso de selección simulada en algoritmo genético.
Fuente: Elaboración propia.

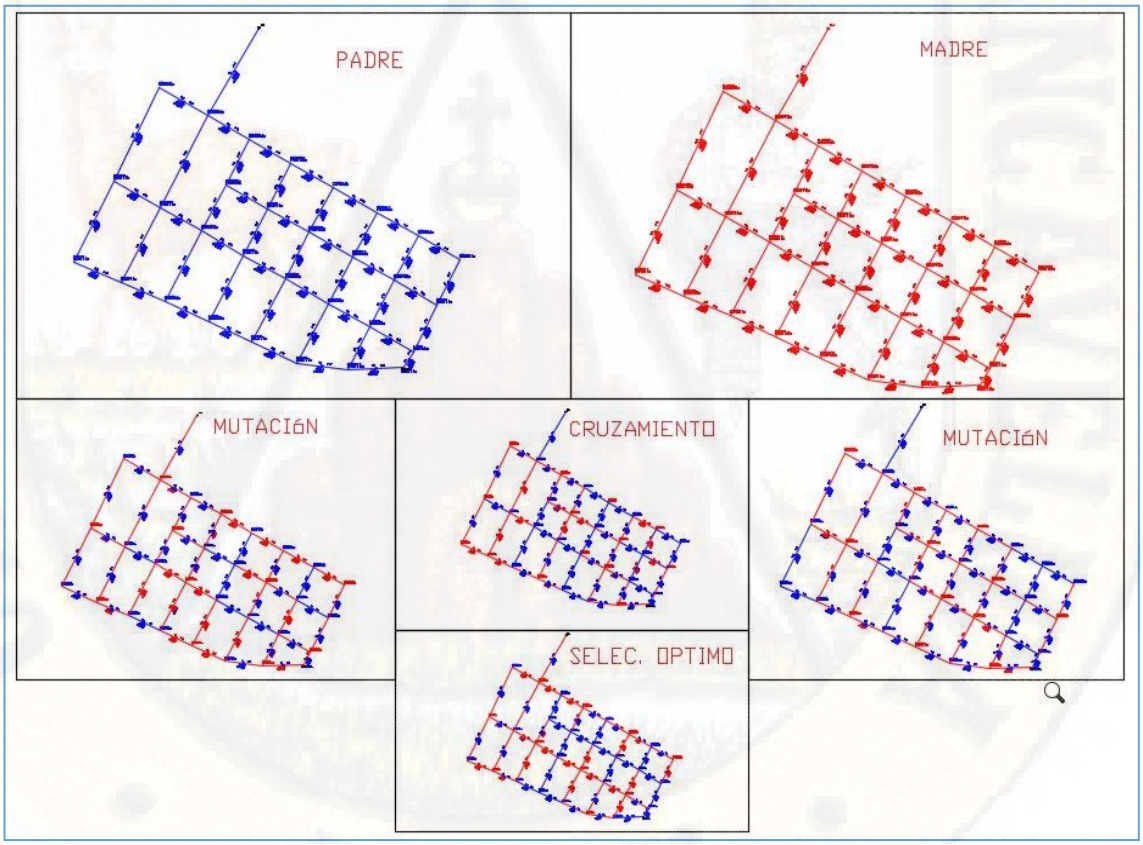


Figura 6: Ciclo del algoritmo genético en RDA: selección, cruzamiento, mutación, evaluación.
Fuente: Elaboración propia

2.2.6. CONEXIÓN PREDIAL

a. Diseño

Deberán proyectarse conexiones prediales simples o múltiples de tal manera que cada unidad de uso cuente con un elemento de medición y control.

b. Elementos de la conexión

Deberá considerarse:

- Elemento de medición y control: Caja de medición
- Elemento de conducción: Tuberías
- Elemento de empalme

c. Ubicación

El elemento de medición y control se ubicará a una distancia no menor de 0.30 m del límite de propiedad izquierdo o derecho, en área pública o común de fácil y permanente acceso a la entidad prestadora de servicio, (excepto en los casos de lectura remota en los que podrá ubicarse inclusive en el interior del predio).

d. Diámetro mínimo

El diámetro mínimo de la conexión predial será de 12.50 mm.

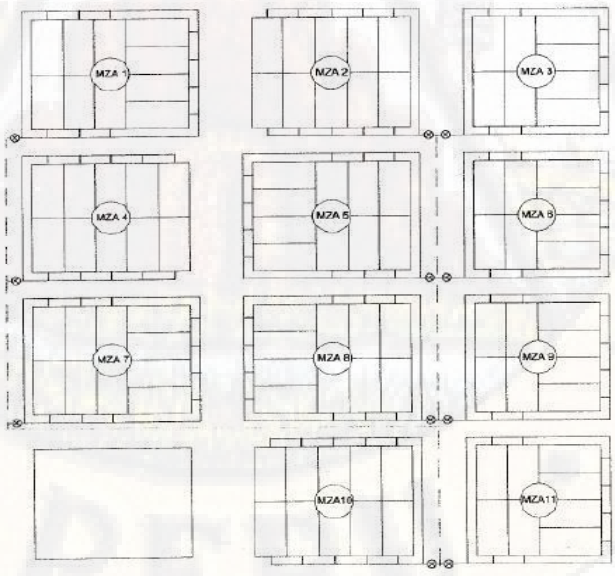


Figura 7: Esquema sistema de distribución con tuberías
Fuente: RNE, OS-050

2.3. BASES CONCEPTUALES

2.3.1. DISPOSICIONES ESPECÍFICAS PARA DISEÑO DE RED DE DISTRIBUCIÓN

El Ministerio de Vivienda, Construcción y saneamiento Transportes a través de la Norma OS.050, fija los requisitos mínimos a los que deben sujetarse los diseños de redes de distribución de agua para consumo humano en localidades mayores de 2000 habitantes, tales como:

a. Levantamiento Topográfico

La información topográfica para la elaboración de proyectos incluirá:

- Plano de lotización con curvas de nivel cada 1 m. indicando la ubicación y detalles de los servicios existentes y/o cualquier referencia importante.
- Perfil longitudinal a nivel del eje del trazo de las tuberías principales y/o ramales distribuidores en todas las calles del área de estudio y en el eje de la vía donde técnicamente sea necesario.
- Secciones transversales de todas las calles. Cuando se utilicen ramales distribuidores, mínimo 3 cada 100 metros en terrenos planos y mínimo 6 por cuadra donde exista desnivel pronunciado entre ambos frentes de calle y donde exista cambio de pendiente. En Todos los casos deben incluirse nivel de lotes.
- Perfil longitudinal de los tramos que sean necesarios para el diseño de los empalmes con la red de agua existente.
- Se ubicará en cada habilitación un BM auxiliar como mínimo y dependiendo del tamaño de la habilitación se ubicarán dos o más, en puntos estratégicamente distribuidos para verificar las cotas de cajas a instalar.

b. Suelos

Se deberá realizar el reconocimiento general del terreno y el estudio de evaluación de sus características, considerando los siguientes aspectos:

- Determinación de la agresividad del suelo con indicadores de pH, sulfatos, cloruros y sales solubles totales.

c. Población

Se deberá determinar la población y la densidad poblacional para el periodo de diseño adoptado.

La determinación de la población final para el periodo de diseño adoptado se realizará a partir de proyecciones, utilizando la tasa de crecimiento distrital y/o provincial establecida por el organismo oficial que regula estos indicadores.

d. Caudal de diseño

La red de distribución se calculará con la cifra que resulte mayor al comparar el gasto máximo horario con la suma del gasto máximo diario más el gasto contra incendios para el caso de habilitaciones en que se considere demanda contra incendio.

e. Análisis hidráulico

Las redes de distribución se proyectarán, en principio y siempre que sea posible en circuito cerrado formando malla. Su dimensionamiento se realizará en base a cálculos hidráulicos que aseguren caudal y presión adecuada en cualquier punto de la red debiendo garantizar en lo posible una mesa de presiones paralela al terreno.

Para el análisis hidráulico del sistema de distribución, podrá utilizarse el método de Hardy Cross o cualquier otro equivalente.

Para el cálculo hidráulico de las tuberías, se utilizarán fórmulas racionales. En caso de aplicarse la fórmula de Hazen y Williams, se utilizarán los coeficientes de fricción que se establecen en la Tabla N°1. Para el caso de tuberías no contempladas, se deberá justificar

técnicamente el valor utilizado del coeficiente de fricción. Las tuberías y accesorios a utilizar deberán cumplir con las normas técnicas peruanas vigentes y aprobadas por el ente respectivo.

TIPO DE TUBERÍA	"C"
Acero sin costura	120
Acero soldado en espiral	100
Cobre sin costura	150
Concreto	110
Fibra de vidrio	150
Hierro fundido	100
Hierro fundido dúctil con revestimiento	140
Hierro galvanizado	100
Polietileno	140
Policloruro de vinilo (PVC)	150

Tabla 1: Coeficientes de fricción "C" en la fórmula de Hazen y Williams
Fuente: Norma OS.050 del RNE

f. Diámetro mínimo

El diámetro mínimo de las tuberías principales será de 75 mm para uso de vivienda y de 150 mm de diámetro para uso industrial.

En casos excepcionales, debidamente fundamentados, podrá aceptarse tramos de tuberías de 50 mm de diámetro, con una longitud máxima de 100 m si son alimentados por un solo extremo ó de 200 m si son alimentados por los dos extremos, siempre que la tubería de alimentación sea de diámetro mayor y dichos tramos se localicen en los límites inferiores de las zonas de presión.

El valor mínimo del diámetro efectivo en un ramal distribuidor de agua será el determinado por el cálculo hidráulico. Cuando la fuente de abastecimiento es agua subterránea, se adoptará como diámetro nominal mínimo de 38 mm o su equivalente.

En los casos de abastecimiento por piletas el diámetro mínimo será de 25 mm.

g. Velocidad

La velocidad máxima será de 3 m/s.

En casos justificados se aceptará una velocidad máxima de 5 m/s.

h. Presiones

La presión estática no será mayor de 50 m en cualquier punto de la red. En condiciones de demanda máxima horaria, la presión dinámica no será menor de 10 m.

En caso de abastecimiento de agua por piletas, la presión mínima será 3.50 m a la salida de la pileta.

i. Ubicación y recubrimiento de tuberías

Se fijarán las secciones transversales de las calles del proyecto, siendo necesario analizar el trazo de las tuberías nuevas con respecto a otros servicios existentes y/o proyectos.

- En todos los casos las tuberías de agua potable se ubicarán, respecto a las redes eléctricas, de telefonía, conductos de gas u otros, en forma tal que garantice una instalación segura.
- En las calles de 20 m de ancho o menos, las tuberías principales se proyectarán a un lado de la calzada como mínimo a 1.20 m del límite de propiedad y de ser posible en el lado de mayor altura, a menos que se justifique la instalación de 2 líneas paralelas.

En las calles y avenidas de más de 20 m de ancho se proyectará una línea a cada lado de la calzada cuando no se consideren ramales de distribución.

- El ramal distribuidor de agua se ubicará en la vereda, paralelo al frente del lote, a una distancia máxima de 1.20 m. desde el límite de propiedad hasta el eje del ramal distribuidor.
- La distancia mínima entre los planos verticales tangentes más próximos de una tubería principal de agua potable y una tubería principal de aguas residuales, instaladas paralelamente, será de 2 m, medido horizontalmente.

En las vías peatonales, pueden reducirse las distancias entre tuberías principales y entre éstas y el límite de propiedad, así como los recubrimientos siempre y cuando:

Se diseñe protección especial a las tuberías para evitar su fisuramiento o ruptura.

Si las vías peatonales presentan elementos (bancas, jardines, etc.) que impidan el paso de vehículos.

La mínima distancia libre horizontal medida entre ramales distribuidores y ramales colectores, entre ramal distribuidor y tubería principal de agua o alcantarillado, entre ramal colector y tubería principal de agua o alcantarillado, ubicados paralelamente, será de 0.20 m. Dicha distancia debe medirse entre los planos tangentes más próximos de las tuberías.

- En vías vehiculares, las tuberías principales de agua potable deben proyectarse con un recubrimiento mínimo de 1 m sobre la clave del tubo. Recubrimientos menores, se deben justificar. En zonas sin acceso vehicular el recubrimiento mínimo será de 0.30 m.

El recubrimiento mínimo medido a partir de la clave del tubo para un ramal distribuidor de agua será de 0.30 m.

j. Válvulas

La red de distribución estará provista de válvulas de interrupción que permitan aislar sectores de redes no mayores de 500 m de longitud.

Se proyectarán válvulas de interrupción en todas las derivaciones para ampliaciones.

Las válvulas deberán ubicarse, en principio, a 4 m de la esquina o su proyección entre los límites de la calzada y la vereda.

Las válvulas utilizadas tipo reductoras de presión, aire y otras, deberán ser instaladas en cámaras adecuadas, seguras y con elementos que permitan su fácil operación y mantenimiento.

Toda válvula de interrupción deberá ser instalada en un alojamiento para su aislamiento, protección y operación.

Deberá evitarse los "puntos muertos" en la red, de no ser posible, en aquellos de cotas más bajas de la red de distribución, se deberá considerar un sistema de purga.

El ramal distribuidor de agua deberá contar con válvula de interrupción después del empalme a la tubería principal.

k. Hidrantes contra incendio

Los hidrantes contra incendio se ubicarán en tal forma que la distancia entre dos de ellos no sea mayor de 300 m.

Los hidrantes se proyectarán en derivaciones de las tuberías de 100 mm de diámetro o mayores y llevarán una válvula de compuerta.

l. Anclajes y Empalmes

Deberá diseñarse anclajes de concreto simple, concreto armado o de otro tipo en todo accesorio de tubería, válvula e hidrante contra incendio, considerando el diámetro, la presión de prueba y el tipo de terreno donde se instalarán.

El empalme del ramal distribuidor de agua con la tubería principal se realizará con tubería de diámetro mínimo igual a 63 mm.

2.4. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS:

Conexión predial simple. Aquella que sirve a un solo usuario

Conexión predial múltiple. Es aquella que sirve a varios usuarios

Elementos de control. Dispositivos que permiten controlar el flujo de agua.

Hidrante. Grifo contra incendio.

Redes de distribución. Conjunto de tuberías principales y ramales distribuidores que permiten abastecer de agua para consumo humano a las viviendas.

Ramal distribuidor. Es la red que es alimentada por una tubería principal, se ubica en la vereda de los lotes y abastece a una o más viviendas.

Tubería Principal. Es la tubería que forma un circuito de abastecimiento de agua cerrado y/o abierto y que puede o no abastecer a un ramal distribuidor.

Caja Portamedidor. Es la cámara en donde se ubicará e instalará el medidor

Profundidad. Diferencia de nivel entre la superficie de terreno y la generatriz inferior interna de la tubería (clave de la tubería).

Recubrimiento. Diferencia de nivel entre la superficie de terreno y la generatriz superior externa de la tubería (clave de la tubería).

Conexión Domiciliaria de Agua Potable. Conjunto de elementos sanitarios incorporados al sistema con la finalidad de abastecer de agua a cada lote.

Medidor. Elemento que registra el volumen de agua que pasa a través de él.

Método. Modo de obrar o proceder, hábito o costumbre que cada uno tiene y observa.

Diseño. Disciplina que tiene por objeto la armonización del entorno humano, desde la concepción de los objetos de uso, hasta el urbanismo.

Abastecimiento. Proveer a alguien o a algo de bastimentos, víveres u otras cosas necesarias.

Inteligencia. Se puede describir como la capacidad de percibir o inferir información, y retenerla como conocimiento para aplicarlo a comportamientos adaptativos dentro de un entorno o contexto.

Inteligencia artificial. Disciplina científica que se ocupa de crear programas informáticos que ejecutan operaciones comparables a las que realiza la mente humana, como el aprendizaje o el razonamiento lógico.

2.5. HIPÓTESIS

2.5.1. HIPÓTESIS GENERAL:

- El uso de métodos racionales complejos e inteligencia artificial influye significativamente en el diseño de redes de distribución en sistemas de abastecimiento de agua en la localidad de Callqui grande -Huancavelica.

2.5.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICOS:

- El uso de método de Hardy Cross influye significativamente en el diseño de redes de distribución en sistemas de abastecimiento de agua en la localidad de Callqui Grande –Huancavelica.
- El uso de método de Gradiente hidráulico influye significativamente en el diseño de redes de distribución en sistemas de abastecimiento de agua en la localidad de Callqui Grande – Huancavelica.
- El uso de método de algoritmo genético influye significativamente en la optimización de redes de distribución en sistemas de abastecimiento de agua de Callqui Grande -Huancavelica.

2.6. VARIABLES

VARIABLE 1:

Diseño de redes de distribución en sistemas de abastecimiento de agua

VARIABLE 2:

Utilización de métodos racionales complejos e inteligencia artificial.

2.7. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLE

VARIABLE	DEFINICIÓN OPERATIVA	INDICADORES	DIMENSIONES
VARIABLE 1 DISEÑO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN EN SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA	Se aplicará en el diseño de las redes de distribución de agua potable en sistemas de abastecimiento de agua, según normativa del RNE- O.S. 050 "redes de distribución de agua para consumo humano".	Diámetro	Milímetros (mm)
		Velocidad	Metros por segundo (m/seg)
		Presión	Metros columna de agua (Mca)
VARIABLE 2 UTILIZACIÓN DE MÉTODOS RACIONALES COMPLEJOS E INTELIGENCIA ARTIFICIAL.	Se utilizarán los métodos racionales y analizar su complejidad a medida que la red de distribución se agrande o se necesite disminuir los tiempos de análisis, a comparación del uso de la inteligencia artificial para encontrar un diseño optimizado.	Método de Hardy Cross	Diámetros de tubería. *(mm)*
			Costo total en tubería. *Soles (S/.)*
		Método de Gradiente Hidráulico	Diámetros de tubería. *(mm)*
			Costo total en tubería. *Soles (S/.)*
		Métodos de Algoritmos Genéticos	Diámetros de tubería. *(mm)*
			Costo total en tubería. *Soles (S/.)*

Tabla 2: Tabla de operacionalización de variables
Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ÁMBITO TEMPORAL Y ESPACIAL

3.1.1. ÁMBITO TEMPORAL

El ámbito temporal de la presente investigación es durante el periodo de enero del 2020 a junio del 2020.

3.1.2. ÁMBITO ESPACIAL

UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El sector de estudio está ubicado dentro de la jurisdicción del Distrito de Ascensión Comunidad de Callqui Grande, Provincia de Huancavelica, aproximadamente entre los 3680 y 3758 msnm. En un espacio con topografía llana con pendiente promedio de 8,5% orientada de este-oeste.

LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

- Región : Huancavelica
- Provincia : Huancavelica
- Distrito : Ascensión
- Sector : Callqui Grande

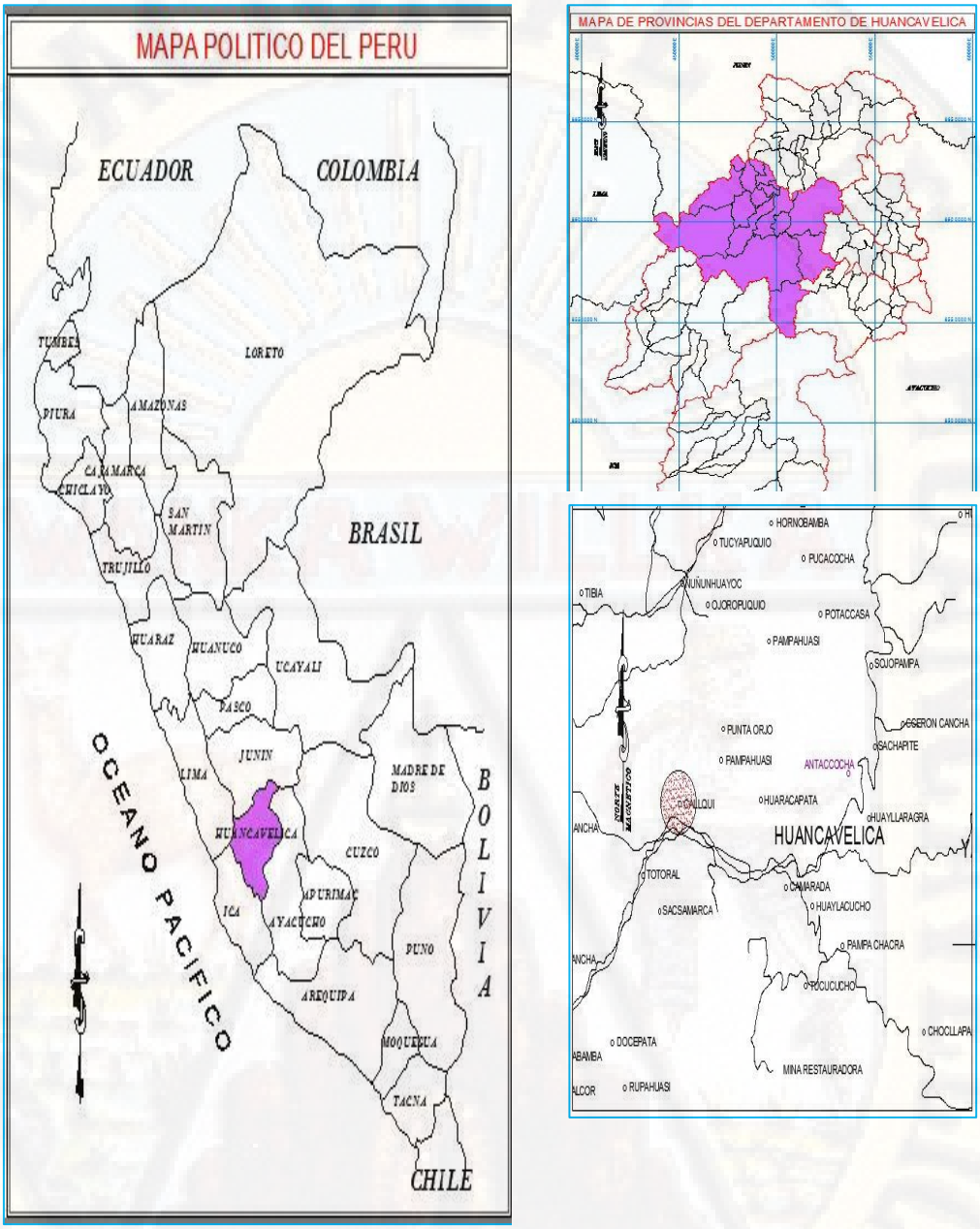


Figura 8: Esquema de Macro localización de Callqui Grande
Fuente: Municipalidad Provincial de Huancavelica Área de Planeamiento

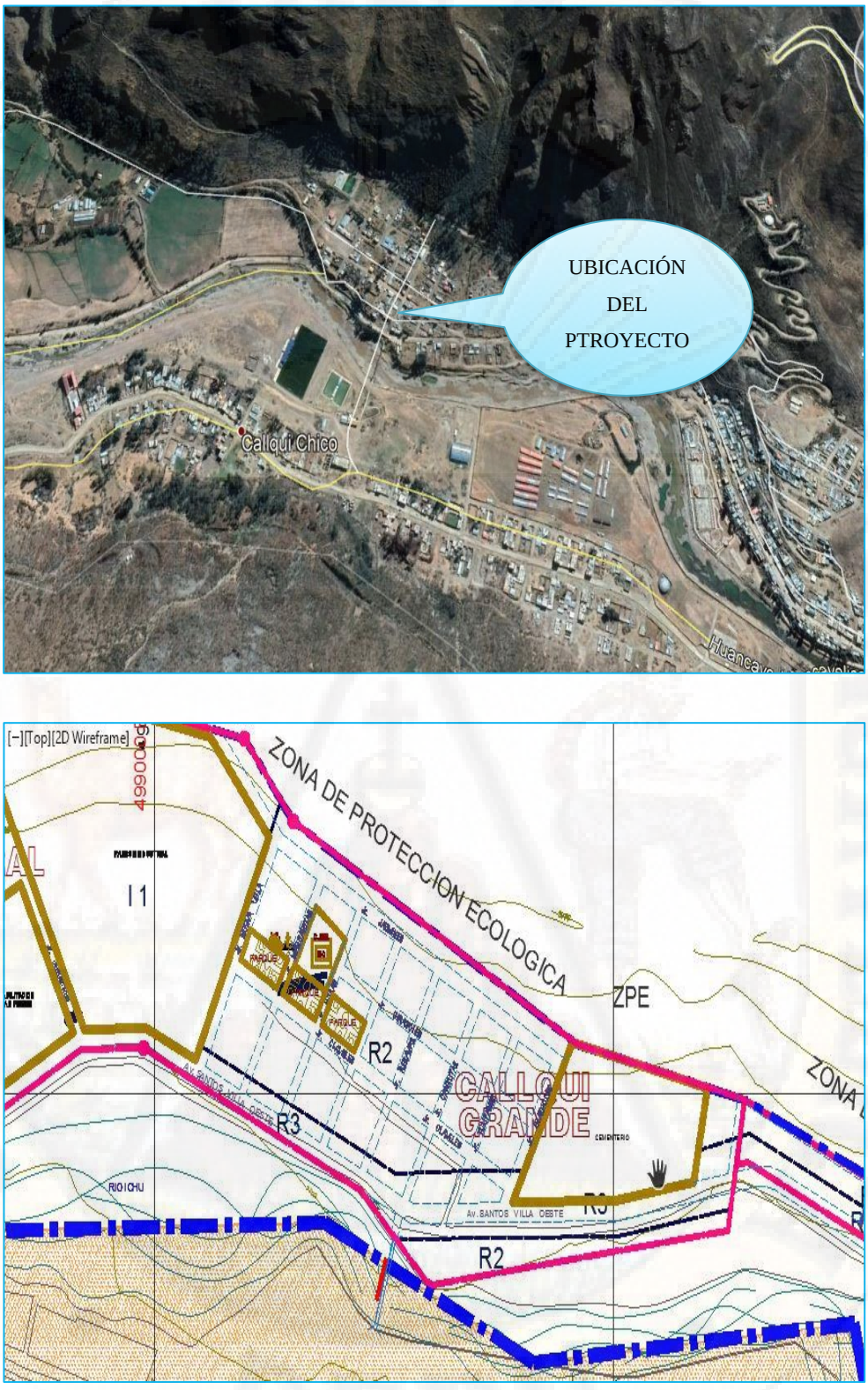


Figura 9: Esquema de Micro localización de Callqui Grande
Fuente: Municipalidad Provincial de Huancavelica Área de Planeamiento

LIMITES DEL ÁREA DE ESTUDIO

- Por el norte: Con el Distrito de Ascensión.
- Por el sur : Planta lechera Ministerio de Agricultura.
- Por el este : Con el cerro potoqcchi.
- Por el oeste: Comunidad de Callqui Chico.

TOPOGRAFÍA

Tiene una topografía plana y regular con pendiente suave de un 8.5% de promedio con dirección este-oeste. Su zonificación es de R2-R3, lo que permite la construcción de edificaciones de media y alta densidad.

SUPERFICIE

El sector de estudio tiene un área de 1.01 Km², habilitada bajo tipología R-3.

CLIMA

El territorio de Callqui Grande tienen un clima variado es decir en verano es cálido de día y de noche las temperaturas están debajo de cero grados y en invierno es de templado a frío.

- Temperatura promedio: -2ºC a 25º C
- Presión atmosférica: Es de 1026 hPa

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación de acuerdo al fin que persigue será de tipo **APLICADA**; debido a que es considerada como "la investigación que resuelve una problemática de manera rápida". Se respalda en las investigaciones, hallazgos y descubrimientos de la investigación básica, asimismo los resultados pueden ser aplicados para brindar solución directa a los problemas que puedan aquejar (Salinas, 2007).

3.3. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El nivel de investigación será el **EXPLICATIVO**; según Hernandez, Fernandez y Baptista (2010), las investigaciones explicativas son más estructuradas que los estudios con los demás alcances y, de hecho, implican los propósitos de estos (exploración, descripción y correlación o asociación); además de que proporcionan un sentido de entendimiento del fenómeno a que hacen referencia.

3.4. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO

3.4.1. POBLACIÓN

El sistema de abastecimiento de agua potable de la localidad de Callqui Grande; Conformado por los componentes tales como: 3 puntos de captación de Agua subterráneo (manantiales), una línea de conducción de 3720 metros con una tubería de diámetro de 2”, un reservorio rectangular de 12 m3 de capacidad, una línea de aducción de 100 m y una red de distribución que abastece a 453 habitantes de la localidad en toda el área de influencia del sistema de abastecimiento de agua.

3.4.2. MUESTRA

Para la muestra se trabajó con el componente de la red de distribución de agua de la localidad de Callqui Grande; que parte del reservorio de 12 m3 y se distribuyen por 49 tramos de tubería en una longitud total de 2737.00 ml, que a su vez conectan 31 nodos identificados, todo ello para abastecer a 453 habitantes.

3.4.3. MUESTREO

Para la presente tesis se tomó en consideración el muestreo **NO PROBABILÍSTICO** Según Hernandez, Fernandez y Baptista (2010), En las muestras no probabilísticas, la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o de quien hace la muestra. Aquí el

procedimiento no es mecánico ni con base en fórmulas de probabilidad, sino que depende del proceso de toma de decisiones de un investigador o de un grupo de Investigadores y, desde luego, las muestras seleccionadas obedecen a otros criterios de investigación. Por tanto, para la presente investigación se tomó en bien considerar como muestra el componente de red de distribución de agua.

3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.5.1. TÉCNICAS

Para el proyecto de investigación las principales técnicas utilizadas fueron:

FICHAJE.

Es una técnica que facilita la sistematización bibliográfica, la ordenación lógica de las ideas y el acopio de información, en síntesis, representan el procedimiento más especializado de tomar notas, fichas bibliográficas, marco teórico conceptual, resumen, trascripción y recolectar información relacionada con el trabajo de investigación.

OBSERVACIÓN.

La observación es una técnica de observación de hechos, durante la cual el investigador participa activamente actúa como espectador de las actividades llevadas a cabo por una persona para conocer mejor su sistema. Entre estas tareas encontramos la recopilación, acumulación y transformación de los datos.

MEDICIÓN.

La medida o medición directa se obtiene con un instrumento de medida que compara la variable a medir con un patrón.

3.5.2. INSTRUMENTOS

Los instrumentos utilizados en estas técnicas fueron:

INSTRUMENTOS PARA EL ESTUDIO DE LA POBLACION.

Análisis Documental – Consiste en la búsqueda de información sobre la población del lugar de estudio en literatura existente, que nos permita contrastar con resultados obtenidos recientemente.

INSTRUMENTOS TOPOGRAFICOS.

Sirven para realizar operaciones precisas. Se operan por procedimientos ópticos mecánicos y electrónicos. Dentro de este grupo se ha usado el siguiente:

1. Estación Total.- Es el instrumento que sirve para medir distancias, así como ángulos horizontales y verticales. Dentro de las características generales de estos instrumentos se puede mencionar que tienen un peso de alrededor de 10 Kg., el acabado es de color claro con el objeto de minimizar los efectos de la temperatura cuando se trabaja bajo la influencia de los rayos solares.

2. Wincha- De lona y de metal. Sirve para medir distancias.

3. Prisma - Cuerpo geométrico formado por dos caras planas poligonales, paralelas e iguales, que se llaman bases, y tantas caras rectangulares como lados tiene cada base.

4. Jalones - Marcan señales o puntos topográficos y pueden ser de madera o de metal pintados generalmente de colores blanco y rojo o amarillo y negro.

5. Estacas - Ubican puntos topográficos y son de madera o de metal.

INSTRUMENTOS PARA EL AFORO DE CAUDAL.

Para el aforo de caudal se utilizará el método volumétrico, este método es para determinar caudales de manantiales, es decir caudales muy pequeños, que en proyectos de saneamiento se utiliza para poder determinar los diámetros de tuberías y dimensión de reservorio.

1. Recipiente.- Es el instrumento que sirve para medir volumen que se almacena en ella.

2. Cronometro.- Reloj de gran precisión que permite medir intervalos de tiempo muy pequeños, hasta fracciones de segundo.

INSTRUMENTOS PARA EL TRABAJO EN GABINETE.

Para ello se valió de software tales como:

1. **Python .**– es un lenguaje de programación interpretado cuya filosofía hace hincapié en la legibilidad de su código. Se trata de un lenguaje de programación multiparadigma, ya que soporta orientación a objetos, programación imperativa y, en menor medida, programación funcional. Es un lenguaje interpretado, dinámico y multiplataforma.

2. **Autocad Civil 3D** .- es un software dirigido al diseño y generación de documentación para una gran variedad de proyectos de ingeniería civil como: carreteras y vías de alta capacidad, ferrocarriles, líneas de conducción, etc.

3. **WaterGEMS .-** es un software de ayuda para la toma de decisiones completa y fácil de usar para los profesionales del agua que diseñan, planifican y operan sistemas de distribución de agua.

3.6. TÉCNICAS Y PROCESAMIENTO DE ANÁLISIS DE DATOS

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

a. ORDENAMIENTO DE DATOS

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

b. CALCULO E IDENTIFICACIÓN DE PARÁMETROS GENERALES

Realizar cálculos previos y determinar condiciones que serán datos generales, independientes a la metodología de cálculo para el diseño.

c. DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN POR LAS 3 METODOLOGÍAS PLANTEADAS

Para realizar el procesamiento de datos con métodos racionales e inteligencia artificial con los datos obtenidos de la localidad de Callqui Grande y valores asumidos según condición de diseño; usaremos herramientas de apoyo como son el uso de software WaterGEMS y lenguaje de programación interpretado Python.

d. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Presentación de resultados en tablas y gráficos.

e. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis e interpretación de los resultados se realizará empleando la estadística inferencial.

CAPITULO IV

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

4.1.1. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO

Para iniciar con el cálculo para el diseño de la red de distribución de agua, procederemos a obtener nuestras variables de ingreso que requiere cada metodología para iniciar los cálculos, estos valores de parámetro de diseño serán los mismos independientemente de la metodología de cálculo utilizada (Hardy Cross, Gradiente Hidráulico o Algoritmo Genético).

CÁLCULO DE LA POBLACIÓN FUTURA:

Según el último censo del 2017 se considera densidad poblacional de 5 habitantes por vivienda y con una tasa de crecimiento de (r) de 3.37% anual se hará un cálculo usando dos modelos matemáticos como aritméticos y geométricos, la población de diseño (Pf) a 20 años.

ANALISIS DE DEMANDA

PROYECTO : "DISEÑO DE REDES DE DISTRIBUCION EN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA UTILIZANDO METODOS RACIONALES COMPLEJOS E INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA LOCALIDAD DE CALQUI GRANDE-HUANCAVELICA"

METODO ARITMETICO

CALLQUI GRANDE

Pf= POPLACION FUTURA
Pa = POBLACION ACTUAL
r = RAZON DE CRECIMIENTO
t = TIEMPO TRANSCURRIDO

$$Pf = Pa(1 + r \,.\, t)$$

N° DE AÑOS	AÑO	T	r(%)	DEMANDA (Pf)
0	2020	1.00	3.37	453
1	2021	2.00	3.37	484
2	2022	3.00	3.37	499
3	2023	4.00	3.37	514
4	2024	5.00	3.37	529
5	2025	6.00	3.37	545
6	2026	7.00	3.37	560
7	2027	8.00	3.37	575
8	2028	9.00	3.37	590
9	2029	10.00	3.37	606
10	2030	11.00	3.37	621
11	2031	12.00	3.37	636
12	2032	13.00	3.37	651
13	2033	14.00	3.37	667
14	2034	15.00	3.37	682
15	2035	16.00	3.37	697
16	2036	17.00	3.37	713
17	2037	18.00	3.37	728
18	2038	19.00	3.37	743
19	2039	20.00	3.37	758
20	2040	21.00	3.37	774

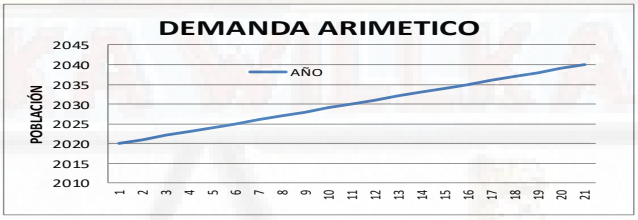


Figura 10 : Cálculo de población futura método aritmético
Fuente: Elaboración propia

ANALISIS DE DEMANDA

PROYECTO : "DISEÑO DE REDES DE DISTRIBUCION EN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA UTILIZANDO METODOS RACIONALES COMPLEJOS E INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA LOCALIDAD DE CALQUI GRANDE-HUANCAVELICA"

METODO GEOMETRICO

CALLQUI GRANDE

Pf= POPLACION FUTURA
Pa = POBLACION ACTUAL
r = RAZON DE CRECIMIENTO
t = TIEMPO TRANSCURRIDO

$$Pf = Pa\left(1 + \frac{r}{100}\right)\text{^t}$$

N° DE AÑOS	AÑO	T	r(%)	DEMANDA (Pf)
0	2020	1.00	3.37	453
1	2021	2.00	3.37	484
2	2022	3.00	3.37	500
3	2023	4.00	3.37	517
4	2024	5.00	3.37	535
5	2025	6.00	3.37	553
6	2026	7.00	3.37	571
7	2027	8.00	3.37	591
8	2028	9.00	3.37	610
9	2029	10.00	3.37	631
10	2030	11.00	3.37	652
11	2031	12.00	3.37	674
12	2032	13.00	3.37	697
13	2033	14.00	3.37	720
14	2034	15.00	3.37	745
15	2035	16.00	3.37	770
16	2036	17.00	3.37	796
17	2037	18.00	3.37	823
18	2038	19.00	3.37	850
19	2039	20.00	3.37	879
20	2040	21.00	3.37	909

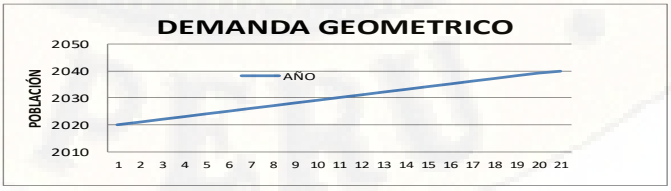


Figura 11 : Cálculo de población futura método geométrico
Fuente: Elaboración propia

ANALISIS DE DEMANDA FINAL

PROYECTO : "DISEÑO DE REDES DE DISTRIBUCION EN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA UTILIZANDO METODOS RACIONALES COMPLEJOS E INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA LOCALIDAD DE CALQUI GRANDE-HUANCAVELICA"

ALTERNATIVA RECOMENDADA

CALLQUI GRANDE

N° DE AÑOS	AÑO	M. ARITMETICO	M. GEOMETRICO	RECOMENDABLE
0	2020	453.00	453.00	453
1	2021	484.00	484.00	484
2	2022	499.00	500.00	500
3	2023	514.00	517.00	517
4	2024	529.00	535.00	535
5	2025	545.00	553.00	553
6	2026	560.00	571.00	571
7	2027	575.00	591.00	591
8	2028	590.00	610.00	610
9	2029	606.00	631.00	631
10	2030	621.00	652.00	652
11	2031	636.00	674.00	674
12	2032	651.00	697.00	697
13	2033	667.00	720.00	720
14	2034	682.00	745.00	745
15	2035	697.00	770.00	770
16	2036	713.00	796.00	796
17	2037	728.00	823.00	823
18	2038	743.00	850.00	850
19	2039	758.00	879.00	879
20	2040	774.00	909.00	909

COMPENSACION DE METODOS

DEMANDA POBLACIONAL 909 (Hab)

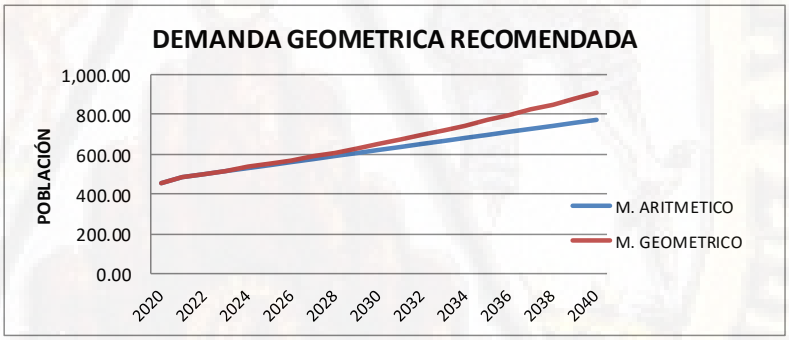


Figura 12 : Análisis del resultado óptimo de población futura.
Fuente: Elaboración propia

CÁLCULO DEL CAUDAL DE DISEÑO

Se determinó el caudal de diseño para la población proyectada, teniendo en consideración lo señalado en el Reglamento Nacional de Edificaciones, donde se indica que se considerará como mínimo para sistemas con conexiones domiciliarias con una dotación de 100

litros/habitante/día en clima frio y con alcantarillado domiciliaria.

CALCULO DEL CAUDAL DE DEMANDA DE AGUA POTABLE

PROYECTO : "DISEÑO DE REDES DE DISTRIBUCION EN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA UTILIZANDO METODOS RACIONALES COMPLEJOS E INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA LOCALIDAD DE CALQUI GRANDE-HUANCAVELICA"

DOTACION DE AGUA POTABLE NORMA OS.100 (REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES) CONDICIONES BASICAS DE DISEÑO

Según DIGESA. La dotación de agua se expresa en litros por personas al día (lppd) y DIGESA, recomienda para el medio rural los siguientes parámetros:

Zona	Módulo (lppd)
Sierra	50
Costa	60
Selva	70

Según la OMS (ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD). Recomienda los parámetros siguientes:

Población	Clima	
	frio	calido
Rural 100 - 1000	100	150
2,000 – 10,000	120	150
10,000 – 50,000	150	200
50,000	200	250

Según el Fondo Perú Aleman. Se ha considerado las dotaciones siguientes:

Tipo de proyecto	Dotación (lppd)
Agua potable domiciliaria con alcantarillado	100
Agua potable domiciliaria con letrinas	50
Agua potable con piletas	30

lppd = litros por persona al día
En los módulos de consumo, por supuesto no está incluido el riego de huertos o la dotación de agua al ganado sobre todo al vacuno que consume aproximadamente 40 a 50 litros por cabeza.

Figura 13 : Tablas de parámetros de diseño para demanda de agua potable.
Fuente: Elaboración propia

DOTACIÓN

Se considerará una dotación de 100 lt/hab/dia. Por tratarse de una zona rural con agua potable y con alcantarillado domiciliaria.

VARIACIÓN DE CONSUMO.

Se considera:

Coeficiente máximo anual de la demanda diaria (K1) : 1.3

Coeficiente máximo anual de la demanda horaria (K2) : 2.0

DEMANDA CONTRA INCENDIO

No se considera caudal contra incendio.

CÁLCULO DE CAUDAL MÁXIMO DIARIO

El caudal máximo diario se calcula según la siguiente formula:

$$Qmaxd = K1 x Qprom \quad (4.1)$$

$$Qmaxd = K1 x Dotacion\ x\ Pf \quad (4.2)$$

CÁLCULO DE CAUDAL MÁXIMO HORARIO

Para el cálculo hidráulico de las redes de distribución de agua se considera el máximo caudal de comparar el consumo máximo horario con el caudal máximo diario más la ocurrencia de incendio.

$$Qmaxh = K2 x Qprom \quad (4.3)$$

$$Qmaxh = K2 x Dotacion\ x\ Pf \quad (4.4)$$

El caudal máximo horario se ha distribuido entre los nudos que conforman el esquema hidráulico de la red siguiendo el criterio de lotes tributarios a nudos.

CALCULO DEL CAUDAL DE DEMANDA DE AGUA POTABLE

PROYECTO : "DISEÑO DE REDES DE DISTRIBUCION EN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA UTILIZANDO METODOS RACIONALES COMPLEJOS E INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA LOCALIDAD DE CALQUI GRANDE-HUANCAVELICA"

SEGÚN LAS CARACTERISTICAS DEL PROYECTO SE RECOMIENDA = **100** L/Dia

Caudal medio diario = (*Qm*).
Caudal máximo diario = (*Q max.d*)
Caudal máximo horario = *Q max.h*)
Caudal de bombeo = Q_B

$$Qm = \frac{Dotación \times poblaciones\ futura}{86{,}400\ seg}$$

$Q\ max\ d = 1.3\ Qm$
$Q\ max\ h = 2.0\ Qm$
$Q_B = (Qm \times 24\ h)/N°.de\ horas\ de\ bombeo$

POBLACION FUTURA = **909** Hab.

SIMBOLO	CANTIDAD	UND
Qm =	1.05	L/Seg:
Qmax d =	1.37	L/Seg:
Qmax h =	2.10	L/Seg:
Q 80% =	1.68	L/Seg:

* El caudal ***Qmaxd*** , servirá para el diseño de la captación y línea de conducción de agua potable.
* El caudal ***Qmaxh*** , servirá para el diseño de reservorio, linea de aduccion y redes de distribucion de agua potable.
* El caudal ***Q80%*** , es el caudal de diseño para alcantarillado el cual servirá para el diseño de las redes de distribucion de alcantarillado y plantas de tratamiento de aguas residuales.

Figura 14 : Resultados de cálculo del caudal de demanda.
Fuente: Elaboración propia

CÁLCULO DE CAUDALES EN CADA NODO

Para el cálculo de demanda en cada nodo se va realizar por el método de polígono de Thiessen. La red posee 31 nodos de los cuales, hay nodos para la conexión domiciliaria también para Centro de Salud y Centros Educativos, se va a considerar los siguientes pesos:

Se considera en centro poblado, para la conexión domiciliaria el 70% de peso, para la conexión de Escuelas el 80% de peso, para la conexión

de Colegios el 100% de peso y para la conexión de Centro de Salud el 100% de peso.

Datos para el cálculo de caudales en cada nodo.

Q(mh)	2.10	Lts/sg
Q(md)	1.37	Lts/sg
Q(u)	0.0270	Lts/sg

NODO	AREA(m2)	AREA(Ha)
N-2	7597.04	7.597041
N-3	4575.60	4.5756
N-4	2356.87	2.35687
N-5	4119.22	4.11922
N-6	2874.84	2.87484
N-7	2170.62	2.17062
N-8	2397.36	2.39736
N-9	2974.58	2.97458
N-10	3150.44	3.15044
N-11	2642.19	2.64219
N-12	2679.06	2.67906
N-13	3094.16	3.09416
N-14	4006.18	4.00618
N-15	3002.58	3.00258
N-16	3086.74	3.08674
N-17	2569.74	2.56974
N-18	2418.97	2.41897
N-19	2410.39	2.41039
N-20	2415.82	2.41582
N-21	6229.21	6.22921
N-22	2436.64	2.43664
N-23	2560.77	2.56077
N-24	2375.09	2.37509
N-25	2948.84	2.94884
N-26	2279.06	2.27906
N-27	4196.54	4.19654
N-28	4281.37	4.28137
N-29	4510.45	4.51045
N-30	5670.22	5.67022
N-31	5980.72	5.980716

Figura 15 : Tabla de áreas para diseño de caudal en cada nodo.
Fuente: Elaboración propia

Q(mh)	2.10	Lts/sg
Q(md)	1.37	Lts/sg
Q(u)	0.0270	Lts/sg

METODO DE POLIGONO DE THIESSEN

NODO	AREA(m2)	AREA(Ha)	PESO(%)	(P.)X(A.Infl.)	Q.en Nodo(Lt/seg)
N-2	7597.04	7.597041	70	5.3179287	0.1438
N-3	4575.60	4.5756	80	3.66048	0.0990
N-4	2356.87	2.35687	80	1.885496	0.0510
N-5	4119.22	4.11922	70	2.883454	0.0780
N-6	2874.84	2.87484	70	2.012388	0.0544
N-7	2170.62	2.17062	70	1.519434	0.0411
N-8	2397.36	2.39736	70	1.678152	0.0454
N-9	2974.58	2.97458	70	2.082206	0.0563
N-10	3150.44	3.15044	70	2.205308	0.0596
N-11	2642.19	2.64219	70	1.849533	0.0500
N-12	2679.06	2.67906	80	2.143248	0.0580
N-13	3094.16	3.09416	70	2.165912	0.0586
N-14	4006.18	4.00618	80	3.204944	0.0867
N-15	3002.58	3.00258	70	2.101806	0.0568
N-16	3086.74	3.08674	70	2.160718	0.0584
N-17	2569.74	2.56974	70	1.798818	0.0486
N-18	2418.97	2.41897	70	1.693279	0.0458
N-19	2410.39	2.41039	70	1.687273	0.0456
N-20	2415.82	2.41582	70	1.691074	0.0457
N-21	6229.21	6.22921	70	4.360447	0.1179
N-22	2436.64	2.43664	70	1.705648	0.0461
N-23	2560.77	2.56077	70	1.792539	0.0485
N-24	2375.09	2.37509	70	1.662563	0.0450
N-25	2948.84	2.94884	70	2.064188	0.0558
N-26	2279.06	2.27906	70	1.595342	0.0431
N-27	4196.54	4.19654	70	2.937578	0.0794
N-28	4281.37	4.28137	70	2.996959	0.0810
N-29	4510.45	4.51045	70	3.157315	0.0854
N-30	5670.22	5.67022	100	5.67022	0.1533
N-31	5980.72	5.980716	100	5.980716	0.1617
				77.6649667	2.100

Figura 16 : Tabla de resultados del caudal de demanda en cada nodo.
Fuente: Elaboración propia

PLANTEAMIENTO DEL ESQUEMA HIDRÁULICO

El esquema hidráulico del sistema de distribución de agua potable está compuesto por redes de tuberías (material PVC: rugosidad absoluta Ks = 0.0015 mm) presurizadas cerradas que conforman un reservorio de nivel fijo (RVS), nudos (N) y tuberías (P). La asignación de demanda a

los nudos se ha realizado teniendo en cuenta la cantidad de tributarios de estos a los nudos.

Figura 17 : Esquema topográfico de Callqui Grande.
Fuente: Elaboración propia

4.1.2. ANÁLISIS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN POR EL METODO DE HARDY CROSS

Para el análisis de la red de distribución objeto de estudio del presente proyecto, en esta parte veremos el uso del método de Hardy Cross con corrección de cabezas, para ello usaremos varias herramientas de cálculo como son la hoja de cálculo Excel, Software de programación interpretado Python, software de dibujo Civil 3D.

a. Definimos la geometría de la red de la localidad de Callqui Grande.

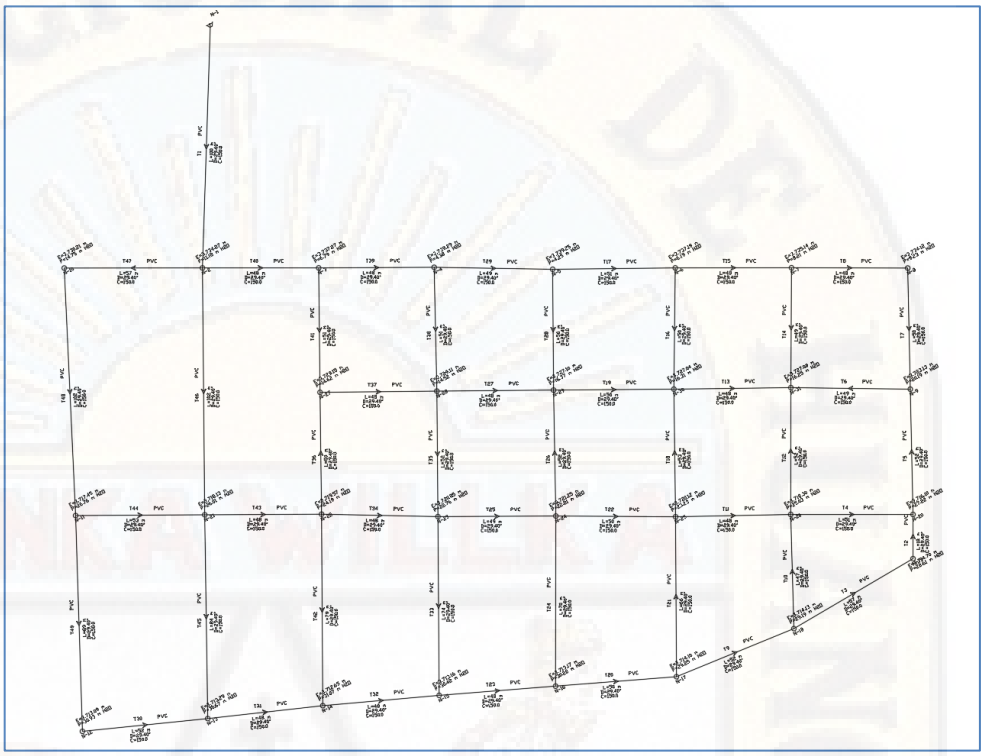


Figura 18 : esquema de la red de distribución
Fuente: Software de dibujo Civil 3D

Del esquema podemos disponer la distribución en tablas, para con ello iniciar los cálculos necesarios, en tal sentido se muestra las siguientes tablas.

Tabla 3 : disposición de tuberías

TUBERIA	Ni	Nf	L (m)	D (m)	km	ks
1	1	2	100.00	0.0678	0	1.50E-06
2	20	19	18.00	0.0294	0	1.50E-06
3	18	19	57.00	0.0384	0	1.50E-06
4	26	20	51.00	0.0294	0	1.50E-06
5	20	9	52.00	0.0384	0	1.50E-06
6	31	9	49.00	0.0294	0	1.50E-06
7	9	8	50.00	0.0384	0	1.50E-06
8	7	8	48.00	0.0294	0	1.50E-06
9	17	18	52.00	0.0294	0	1.50E-06
10	26	18	47.00	0.0384	0	1.50E-06
11	25	26	48.00	0.0294	0	1.50E-06
12	26	31	52.00	0.0384	0	1.50E-06
13	30	31	48.00	0.0384	0	1.50E-06
14	31	7	49.00	0.0294	0	1.50E-06
15	6	7	48.00	0.0384	0	1.50E-06
16	30	6	50.00	0.0294	0	1.50E-06
17	5	6	51.00	0.0384	0	1.50E-06
18	30	25	53.00	0.0294	0	1.50E-06
19	29	30	50.00	0.0294	0	1.50E-06
20	16	17	50.00	0.0294	0	1.50E-06
21	25	17	66.00	0.0384	0	1.50E-06
22	24	25	50.00	0.0384	0	1.50E-06
23	15	16	48.00	0.0294	0	1.50E-06
24	24	16	70.00	0.0294	0	1.50E-06
25	23	24	49.00	0.0294	0	1.50E-06
26	29	24	52.00	0.0384	0	1.50E-06
27	28	29	48.00	0.0294	0	1.50E-06
28	29	5	50.00	0.0384	0	1.50E-06
29	4	5	49.00	0.0434	0	1.50E-06
30	13	12	52.00	0.0384	0	1.50E-06
31	13	14	48.00	0.0384	0	1.50E-06
32	14	15	48.00	0.0294	0	1.50E-06
33	23	15	74.00	0.0294	0	1.50E-06
34	22	23	48.00	0.0294	0	1.50E-06
35	28	23	52.00	0.0384	0	1.50E-06
36	22	27	50.00	0.0294	0	1.50E-06
37	27	28	48.00	0.0294	0	1.50E-06
38	4	28	51.00	0.0294	0	1.50E-06
39	3	4	48.00	0.0434	0	1.50E-06
40	2	3	48.00	0.0554	0	1.50E-06
41	3	27	51.00	0.0294	0	1.50E-06
42	22	14	79.00	0.0384	0	1.50E-06
43	21	22	48.00	0.0294	0	1.50E-06
44	21	11	53.00	0.0384	0	1.50E-06
45	21	13	84.00	0.0294	0	1.50E-06
46	2	21	102.00	0.0554	0	1.50E-06
47	2	10	57.00	0.0384	0	1.50E-06
48	10	11	102.00	0.0384	0	1.50E-06
49	11	12	89.00	0.0384	0	1.50E-06

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4 : condiciones de nodos

NODO	cotas	Qdem (m3/s)
1	3750.000	0
2	3734.270	0.000144
3	3737.270	0.000099
4	3739.290	0.000051
5	3739.250	0.000078
6	3737.190	0.000054
7	3735.140	0.000041
8	3734.120	0.000045
9	3723.130	0.000056
10	3730.210	0.000060
11	3717.450	0.000050
12	3713.090	0.000058
13	3713.290	0.000059
14	3712.650	0.000087
15	3713.160	0.000057
16	3713.170	0.000058
17	3714.100	0.000049
18	3714.130	0.000046
19	3714.700	0.000046
20	3716.100	0.000046
21	3718.130	0.000118
22	3719.570	0.000046
23	3720.850	0.000049
24	3721.250	0.000045
25	3720.120	0.000056
26	3718.300	0.000043
27	3729.150	0.000079
28	3729.110	0.000081
29	3727.100	0.000085
30	3727.040	0.000153
31	3727.080	0.000162

Fuente: Elaboración propia

b. Al realizar un análisis de las cabezas piezométricas en cada uno de los nodos, tendremos que el único nodo con cabeza fija será el nodo 1 (donde se encuentra el reservorio) por lo que el resto de los nodos asumiremos su valor.

Tabla 5: Suposición de cabezas de presión

NODO	cotas	Cabezas
1	3750.000	0.000
2	3734.270	15.000
3	3737.270	15.000
4	3739.290	15.000
5	3739.250	15.000
6	3737.190	15.000
7	3735.140	15.000
8	3734.120	15.000
9	3723.130	25.000
10	3730.210	15.000
11	3717.450	30.000
12	3713.090	35.000
13	3713.290	35.000
14	3712.650	35.000
15	3713.160	35.000
16	3713.170	35.000
17	3714.100	35.000
18	3714.130	35.000
19	3714.700	35.000
20	3716.100	30.000
21	3718.130	30.000
22	3719.570	30.000
23	3720.850	30.000
24	3721.250	30.000
25	3720.120	30.000
26	3718.300	30.000
27	3729.150	25.000
28	3729.110	25.000
29	3727.100	25.000
30	3727.040	25.000
31	3727.080	25.000

Fuente: Elaboración propia

c. Cálculo del caudal en cada uno de las tuberías, para posteriormente evaluar la ecuación de continuidad en cada nodo, en caso el valor no se acerque a cero se tendrá que corregir la cabeza utilizando la ecuación (2.12) y volver a realizar este ciclo iterativo hasta que cada nodo tenga una variación razonable.

- Dado las siguientes ecuaciones:

$$h_f = H - Z_2 - \sum k_m \left(\frac{V_2^2}{2g}\right)$$

$$V = \frac{-2\sqrt{2gDh_f}}{\sqrt{L}} log_{10}\left(\frac{k_s}{3.7D} + \frac{2.51v\sqrt{L}}{D\sqrt{2gDh_f}}\right)$$

$$Q = VA$$

Haciendo un análisis previo, la red no presenta perdidas menores causadas por la válvula u otros, por lo que no será necesario realizar iteraciones para calcular Velocidad.

$$h_f = H - Z_2 - \sum k_m \left(\frac{V_2^2}{2g}\right)$$

$$h_f = H - Z_2$$

- Proceso iterativo:

Puesto que el nodo 1 es de cabeza fija, no se corrige, por lo que iniciaremos el proceso de análisis en el nodo 2 y culminar en el nodo 31, una vez terminada este primer ciclo evaluaremos valores de las correcciones, si esta se aproxima a cero ya no sería necesarios realizar más ciclos.

PRIMER CICLO ITERATIVO:

Tabla 6: Corrección de cabeza en el nodo 2

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
1	2	3749.27	3750.00	0.73	0.0023924107	0.0032772750
2	3	3749.27	3752.27	3.00	0.0046332280	0.0015444093
2	21	3749.27	3748.13	1.14	-0.0017654511	0.0015486413
2	10	3749.27	3745.21	4.06	-0.0018664810	0.0004597244
				-QS=	-0.0001440000	
				Σ =	0.0032497067	0.0068300500
					ΔH=	0.9515909076

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7: Corrección de cabeza en el nodo 3

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
3	4	3752.27	3754.29	2.02	0.0019303471	0.0009556174
2	3	3752.27	3750.22	2.05	-0.0037452948	0.0018283920
3	27	3752.27	3754.15	1.88	0.0006269590	0.0003334888
				-QS=	-0.0000990000	
				Σ =	-0.0012869888	0.0031174981
					ΔH=	-0.8256548720

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8: Corrección de cabeza en el nodo 4

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
4	5	3754.29	3754.25	0.04	-0.0002028393	0.0050709832
4	28	3754.29	3754.11	0.18	-0.0001631629	0.0009064603
3	4	3754.29	3751.44	2.85	-0.0023391981	0.0008220245
				-QS=	-0.0000510000	
				Σ =	-0.0027562003	0.0067994680
					ΔH=	-0.8107105761

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9: Corrección de cabeza en el nodo 5

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
5	6	3754.25	3752.19	2.06	-0.0013571622	0.0006588166
29	5	3754.25	3752.10	2.15	-0.0014058135	0.0006538667
4	5	3754.25	3753.48	0.77	-0.0011084674	0.0014382408
				-QS=	-0.0000780000	
				Σ =	-0.0039494431	0.0027509242
					ΔH=	-2.8713573371

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10: Corrección de cabeza en el nodo 6

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
6	7	3752.19	3750.14	2.05	-0.0014004388	0.0006831409
30	6	3752.19	3752.04	0.15	-0.0001484477	0.0009896510
5	6	3752.19	3751.38	0.81	-0.0008014216	0.0009877542
				-QS=	-0.0000540000	
				Σ =	-0.0024043081	0.0026605461
					ΔH=	-1.8073793782

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11: Corrección de cabeza en el nodo 7

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
7	8	3750.14	3749.12	1.02	-0.0004583580	0.0004493705
31	7	3750.14	3752.08	1.94	0.0006528693	0.0003365306
6	7	3750.14	3750.38	0.24	0.0004165618	0.0017169267
				-QS=	-0.0000410000	
				Σ =	0.0005700732	0.0025028278
					ΔH=	0.4555432743

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12: Corrección de cabeza en el nodo 8

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
9	8	3749.12	3748.13	0.99	-0.0009072965	0.0009164611
7	8	3749.12	3750.60	1.48	0.0005655408	0.0003832764
				-QS=	-0.0000450000	
				Σ =	-0.0003867556	0.0012997374
					ΔH=	-0.5951288678

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13: Corrección de cabeza en el nodo 9

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
20	9	3748.13	3746.10	2.03	-0.0013313566	0.0006558407
31	9	3748.13	3752.08	3.95	0.0009756595	0.0002470024
9	8	3748.13	3748.52	0.39	0.0005378342	0.0013620501
				-QS=	-0.0000560000	
				Σ =	0.0001261372	0.0022648931
					ΔH=	0.1113847085

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14: Corrección de cabeza en el nodo 10

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
2	10	3745.21	3750.22	5.01	0.0021000581	0.0004190402
10	11	3745.21	3747.45	2.24	0.0009621057	0.0004295115
				-QS=	-0.0000600000	
				Σ =	0.0030021638	0.0008485517
					ΔH=	7.0759715576

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15: Corrección de cabeza en el nodo 11

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
21	11	3747.45	3748.13	0.68	0.0007092267	0.0010429804
10	11	3747.45	3752.29	4.84	0.0014852137	0.0003071180
11	12	3747.45	3748.09	0.64	0.0005097843	0.0007965379
				-QS=	-0.0000500000	
				Σ =	0.0026542246	0.0021466363
					ΔH=	2.4729150750

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16: Corrección de cabeza en el nodo 12

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
13	12	3748.09	3748.29	0.20	0.0003560329	0.0017801644
11	12	3748.09	3749.92	1.83	0.0009277445	0.0005061579
				-QS=	-0.0000580000	
				Σ =	0.0012257773	0.0022863223
					ΔH=	1.0722699402

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17: Corrección de cabeza en el nodo 13

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
13	12	3748.29	3749.16	0.87	0.0008258806	0.0009468177
13	14	3748.29	3747.65	0.64	-0.0007249116	0.0011326743
21	13	3748.29	3748.13	0.16	-0.0001138699	0.0007116870
				-QS=	-0.0000590000	
				Σ =	-0.0000719009	0.0027911790
					ΔH=	-0.0515200862

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18: Corrección de cabeza en el nodo 14

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
13	14	3747.65	3748.24	0.59	0.0006911205	0.0011744165
14	15	3747.65	3748.16	0.51	0.0003083187	0.0006045465
22	14	3747.65	3749.57	1.92	0.0010189020	0.0005306781
				-QS=	-0.0000870000	
				Σ =	0.0019313413	0.0023096411
					ΔH=	1.6724167637

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19: Corrección de cabeza en el nodo 15

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
15	16	3748.16	3748.17	0.01	0.0000305269	0.0030526863
14	15	3748.16	3749.32	1.16	0.0004937934	0.0004247989
23	15	3748.16	3750.85	2.69	0.0006220105	0.0002312307
				-QS=	-0.0000570000	
				Σ =	0.0010893308	0.0037087159
					ΔH=	0.5874436331

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20: Corrección de cabeza en el nodo 16

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
16	17	3748.17	3749.10	0.93	0.0004248199	0.0004567956
15	16	3748.17	3748.75	0.58	0.0003310881	0.0005733688
24	16	3748.17	3751.25	3.08	0.0006931074	0.0002250349
				-QS=	-0.0000580000	
				Σ =	0.0013910154	0.0012551992
					ΔH=	2.2164058486

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21: Corrección de cabeza en el nodo 17

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
17	18	3749.10	3749.13	0.03	0.0000562669	0.0018755649
16	17	3749.10	3750.39	1.29	0.0005111039	0.0003973115
25	17	3749.10	3750.12	1.02	0.0007883439	0.0007728861
				-QS=	-0.0000490000	
				Σ =	0.0013067147	0.0030457625
					ΔH=	0.8580542119

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22: Corrección de cabeza en el nodo 18

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
18	19	3749.13	3749.70	0.57	0.0006153965	0.0010796430
17	18	3749.13	3749.96	0.83	0.0003887477	0.0004694713
26	18	3749.13	3748.30	0.83	-0.0008503265	0.0010244897
				-QS=	-0.0000460000	
				Σ =	0.0001078177	0.0025736040
					ΔH=	0.0837873506

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23: Corrección de cabeza en el nodo 19

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
20	19	3749.70	3746.10	3.60	-0.0016243916	0.0004512199
18	19	3749.70	3749.21	0.49	-0.0005620337	0.0011559423
				-QS=	-0.0000460000	
				Σ =	-0.0022324254	0.0016071622
					ΔH=	-2.7780959832

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24:: Corrección de cabeza en el nodo 20

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
20	19	3746.10	3746.92	0.82	0.0007078051	0.0008611773
26	20	3746.10	3748.30	2.20	0.0006853779	0.0003115354
20	9	3746.10	3748.24	2.14	0.0013720127	0.0006407129
				-QS=	-0.0000460000	
				Σ =	0.0027191957	0.0018134256
					ΔH=	2.9989603648

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25: Corrección de cabeza en el nodo 21

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
21	22	3748.13	3749.57	1.44	0.0005577596	0.0003873331
21	11	3748.13	3749.92	1.79	0.0012281004	0.0006849741
21	13	3748.13	3748.24	0.11	0.0000906475	0.0008356158
2	21	3748.13	3750.22	2.09	0.0024844954	0.0011878496
				-QS=	-0.0001180000	
				Σ =	0.0042430029	0.0030957725
					ΔH=	2.7411593786

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26: Corrección de cabeza en el nodo 22

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
22	23	3749.57	3750.85	1.28	0.0005216305	0.0004075238
22	27	3749.57	3754.15	4.58	0.0010484241	0.0002289136
22	14	3749.57	3749.32	0.25	-0.0003164151	0.0012780149
21	22	3749.57	3750.87	1.30	0.0005265183	0.0004046532
				-QS=	-0.0000460000	
				Σ =	0.0017341578	0.0023191055
					ΔH=	1.4955403074

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27: Corrección de cabeza en el nodo 23

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
23	24	3750.85	3751.25	0.40	0.0002649736	0.0006624340
23	15	3750.85	3748.75	2.10	-0.0005407912	0.0002572065
22	23	3750.85	3751.07	0.22	0.0001876297	0.0008705087
28	23	3750.85	3754.11	3.26	0.0017375532	0.0005329918
				-QS=	-0.0000490000	
				Σ =	0.0016003653	0.0023231410
					ΔH=	1.3777599606

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28: Corrección de cabeza en el nodo 24

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
24	25	3751.25	3750.12	1.13	-0.0009778565	0.0008653597
24	16	3751.25	3750.39	0.86	-0.0003359052	0.0003889619
23	24	3751.25	3752.23	0.98	0.0004422043	0.0004522627
29	24	3751.25	3752.10	0.85	0.0008138486	0.0009574689
				-QS=	-0.0000450000	
				Σ =	-0.0001027088	0.0026640532
					ΔH=	-0.0771071625

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29: Corrección de cabeza en el nodo 25

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
25	26	3750.12	3748.30	1.82	-0.0006370624	0.0003500343
30	25	3750.12	3752.04	1.92	0.0006207969	0.0003233317
25	17	3750.12	3749.96	0.16	-0.0002747199	0.0016963693
24	25	3750.12	3751.17	1.05	0.0009395067	0.0008923099
				-QS=	-0.0000560000	
				Σ =	0.0005925214	0.0032620452
					ΔH=	0.3632821527

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30: Corrección de cabeza en el nodo 26

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
26	20	3748.3	3749.10	0.80	0.0003851307	0.0004820398
26	18	3748.3	3749.21	0.91	0.0008979723	0.0009826928
25	26	3748.3	3750.48	2.18	0.0007062568	0.0003234840
26	31	3748.3	3752.08	3.78	0.0018878867	0.0004994409
				-QS=	-0.0000430000	
				Σ =	0.0038342465	0.0022876575
					ΔH=	3.3521157729

Fuente: Elaboración propia

Tabla 31: Corrección de cabeza en el nodo 27

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
22	27	3754.15	3751.07	3.08	-0.0008390318	0.0002720191
27	28	3754.15	3754.11	0.04	-0.0000699947	0.0017498675
3	27	3754.15	3751.44	2.71	-0.0007704972	0.0002847729
				-QS=	-0.0000790000	
				Σ =	-0.0017585237	0.0023066595
					ΔH=	-1.5247362725

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32: Corrección de cabeza en el nodo 28

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
28	29	3754.11	3752.10	2.01	-0.0006739446	0.0003352958
28	23	3754.11	3752.23	1.88	-0.0012758569	0.0006778396
27	28	3754.11	3752.63	1.48	-0.0005675399	0.0003822496
4	28	3754.11	3753.48	0.63	-0.0003363703	0.0005333195
				-QS=	-0.0000810000	
				Σ =	-0.0029347116	0.0019287046
					ΔH=	-3.0431945031

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33: Corrección de cabeza en el nodo 29

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
29	30	3752.1	3752.04	0.06	-0.0000868125	0.0014468750
29	24	3752.1	3751.17	0.93	-0.0008549429	0.0009221619
28	29	3752.1	3751.07	1.03	-0.0004617287	0.0004468943
29	5	3752.1	3751.38	0.72	-0.0007581354	0.0010509845
				-QS=	-0.0000850000	
				Σ =	-0.0022466195	0.0038669157
					ΔH=	-1.1619697427

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34: Corrección de cabeza en el nodo 30

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
30	31	3752.04	3752.08	0.04	0.0001465521	0.0036638017
30	6	3752.04	3750.38	1.66	-0.0005902811	0.0003561533
30	25	3752.04	3750.48	1.56	-0.0005510941	0.0003540103
29	30	3752.04	3750.94	1.10	-0.0004679875	0.0004246827
				-QS=	-0.0001530000	
				Σ =	-0.0016158107	0.0047986480
					ΔH=	-0.6734441317

Fuente: Elaboración propia

Tabla 35: Corrección de cabeza en el nodo 31

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
31	9	3752.08	3748.24	3.84	-0.0009600651	0.0002501071
26	31	3752.08	3751.65	0.43	-0.0005506023	0.0012868021
30	31	3752.08	3751.37	0.71	-0.0007710753	0.0010807788
31	7	3752.08	3750.60	1.48	-0.0005608700	0.0003778284
				-QS=	-0.0001620000	
				Σ =	-0.0030046126	0.0029955164
					ΔH=	-2.0060732315

Fuente: Elaboración propia

* Debido a que las correcciones de cabeza son valores que todavía no se aproximan a cero, seguiremos con el ciclo de correcciones, hasta donde consideramos que el valor de correcciones es mínimo.

SEGUNDO CICLO ITERATIVO

Tabla 36: Corrección de cabeza en el nodo 2

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
1	2	3750.22	3750.00	0.22	-0.0012176709	0.0054951301
2	3	3750.22	3751.44	1.22	0.0028061324	0.0022949276
2	21	3750.22	3750.87	0.65	0.0012843160	0.0019771834
2	10	3750.22	3752.29	2.06	0.0012762597	0.0006182289
				-QS=	-0.0001440000	
				Σ =	0.0040050372	0.0103854700
					ΔH=	0.7712770360

Fuente: Elaboración propia

Tabla 37: Corrección de cabeza en el nodo 3

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
3	4	3751.44	3753.48	2.03	0.0019383506	0.0009525325
2	3	3751.44	3750.99	0.45	-0.0016015846	0.0035474319
3	27	3751.44	3752.63	1.18	0.0004813446	0.0004076019
				-QS=	-0.0000990000	
				Σ =	0.0007191107	0.0049075663
					ΔH=	0.2930620206

Fuente: Elaboración propia

Tabla 38: Corrección de cabeza en el nodo 4

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
4	5	3753.48	3751.38	2.10	-0.0019505281	0.0009285369
4	28	3753.48	3751.07	2.41	-0.0007221030	0.0002993193
3	4	3753.48	3751.74	1.74	-0.0017762331	0.0010197205
				-QS=	-0.0000510000	
				Σ =	-0.0044998642	0.0022475768
					ΔH=	-4.0041918028

Fuente: Elaboración propia

Tabla 39: Corrección de cabeza en el nodo 5

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
5	6	3751.38	3750.38	1.00	-0.0009002616	0.0009038571
29	5	3751.38	3750.94	0.44	-0.0005725738	0.0012994955
4	5	3751.38	3749.48	1.90	-0.0018455497	0.0009695330
				-QS=	-0.0000780000	
				Σ =	-0.0033963851	0.0031728855
					ΔH=	-2.1408809414

Fuente: Elaboración propia

Tabla 40: Corrección de cabeza en el nodo 6

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
6	7	3750.38	3750.60	0.21	0.0003864706	0.0018150752
30	6	3750.38	3751.37	0.98	0.0004387098	0.0004458727
5	6	3750.38	3749.24	1.14	-0.0009741344	0.0008508772
				-QS=	-0.0000540000	
				Σ =	-0.0002029539	0.0031118251
					ΔH=	-0.1304404372

Fuente: Elaboración propia

Tabla 41: Corrección de cabeza en el nodo 7

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
7	8	3750.60	3748.52	2.07	-0.0006853936	0.0003310005
31	7	3750.60	3750.07	0.52	-0.0003086556	0.0005917290
6	7	3750.60	3750.25	0.34	-0.0005082576	0.0014802338
				-QS=	-0.0000410000	
				Σ =	-0.0015433069	0.0024029633
					ΔH=	-1.2845030513

Fuente: Elaboración propia

Tabla 42: Corrección de cabeza en el nodo 8

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
9	8	3748.52	3748.24	0.28	-0.0004449231	0.0015694687
7	8	3748.52	3749.31	0.79	0.0003950507	0.0005025009
				-QS=	-0.0000450000	
				Σ =	-0.0000948724	0.0020719696
					ΔH=	-0.0915770434

Fuente: Elaboración propia

Tabla 43: Corrección de cabeza en el nodo 9

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
20	9	3748.24	3749.10	0.86	0.0008179570	0.0009538016
31	9	3748.24	3750.07	1.83	0.0006321137	0.0003449382
9	8	3748.24	3748.43	0.19	0.0003556083	0.0018530012
				-QS=	-0.0000560000	
				Σ =	0.0017496791	0.0031517410
					ΔH=	1.1102936900

Fuente: Elaboración propia

Tabla 44: Corrección de cabeza en el nodo 10

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
2	10	3752.29	3750.99	1.29	-0.0009799611	0.0007578365
10	11	3752.29	3749.92	2.36	-0.0009916687	0.0004196551
				-QS=	-0.0000600000	
				Σ =	-0.0020316299	0.0011774916
					ΔH=	-3.4507759252

Fuente: Elaboración propia

Tabla 45: Corrección de cabeza en el nodo 11

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
21	11	3749.92	3750.87	0.95	0.0008566389	0.0009033948
10	11	3749.92	3748.84	1.09	-0.0006383590	0.0005868784
11	12	3749.92	3749.16	0.76	-0.0005626552	0.0007397079
				-QS=	-0.0000500000	
				Σ =	-0.0003943753	0.0022299810
					ΔH=	-0.3537028258

Fuente: Elaboración propia

Tabla 46: Corrección de cabeza en el nodo 12

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
13	12	3749.16	3748.24	0.92	-0.0008532069	0.0009235939
11	12	3749.16	3749.57	0.41	0.0003932590	0.0009663753
				-QS=	-0.0000580000	
				Σ =	-0.0005179479	0.0018899692
					ΔH=	-0.5481019231

Fuente: Elaboración propia

Tabla 47: Corrección de cabeza en el nodo 13

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
13	12	3748.24	3748.61	0.38	0.0005111515	0.0013605742
13	14	3748.24	3749.32	1.08	0.0009774161	0.0009017279
21	13	3748.24	3750.87	2.63	0.0005717951	0.0002171913
				-QS=	-0.0000590000	
				Σ =	0.0020013627	0.0024794934
					ΔH=	1.6143319532

Fuente: Elaboración propia

Tabla 48: Corrección de cabeza en el nodo 14

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
13	14	3749.32	3749.85	0.53	0.0006514201	0.0012281789
14	15	3749.32	3748.75	0.57	-0.0003302753	0.0005744186
22	14	3749.32	3751.07	1.74	0.0009646838	0.0005534225
				-QS=	-0.0000870000	
				Σ =	0.0011988286	0.0023560201
					ΔH=	1.0176726602

Fuente: Elaboración propia

Tabla 49: Corrección de cabeza en el nodo 15

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
15	16	3748.75	3750.39	1.64	0.0006002995	0.0003662680
14	15	3748.75	3750.34	1.59	0.0005906100	0.0003708357
23	15	3748.75	3752.23	3.48	0.0007197477	0.0002068053
				-QS=	-0.0000570000	
				Σ =	0.0018536571	0.0009439090
					ΔH=	3.9276182324

Fuente: Elaboración propia

Tabla 50: Corrección de cabeza en el nodo 16

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
16	17	3750.39	3749.96	0.43	-0.0002724383	0.0006360156
15	16	3750.39	3752.68	2.29	0.0007253517	0.0003169335
24	16	3750.39	3751.17	0.79	0.0003183646	0.0004047932
				-QS=	-0.0000580000	
				Σ =	0.0007132780	0.0013577423
					ΔH=	1.0506824089

Fuente: Elaboración propia

Tabla 51: Corrección de cabeza en el nodo 17

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
17	18	3749.96	3749.21	0.74	-0.0003657349	0.0004914029
16	17	3749.96	3751.44	1.48	0.0005533157	0.0003741061
25	17	3749.96	3750.48	0.53	0.0005401874	0.0010284818
				-QS=	-0.0000490000	
				Σ =	0.0006787682	0.0018939908
					ΔH=	0.7167597451

Fuente: Elaboración propia

Tabla 52: Corrección de cabeza en el nodo 18

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
18	19	3749.21	3746.92	2.29	-0.0013536836	0.0005906425
17	18	3749.21	3750.67	1.46	0.0005373604	0.0003677965
26	18	3749.21	3751.65	2.44	0.0015623345	0.0006407400
				-QS=	-0.0000460000	
				Σ =	0.0007000113	0.0015991789
					ΔH=	0.8754633934

Fuente: Elaboración propia

Tabla 53: Corrección de cabeza en el nodo 19

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
20	19	3746.92	3749.10	2.18	0.0012256372	0.0005629791
18	19	3746.92	3750.09	3.17	0.0016237870	0.0005126647
				-QS=	-0.0000460000	
				Σ =	0.0028034242	0.0010756438
					ΔH=	5.2125510421

Fuente: Elaboración propia

Tabla 54: Corrección de cabeza en el nodo 20

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
20	19	3749.10	3752.13	3.04	0.0014766143	0.0004864493
26	20	3749.10	3751.65	2.55	0.0007456312	0.0002920430
20	9	3749.10	3749.35	0.25	0.0004072781	0.0016115911
				-QS=	-0.0000460000	
				Σ =	0.0025835236	0.0023900834
					ΔH=	2.1618690080

Fuente: Elaboración propia

Tabla 55: Corrección de cabeza en el nodo 21

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
21	22	3750.87	3751.07	0.19	0.0001767200	0.0009091429
21	11	3750.87	3749.57	1.30	-0.0010250813	0.0007873448
21	13	3750.87	3749.85	1.02	-0.0003325548	0.0003265632
2	21	3750.87	3750.99	0.12	0.0004932918	0.0040530575
				-QS=	-0.0001180000	
				Σ =	-0.0008056242	0.0060761083
					ΔH=	-0.2651777069

Fuente: Elaboración propia

Tabla 56: Corrección de cabeza en el nodo 22

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
22	23	3751.07	3752.23	1.16	0.0004937457	0.0004248300
22	27	3751.07	3752.63	1.56	0.0005702706	0.0003656229
22	14	3751.07	3750.34	0.73	-0.0005861959	0.0008080435
21	22	3751.07	3750.61	0.46	-0.0002904173	0.0006319484
				-QS=	-0.0000460000	
				Σ =	0.0001414031	0.0022304448
					ΔH=	0.1267935966

Fuente: Elaboración propia

Tabla 57: Corrección de cabeza en el nodo 23

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
23	24	3752.23	3751.17	1.05	-0.0004617656	0.0004377477
23	15	3752.23	3752.68	0.45	0.0002228265	0.0004981567
22	23	3752.23	3751.19	1.04	-0.0004622970	0.0004464799
28	23	3752.23	3751.07	1.16	-0.0009711305	0.0008364932
				-QS=	-0.0000490000	
				Σ =	-0.0017213667	0.0022188775
					ΔH=	-1.5515652653

Fuente: Elaboración propia

Tabla 58: Corrección de cabeza en el nodo 24

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
24	25	3751.17	3750.48	0.69	-0.0007389907	0.0010716056
24	16	3751.17	3751.44	0.26	0.0001696433	0.0006421128
23	24	3751.17	3750.68	0.50	-0.0003001014	0.0006041927
29	24	3751.17	3750.94	0.23	-0.0003904949	0.0016626525
				-QS=	-0.0000450000	
				Σ =	-0.0013049437	0.0039805635
					ΔH=	-0.6556577427

Fuente: Elaboración propia

Tabla 59: Corrección de cabeza en el nodo 25

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
25	26	3750.48	3751.65	1.17	0.0004953436	0.0004237931
30	25	3750.48	3751.37	0.88	0.0003989924	0.0004517200
25	17	3750.48	3750.67	0.19	0.0003026834	0.0015803299
24	25	3750.48	3750.52	0.03	0.0001299716	0.0038279925
				-QS=	-0.0000560000	
				Σ =	0.0012709911	0.0062838355
					ΔH=	0.4045271708

Fuente: Elaboración propia

Tabla 60: Corrección de cabeza en el nodo 26

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
26	20	3751.65	3751.26	0.39	-0.0002556765	0.0006534254
26	18	3751.65	3750.09	1.56	-0.0012162601	0.0007782247
25	26	3751.65	3750.89	0.76	-0.0003887328	0.0005086085
26	31	3751.65	3750.07	1.58	-0.0011551657	0.0007319565
				-QS=	-0.0000430000	
				Σ =	-0.0030588351	0.0026722151
					ΔH=	-2.2893629082

Fuente: Elaboración propia

Tabla 61: Corrección de cabeza en el nodo 27

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
22	27	3752.63	3751.19	1.43	-0.0005434447	0.0003792542
27	28	3752.63	3751.07	1.56	-0.0005833778	0.0003743301
3	27	3752.63	3751.74	0.89	-0.0004090659	0.0004607342
				-QS=	-0.0000790000	
				Σ =	-0.0016148884	0.0012143185
					ΔH=	-2.6597443261

Fuente: Elaboración propia

Tabla 62: Corrección de cabeza en el nodo 28

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
28	29	3751.07	3750.94	0.13	-0.0001390923	0.0010801171
28	23	3751.07	3750.68	0.39	-0.0005226629	0.0013380656
27	28	3751.07	3749.97	1.10	-0.0004788314	0.0004347929
4	28	3751.07	3749.48	1.59	-0.0005704314	0.0003583770
				-QS=	-0.0000810000	
				Σ =	-0.0017920180	0.0032113526
					ΔH=	-1.1160518812

Fuente: Elaboración propia

Tabla 63: Corrección de cabeza en el nodo 29

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
29	30	3750.94	3751.37	0.43	0.0002725020	0.0006359060
29	24	3750.94	3750.52	0.42	-0.0005453733	0.0012960540
28	29	3750.94	3749.95	0.99	-0.0004499145	0.0004557127
29	5	3750.94	3749.24	1.70	-0.0012317155	0.0007244241
				-QS=	-0.0000850000	
				Σ =	-0.0020395012	0.0031120967
					ΔH=	-1.3106926919

Fuente: Elaboración propia

Tabla 64: Corrección de cabeza en el nodo 30

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
30	31	3751.37	3750.07	1.29	-0.0010797442	0.0008353086
30	6	3751.37	3750.25	1.11	-0.0004709827	0.0004226427
30	25	3751.37	3750.89	0.48	-0.0002808644	0.0005866661
29	30	3751.37	3749.63	1.74	-0.0006066528	0.0003488078
				-QS=	-0.0001530000	
				Σ =	-0.0025912442	0.0021934252
					ΔH=	-2.3627377189

Fuente: Elaboración propia

Tabla 65: Corrección de cabeza en el nodo 31

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
31	9	3750.07	3749.35	0.72	-0.0003719384	0.0005149730
26	31	3750.07	3749.36	0.71	-0.0007354577	0.0010341461
30	31	3750.07	3749.00	1.07	-0.0009703396	0.0009067674
31	7	3750.07	3749.31	0.76	-0.0003837684	0.0005030478
				-QS=	-0.0001620000	
				Σ =	-0.0026235042	0.0029589344
					ΔH=	-1.7732763669

Fuente: Elaboración propia

* Debido a que las correcciones de cabeza son valores que todavía no se aproximan a cero, seguiremos con el ciclo de correcciones, para efectos del presente informe presentaremos los dos últimos ciclos, donde consideramos que el valor de correcciones es mínimo.

CATORCEAVO CICLO ITERATIVO

Tabla 66: Corrección de cabeza en el nodo 2

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
1	2	3749.52	3750.00	0.48	0.0018972192	0.0039189895
2	3	3749.52	3749.34	0.18	-0.0009430251	0.0053122302
2	21	3749.52	3749.35	0.17	-0.0005933655	0.0035360134
2	10	3749.52	3749.40	0.12	-0.0002476879	0.0021179897
				-QS=	-0.0001440000	
				Σ =	-0.0000308592	0.0148852228
					ΔH=	-0.0041462927

Fuente: Elaboración propia

Tabla 67: Corrección de cabeza en el nodo 3

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
3	4	3749.34	3749.02	0.31	-0.0006736216	0.0021437287
2	3	3749.34	3749.51	0.17	0.0009304104	0.0053665144
3	27	3749.34	3749.02	0.32	-0.0002271390	0.0007127445
				-QS=	-0.0000990000	
				Σ =	-0.0000693501	0.0082229876
					ΔH=	-0.0168673850

Fuente: Elaboración propia

Tabla 68: Corrección de cabeza en el nodo 4

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
4	5	3749.02	3748.79	0.23	-0.0005578750	0.0024190386
4	28	3749.02	3748.89	0.13	-0.0001355006	0.0010357763
3	4	3749.02	3749.32	0.30	0.0006527447	0.0021951216
				-QS=	-0.0000510000	
				Σ =	-0.0000916309	0.0056499364
					ΔH=	-0.0324360938

Fuente: Elaboración propia

Tabla 69: Corrección de cabeza en el nodo 5

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
5	6	3748.79	3748.60	0.19	-0.0003535042	0.0018246374
29	5	3748.79	3748.73	0.06	-0.0001849920	0.0029799626
4	5	3748.79	3748.99	0.20	0.0005114909	0.0025809100
				-QS=	-0.0000780000	
				Σ =	-0.0001050052	0.0073855100
					ΔH=	-0.0284354609

Fuente: Elaboración propia

Tabla 70: Corrección de cabeza en el nodo 6

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
6	7	3748.60	3748.67	0.07	0.0002003381	0.0029316636
30	6	3748.60	3748.64	0.04	0.0000661867	0.0017457701
5	6	3748.60	3748.77	0.17	0.0003226165	0.0019516561
				-QS=	-0.0000540000	
				Σ =	0.0005351413	0.0066290898
					ΔH=	0.1614524204

Fuente: Elaboración propia

Tabla 71: Corrección de cabeza en el nodo 7

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
7	8	3748.67	3748.68	0.02	0.0000414311	0.0024965252
31	7	3748.67	3748.62	0.05	-0.0000753874	0.0016285150
6	7	3748.67	3748.76	0.09	0.0002397777	0.0025750314
				-QS=	-0.0000410000	
				Σ =	0.0001648215	0.0067000716
					ΔH=	0.0491999139

Fuente: Elaboración propia

Tabla 72: Corrección de cabeza en el nodo 8

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
9	8	3748.68	3748.62	0.07	-0.0001973401	0.0028450487
7	8	3748.68	3748.72	0.03	0.0000620041	0.0019017093
				-QS=	-0.0000450000	
				Σ =	-0.0001803360	0.0047467581
					ΔH=	-0.0759828162

Fuente: Elaboración propia

Tabla 73: Corrección de cabeza en el nodo 9

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
20	9	3748.62	3748.63	0.02	0.0000827218	0.0050361912
31	9	3748.62	3748.62	0.01	0.0000231420	0.0035740524
9	8	3748.62	3748.61	0.01	-0.0000491964	0.0074312914
				-QS=	-0.0000560000	
				Σ =	0.0000006674	0.0160415350
					ΔH=	0.0000832139

Fuente: Elaboración propia

Tabla 74: Corrección de cabeza en el nodo 10

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
2	10	3749.40	3749.51	0.11	0.0002425601	0.0021503842
10	11	3749.40	3749.31	0.09	-0.0001524992	0.0016762533
				-QS=	-0.0000600000	
				Σ =	0.0000300609	0.0038266375
					ΔH=	0.0157113851

Fuente: Elaboración propia

Tabla 75: Corrección de cabeza en el nodo 11

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
21	11	3749.31	3749.35	0.04	0.0001385161	0.0034530009
10	11	3749.31	3749.41	0.11	0.0001673839	0.0015689157
11	12	3749.31	3749.12	0.19	-0.0002522476	0.0013386133
				-QS=	-0.0000500000	
				Σ =	0.0000036524	0.0063605299
					ΔH=	0.0011484454

Fuente: Elaboración propia

Tabla 76: Corrección de cabeza en el nodo 12

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
13	12	3749.12	3749.07	0.05	-0.0001517590	0.0032993948
11	12	3749.12	3749.31	0.19	0.0002531368	0.0013351949
				-QS=	-0.0000580000	
				Σ =	0.0000433779	0.0046345897
					ΔH=	0.0187191781

Fuente: Elaboración propia

Tabla 77: Corrección de cabeza en el nodo 13

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
13	12	3749.07	3749.14	0.06	0.0001852480	0.0028625127
13	14	3749.07	3749.02	0.06	-0.0001778392	0.0031929123
21	13	3749.07	3749.35	0.27	0.0001560379	0.0005683401
				-QS=	-0.0000590000	
				Σ =	0.0001044467	0.0066237651
					ΔH=	0.0315369448

Fuente: Elaboración propia

Tabla 78: Corrección de cabeza en el nodo 14

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
13	14	3749.02	3749.11	0.09	0.0002308740	0.0026465738
14	15	3749.02	3748.87	0.15	-0.0001527428	0.0010099797
22	14	3749.02	3749.04	0.02	0.0000758140	0.0035183291
				-QS=	-0.0000870000	
				Σ =	0.0000669452	0.0071748826
					ΔH=	0.0186609961

Fuente: Elaboración propia

Tabla 79: Corrección de cabeza en el nodo 15

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
15	16	3748.87	3748.72	0.14	-0.0001483187	0.0010315300
14	15	3748.87	3749.04	0.17	0.0001634328	0.0009619663
23	15	3748.87	3748.89	0.02	0.0000385507	0.0016987526
				-QS=	-0.0000570000	
				Σ =	-0.0000033352	0.0036922489
					ΔH=	-0.0018065699

Fuente: Elaboración propia

Tabla 80: Corrección de cabeza en el nodo 16

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
16	17	3748.72	3748.64	0.09	-0.0001066121	0.0012526171
15	16	3748.72	3748.86	0.14	0.0001472309	0.0010369938
24	16	3748.72	3748.72	0.01	-0.0000174410	0.0029885645
				-QS=	-0.0000580000	
				Σ =	-0.0000348222	0.0052781753
					ΔH=	-0.0131948036

Fuente: Elaboración propia

Tabla 81: Corrección de cabeza en el nodo 17

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
17	18	3748.64	3748.62	0.02	-0.0000399469	0.0023610759
16	17	3748.64	3748.71	0.07	0.0000965758	0.0013428842
25	17	3748.64	3748.67	0.03	0.0001045485	0.0033762770
				-QS=	-0.0000490000	
				Σ =	0.0001121774	0.0070802371
					ΔH=	0.0316874748

Fuente: Elaboración propia

Tabla 82: Corrección de cabeza en el nodo 18

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
18	19	3748.62	3748.63	0.01	0.0000626570	0.0055476551
17	18	3748.62	3748.67	0.05	0.0000749148	0.0015412539
26	18	3748.62	3748.60	0.02	-0.0000889444	0.0053014400
				-QS=	-0.0000460000	
				Σ =	0.0000026274	0.0123903490
					ΔH=	0.0004240989

Fuente: Elaboración propia

Tabla 83: Corrección de cabeza en el nodo 19

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
20	19	3748.63	3748.63	0.00	-0.0000063633	0.0210258671
18	19	3748.63	3748.62	0.01	-0.0000612390	0.0056336493
				-QS=	-0.0000460000	
				Σ =	-0.0001136023	0.0266595163
					ΔH=	-0.0085224544

Fuente: Elaboración propia

Tabla 84: Corrección de cabeza en el nodo 20

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
20	19	3748.63	3748.62	0.01	-0.0000489439	0.0059543785
26	20	3748.63	3748.60	0.03	-0.0000543610	0.0019576102
20	9	3748.63	3748.62	0.02	-0.0000824728	0.0050465968
				-QS=	-0.0000460000	
				Σ =	-0.0002317777	0.0129585855
					ΔH=	-0.0357720737

Fuente: Elaboración propia

Tabla 85: Corrección de cabeza en el nodo 21

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
21	22	3749.35	3749.04	0.31	-0.0002309463	0.0007481252
21	11	3749.35	3749.31	0.04	-0.0001361762	0.0034947217
21	13	3749.35	3749.11	0.24	-0.0001453419	0.0005980821
2	21	3749.35	3749.51	0.16	0.0005849016	0.0035738814
				-QS=	-0.0001180000	
				Σ =	-0.0000455627	0.0084148105
					ΔH=	-0.0108291586

Fuente: Elaboración propia

Tabla 86: Corrección de cabeza en el nodo 22

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
22	23	3749.04	3748.89	0.15	-0.0001520688	0.0010131953
22	27	3749.04	3749.02	0.02	-0.0000448017	0.0022747177
22	14	3749.04	3749.04	0.00	-0.0000224536	0.0077766628
21	22	3749.04	3749.34	0.30	0.0002262347	0.0007595062
				-QS=	-0.0000460000	
				Σ =	-0.0000390894	0.0118240820
					ΔH=	-0.0066118283

Fuente: Elaboración propia

Tabla 87: Corrección de cabeza en el nodo 23

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
23	24	3748.89	3748.72	0.17	-0.0001628191	0.0009448947
23	15	3748.89	3748.86	0.02	-0.0000403672	0.0016476364
22	23	3748.89	3749.03	0.14	0.0001481333	0.0010324564
28	23	3748.89	3748.89	0.00	0.0000355604	0.0088331068
				-QS=	-0.0000490000	
				Σ =	-0.0000684926	0.0124580943
					ΔH=	-0.0109956839

Fuente: Elaboración propia

Tabla 88: Corrección de cabeza en el nodo 24

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
24	25	3748.72	3748.67	0.05	-0.0001598035	0.0033078751
24	16	3748.72	3748.71	0.01	-0.0000201168	0.0027336675
23	24	3748.72	3748.88	0.16	0.0001566967	0.0009713476
29	24	3748.72	3748.73	0.01	0.0000767003	0.0053030020
				-QS=	-0.0000450000	
				Σ =	0.0000084767	0.0123158923
					ΔH=	0.0013765475

Fuente: Elaboración propia

Tabla 89: Corrección de cabeza en el nodo 25

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
25	26	3748.67	3748.60	0.06	-0.0000929273	0.0014371245
30	25	3748.67	3748.64	0.03	-0.0000567014	0.0018305786
25	17	3748.67	3748.67	0.00	0.0000105422	0.0146041616
24	25	3748.67	3748.72	0.05	0.0001624494	0.0032694836
				-QS=	-0.0000560000	
				Σ =	-0.0000326371	0.0211413483
					ΔH=	-0.0030875095

Fuente: Elaboración propia

Tabla 90: Corrección de cabeza en el nodo 26

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
26	20	3748.6	3748.60	0.01	-0.0000257000	0.0032113002
26	18	3748.6	3748.62	0.02	0.0000902696	0.0052477717
25	26	3748.6	3748.67	0.06	0.0000902907	0.0014663667
26	31	3748.6	3748.62	0.02	0.0000868150	0.0048721487
				-QS=	-0.0000430000	
				Σ =	0.0001986753	0.0147975874
					ΔH=	0.0268523848

Fuente: Elaboración propia

Tabla 91: Corrección de cabeza en el nodo 27

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
22	27	3749.02	3749.03	0.01	0.0000350367	0.0026778923
27	28	3749.02	3748.89	0.13	-0.0001375699	0.0010886537
3	27	3749.02	3749.32	0.30	0.0002201173	0.0007293123
				-QS=	-0.0000790000	
				Σ =	0.0000385840	0.0044958582
					ΔH=	0.0171642597

Fuente: Elaboración propia

Tabla 92: Corrección de cabeza en el nodo 28

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
28	29	3748.89	3748.73	0.16	-0.0001589051	0.0009816427
28	23	3748.89	3748.88	0.02	-0.0000784459	0.0052222465
27	28	3748.89	3749.04	0.14	0.0001481662	0.0010322918
4	28	3748.89	3748.99	0.10	0.0001147195	0.0011660350
				-QS=	-0.0000810000	
				Σ =	-0.0000554654	0.0084022160
					ΔH=	-0.0132025616

Fuente: Elaboración propia

Tabla 93: Corrección de cabeza en el nodo 29

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
29	30	3748.73	3748.64	0.09	-0.0001128235	0.0012034746
29	24	3748.73	3748.72	0.01	-0.0000722679	0.0055221043
28	29	3748.73	3748.88	0.15	0.0001512334	0.0010172137
29	5	3748.73	3748.77	0.03	0.0001292739	0.0038425006
				-QS=	-0.0000850000	
				Σ =	0.0000104158	0.0115852932
					ΔH=	0.0017981157

Fuente: Elaboración propia

Tabla 94: Corrección de cabeza en el nodo 30

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
30	31	3748.64	3748.62	0.02	-0.0000849887	0.0053557327
30	6	3748.64	3748.76	0.12	0.0001325717	0.0010731091
30	25	3748.64	3748.67	0.03	0.0000532633	0.0019099639
29	30	3748.64	3748.73	0.10	0.0001140855	0.0011940338
				-QS=	-0.0001530000	
				Σ =	0.0000619318	0.0095328394
					ΔH=	0.0129933499

Fuente: Elaboración propia

Tabla 95: Corrección de cabeza en el nodo 31

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
31	9	3748.62	3748.62	0.01	-0.0000229598	0.0035920732
26	31	3748.62	3748.63	0.01	0.0000579136	0.0064107908
30	31	3748.62	3748.65	0.03	0.0001210053	0.0041925336
31	7	3748.62	3748.72	0.10	0.0001154042	0.0012085219
				-QS=	-0.0001620000	
				Σ =	0.0001093633	0.0154039195
					ΔH=	0.0141994081

Fuente: Elaboración propia

* Como podemos observar las correcciones de cabeza en los nodos se van aproximando a cero y apreciaremos que al seguir un ciclo iterativo más, los valores de estas correcciones tendrán una variación mínima en la presión de cada nodo.

QUINCEAVO CICLO ITERATIVO

Tabla 96: Corrección de cabeza en el nodo 2

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
1	2	3749.51	3750.00	0.49	0.0019063920	0.0039044962
2	3	3749.51	3749.32	0.19	-0.0009809416	0.0051563180
2	21	3749.51	3749.34	0.17	-0.0006068178	0.0034776809
2	10	3749.51	3749.41	0.10	-0.0002223458	0.0022901684
				-QS=	-0.0001440000	
				Σ =	-0.0000477132	0.0148286634
					ΔH=	-0.0064352653

Fuente: Elaboración propia

Tabla 97: Corrección de cabeza en el nodo 3

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
3	4	3749.32	3748.99	0.33	-0.0006924586	0.0020996469
2	3	3749.32	3749.51	0.18	0.0009619047	0.0052332768
3	27	3749.32	3749.04	0.28	-0.0002127950	0.0007475658
				-QS=	-0.0000990000	
				Σ =	-0.0000423489	0.0080804895
					ΔH=	-0.0104817595

Fuente: Elaboración propia

Tabla 98: Corrección de cabeza en el nodo 4

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
4	5	3748.99	3748.77	0.23	-0.0005523157	0.0024372118
4	28	3748.99	3748.88	0.11	-0.0001234871	0.0011066458
3	4	3748.99	3749.31	0.32	0.0006798206	0.0021289908
				-QS=	-0.0000510000	
				Σ =	-0.0000469822	0.0056728485
					ΔH=	-0.0165638995

Fuente: Elaboración propia

Tabla 99: Corrección de cabeza en el nodo 5

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
5	6	3748.77	3748.76	0.00	-0.0000350274	0.0090944112
29	5	3748.77	3748.73	0.03	-0.0001251685	0.0039305494
4	5	3748.77	3748.98	0.21	0.0005288272	0.0025175778
				-QS=	-0.0000780000	
				Σ =	0.0002906313	0.0155425383
					ΔH=	0.0373981755

Fuente: Elaboración propia

Tabla 100: Corrección de cabeza en el nodo 6

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
6	7	3748.76	3748.72	0.04	-0.0001547883	0.0035246025
30	6	3748.76	3748.65	0.11	-0.0001242424	0.0011238933
5	6	3748.76	3748.80	0.04	0.0001440108	0.0034911973
				-QS=	-0.0000540000	
				Σ =	-0.0001890198	0.0081396930
					ΔH=	-0.0464439743

Fuente: Elaboración propia

Tabla 101: Corrección de cabeza en el nodo 7

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
7	8	3748.72	3748.61	0.11	-0.0001259188	0.0011596094
31	7	3748.72	3748.64	0.08	-0.0001050173	0.0012918430
6	7	3748.72	3748.71	0.00	-0.0000281067	0.0111205674
				-QS=	-0.0000410000	
				Σ =	-0.0003000428	0.0135720198
					ΔH=	-0.0442149065

Fuente: Elaboración propia

Tabla 102: Corrección de cabeza en el nodo 8

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
9	8	3748.61	3748.62	0.01	0.0000495677	0.0073944286
7	8	3748.61	3748.67	0.06	0.0000926822	0.0014397844
				-QS=	-0.0000450000	
				Σ =	0.0000972499	0.0088342131
					ΔH=	0.0220166631

Fuente: Elaboración propia

Tabla 103: Corrección de cabeza en el nodo 9

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
20	9	3748.62	3748.60	0.02	-0.0000913838	0.0047032793
31	9	3748.62	3748.64	0.02	0.0000465704	0.0022616668
9	8	3748.62	3748.63	0.02	0.0000812184	0.0053037892
				-QS=	-0.0000560000	
				Σ =	-0.0000195950	0.0122687354
					ΔH=	-0.0031942966

Fuente: Elaboración propia

Tabla 104: Corrección de cabeza en el nodo 10

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
2	10	3749.41	3749.51	0.09	0.0002136625	0.0023569568
10	11	3749.41	3749.31	0.11	-0.0001663292	0.0015759945
				-QS=	-0.0000600000	
				Σ =	-0.0000126667	0.0039329512
					ΔH=	-0.0064413131

Fuente: Elaboración propia

Tabla 105: Corrección de cabeza en el nodo 11

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
21	11	3749.31	3749.34	0.03	0.0001124516	0.0039965610
10	11	3749.31	3749.41	0.10	0.0001603199	0.0016177938
11	12	3749.31	3749.14	0.17	-0.0002383376	0.0013948578
				-QS=	-0.0000500000	
				Σ =	-0.0000155661	0.0070092126
					ΔH=	-0.0044416133

Fuente: Elaboración propia

Tabla 106: Corrección de cabeza en el nodo 12

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
13	12	3749.14	3749.11	0.03	-0.0001253004	0.0037765839
11	12	3749.14	3749.30	0.17	0.0002347249	0.0014103765
				-QS=	-0.0000580000	
				Σ =	0.0000514245	0.0051869604
					ΔH=	0.0198283858

Fuente: Elaboración propia

Tabla 107: Corrección de cabeza en el nodo 13

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
13	12	3749.11	3749.16	0.05	0.0001648842	0.0031106349
13	14	3749.11	3749.04	0.07	-0.0002007439	0.0029274029
21	13	3749.11	3749.34	0.23	0.0001415330	0.0006095724
				-QS=	-0.0000590000	
				Σ =	0.0000466733	0.0066476102
					ΔH=	0.0140421281

Fuente: Elaboración propia

Tabla 108: Corrección de cabeza en el nodo 14

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
13	14	3749.04	3749.12	0.08	0.0002236986	0.0027076845
14	15	3749.04	3748.86	0.17	-0.0001644402	0.0009577120
22	14	3749.04	3749.03	0.00	-0.0000262647	0.0070518213
				-QS=	-0.0000870000	
				Σ =	-0.0000540063	0.0107172179
					ΔH=	-0.0100784168

Fuente: Elaboración propia

Tabla 109: Corrección de cabeza en el nodo 15

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
15	16	3748.86	3748.71	0.16	-0.0001550450	0.0009991731
14	15	3748.86	3749.03	0.16	0.0001587601	0.0009822884
23	15	3748.86	3748.88	0.01	0.0000281709	0.0020860571
				-QS=	-0.0000570000	
				Σ =	-0.0000251140	0.0040675187
					ΔH=	-0.0123485526

Fuente: Elaboración propia

Tabla 110: Corrección de cabeza en el nodo 16

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
16	17	3748.71	3748.67	0.04	-0.0000685545	0.0017040952
15	16	3748.71	3748.85	0.14	0.0001477412	0.0010344223
24	16	3748.71	3748.72	0.01	0.0000223461	0.0025580983
				-QS=	-0.0000580000	
				Σ =	0.0000435328	0.0052966158
					ΔH=	0.0164379816

Fuente: Elaboración propia

Tabla 111: Corrección de cabeza en el nodo 17

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
17	18	3748.67	3748.62	0.05	-0.0000745277	0.0015467864
16	17	3748.67	3748.73	0.06	0.0000839378	0.0014812403
25	17	3748.67	3748.67	0.00	-0.0000297311	0.0078047114
				-QS=	-0.0000490000	
				Σ =	-0.0000693210	0.0108327381
					ΔH=	-0.0127984325

Fuente: Elaboración propia

Tabla 112: Corrección de cabeza en el nodo 18

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
18	19	3748.62	3748.62	0.00	0.0000241712	0.0102954101
17	18	3748.62	3748.66	0.04	0.0000620692	0.0017541650
26	18	3748.62	3748.63	0.01	0.0000640066	0.0066322038
				-QS=	-0.0000460000	
				Σ =	0.0001042469	0.0186817790
					ΔH=	0.0111602788

Fuente: Elaboración propia

Tabla 113: Corrección de cabeza en el nodo 19

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
20	19	3748.62	3748.60	0.03	-0.0001001708	0.0036356643
18	19	3748.62	3748.63	0.01	0.0000540017	0.0061278395
				-QS=	-0.0000460000	
				Σ =	-0.0000921691	0.0097635038
					ΔH=	-0.0188803293

Fuente: Elaboración propia

Tabla 114: Corrección de cabeza en el nodo 20

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
20	19	3748.60	3748.60	0.01	0.0000505345	0.0058273595
26	20	3748.60	3748.63	0.03	0.0000622304	0.0017853892
20	9	3748.60	3748.61	0.02	0.0000821526	0.0050600531
				-QS=	-0.0000460000	
				Σ =	0.0001489174	0.0126728017
					ΔH=	0.0235018949

Fuente: Elaboración propia

Tabla 115: Corrección de cabeza en el nodo 21

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
21	22	3749.34	3749.03	0.30	-0.0002291201	0.0007524896
21	11	3749.34	3749.30	0.03	-0.0001225839	0.0037627006
21	13	3749.34	3749.12	0.22	-0.0001364785	0.0006256407
2	21	3749.34	3749.51	0.17	0.0005938680	0.0035337939
				-QS=	-0.0001180000	
				Σ =	-0.0000123144	0.0086746248
					ΔH=	-0.0028391761

Fuente: Elaboración propia

Tabla 116: Corrección de cabeza en el nodo 22

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
22	23	3749.03	3748.88	0.15	-0.0001546372	0.0010010680
22	27	3749.03	3749.04	0.00	0.0000172130	0.0042182688
22	14	3749.03	3749.03	0.01	-0.0000363942	0.0057278509
21	22	3749.03	3749.33	0.30	0.0002278844	0.0007554761
				-QS=	-0.0000460000	
				Σ =	0.0000080661	0.0117026638
					ΔH=	0.0013784989

Fuente: Elaboración propia

Tabla 117: Corrección de cabeza en el nodo 23

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
23	24	3748.88	3748.72	0.16	-0.0001559177	0.0009748374
23	15	3748.88	3748.85	0.03	-0.0000416913	0.0016126313
22	23	3748.88	3749.03	0.16	0.0001554383	0.0009973539
28	23	3748.88	3748.88	0.00	0.0000218532	0.0120143373
				-QS=	-0.0000490000	
				Σ =	-0.0000693174	0.0155991598
					ΔH=	-0.0088873300

Fuente: Elaboración propia

Tabla 118: Corrección de cabeza en el nodo 24

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
24	25	3748.72	3748.67	0.05	-0.0001682723	0.0031885414
24	16	3748.72	3748.73	0.01	0.0000206882	0.0026858965
23	24	3748.72	3748.87	0.15	0.0001508175	0.0009984279
29	24	3748.72	3748.73	0.01	0.0000780219	0.0052415955
				-QS=	-0.0000450000	
				Σ =	0.0000362552	0.0121144613
					ΔH=	0.0059854463

Fuente: Elaboración propia

Tabla 119: Corrección de cabeza en el nodo 25

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
25	26	3748.67	3748.63	0.03	-0.0000643639	0.0018536892
30	25	3748.67	3748.65	0.01	-0.0000365756	0.0024557697
25	17	3748.67	3748.66	0.01	-0.0000500401	0.0055667827
24	25	3748.67	3748.72	0.06	0.0001791598	0.0030490341
				-QS=	-0.0000560000	
				Σ =	-0.0000278198	0.0129252757
					ΔH=	-0.0043047170

Fuente: Elaboración propia

Tabla 120: Corrección de cabeza en el nodo 26

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
26	20	3748.63	3748.62	0.01	-0.0000317772	0.0027988974
26	18	3748.63	3748.63	0.00	0.0000207281	0.0137326693
25	26	3748.63	3748.66	0.03	0.0000594981	0.0019560588
26	31	3748.63	3748.64	0.01	0.0000413647	0.0080076598
				-QS=	-0.0000430000	
				Σ =	0.0000468137	0.0264952852
					ΔH=	0.0035337378

Fuente: Elaboración propia

Tabla 121: Corrección de cabeza en el nodo 27

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
22	27	3749.04	3749.03	0.00	-0.0000133290	0.0049328738
27	28	3749.04	3748.88	0.16	-0.0001559500	0.0009949985
3	27	3749.04	3749.31	0.27	0.0002082293	0.0007594929
				-QS=	-0.0000790000	
				Σ =	-0.0000400497	0.0066873652
					ΔH=	-0.0119777078

Fuente: Elaboración propia

Tabla 122: Corrección de cabeza en el nodo 28

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
28	29	3748.88	3748.73	0.15	-0.0001501663	0.0010224013
28	23	3748.88	3748.87	0.01	-0.0000641093	0.0059880213
27	28	3748.88	3749.02	0.14	0.0001489009	0.0010286328
4	28	3748.88	3748.98	0.10	0.0001124083	0.0011829600
				-QS=	-0.0000810000	
				Σ =	-0.0000339664	0.0092220154
					ΔH=	-0.0073663643

Fuente: Elaboración propia

Tabla 123: Corrección de cabeza en el nodo 29

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
29	30	3748.73	3748.65	0.08	-0.0001047210	0.0012685310
29	24	3748.73	3748.72	0.01	-0.0000573969	0.0064493194
28	29	3748.73	3748.87	0.14	0.0001457346	0.0010446200
29	5	3748.73	3748.80	0.07	0.0001971423	0.0028470987
				-QS=	-0.0000850000	
				Σ =	0.0000957590	0.0116095690
					ΔH=	0.0164965644

Fuente: Elaboración propia

Tabla 124: Corrección de cabeza en el nodo 30

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
30	31	3748.65	3748.64	0.01	-0.0000810934	0.0055306005
30	6	3748.65	3748.71	0.06	0.0000902596	0.0014080514
30	25	3748.65	3748.66	0.01	0.0000297623	0.0028106781
29	30	3748.65	3748.75	0.10	0.0001165153	0.0011763343
				-QS=	-0.0001530000	
				Σ =	0.0000024438	0.0109256644
					ΔH=	0.0004473465

Fuente: Elaboración propia

Tabla 125: Corrección de cabeza en el nodo 31

TUBERIA		H i	H j	hf	Q	Q/hf
31	9	3748.64	3748.61	0.02	-0.0000507623	0.0021341709
26	31	3748.64	3748.63	0.00	-0.0000204341	0.0125216305
30	31	3748.64	3748.65	0.02	0.0000825535	0.0054634887
31	7	3748.64	3748.67	0.04	0.0000661057	0.0017828964
				-QS=	-0.0001620000	
				Σ =	-0.0000845372	0.0219021865
					ΔH=	-0.0077195250

Fuente: Elaboración propia

* Analizando los resultados de este último ciclo, vemos que la corrección en todas las cabezas piezométricas de cada nodo es pequeña por tanto seguir realizando correcciones no tendrá mayor incidencia en los resultados, en consecuencia, consideraremos despreciable, entonces podemos decir que el proceso ha convergido.

d. Presentaremos los resultados del último ciclo.

- DIÁMETROS FINALES

Tabla 126: Diámetro de cada tubería

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

Fuente: Elaboración propia

- PRESIONES FINALES

Tabla 127: presiones en los nodos

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

Fuente: Elaboración propia

Verificamos las presiones según Norma O.S. 050, donde nos establece las condiciones mínimas y máximas que debe cumplir para un buen funcionamiento, usando tubería clase 5.

- Pmin=10 m
- Pmax=50m

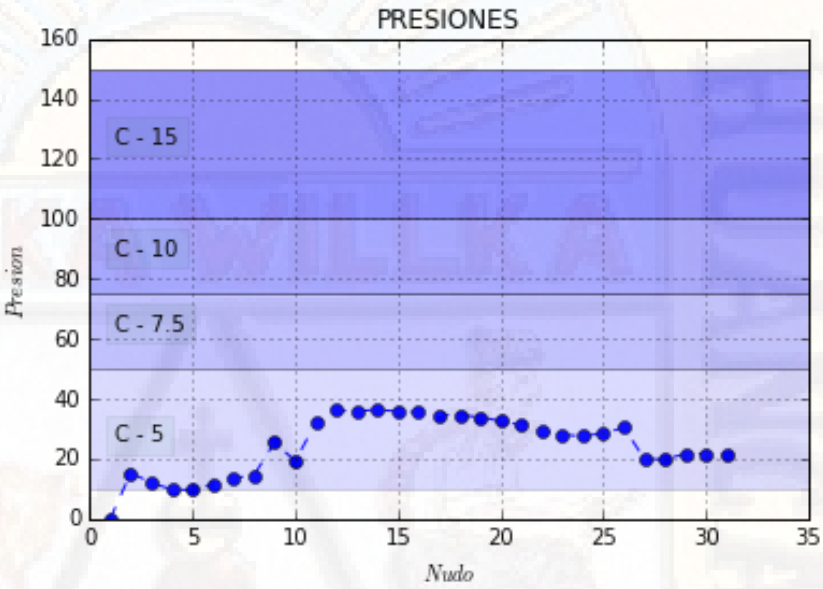


Figura 19: Presiones en cada nodo
Fuente: resultado grafico en Python.

Vemos en la gráfica anterior, que las presiones se encuentran en rangos establecidos por la normativa vigente, según clase de tubería usada.

- VELOCIDADES

Tabla 128: velocidad en cada tubería

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

Fuente: Elaboración propia

Verificamos las velocidades según Norma O.S. 050, donde nos establece las condiciones mínimas y máximas que debe cumplir para un buen funcionamiento.

- Vmin=0.3 m/s
- Vmax=3.0 m/s

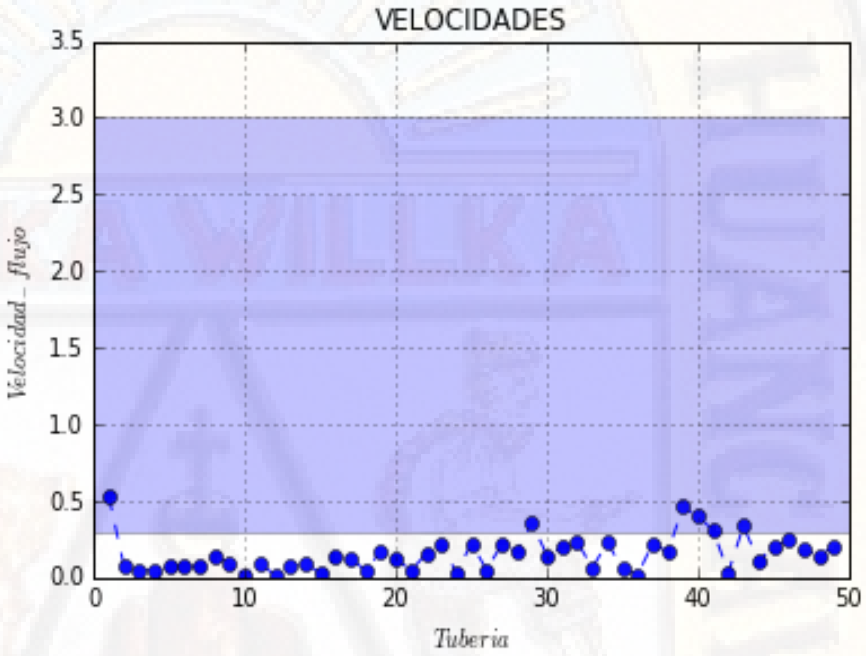


Figura 20: Velocidades en cada tubería
Fuente: resultado grafico en Python.

Vemos en la gráfica anterior, que las velocidades no cumplen con el mínimo, por sus condiciones de población y dotación, ya que pertenece a zona rural.

- CAUDALES

Tabla 129: caudal en cada tubería

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

Fuente: Elaboración propia

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

Para el análisis de la red de distribución objeto de estudio del presente proyecto, en esta parte veremos el uso del método de Gradiente Hidráulico, para ello usaremos varias herramientas de cálculo como son la hoja de cálculo Excel, Software de programación interpretado Python, software de dibujo Civil 3D.

a. Datos de ingreso para el cálculo de red por método de Gradiente Hidráulico

```
                REFERENCIA DE VARABLES
Existen tres bloques de datos:
MTUB.txt : Matriz de las características de cada tuberia de la red
MNUD.txt : Matriz de las características de cada nudo de la red
MRES.txt : Matriz columna de los nudos de cota piezométrica conocida (RESERVORIOS)

1ro  TUBERIAS [MTUB.txt ]
     Ni: Nudo inicial
     Nf: Nudo final
     L(m) : Longitud de tuberías
     D(mm) : Diamtero de tubería
     ks(m) : Rugosidad Absoluta [m]
     km : Sumatoria de perdidas secundarias
     a,b,c : Coeficiente de bomba a*Q^2 + b*Q + c*Q

2do NUDOS [MNUD.txt ]
     C.T/P(m): Cota topográfica o piezométrica (según tipo de nudo)
     Qi(l/s): Caudal de demanda en el nudo i

3er  NUDOS [MNUD.txt ]
     #n : Número de nudo que es reservorio
```

Figura 21: referencia de variables de gradiente hidráulico.
Fuente: Elaboración propia

INGRESO DE DATOS

TUBERIAS

in_tuberias.txt

			Características de tubería			Coef de bombas			
#t	**Ni**	**Nf**	**L [m]**	**D [mm]**	**ks [m]**	**km**	**a**	**b**	**c**
1	1	2	100	56.4	1.50E-06	0.00	0.0	0.0	0.0
2	20	19	18	38.4	1.50E-06	0.00	0.0	0.0	0.0
3	18	19	57	38.4	1.50E-06	0.00	0.0	0.0	0.0
4	26	20	51	38.4	1.50E-06	0.00	0.0	0.0	0.0
5	20	9	52	38.4	1.50E-06	0.00	0.0	0.0	0.0
6	31	9	49	38.4	1.50E-06	0.00	0.0	0.0	0.0
7	9	8	50	38.4	1.50E-06	0.00	0.0	0.0	0.0
8	7	8	48	38.4	1.50E-06	0.00	0.0	0.0	0.0
9	17	18	52	38.4	1.50E-06	0.00	0.0	0.0	0.0
10	26	18	47	38.4	1.50E-06	0.00	0.0	0.0	0.0
11	25	26	48	38.4	1.50E-06	0.00	0.0	0.0	0.0
12	26	31	52	38.4	1.50E-06	0.00	0.0	0.0	0.0
13	30	31	48	38.4	1.50E-06	0.00	0.0	0.0	0.0
14	31	7	49	38.4	1.50E-06	0.00	0.0	0.0	0.0
15	6	7	48	38.4	1.50E-06	0.00	0.0	0.0	0.0
16	30	6	50	38.4	1.50E-06	0.00	0.0	0.0	0.0
17	5	6	51	38.4	1.50E-06	0.00	0.0	0.0	0.0
18	30	25	53	38.4	1.50E-06	0.00	0.0	0.0	0.0
19	29	30	50	38.4	1.50E-06	0.00	0.0	0.0	0.0
20	16	17	50	38.4	1.50E-06	0.00	0.0	0.0	0.0
21	25	17	66	38.4	1.50E-06	0.00	0.0	0.0	0.0
22	24	25	50	38.4	1.50E-06	0.00	0.0	0.0	0.0
23	15	16	48	38.4	1.50E-06	0.00	0.0	0.0	0.0
24	24	16	70	38.4	1.50E-06	0.00	0.0	0.0	0.0
25	23	24	49	38.4	1.50E-06	0.00	0.0	0.0	0.0
26	29	24	52	38.4	1.50E-06	0.00	0.0	0.0	0.0
27	28	29	48	38.4	1.50E-06	0.00	0.0	0.0	0.0
28	29	5	50	38.4	1.50E-06	0.00	0.0	0.0	0.0
29	4	5	49	38.4	1.50E-06	0.00	0.0	0.0	0.0
30	13	12	52	29.4	1.50E-06	0.00	0.0	0.0	0.0
31	13	14	48	38.4	1.50E-06	0.00	0.0	0.0	0.0
32	14	15	48	38.4	1.50E-06	0.00	0.0	0.0	0.0
33	23	15	74	38.4	1.50E-06	0.00	0.0	0.0	0.0
34	22	23	48	38.4	1.50E-06	0.00	0.0	0.0	0.0
35	28	23	52	38.4	1.50E-06	0.00	0.0	0.0	0.0
36	22	27	50	38.4	1.50E-06	0.00	0.0	0.0	0.0
37	27	28	48	38.4	1.50E-06	0.00	0.0	0.0	0.0
38	4	28	51	38.4	1.50E-06	0.00	0.0	0.0	0.0
39	3	4	48	38.4	1.50E-06	0.00	0.0	0.0	0.0
40	2	3	48	38.4	1.50E-06	0.00	0.0	0.0	0.0
41	3	27	51	38.4	1.50E-06	0.00	0.0	0.0	0.0
42	22	14	79	38.4	1.50E-06	0.00	0.0	0.0	0.0
43	21	22	48	38.4	1.50E-06	0.00	0.0	0.0	0.0
44	21	11	53	29.4	1.50E-06	0.00	0.0	0.0	0.0
45	21	13	84	38.4	1.50E-06	0.00	0.0	0.0	0.0
46	2	21	102	38.4	1.50E-06	0.00	0.0	0.0	0.0
47	2	10	57	29.4	1.50E-06	0.00	0.0	0.0	0.0
48	10	11	102	29.4	1.50E-06	0.00	0.0	0.0	0.0
49	11	12	89	29.4	1.50E-06	0.00	0.0	0.0	0.0

NUDOS

in_nudos.txt

	C.P. DESCONOC		
#n	**C. T/P**	**Qi**	**#n**
1	3754.00	0	1
2	3734.27	0.1438	
3	3737.27	0.0990	
4	3739.29	0.0510	
5	3739.25	0.0780	
6	3737.19	0.0544	
7	3735.14	0.0411	
8	3734.12	0.0454	
9	3723.13	0.0563	
10	3730.21	0.0596	
11	3717.45	0.0500	
12	3713.09	0.0580	
13	3713.29	0.0586	
14	3712.65	0.0867	
15	3713.16	0.0568	
16	3713.17	0.0584	
17	3714.10	0.0486	
18	3714.13	0.0458	
19	3714.70	0.0456	
20	3716.10	0.0457	
21	3718.13	0.1179	
22	3719.57	0.0461	
23	3720.85	0.0485	
24	3721.25	0.0450	
25	3720.12	0.0558	
26	3718.30	0.0431	
27	3729.15	0.0794	
28	3729.11	0.0810	
29	3727.10	0.0854	
30	3727.04	0.1533	
31	3727.08	0.1617	

in_nudos_cpc.txt

RESERV

Figura 22: Tabla de características de tuberías y cota piezométrica.
Fuente: Elaboración propia

b. Análisis y diseño de la red de distribución de agua para la localidad de Callqui Grande, para ello nos apoyamos del lenguaje de programación Python, una vez analizado procedemos a presentar los cálculos.

```
=======================================
|     GRADIENTE HIDRAULICO V 3.0      |
|       LENGUAJE: PYTHON 2.X          ||
=======================================

DATOS GENERALES---------------------------------
  Viscosid = 0.0000014100   m2/s
  gravedad = 9.8100   m/s2
  iter_max = 50   (Numero maximo de iteraciones)
  presic   = 0.0001000000   (Presicion)
  Q_semilla= 0.0200000000  m3/s (Caudal semilla)
-------------------------------------------------

Desea modificar los datos iniciales <S/N> : N


RESULTADOS INICIALES:----------------------------
Numero de tuberias : 49
Numero de nudo     : 31
Numero de nudos CPC: 1   (reservorios)
Numero de nudos CPD: 30
Viscosidad         : 0.0000014100
-------------------------------------------------
```

```
RESULTADOS CONSTANTES:|

Vector cotas piezometricas fijas: Ho
[[ 3754.]]

Matriz conectividad total: At
[[-1.  1.  0. ...,  0.  0.  0.]
 [ 0.  0.  0. ...,  0.  0.  0.]
 [ 0.  0.  0. ...,  0.  0.  0.]
                ...,
 [ 0. -1.  0. ...,  0.  0.  0.]
 [ 0.  0.  0. ...,  0.  0.  0.]
 [ 0.  0.  0. ...,  0.  0.  0.]]

Matriz conectividad: A12
[[ 1.  0.  0. ...,  0.  0.  0.]
 [ 0.  0.  0. ...,  0.  0.  0.]
 [ 0.  0.  0. ...,  0.  0.  0.]
                ...,
 [-1.  0.  0. ...,  0.  0.  0.]
 [ 0.  0.  0. ...,  0.  0.  0.]
 [ 0.  0.  0. ...,  0.  0.  0.]]

Matriz transpuesta: A21
[[ 1.  0.  0. ..., -1.  0.  0.]
 [ 0.  0.  0. ...,  0.  0.  0.]
 [ 0.  0.  0. ...,  0.  0.  0.]
                ...,
 [ 0.  0.  0. ...,  0.  0.  0.]
 [ 0.  0.  0. ...,  0.  0.  0.]
 [ 0.  0.  0. ...,  0.  0.  0.]]
```

```
MatrizTopologica: A10
[[-1.]
 [ 0.]
 [ 0.]
 [ 0.]
 [ 0.]
 ...,
 ...,
 [ 0.]
 [ 0.]
 [ 0.]
 [ 0.]
 [ 0.]
 [ 0.]
 [ 0.]|
 [ 0.]]

Matriz identidad: Id
[[ 1.  0.  0. ...,  0.  0.  0.]
 [ 0.  1.  0. ...,  0.  0.  0.]
 [ 0.  0.  1. ...,  0.  0.  0.]
                ...,
 [ 0.  0.  0. ...,  1.  0.  0.]
 [ 0.  0.  0. ...,  0.  1.  0.]
 [ 0.  0.  0. ...,  0.  0.  1.]]
```

RESULTADOS DE LA ITERACIÓN N° 1

```
Iteracion 1-----------------------------------------------------------

Vector de consumo: Qac
[ 0.0021      0.00481343  0.00485903  0.00036885  0.00439889  0.00214368
  0.00219891  0.00215351  0.00559457  0.00068974  0.00465704  0.00567252
  0.00585301  0.00180149  0.0039139   0.00010392  0.00396342  0.00472729
  0.0008685   0.00367041  0.00197276  0.00195831  0.00252028  0.00120853
  0.00130403  0.00190781  0.00460282  0.00347811  0.00736353  0.00466324
  0.00343582  0.00179977  0.00077731  0.00299024  0.00512008  0.00739219
  0.00501281  0.00479109  0.00252144  0.00472242  0.00229997  0.00154935
  0.0028987   0.00030584  0.00116882  0.00154194  0.00513667  0.00507707
  0.00472124]

Coeficiente alfa: alfa
[  210988.37924108   246287.03432665   779908.9420344    697813.26392552
   711495.87694366   670448.03788922   684130.65090737   656765.42487107
   711495.87694366   643082.81185293   656765.42487107   711495.87694366
   656765.42487107   670448.03788922   656765.42487107   684130.65090737
   697813.26392552   725178.48996181   684130.65090737   684130.65090737
   903052.45919773   684130.65090737   656765.42487107   957782.91127032
   670448.03788922   711495.87694366   656765.42487107   684130.65090737
   670448.03788922  2632862.45563478   656765.42487107   656765.42487107
  1012513.36334291   656765.42487107   711495.87694366   684130.65090737
   656765.42487107   697813.26392552   656765.42487107   656765.42487107
   697813.26392552  1080926.42843364   656765.42487107  2683494.42593545
  1149339.49352438  1395626.52785103  2886022.30713812  5164460.97066822
  4506245.35675952]
```

```
Matriz A11:
[[   4219.76758482       0.              0.         ...,       0.              0.              0.        ]

 [      0.            4925.74068653      0.         ...,       0.              0.              0.        ]

 [      0.              0.           15598.17884069 ...,       0.              0.              0.        ]

                                                    ...,
 [      0.              0.              0.         ...,   57720.44614276        0.              0.        ]

 [      0.              0.              0.         ...,       0.          103289.21941336       0.        ]

 [      0.              0.              0.         ...,       0.              0.           90124.90713519]]
```

Matriz diagonal $[A11]_{49x49}$ NTxNT de iteración N° 01.

```
Cargas piezometricas: Hnxt
[[ 3820.67232784]
 [ 4207.43931642]
 [ 4536.38535272]
 [ 5002.03924712]
 [ 5391.79367695]
 [ 5757.32043924]
 [ 6076.60054019]
 [ 5863.12183922]
 [ 4382.09918046]
 [ 5399.0698338 ]
 [ 6350.5658152 ]
 [ 4806.31432792]
 [ 4978.75940589]
 [ 5194.18461237]
 [ 5390.68147784]
 [ 5563.89211749]
 [ 5689.26985686]
 [ 5849.64932022]
 [ 5703.71506663]
 [ 4292.84377758]
 [ 4479.39935922]
 [ 4820.66088976]
 [ 5053.86872753]
 [ 5273.93142754]
 [ 5414.29433194]
 [ 4550.7627243 ]
 [ 4681.77918513]
 [ 4823.56632337]
 [ 5120.98522695]
 [ 5537.45357411]]


Caudales en tuberias: Qnxt
[ 0.0021     -0.00481343  0.00485903 -0.00036885  0.00439889 -0.00214368
  0.00219891 -0.00215351  0.00559457 -0.00068974  0.00465704  0.00567252
 -0.00585301  0.00180149 -0.0039139   0.00010392 -0.00396342  0.00472729
 -0.0008685   0.00367041  0.00197276  0.00195831  0.00252028  0.00120853
  0.00130403  0.00190781  0.00460282  0.00347811 -0.00736353 -0.00466324
  0.00343582  0.00179977  0.00077731 -0.00299024  0.00512008  0.00739219
  0.00501281  0.00479109 -0.00252144 -0.00472242 -0.00229997 -0.00154935
  0.0028987  -0.00030584 -0.00116882  0.00154194  0.00513667  0.00507707
  0.00472124]
```

********** RESULTADOS EN NUDOS *********

Nudo #	Cota_T msnm	Cota_P msnm	Presion m	P_stat m
1	3754.0	3754.0	0.0	0.0
2	3734.27	3820.67	86.402	19.73
3	3737.27	4207.44	470.169	16.73
4	3739.29	4536.39	797.095	14.71
5	3739.25	5002.04	1262.789	14.75
6	3737.19	5391.79	1654.604	16.81
7	3735.14	5757.32	2022.18	18.86
8	3734.12	6076.6	2342.481	19.88
9	3723.13	5863.12	2139.992	30.87
10	3730.21	4382.1	651.889	23.79
11	3717.45	5399.07	1681.62	36.55
12	3713.09	6350.57	2637.476	40.91
13	3713.29	4806.31	1093.024	40.71
14	3712.65	4978.76	1266.109	41.35
15	3713.16	5194.18	1481.025	40.84
16	3713.17	5390.68	1677.511	40.83
17	3714.1	5563.89	1849.792	39.9
18	3714.13	5689.27	1975.14	39.87
19	3714.7	5849.65	2134.949	39.3
20	3716.1	5703.72	1987.615	37.9
21	3718.13	4292.84	574.714	35.87
22	3719.57	4479.4	759.829	34.43
23	3720.85	4820.66	1099.811	33.15
24	3721.25	5053.87	1332.619	32.75
25	3720.12	5273.93	1553.811	33.88
26	3718.3	5414.29	1695.994	35.7
27	3729.15	4550.76	821.613	24.85
28	3729.11	4681.78	952.669	24.89
29	3727.1	4823.57	1096.466	26.9
30	3727.04	5120.99	1393.945	26.96
31	3727.08	5537.45	1810.374	26.92

Tabla 130 : Resultados de presiones en cada nodo de iteración N° 01.
Fuente: Elaboración propia.

********** RESULTADOS EN TUBERIAS **********					
Tub #	Diam mm	Caudal l/s	Veloc m/s	hf_u m/km	hf m
1	55.4	2.1	0.841	9.305	0.93
2	38.4	4.81	4.156	317.014	5.706
3	38.4	4.86	4.196	323.049	18.414
4	38.4	0.37	0.318	1.861	0.095
5	38.4	4.4	3.798	264.761	13.768
6	38.4	2.14	1.851	62.877	3.081
7	38.4	2.2	1.899	66.158	3.308
8	38.4	2.15	1.859	63.454	3.046
9	38.4	5.59	4.831	428.255	22.269
10	38.4	0.69	0.596	6.509	0.306
11	38.4	4.66	4.021	296.749	14.244
12	38.4	5.67	4.898	440.273	22.894
13	38.4	5.85	5.054	468.735	22.499
14	38.4	1.8	1.556	44.405	2.176
15	38.4	3.91	3.38	209.599	10.061
16	38.4	0.1	0.09	0.148	0.007
17	38.4	3.96	3.422	214.936	10.962
18	38.4	4.73	4.082	305.769	16.206
19	38.4	0.87	0.75	10.321	0.516
20	38.4	3.67	3.169	184.331	9.217
21	38.4	1.97	1.703	53.25	3.514
22	38.4	1.96	1.691	52.472	2.624
23	38.4	2.52	2.176	86.909	4.172
24	38.4	1.21	1.044	19.984	1.399
25	38.4	1.3	1.126	23.267	1.14
26	38.4	1.91	1.647	49.801	2.59
27	38.4	4.6	3.974	289.88	13.914
28	38.4	3.48	3.003	165.522	8.276
29	38.4	7.36	6.358	741.894	36.353
30	29.4	4.66	6.869	1101.032	57.254
31	38.4	3.44	2.967	161.521	7.753
32	38.4	1.8	1.554	44.32	2.127
33	38.4	0.78	0.671	8.267	0.612
34	38.4	2.99	2.582	122.343	5.872
35	38.4	5.12	4.421	358.693	18.652
36	38.4	7.39	6.383	747.679	37.384
37	38.4	5.01	4.328	343.821	16.503
38	38.4	4.79	4.137	314.078	16.018
39	38.4	2.52	2.177	86.99	4.176
40	38.4	4.72	4.078	305.139	14.647
41	38.4	2.3	1.986	72.379	3.691
42	38.4	1.55	1.338	32.845	2.595
43	38.4	2.9	2.503	114.967	5.518
44	29.4	0.31	0.451	4.736	0.251
45	38.4	1.17	1.009	18.692	1.57
46	38.4	1.54	1.331	32.532	3.318
47	29.4	5.14	7.567	1335.945	76.149
48	29.4	5.08	7.479	1305.123	133.123
49	29.4	4.72	6.955	1128.591	100.445

Tabla 131 : Resultados de velocidades en cada tubería de iteración N° 01.
Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS DE LA ITERACIÓN N° 2

```
Iteracion 2----------------------------------------------------------

Vector de consumo: Qac
[  2.10000000e-03   1.22145297e-03   1.26705297e-03   7.85923858e-04
   3.89829112e-04   2.55652650e-04   5.89181762e-04   5.43781762e-04
   1.48924355e-03   1.76390577e-04   6.81436286e-04   1.60065072e-03
   1.02533800e-06   1.18227273e-03   1.68495449e-03   3.51305100e-03
   1.88249650e-03   2.09206088e-03   1.26871545e-03   7.23874984e-04
   8.13968563e-04   5.40856034e-04   1.00642016e-04   6.81632968e-04
   7.98013211e-04   9.83790145e-04   8.11312449e-04   1.01083775e-03
   9.49658746e-04   6.32779055e-04   2.42393943e-04   7.72007984e-04
   9.29450000e-04   1.59669108e-03   1.77662786e-03   3.16527787e-03
   2.07979282e-03   5.89147491e-04   1.58980624e-03   6.82721189e-04
   1.00608505e-03   9.27701927e-04   6.86984868e-04   1.59159582e-03
   3.31785112e-04   1.11849606e-03   2.39197487e-03   2.33237487e-03
   6.90779055e-04]

Coeficiente alfa: alfa
[  332182.04302551   316318.29443171   999823.37599873  1621879.31478257
   930209.35945188  1018056.36306948  1033107.03658351   996287.92184065
   887495.6095095   1271649.80933925   849015.39570268   885140.28386154
   812168.25528255  1057746.9693425    878981.07541619  2296743.83465343
   931552.37283475   934693.41780664  1278441.02605881   927603.00018363
  1396408.39045976  1059597.22493556   963094.66386493  1654754.23583195
  1138079.03134013  1108343.39000598   850979.73537253   937854.43626755
   794099.42404754  3334263.47555298   902602.39525244  1036381.41491401
  1943929.42315734   928943.66493003   902842.37129281   809725.02061699
   836839.73853683   897054.34635463   962999.82791394   846686.66903889
  1043572.50021261  1763985.17930816   935008.9536222   6275633.04368287
  2001249.44660818  2280022.0773657   3590054.30908808  6438098.83903498
  5693592.86234808]
```

```
Matriz A11:
[[   697.58229035      0.            0.         ...,      0.            0.            0.        ]
 [     0.          1522.57673447      0.         ...,      0.            0.            0.        ]
 [     0.             0.          4858.17420145 ...,      0.            0.            0.        ]
                                                ...,
 [     0.             0.             0.         ...,  18440.93366134      0.            0.        ]
 [     0.             0.             0.         ...,      0.        32686.69531816      0.        ]
 [     0.             0.             0.         ...,      0.            0.        26880.8034618 ]]
```

Matriz diagonal $[A11]_{49x49}$ NTxNT de iteración N° 02.

```
Cargas piezometricas: Hnxt
[[ 3752.53507719]
 [ 3765.95763246]
 [ 3764.359499  ]
 [ 3796.31083988]
 [ 3797.0434647 ]
 [ 3822.10155428]
 [ 3829.05530783]
 [ 3826.73693616]
 [ 3759.03961627]
 [ 3772.51708834]
 [ 3862.29035049]
 [ 3770.10669858]
 [ 3779.25837423]
 [ 3785.49534364]
 [ 3791.12416776]
 [ 3798.6916256 ]
 [ 3811.68090455]
 [ 3822.97580242]
 [ 3811.92747045]
 [ 3765.82056522]
 [ 3769.95304985]
 [ 3787.12966705]
 [ 3791.43361003]
 [ 3797.74170928]
 [ 3810.76650096]
 [ 3776.30759786]
 [ 3779.88682282]
 [ 3791.55999564]
 [ 3795.34167827]
 [ 3823.17446158]]
```

```
Caudales en tuberias: Qnxt
[  2.10000000e-03  -1.22145297e-03   1.26705297e-03  -7.85923858e-04
   3.89829112e-04   2.55652650e-04   5.89181762e-04  -5.43781762e-04
   1.48924355e-03  -1.76390577e-04   6.81436286e-04   1.60065072e-03
  -1.02533800e-06   1.18227273e-03  -1.68495449e-03  -3.51305100e-03
   1.88249650e-03   2.09206088e-03  -1.26871545e-03   7.23874984e-04
   8.13968563e-04  -5.40856034e-04   1.00642016e-04   6.81632968e-04
  -7.98013211e-04   9.83790145e-04   8.11312449e-04   1.01083775e-03
   9.49658746e-04  -6.32779055e-04   2.42393943e-04  -7.72007984e-04
   9.29450000e-04  -1.59669108e-03   1.77662786e-03   3.16527787e-03
   2.07979282e-03   5.89147491e-04   1.58980624e-03   6.82721189e-04
  -1.00608505e-03  -9.27701927e-04   6.86984868e-04  -1.59159582e-03
  -3.31785112e-04  -1.11849606e-03   2.39197487e-03   2.33237487e-03
   6.90779055e-04]
```

**********	RESULTADOS EN NUDOS			********
Nudo #	Cota_T msnm	Cota_P msnm	Presion m	P_stat m
1	3754.0	3754.0	0.0	0.0
2	3734.27	3752.54	18.265	19.73
3	3737.27	3765.96	28.688	16.73
4	3739.29	3764.36	25.069	14.71
5	3739.25	3796.31	57.061	14.75
6	3737.19	3797.04	59.853	16.81
7	3735.14	3822.1	86.962	18.86
8	3734.12	3829.06	94.935	19.88
9	3723.13	3826.74	103.607	30.87
10	3730.21	3759.04	28.83	23.79
11	3717.45	3772.52	55.067	36.55
12	3713.09	3862.29	149.2	40.91
13	3713.29	3770.11	56.817	40.71
14	3712.65	3779.26	66.608	41.35
15	3713.16	3785.5	72.335	40.84
16	3713.17	3791.12	77.954	40.83
17	3714.1	3798.69	84.592	39.9
18	3714.13	3811.68	97.551	39.87
19	3714.7	3822.98	108.276	39.3
20	3716.1	3811.93	95.827	37.9
21	3718.13	3765.82	47.691	35.87
22	3719.57	3769.95	50.383	34.43
23	3720.85	3787.13	66.28	33.15
24	3721.25	3791.43	70.184	32.75
25	3720.12	3797.74	77.622	33.88
26	3718.3	3810.77	92.467	35.7
27	3729.15	3776.31	47.158	24.85
28	3729.11	3779.89	50.777	24.89
29	3727.1	3791.56	64.46	26.9
30	3727.04	3795.34	68.302	26.96
31	3727.08	3823.17	96.094	26.92

Tabla 132 : Resultados presiones en cada nodo de iteración N° 02.
Fuente: Elaboración propia.

********** RESULTADOS EN TUBERIAS **********					
Tub #	Diam mm	Caudal l/s	Veloc m/s	hf_u m/km	hf m
1	55.4	2.1	0.841	14.649	1.465
2	38.4	1.22	1.055	26.218	0.472
3	38.4	1.27	1.094	28.16	1.605
4	38.4	0.79	0.679	19.643	1.002
5	38.4	0.39	0.337	2.718	0.141
6	38.4	0.26	0.221	1.358	0.067
7	38.4	0.59	0.509	7.173	0.359
8	38.4	0.54	0.47	6.138	0.295
9	38.4	1.49	1.286	37.852	1.968
10	38.4	0.18	0.152	0.842	0.04
11	38.4	0.68	0.588	8.213	0.394
12	38.4	1.6	1.382	43.612	2.268
13	38.4	0.0	0.001	0.0	0.0
14	38.4	1.18	1.021	30.173	1.478
15	38.4	1.68	1.455	51.989	2.495
16	38.4	3.51	3.033	566.907	28.345
17	38.4	1.88	1.625	64.73	3.301
18	38.4	2.09	1.806	77.187	4.091
19	38.4	1.27	1.095	41.157	2.058
20	38.4	0.72	0.625	9.721	0.486
21	38.4	0.81	0.703	14.018	0.925
22	38.4	0.54	0.467	6.199	0.31
23	38.4	0.1	0.087	0.203	0.01
24	38.4	0.68	0.589	10.983	0.769
25	38.4	0.8	0.689	14.791	0.725
26	38.4	0.98	0.849	20.629	1.073
27	38.4	0.81	0.701	11.67	0.56
28	38.4	1.01	0.873	19.166	0.958
29	38.4	0.95	0.82	14.616	0.716
30	29.4	0.63	0.932	25.674	1.335
31	38.4	0.24	0.209	1.105	0.053
32	38.4	0.77	0.667	12.868	0.618
33	38.4	0.93	0.803	22.693	1.679
34	38.4	1.6	1.379	49.339	2.368
35	38.4	1.78	1.534	54.803	2.85
36	38.4	3.17	2.733	162.252	8.113
37	38.4	2.08	1.796	75.412	3.62
38	38.4	0.59	0.509	6.105	0.311
39	38.4	1.59	1.373	50.708	2.434
40	38.4	0.68	0.59	8.222	0.395
41	38.4	1.01	0.869	20.712	1.056
42	38.4	0.93	0.801	19.217	1.518
43	38.4	0.69	0.593	9.193	0.441
44	29.4	1.59	2.344	299.949	15.897
45	38.4	0.33	0.286	2.623	0.22
46	38.4	1.12	0.966	27.965	2.852
47	29.4	2.39	3.523	360.362	20.541
48	29.4	2.33	3.436	343.364	35.023
49	29.4	0.69	1.018	30.526	2.717

Tabla 133 : Resultados velocidad en cada tubería de iteración N° 02.
Fuente: Elaboración propia.

Según el análisis de las iteraciones vemos que el error, todavía es considerable por lo que seguiremos con este proceso hasta obtener un

valor aceptable, para el reporte de la presente investigación presentaremos las ultimas iteraciones hasta donde consideramos que el resultado es aceptable.

RESULTADOS DE LA ITERACIÓN N° 45

```
Iteracion 45------------------------------------------------------------

Vector de consumo: Qac
[  2.10000000e-03   1.73838115e-05   6.29838115e-05   4.94669643e-05
   2.11507758e-05   2.33613552e-05   1.17878689e-05   5.71878689e-05
   1.23010676e-04   1.42268645e-05   1.25992967e-04   4.76528676e-05
   1.14493579e-04   2.29149091e-05   1.21202778e-04   2.94707458e-05
   2.05073524e-04   2.70900271e-05   2.11232806e-04   1.84232240e-04
   1.26215637e-05   1.96261431e-04   2.38648557e-04   3.98368225e-06
   2.49553294e-04   4.30818114e-06   2.69085326e-04   2.32392982e-05
   3.06312822e-04   5.32122162e-05   2.27898082e-04   2.41383071e-04
   5.40654868e-05   2.76204467e-04   7.59143145e-05   4.25184576e-05
   2.84442845e-04   1.41556795e-04   4.98869617e-04   1.00423092e-03
   4.06361303e-04   1.00184988e-04   3.79970997e-04   5.90141931e-05
   2.33285866e-04   6.72142670e-04   2.79826409e-04   2.20226409e-04
   1.11212216e-04]

Coeficiente alfa: alfa
[   332182.04302714   2788770.78832496   2437424.86198518
   2776772.09316493   6621591.14224112   5649153.37126825
  11424048.16203207   2260594.38056291   2266498.74951853
   8897622.63546931   2076812.41828927   2939000.24865122
   5759214.58154055   2101715.34793421   4569452.82199449
   1909160.19010416   5269285.73664267   1855867.2803656
  14083678.15512591   1895624.24085882   1720774.48465862
   1734640.56180944  32508333.5406795    1663791.21367483
   1638730.07852199   7659719.96104456   1743404.79058275
   1715246.08950091   3686353.01179051   1651756.18289821
   1844866.68485221   3167217.01426286   1638360.1731453
   1409877.64918209   1185259.2896215    1580566.16492473
   3671006.04123918   1514390.83661053   7039475.33607753
   3030789.34771999   2777574.16847018   6910969.10544526
  13198929.17927074  14021872.25259081]
```

```
Matriz A11:
[[  697.58229034     0.             0.          ...,     0.             0.             0.          ]
 [    0.           48.47946568     0.          ...,     0.             0.             0.          ]
 [    0.            0.           153.51830799 ...,     0.             0.             0.          ]
                                               ...,
 [    0.            0.             0.          ...,  1933.87166927     0.             0.          ]
 [    0.            0.             0.          ...,     0.          2906.7527792      0.          ]
 [    0.            0.             0.          ...,     0.             0.          1559.40348824]]
```

Matriz diagonal $[A11]_{49x49}$ NTxNT de iteración N° 45.

```
Cargas piezometricas: Hnxt
[[ 3752.53507719]
 [ 3751.33976721]
 [ 3750.9888897 ]
 [ 3750.83513168]
 [ 3750.75484166]
 [ 3750.72396722]
 [ 3750.71657405]
 [ 3750.71181181]
 [ 3751.99392883]
 [ 3751.3537851 ]
 [ 3751.18036038]
 [ 3751.11529397]
 [ 3751.02474582]
 [ 3750.92480566]
 [ 3750.82680216]
 [ 3750.76126727]
 [ 3750.72697145]
 [ 3750.71730228]
 [ 3750.71477401]
 [ 3751.28023648]
 [ 3751.06159183]
 [ 3750.93558115]
 [ 3750.82755321]
 [ 3750.75453651]
 [ 3750.72156872]
 [ 3751.07876909]
 [ 3750.94621309]
 [ 3750.8257431 ]
 [ 3750.74293561]
 [ 3750.71489485]]
```

```
Caudales en tuberias: Qnxt
[  2.10000000e-03  -1.73838115e-05   6.29838115e-05   4.94669643e-05
   2.11507758e-05   2.33613552e-05  -1.17878689e-05   5.71878689e-05
   1.23010676e-04  -1.42268645e-05   1.25992967e-04   4.76528676e-05
   1.14493579e-04  -2.29149091e-05   1.21202778e-04  -2.94707458e-05
   2.05073524e-04  -2.70900271e-05   2.11232806e-04   1.84232240e-04
  -1.26215637e-05   1.96261431e-04   2.38648557e-04   3.98368225e-06
   2.49553294e-04  -4.30818114e-06   2.69085326e-04  -2.32392982e-05
   3.06312822e-04  -5.32122162e-05   2.27898082e-04   2.41383071e-04
   5.40654868e-05   2.76204467e-04   7.59143145e-05  -4.25184576e-05
   2.84442845e-04   1.41556795e-04   4.98869617e-04   1.00423092e-03
   4.06361303e-04   1.00184988e-04   3.79970997e-04  -5.90141931e-05
   2.33285866e-04   6.72142670e-04   2.79826409e-04   2.20226409e-04
   1.11212216e-04]
```

********** RESULTADOS EN NUDOS *********				
Nudo #	Cota_T msnm	Cota_P msnm	Presion m	P_stat m
1	3754.0	3754.0	0.0	0.0
2	3734.27	3752.54	18.265	19.73
3	3737.27	3751.34	14.07	16.73
4	3739.29	3750.99	11.699	14.71
5	3739.25	3750.84	11.585	14.75
6	3737.19	3750.75	13.565	16.81
7	3735.14	3750.72	15.584	18.86
8	3734.12	3750.72	16.597	19.88
9	3723.13	3750.71	27.582	30.87
10	3730.21	3751.99	21.784	23.79
11	3717.45	3751.35	33.904	36.55
12	3713.09	3751.18	38.09	40.91
13	3713.29	3751.12	37.825	40.71
14	3712.65	3751.02	38.375	41.35
15	3713.16	3750.92	37.765	40.84
16	3713.17	3750.83	37.657	40.83
17	3714.1	3750.76	36.661	39.9
18	3714.13	3750.73	36.597	39.87
19	3714.7	3750.72	36.017	39.3
20	3716.1	3750.71	34.615	37.9
21	3718.13	3751.28	33.15	35.87
22	3719.57	3751.06	31.492	34.43
23	3720.85	3750.94	30.086	33.15
24	3721.25	3750.83	29.578	32.75
25	3720.12	3750.75	30.635	33.88
26	3718.3	3750.72	32.422	35.7
27	3729.15	3751.08	21.929	24.85
28	3729.11	3750.95	21.836	24.89
29	3727.1	3750.83	23.726	26.9
30	3727.04	3750.74	23.703	26.96
31	3727.08	3750.71	23.635	26.92

Tabla 134 : Resultados presiones en cada nodo de iteración N° 45.
Fuente: Elaboración propia.

********** RESULTADOS EN TUBERIAS **********					
Tub #	Diam mm	Caudal l/s	Veloc m/s	hf_u m/km	hf m
1	55.4	2.1	0.841	14.649	1.465
2	38.4	0.02	0.015	0.047	0.001
3	38.4	0.06	0.054	0.17	0.01
4	38.4	0.05	0.043	0.133	0.007
5	38.4	0.02	0.018	0.057	0.003
6	38.4	0.02	0.02	0.063	0.003
7	38.4	0.01	0.01	0.032	0.002
8	38.4	0.06	0.049	0.154	0.007
9	38.4	0.12	0.106	0.66	0.034
10	38.4	0.01	0.012	0.038	0.002
11	38.4	0.13	0.109	0.687	0.033
12	38.4	0.05	0.041	0.128	0.007
13	38.4	0.11	0.099	0.584	0.028
14	38.4	0.02	0.02	0.062	0.003
15	38.4	0.12	0.105	0.643	0.031
16	38.4	0.03	0.025	0.079	0.004
17	38.4	0.21	0.177	1.574	0.08
18	38.4	0.03	0.023	0.073	0.004
19	38.4	0.21	0.182	1.656	0.083
20	38.4	0.18	0.159	1.311	0.066
21	38.4	0.01	0.011	0.034	0.002
22	38.4	0.2	0.169	1.46	0.073
23	38.4	0.24	0.206	2.042	0.098
24	38.4	0.0	0.003	0.011	0.001
25	38.4	0.25	0.215	2.205	0.108
26	38.4	0.0	0.004	0.012	0.001
27	38.4	0.27	0.232	2.51	0.12
28	38.4	0.02	0.02	0.063	0.003
29	38.4	0.31	0.264	3.138	0.154
30	29.4	0.05	0.078	0.417	0.022
31	38.4	0.23	0.197	1.886	0.091
32	38.4	0.24	0.208	2.082	0.1
33	38.4	0.05	0.047	0.146	0.011
34	38.4	0.28	0.238	2.625	0.126
35	38.4	0.08	0.066	0.204	0.011
36	38.4	0.04	0.037	0.115	0.006
37	38.4	0.28	0.246	2.762	0.133
38	38.4	0.14	0.122	0.837	0.043
39	38.4	0.5	0.431	7.31	0.351
40	38.4	1.0	0.867	24.902	1.195
41	38.4	0.41	0.351	5.118	0.261
42	38.4	0.1	0.087	0.466	0.037
43	38.4	0.38	0.328	4.555	0.219
44	29.4	0.06	0.087	0.463	0.025
45	38.4	0.23	0.201	1.964	0.165
46	38.4	0.67	0.58	12.302	1.255
47	29.4	0.28	0.412	9.494	0.541
48	29.4	0.22	0.324	6.276	0.64
49	29.4	0.11	0.164	1.949	0.173

Tabla 135 : Resultados velocidad en cada tubería de iteración N° 45.
Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS DE LA ITERACIÓN N° 46

```
Iteracion 46------------------------------------------------------------

Vector de consumo: Qac
[  2.10000000e-03   1.73838115e-05   6.29838115e-05   4.94669643e-05
   2.11507758e-05   2.33613553e-05   1.17878689e-05   5.71878689e-05
   1.23010676e-04   1.42268645e-05   1.25992967e-04   4.76528676e-05
   1.14493579e-04   2.29149091e-05   1.21202778e-04   2.94707458e-05
   2.05073524e-04   2.70900271e-05   2.11232806e-04   1.84232240e-04
   1.26215637e-05   1.96261431e-04   2.38648557e-04   3.98368225e-06
   2.49553294e-04   4.30818116e-06   2.69085326e-04   2.32392982e-05
   3.06312822e-04   5.32122162e-05   2.27898082e-04   2.41383071e-04
   5.40654868e-05   2.76204467e-04   7.59143145e-05   4.25184576e-05
   2.84442845e-04   1.41556795e-04   4.98869617e-04   1.00423092e-03
   4.06361303e-04   1.00184988e-04   3.79970997e-04   5.90141931e-05
   2.33285866e-04   6.72142670e-04   2.79826409e-04   2.20226409e-04
   1.11212216e-04]

Coeficiente alfa: alfa
[   332182.04302571   2788770.78917227   2437424.8619839
   6621591.14257717   5649153.37257162  11424048.1659467
   2266498.74950391   8897622.63293613   2076812.41826173
   2939000.24825906   2139082.24842411   5759214.58289719
   2101715.34789014   4569452.82208225   1909160.19008967
   5269285.73573531   1855867.28034918   1930817.98804945
  14083678.15327368   1895624.24084508   1720774.48462993
  47325876.83710694   1734640.56179025  32508333.58288149
   1663791.21364749   5794718.11845699   1638730.07850014
   7659719.96041681   1743404.79056772   1715246.08948979
   3686353.01238173   1651756.18288379   1844866.68449636
   3167217.01336167   1638360.1731358    2129749.11561987
   1185259.28961556   1580566.1649181    3671006.04125033
   1514390.83659617   7039475.33631119   3030789.34769579
   2777574.16845746   6910969.10541418  13198929.17918909
  14021872.25251687]
```

```
Matriz A11:
[[ 697.58229035     0.            0.          ...,     0.            0.            0.        ]
 [   0.           48.47946568     0.          ...,     0.            0.            0.        ]
 [   0.            0.           153.51830799 ...,     0.            0.            0.        ]
                                             ...,
 [   0.            0.            0.          ...,  1933.87166929     0.            0.        ]
 [   0.            0.            0.          ...,     0.          2906.75277924     0.        ]
 [   0.            0.            0.          ...,     0.            0.          1559.40348826]]
```

Matriz diagonal $[A11]_{49x49}$ NTxNT de iteración N° 46.

```
Cargas piezometricas: Hnxt
[[ 3752.53507719]
 [ 3751.33976721]
 [ 3750.9888897 ]
 [ 3750.83513168]
 [ 3750.75484166]
 [ 3750.72396722]
 [ 3750.71657405]
 [ 3750.71181181]
 [ 3751.99392883]
 [ 3751.3537851 ]
 [ 3751.18036038]
 [ 3751.11529397]
 [ 3751.02474582]
 [ 3750.92480566]
 [ 3750.82680216]
 [ 3750.76126727]
 [ 3750.72697145]
 [ 3750.71730228]
 [ 3750.71477401]
 [ 3751.28023648]
 [ 3751.06159183]
 [ 3750.93558115]
 [ 3750.82755321]
 [ 3750.75453651]
 [ 3750.72156872]
 [ 3751.07876909]
 [ 3750.94621309]
 [ 3750.8257431 ]
 [ 3750.74293561]
 [ 3750.71489485]]
```

```
Caudales en tuberias: Qnxt
[  2.10000000e-03  -1.73838115e-05   6.29838115e-05   4.94669643e-05
   2.11507758e-05   2.33613553e-05  -1.17878689e-05   5.71878689e-05
   1.23010676e-04  -1.42268645e-05   1.25992967e-04   4.76528676e-05
   1.14493579e-04  -2.29149091e-05   1.21202778e-04  -2.94707458e-05
   2.05073524e-04  -2.70900271e-05   2.11232806e-04   1.84232240e-04
  -1.26215637e-05   1.96261431e-04   2.38648557e-04   3.98368225e-06
   2.49553294e-04  -4.30818116e-06   2.69085326e-04  -2.32392982e-05
   3.06312822e-04  -5.32122162e-05   2.27898082e-04   2.41383071e-04
   5.40654868e-05   2.76204467e-04   7.59143145e-05  -4.25184576e-05
   2.84442845e-04   1.41556795e-04   4.98869617e-04   1.00423092e-03
   4.06361303e-04   1.00184988e-04   3.79970997e-04  -5.90141931e-05
   2.33285866e-04   6.72142670e-04   2.79826409e-04   2.20226409e-04
   1.11212216e-04]
```

********** RESULTADOS EN NUDOS *********				
Nudo #	Cota_T msnm	Cota_P msnm	Presion m	P_stat m
1	3754.0	3754.0	0.0	0.0
2	3734.27	3752.54	18.265	19.73
3	3737.27	3751.34	14.07	16.73
4	3739.29	3750.99	11.699	14.71
5	3739.25	3750.84	11.585	14.75
6	3737.19	3750.75	13.565	16.81
7	3735.14	3750.72	15.584	18.86
8	3734.12	3750.72	16.597	19.88
9	3723.13	3750.71	27.582	30.87
10	3730.21	3751.99	21.784	23.79
11	3717.45	3751.35	33.904	36.55
12	3713.09	3751.18	38.09	40.91
13	3713.29	3751.12	37.825	40.71
14	3712.65	3751.02	38.375	41.35
15	3713.16	3750.92	37.765	40.84
16	3713.17	3750.83	37.657	40.83
17	3714.1	3750.76	36.661	39.9
18	3714.13	3750.73	36.597	39.87
19	3714.7	3750.72	36.017	39.3
20	3716.1	3750.71	34.615	37.9
21	3718.13	3751.28	33.15	35.87
22	3719.57	3751.06	31.492	34.43
23	3720.85	3750.94	30.086	33.15
24	3721.25	3750.83	29.578	32.75
25	3720.12	3750.75	30.635	33.88
26	3718.3	3750.72	32.422	35.7
27	3729.15	3751.08	21.929	24.85
28	3729.11	3750.95	21.836	24.89
29	3727.1	3750.83	23.726	26.9
30	3727.04	3750.74	23.703	26.96
31	3727.08	3750.71	23.635	26.92

Tabla 136 : Resultados presiones en cada nodo de iteración N° 46.
Fuente: Elaboración propia.

********** RESULTADOS EN TUBERIAS **********					
Tub #	Diam mm	Caudal l/s	Veloc m/s	hf_u m/km	hf m
1	55.4	2.1	0.841	14.649	1.465
2	38.4	1.22	1.055	26.218	0.472
3	38.4	1.27	1.094	28.16	1.605
4	38.4	0.79	0.679	19.643	1.002
5	38.4	0.39	0.337	2.718	0.141
6	38.4	0.26	0.221	1.358	0.067
7	38.4	0.59	0.509	7.173	0.359
8	38.4	0.54	0.47	6.138	0.295
9	38.4	1.49	1.286	37.852	1.968
10	38.4	0.18	0.152	0.842	0.04
11	38.4	0.68	0.588	8.213	0.394
12	38.4	1.6	1.382	43.612	2.268
13	38.4	0.0	0.001	0.0	0.0
14	38.4	1.18	1.021	30.173	1.478
15	38.4	1.68	1.455	51.989	2.495
16	38.4	3.51	3.033	566.907	28.345
17	38.4	1.88	1.625	64.73	3.301
18	38.4	2.09	1.806	77.187	4.091
19	38.4	1.27	1.095	41.157	2.058
20	38.4	0.72	0.625	9.721	0.486
21	38.4	0.81	0.703	14.018	0.925
22	38.4	0.54	0.467	6.199	0.31
23	38.4	0.1	0.087	0.203	0.01
24	38.4	0.68	0.589	10.983	0.769
25	38.4	0.8	0.689	14.791	0.725
26	38.4	0.98	0.849	20.629	1.073
27	38.4	0.81	0.701	11.67	0.56
28	38.4	1.01	0.873	19.166	0.958
29	38.4	0.95	0.82	14.616	0.716
30	29.4	0.63	0.932	25.674	1.335
31	38.4	0.24	0.209	1.105	0.053
32	38.4	0.77	0.667	12.868	0.618
33	38.4	0.93	0.803	22.693	1.679
34	38.4	1.6	1.379	49.339	2.368
35	38.4	1.78	1.534	54.803	2.85
36	38.4	3.17	2.733	162.252	8.113
37	38.4	0.28	0.246	2.762	0.133
38	38.4	0.14	0.122	0.837	0.043
39	38.4	0.5	0.431	7.31	0.351
40	38.4	1.0	0.867	24.902	1.195
41	38.4	0.41	0.351	5.118	0.261
42	38.4	0.1	0.087	0.466	0.037
43	38.4	0.38	0.328	4.555	0.219
44	29.4	0.06	0.087	0.463	0.025
45	38.4	0.23	0.201	1.964	0.165
46	38.4	0.67	0.58	12.302	1.255
47	29.4	0.28	0.412	9.494	0.541
48	29.4	0.22	0.324	6.276	0.64
49	29.4	0.11	0.164	1.949	0.173

Tabla 137 : Resultados velocidad en cada tubería de iteración N° 46.
Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS DE LA ITERACIÓN N° 47

```
Iteracion 47----------------------------------------------------------

Vector de consumo: Qac
[  2.10000000e-03   1.73838115e-05   6.29838115e-05   4.94669643e-05
   2.11507758e-05   2.33613553e-05   1.17878689e-05   5.71878689e-05
   1.23010676e-04   1.42268645e-05   1.25992967e-04   4.76528676e-05
   1.14493579e-04   2.29149091e-05   1.21202778e-04   2.94707458e-05
   2.05073524e-04   2.70900271e-05   2.11232806e-04   1.84232240e-04
   1.26215637e-05   1.96261431e-04   2.38648557e-04   3.98368225e-06
   2.49553294e-04   4.30818115e-06   2.69085326e-04   2.32392982e-05
   3.06312822e-04   5.32122162e-05   2.27898082e-04   2.41383071e-04
   5.40654868e-05   2.76204467e-04   7.59143145e-05   4.25184576e-05
   2.84442845e-04   1.41556795e-04   4.98869617e-04   1.00423092e-03
   4.06361303e-04   1.00184988e-04   3.79970997e-04   5.90141931e-05
   2.33285866e-04   6.72142670e-04   2.79826409e-04   2.20226409e-04
   1.11212216e-04]

Coeficiente alfa: alfa
[   332182.04302575   2788770.79100582   2437424.86186862
   2776772.09297277   6621591.14274518   5649153.37114018
  11424048.15417143   2260594.38065812   2266498.74947392
   8897622.63532608   2076812.41823554   2939000.24856362
   2139082.24842274   5759214.58178585   2101715.34789289
   4569452.82203837   1909160.19008291   5269285.73587916
   1855867.28034536   1930817.9880425   14083678.15419979
   1895624.24083283   1720774.48464167  47325876.78427224
   1734640.56179269  32508333.48827775   1663791.21365242
   5794718.11701547   1638730.07850644   7659719.96065039
   1743404.79056931   1715246.08948492   3686353.01166612
   1651756.18288841   1844866.68475243   3167217.01393804
   1638360.17313293   2129749.11562623   1409877.64917325
   1185259.28961608   1580566.16491723   3671006.04123777
   1514390.83659972   7039475.3359985    3030789.34770184
   2777574.16845726   6910969.1054139   13198929.17918947
  14021872.25253893]
```

```
Matriz A11:
[[ 697.58229035     0.            0.          ...,     0.            0.            0.          ]
 [    0.           48.47946568     0.          ...,     0.            0.            0.          ]
 [    0.            0.           153.51830799 ...,     0.            0.            0.          ]
                                              ...,
 [    0.            0.            0.          ..., 1933.87166929     0.            0.          ]
 [    0.            0.            0.          ...,     0.         2906.75277924     0.          ]
 [    0.            0.            0.          ...,     0.            0.         1559.40348826]]
```

Matriz diagonal $[A11]_{49x49}$ NTxNT de iteración N° 47.

```
Cargas piezometricas: Hnxt
[[ 3752.53507719]
 [ 3751.33976721]
 [ 3750.9888897 ]
 [ 3750.83513168]
 [ 3750.75484166]
 [ 3750.72396722]
 [ 3750.71657405]
 [ 3750.71181181]
 [ 3751.99392883]
 [ 3751.3537851 ]
 [ 3751.18036038]
 [ 3751.11529397]
 [ 3751.02474582]
 [ 3750.92480566]
 [ 3750.82680216]
 [ 3750.76126727]
 [ 3750.72697145]
 [ 3750.71730228]
 [ 3750.71477401]
 [ 3751.28023648]
 [ 3751.06159183]
 [ 3750.93558115]
 [ 3750.82755321]
 [ 3750.75453651]
 [ 3750.72156872]
 [ 3751.07876909]
 [ 3750.94621309]
 [ 3750.8257431 ]
 [ 3750.74293561]
 [ 3750.71489485]]
```

```
Caudales en tuberias: Qnxt
[  2.10000000e-03  -1.73838115e-05   6.29838115e-05   4.94669643e-05
   2.11507758e-05   2.33613553e-05  -1.17878689e-05   5.71878689e-05
   1.23010676e-04  -1.42268645e-05   1.25992967e-04   4.76528676e-05
   1.14493579e-04  -2.29149091e-05   1.21202778e-04  -2.94707458e-05
   2.05073524e-04  -2.70900271e-05   2.11232806e-04   1.84232240e-04
  -1.26215637e-05   1.96261431e-04   2.38648557e-04   3.98368225e-06
   2.49553294e-04  -4.30818115e-06   2.69085326e-04  -2.32392982e-05
   3.06312822e-04  -5.32122162e-05   2.27898082e-04   2.41383071e-04
   5.40654868e-05   2.76204467e-04   7.59143145e-05  -4.25184576e-05
   2.84442845e-04   1.41556795e-04   4.98869617e-04   1.00423092e-03
   4.06361303e-04   1.00184988e-04   3.79970997e-04  -5.90141931e-05
   2.33285866e-04   6.72142670e-04   2.79826409e-04   2.20226409e-04
   1.11212216e-04]
```

********** RESULTADOS EN NUDOS *********				
Nudo #	Cota_T msnm	Cota_P msnm	Presion m	P_stat m
1	3754.0	3754.0	0.0	0.0
2	3734.27	3752.54	18.265	19.73
3	3737.27	3751.34	14.07	16.73
4	3739.29	3750.99	11.699	14.71
5	3739.25	3750.84	11.585	14.75
6	3737.19	3750.75	13.565	16.81
7	3735.14	3750.72	15.584	18.86
8	3734.12	3750.72	16.597	19.88
9	3723.13	3750.71	27.582	30.87
10	3730.21	3751.99	21.784	23.79
11	3717.45	3751.35	33.904	36.55
12	3713.09	3751.18	38.09	40.91
13	3713.29	3751.12	37.825	40.71
14	3712.65	3751.02	38.375	41.35
15	3713.16	3750.92	37.765	40.84
16	3713.17	3750.83	37.657	40.83
17	3714.1	3750.76	36.661	39.9
18	3714.13	3750.73	36.597	39.87
19	3714.7	3750.72	36.017	39.3
20	3716.1	3750.71	34.615	37.9
21	3718.13	3751.28	33.15	35.87
22	3719.57	3751.06	31.492	34.43
23	3720.85	3750.94	30.086	33.15
24	3721.25	3750.83	29.578	32.75
25	3720.12	3750.75	30.635	33.88
26	3718.3	3750.72	32.422	35.7
27	3729.15	3751.08	21.929	24.85
28	3729.11	3750.95	21.836	24.89
29	3727.1	3750.83	23.726	26.9
30	3727.04	3750.74	23.703	26.96
31	3727.08	3750.71	23.635	26.92

Tabla 138 : Resultados presiones en cada nodo de iteración N° 47
Fuente: Elaboración propia.

********** RESULTADOS EN TUBERIAS **********					
Tub #	Diam mm	Caudal l/s	Veloc m/s	hf_u m/km	hf m
1	55.4	2.1	0.841	14.649	1.465
2	38.4	0.02	0.015	0.047	0.001
3	38.4	0.06	0.054	0.17	0.01
4	38.4	0.05	0.043	0.133	0.007
5	38.4	0.02	0.018	0.057	0.003
6	38.4	0.02	0.02	0.063	0.003
7	38.4	0.01	0.01	0.032	0.002
8	38.4	0.06	0.049	0.154	0.007
9	38.4	0.12	0.106	0.66	0.034
10	38.4	0.01	0.012	0.038	0.002
11	38.4	0.13	0.109	0.687	0.033
12	38.4	0.05	0.041	0.128	0.007
13	38.4	0.11	0.099	0.584	0.028
14	38.4	0.02	0.02	0.062	0.003
15	38.4	0.12	0.105	0.643	0.031
16	38.4	0.03	0.025	0.079	0.004
17	38.4	0.21	0.177	1.574	0.08
18	38.4	0.03	0.023	0.073	0.004
19	38.4	0.21	0.182	1.656	0.083
20	38.4	0.18	0.159	1.311	0.066
21	38.4	0.01	0.011	0.034	0.002
22	38.4	0.2	0.169	1.46	0.073
23	38.4	0.24	0.206	2.042	0.098
24	38.4	0.0	0.003	0.011	0.001
25	38.4	0.25	0.215	2.205	0.108
26	38.4	0.0	0.004	0.012	0.001
27	38.4	0.27	0.232	2.51	0.12
28	38.4	0.02	0.02	0.063	0.003
29	38.4	0.31	0.264	3.138	0.154
30	29.4	0.05	0.078	0.417	0.022
31	38.4	0.23	0.197	1.886	0.091
32	38.4	0.24	0.208	2.082	0.1
33	38.4	0.05	0.047	0.146	0.011
34	38.4	0.28	0.238	2.625	0.126
35	38.4	0.08	0.066	0.204	0.011
36	38.4	0.04	0.037	0.115	0.006
37	38.4	0.28	0.246	2.762	0.133
38	38.4	0.14	0.122	0.837	0.043
39	38.4	0.5	0.431	7.31	0.351
40	38.4	1.0	0.867	24.902	1.195
41	38.4	0.41	0.351	5.118	0.261
42	38.4	0.1	0.087	0.466	0.037
43	38.4	0.38	0.328	4.555	0.219
44	29.4	0.06	0.087	0.463	0.025
45	38.4	0.23	0.201	1.964	0.165
46	38.4	0.67	0.58	12.302	1.255
47	29.4	0.28	0.412	9.494	0.541
48	29.4	0.22	0.324	6.276	0.64
49	29.4	0.11	0.164	1.949	0.173

Tabla 139 : Resultados velocidad en cada tubería de iteración N° 47.
Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS DE LA ITERACIÓN N° 48

```
Iteracion 48------------------------------------------------------------

Vector de consumo: Qac
[  2.10000000e-03   1.73838115e-05   6.29838115e-05   4.94669643e-05
   2.11507758e-05   2.33613553e-05   1.17878689e-05   5.71878689e-05
   1.23010676e-04   1.42268645e-05   1.25992967e-04   4.76528676e-05
   1.14493579e-04   2.29149091e-05   1.21202778e-04   2.94707458e-05
   2.05073524e-04   2.70900271e-05   2.11232806e-04   1.84232240e-04
   1.26215637e-05   1.96261431e-04   2.38648557e-04   3.98368225e-06
   2.49553294e-04   4.30818116e-06   2.69085326e-04   2.32392982e-05
   3.06312822e-04   5.32122162e-05   2.27898082e-04   2.41383071e-04
   5.40654868e-05   2.76204467e-04   7.59143145e-05   4.25184576e-05
   2.84442845e-04   1.41556795e-04   4.98869617e-04   1.00423092e-03
   4.06361303e-04   1.00184988e-04   3.79970997e-04   5.90141931e-05
   2.33285866e-04   6.72142670e-04   2.79826409e-04   2.20226409e-04
   1.11212216e-04]

Coeficiente alfa: alfa
[   332182.04302589   2788770.79159385   2437424.86198293
   2776772.09303366   6621591.14130441   5649153.37167434
  11424048.16005907   2260594.38088255   2266498.7494878
   2076812.41828425   2939000.24821526   2139082.24842792
   5759214.58234152   2101715.34792194   4569452.82336927
   1909160.19008817   5269285.73766621   1855867.28035944
   1930817.98805714  14083678.14802756   1895624.24083961
   1720774.48465574  47325876.77218241   1734640.56181048
  32508333.54783011   1663791.21366273   5794718.11731522
   1638730.07851063   7659719.96069421   1743404.79056954
   1715246.08948203   3686353.01185281   1651756.18288326
   1844866.68460428   3167217.01427871   1638360.17313642
   1409877.64917655   1185259.28961631   1580566.1649182
   1514390.83659767   7039475.33654656   3030789.34769796
   2777574.16845937   6910969.10541776  13198929.17919728
  14021872.25254224]
```

```
Matriz A11:
[[  697.58229035     0.           0.        ...,    0.           0.           0.       ]
 [    0.           48.47946568    0.        ...,    0.           0.           0.       ]
 [    0.            0.          153.51830799 ...,    0.           0.           0.       ]
                                             ...,
 [    0.            0.           0.        ...,  1933.87166929    0.           0.       ]
 [    0.            0.           0.        ...,    0.         2906.75277924     .       ]
 [    0.            0.           0.        ...,    0.           0.         1559.40348826]]
```

Matriz diagonal $[A11]_{49x49}$ NTxNT de iteración N° 48.

```
Cargas piezometricas: Hnxt
[[ 3752.53507719]
 [ 3751.33976721]
 [ 3750.9888897 ]
 [ 3750.83513168]
 [ 3750.75484166]
 [ 3750.72396722]
 [ 3750.71657405]
 [ 3750.71181181]
 [ 3751.99392883]
 [ 3751.3537851 ]
 [ 3751.18036038]
 [ 3751.11529397]
 [ 3751.02474582]
 [ 3750.92480566]
 [ 3750.82680216]
 [ 3750.76126727]
 [ 3750.72697145]
 [ 3750.71730228]
 [ 3750.71477401]
 [ 3751.28023648]
 [ 3751.06159183]
 [ 3750.93558115]
 [ 3750.82755321]
 [ 3750.75453651]
 [ 3750.72156872]
 [ 3751.07876909]
 [ 3750.94621309]
 [ 3750.8257431 ]
 [ 3750.74293561]
 [ 3750.71489485]]
```

```
Caudales en tuberias: Qnxt
[  2.10000000e-03  -1.73838115e-05   6.29838115e-05   4.94669643e-05
   2.11507758e-05   2.33613553e-05  -1.17878689e-05   5.71878689e-05
   1.23010676e-04  -1.42268645e-05   1.25992967e-04   4.76528676e-05
   1.14493579e-04  -2.29149091e-05   1.21202778e-04  -2.94707458e-05
   2.05073524e-04  -2.70900271e-05   2.11232806e-04   1.84232240e-04
  -1.26215637e-05   1.96261431e-04   2.38648557e-04   3.98368225e-06
   2.49553294e-04  -4.30818116e-06   2.69085326e-04  -2.32392982e-05
   3.06312822e-04  -5.32122162e-05   2.27898082e-04   2.41383071e-04
   5.40654868e-05   2.76204467e-04   7.59143145e-05  -4.25184576e-05
   2.84442845e-04   1.41556795e-04   4.98869617e-04   1.00423092e-03
   4.06361303e-04   1.00184988e-04   3.79970997e-04  -5.90141931e-05
   2.33285866e-04   6.72142670e-04   2.79826409e-04   2.20226409e-04
   1.11212216e-04]
```

********** RESULTADOS EN NUDOS **********				
Nudo #	Cota_T msnm	Cota_P msnm	Presion m	P_stat m
1	3754.0	3754.0	0.0	0.0
2	3734.27	3752.54	18.265	19.73
3	3737.27	3751.34	14.07	16.73
4	3739.29	3750.99	11.699	14.71
5	3739.25	3750.84	11.585	14.75
6	3737.19	3750.75	13.565	16.81
7	3735.14	3750.72	15.584	18.86
8	3734.12	3750.72	16.597	19.88
9	3723.13	3750.71	27.582	30.87
10	3730.21	3751.99	21.784	23.79
11	3717.45	3751.35	33.904	36.55
12	3713.09	3751.18	38.09	40.91
13	3713.29	3751.12	37.825	40.71
14	3712.65	3751.02	38.375	41.35
15	3713.16	3750.92	37.765	40.84
16	3713.17	3750.83	37.657	40.83
17	3714.1	3750.76	36.661	39.9
18	3714.13	3750.73	36.597	39.87
19	3714.7	3750.72	36.017	39.3
20	3716.1	3750.71	34.615	37.9
21	3718.13	3751.28	33.15	35.87
22	3719.57	3751.06	31.492	34.43
23	3720.85	3750.94	30.086	33.15
24	3721.25	3750.83	29.578	32.75
25	3720.12	3750.75	30.635	33.88
26	3718.3	3750.72	32.422	35.7
27	3729.15	3751.08	21.929	24.85
28	3729.11	3750.95	21.836	24.89
29	3727.1	3750.83	23.726	26.9
30	3727.04	3750.74	23.703	26.96
31	3727.08	3750.71	23.635	26.92

Tabla 140 : Resultados presiones en cada nodo de iteración N° 48.
Fuente: Elaboración propia.

********** RESULTADOS EN TUBERIAS **********					
Tub #	Diam mm	Caudal l/s	Veloc m/s	hf_u m/km	hf m
1	55.4	2.1	0.841	14.649	1.465
2	38.4	0.02	0.015	0.047	0.001
3	38.4	0.06	0.054	0.17	0.01
4	38.4	0.05	0.043	0.133	0.007
5	38.4	0.02	0.018	0.057	0.003
6	38.4	0.02	0.02	0.063	0.003
7	38.4	0.01	0.01	0.032	0.002
8	38.4	0.06	0.049	0.154	0.007
9	38.4	0.12	0.106	0.66	0.034
10	38.4	0.01	0.012	0.038	0.002
11	38.4	0.13	0.109	0.687	0.033
12	38.4	0.05	0.041	0.128	0.007
13	38.4	0.11	0.099	0.584	0.028
14	38.4	0.02	0.02	0.062	0.003
15	38.4	0.12	0.105	0.643	0.031
16	38.4	0.03	0.025	0.079	0.004
17	38.4	0.21	0.177	1.574	0.08
18	38.4	0.03	0.023	0.073	0.004
19	38.4	0.21	0.182	1.656	0.083
20	38.4	0.18	0.159	1.311	0.066
21	38.4	0.01	0.011	0.034	0.002
22	38.4	0.2	0.169	1.46	0.073
23	38.4	0.24	0.206	2.042	0.098
24	38.4	0.0	0.003	0.011	0.001
25	38.4	0.25	0.215	2.205	0.108
26	38.4	0.0	0.004	0.012	0.001
27	38.4	0.27	0.232	2.51	0.12
28	38.4	0.02	0.02	0.063	0.003
29	38.4	0.31	0.264	3.138	0.154
30	29.4	0.05	0.078	0.417	0.022
31	38.4	0.23	0.197	1.886	0.091
32	38.4	0.24	0.208	2.082	0.1
33	38.4	0.05	0.047	0.146	0.011
34	38.4	0.28	0.238	2.625	0.126
35	38.4	0.08	0.066	0.204	0.011
36	38.4	0.04	0.037	0.115	0.006
37	38.4	0.28	0.246	2.762	0.133
38	38.4	0.14	0.122	0.837	0.043
39	38.4	0.5	0.431	7.31	0.351
40	38.4	1.0	0.867	24.902	1.195
41	38.4	0.41	0.351	5.118	0.261
42	38.4	0.1	0.087	0.466	0.037
43	38.4	0.38	0.328	4.555	0.219
44	29.4	0.06	0.087	0.463	0.025
45	38.4	0.23	0.201	1.964	0.165
46	38.4	0.67	0.58	12.302	1.255
47	29.4	0.28	0.412	9.494	0.541
48	29.4	0.22	0.324	6.276	0.64
49	29.4	0.11	0.164	1.949	0.173

Tabla 141 : Resultados velocidad en cada tubería de iteración N° 48.
Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS DE LA ITERACIÓN N° 49

```
Iteracion 49----------------------------------------------------------

Vector de consumo: Qac
[  2.10000000e-03   1.73838115e-05   6.29838115e-05   4.94669643e-05
   2.11507758e-05   2.33613553e-05   1.17878689e-05   5.71878689e-05
   1.23010676e-04   1.42268645e-05   1.25992967e-04   4.76528676e-05
   1.14493579e-04   2.29149091e-05   1.21202778e-04   2.94707458e-05
   2.05073524e-04   2.70900271e-05   2.11232806e-04   1.84232240e-04
   1.26215637e-05   1.96261431e-04   2.38648557e-04   3.98368225e-06
   2.49553294e-04   4.30818115e-06   2.69085326e-04   2.32392982e-05
   3.06312822e-04   5.32122162e-05   2.27898082e-04   2.41383071e-04
   5.40654868e-05   2.76204467e-04   7.59143145e-05   4.25184576e-05
   2.84442845e-04   1.41556795e-04   4.98869617e-04   1.00423092e-03
   4.06361303e-04   1.00184988e-04   3.79970997e-04   5.90141931e-05
   2.33285866e-04   6.72142670e-04   2.79826409e-04   2.20226409e-04
   1.11212216e-04]

Coeficiente alfa: alfa
[   332182.04302552   2788770.79280464   2437424.86181082
   6621591.14007576   5649153.37152479  11424048.16202423
   2260594.38064715   2266498.74943445   8897622.63472859
   2939000.24804107   2139082.248391     5759214.58163067
   2101715.34789779   4569452.82270382   1909160.19008581
   5269285.73491371   1855867.28035561   1930817.98806123
  14083678.14968638   1895624.24084059   1720774.48464306
  47325876.76613751   1734640.56180271  32508333.49355301
   1663791.21365542   5794718.11800737   1638730.07850456
   1743404.79056957   1715246.08948492   3686353.01217952
   1651756.18287675   1844866.68460912   3167217.01373106
   1638360.17312757   2129749.11560658   1409877.64917179
   1185259.28961526   1580566.16491542   3671006.04120191
   1514390.83659992   7039475.33575023   3030789.34769622
   2777574.16845498   6910969.10540894  13198929.17917637
  14021872.25250956]
```

```
Matriz A11:
[[ 697.58229035     0.            0.          ...,     0.            0.            0.        ]
 [    0.           48.47946568     0.          ...,     0.            0.            0.        ]
 [    0.            0.           153.51830799 ...,     0.            0.            0.        ]
                                              ...,
 [    0.            0.            0.          ...,  1933.8716693     0.            0.        ]
 [    0.            0.            0.          ...,     0.         2906.75277925    0.        ]
 [    0.            0.            0.          ...,     0.            0.         1559.40348826]]
```

Matriz diagonal $[A11]_{49x49}$ NTxNT de iteración N° 49.

```
Cargas piezometricas: Hnxt
[[ 3752.53507719]
 [ 3751.33976721]
 [ 3750.9888897 ]
 [ 3750.83513168]
 [ 3750.75484166]
 [ 3750.72396722]
 [ 3750.71657405]
 [ 3750.71181181]
 [ 3751.99392883]
 [ 3751.3537851 ]
 [ 3751.18036038]
 [ 3751.11529397]
 [ 3751.02474582]
 [ 3750.92480566]
 [ 3750.82680216]
 [ 3750.76126727]
 [ 3750.72697145]
 [ 3750.71730228]
 [ 3750.71477401]
 [ 3751.28023648]
 [ 3751.06159183]
 [ 3750.93558115]
 [ 3750.82755321]
 [ 3750.75453651]
 [ 3750.72156872]
 [ 3751.07876909]
 [ 3750.94621309]
 [ 3750.8257431 ]
 [ 3750.74293561]
 [ 3750.71489485]]
```

```
Caudales en tuberias: Qnxt
[  2.10000000e-03  -1.73838115e-05   6.29838115e-05   4.94669643e-05
   2.11507758e-05   2.33613553e-05  -1.17878689e-05   5.71878689e-05
   1.23010676e-04  -1.42268645e-05   1.25992967e-04   4.76528676e-05
   1.14493579e-04  -2.29149091e-05   1.21202778e-04  -2.94707458e-05
   2.05073524e-04  -2.70900271e-05   2.11232806e-04   1.84232240e-04
  -1.26215637e-05   1.96261431e-04   2.38648557e-04   3.98368225e-06
   2.49553294e-04  -4.30818115e-06   2.69085326e-04  -2.32392982e-05
   3.06312822e-04  -5.32122162e-05   2.27898082e-04   2.41383071e-04
   5.40654868e-05   2.76204467e-04   7.59143145e-05  -4.25184576e-05
   2.84442845e-04   1.41556795e-04   4.98869617e-04   1.00423092e-03
   4.06361303e-04   1.00184988e-04   3.79970997e-04  -5.90141931e-05
   2.33285866e-04   6.72142670e-04   2.79826409e-04   2.20226409e-04
   1.11212216e-04]
```

********** RESULTADOS EN NUDOS **********				
Nudo #	Cota_T msnm	Cota_P msnm	Presion m	P_stat m
1	3754.0	3754.0	0.0	0.0
2	3734.27	3752.54	18.265	19.73
3	3737.27	3751.34	14.07	16.73
4	3739.29	3750.99	11.699	14.71
5	3739.25	3750.84	11.585	14.75
6	3737.19	3750.75	13.565	16.81
7	3735.14	3750.72	15.584	18.86
8	3734.12	3750.72	16.597	19.88
9	3723.13	3750.71	27.582	30.87
10	3730.21	3751.99	21.784	23.79
11	3717.45	3751.35	33.904	36.55
12	3713.09	3751.18	38.09	40.91
13	3713.29	3751.12	37.825	40.71
14	3712.65	3751.02	38.375	41.35
15	3713.16	3750.92	37.765	40.84
16	3713.17	3750.83	37.657	40.83
17	3714.1	3750.76	36.661	39.9
18	3714.13	3750.73	36.597	39.87
19	3714.7	3750.72	36.017	39.3
20	3716.1	3750.71	34.615	37.9
21	3718.13	3751.28	33.15	35.87
22	3719.57	3751.06	31.492	34.43
23	3720.85	3750.94	30.086	33.15
24	3721.25	3750.83	29.578	32.75
25	3720.12	3750.75	30.635	33.88
26	3718.3	3750.72	32.422	35.7
27	3729.15	3751.08	21.929	24.85
28	3729.11	3750.95	21.836	24.89
29	3727.1	3750.83	23.726	26.9
30	3727.04	3750.74	23.703	26.96
31	3727.08	3750.71	23.635	26.92

Tabla 142 : Resultados presiones en cada nodo de iteración N° 49.
Fuente: Elaboración propia.

********** RESULTADOS EN TUBERIAS **********

Tub #	Diam mm	Caudal l/s	Veloc m/s	hf_u m/km	hf m
1	55.4	2.1	0.841	14.649	1.465
2	38.4	0.02	0.015	0.047	0.001
3	38.4	0.06	0.054	0.17	0.01
4	38.4	0.05	0.043	0.133	0.007
5	38.4	0.02	0.018	0.057	0.003
6	38.4	0.02	0.02	0.063	0.003
7	38.4	0.01	0.01	0.032	0.002
8	38.4	0.06	0.049	0.154	0.007
9	38.4	0.12	0.106	0.66	0.034
10	38.4	0.01	0.012	0.038	0.002
11	38.4	0.13	0.109	0.687	0.033
12	38.4	0.05	0.041	0.128	0.007
13	38.4	0.11	0.099	0.584	0.028
14	38.4	0.02	0.02	0.062	0.003
15	38.4	0.12	0.105	0.643	0.031
16	38.4	0.03	0.025	0.079	0.004
17	38.4	0.21	0.177	1.574	0.08
18	38.4	0.03	0.023	0.073	0.004
19	38.4	0.21	0.182	1.656	0.083
20	38.4	0.18	0.159	1.311	0.066
21	38.4	0.01	0.011	0.034	0.002
22	38.4	0.2	0.169	1.46	0.073
23	38.4	0.24	0.206	2.042	0.098
24	38.4	0.0	0.003	0.011	0.001
25	38.4	0.25	0.215	2.205	0.108
26	38.4	0.0	0.004	0.012	0.001
27	38.4	0.27	0.232	2.51	0.12
28	38.4	0.02	0.02	0.063	0.003
29	38.4	0.31	0.264	3.138	0.154
30	29.4	0.05	0.078	0.417	0.022
31	38.4	0.23	0.197	1.886	0.091
32	38.4	0.24	0.208	2.082	0.1
33	38.4	0.05	0.047	0.146	0.011
34	38.4	0.28	0.238	2.625	0.126
35	38.4	0.08	0.066	0.204	0.011
36	38.4	0.04	0.037	0.115	0.006
37	38.4	0.28	0.246	2.762	0.133
38	38.4	0.14	0.122	0.837	0.043
39	38.4	0.5	0.431	7.31	0.351
40	38.4	1.0	0.867	24.902	1.195
41	38.4	0.41	0.351	5.118	0.261
42	38.4	0.1	0.087	0.466	0.037
43	38.4	0.38	0.328	4.555	0.219
44	29.4	0.06	0.087	0.463	0.025
45	38.4	0.23	0.201	1.964	0.165
46	38.4	0.67	0.58	12.302	1.255
47	29.4	0.28	0.412	9.494	0.541
48	29.4	0.22	0.324	6.276	0.64
49	29.4	0.11	0.164	1.949	0.173

Tabla 143 : Resultados velocidad en cada tubería de iteración N° 49.
Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS DE LA ITERACIÓN N° 50

Finalmente vemos que el error de calculo esta dentro de lo aceptable , por lo que esta sera la ultima iteración cuyo resultado es el que adoptaremos para el diseño, según se muestra a contonuación.

```
Iteracion 50-------------------------------------------------------

Vector de consumo: Qac
[  2.10000000e-03   1.73838115e-05   6.29838115e-05   4.94669643e-05
   2.11507758e-05   2.33613552e-05   1.17878689e-05   5.71878689e-05
   1.23010676e-04   1.42268645e-05   1.25992967e-04   4.76528676e-05
   1.14493579e-04   2.29149091e-05   1.21202778e-04   2.94707458e-05
   2.05073524e-04   2.70900271e-05   2.11232806e-04   1.84232240e-04
   1.26215637e-05   1.96261431e-04   2.38648557e-04   3.98368225e-06
   2.49553294e-04   4.30818114e-06   2.69085326e-04   2.32392982e-05
   3.06312822e-04   5.32122162e-05   2.27898082e-04   2.41383071e-04
   5.40654868e-05   2.76204467e-04   7.59143145e-05   4.25184576e-05
   2.84442845e-04   1.41556795e-04   4.98869617e-04   1.00423092e-03
   4.06361303e-04   1.00184988e-04   3.79970997e-04   5.90141931e-05
   2.33285866e-04   6.72142670e-04   2.79826409e-04   2.20226409e-04
   1.11212216e-04]

Coeficiente alfa: alfa
[   332182.04302468   2788770.79212574   2437424.86211161
   2776772.09327278   6621591.1394084    5649153.37182926
  11424048.15907845   2260594.38060965   2266498.74944988
   8897622.63345586   2076812.41823426   2939000.24806063
   2139082.24838569   5759214.58072584   2101715.34788065
   1909160.1900714    5269285.73606658   1855867.28033367
   1930817.98802972  14083678.14855803   1895624.24082071
   1720774.48462505  47325876.81891388   1734640.56177655
  32508333.56837456   1663791.21364627   5794718.11846585
   1638730.07849422   7659719.96037665   1743404.79055696
   3686353.01172448   1651756.18287324   1844866.68502701
   3167217.01399374   1638360.17311972   2129749.1155974
   1185259.28961157   1580566.16491026   3671006.04117763
   1514390.83659319   7039475.33594932   3030789.34768545
   2777574.16844712   6910969.10539023  13198929.17912564
  14021872.25245965]
```

```
Matriz A11:
[[  697.58229036     0.            0.         ...,     0.            0.            0.         ]

 [    0.            48.47946568    0.         ...,     0.            0.            0.         ]

 [    0.             0.          153.51830799 ...,     0.            0.            0.         ]

                                             ...,

 [    0.             0.            0.         ...,  1933.87166931     0.            0.         ]

 [    0.             0.            0.         ...,     0.         2906.75277928     0.         ]

 [    0.             0.            0.         ...,     0.            0.         1559.40348828]]
```

Matriz diagonal $[A11]_{49x49}$ NTxNT de iteración N° 50.

```
Cargas piezometricas: Hnxt
[[ 3752.53507719]
 [ 3751.33976721]
 [ 3750.9888897 ]
 [ 3750.83513168]
 [ 3750.75484166]
 [ 3750.72396722]
 [ 3750.71657405]
 [ 3750.71181181]
 [ 3751.99392883]
 [ 3751.3537851 ]
 [ 3751.18036038]
 [ 3751.11529397]
 [ 3751.02474582]
 [ 3750.92480566]
 [ 3750.82680216]
 [ 3750.76126727]
 [ 3750.72697145]
 [ 3750.71730228]
 [ 3750.71477401]
 [ 3751.28023648]
 [ 3751.06159183]
 [ 3750.93558115]
 [ 3750.82755321]
 [ 3750.75453651]
 [ 3750.72156872]
 [ 3751.07876909]
 [ 3750.94621309]
 [ 3750.8257431 ]
 [ 3750.74293561]
 [ 3750.71489485]]
```

```
Caudales en tuberias: Qnxt
[  2.10000000e-03  -1.73838115e-05   6.29838115e-05   4.94669643e-05
   2.11507758e-05   2.33613552e-05  -1.17878689e-05   5.71878689e-05
   1.23010676e-04  -1.42268645e-05   1.25992967e-04   4.76528676e-05
   1.14493579e-04  -2.29149091e-05   1.21202778e-04  -2.94707458e-05
   2.05073524e-04  -2.70900271e-05   2.11232806e-04   1.84232240e-04
  -1.26215637e-05   1.96261431e-04   2.38648557e-04   3.98368225e-06
   2.49553294e-04  -4.30818114e-06   2.69085326e-04  -2.32392982e-05
   3.06312822e-04  -5.32122162e-05   2.27898082e-04   2.41383071e-04
   5.40654868e-05   2.76204467e-04   7.59143145e-05  -4.25184576e-05
   2.84442845e-04   1.41556795e-04   4.98869617e-04   1.00423092e-03
   4.06361303e-04   1.00184988e-04   3.79970997e-04  -5.90141931e-05
   2.33285866e-04   6.72142670e-04   2.79826409e-04   2.20226409e-04
   1.11212216e-04]
```

```
******  UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA  ***
******   FACULTAD DE CIENCIA DE INGENIERIA    ***
****** ECUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL ***

*************   RESULTADOS EN NUDOS   ******
Nud    Cota_T    Cota_P    Presion    P_stat
#      (msnm)    (msnm)    (m.c.a)      (m)
  1     3754.0    3754.0        0.0       0.0
  2    3734.27   3752.54     18.265     19.73
  3    3737.27   3751.34     14.070     16.73
  4    3739.29   3750.99     11.699     14.71
  5    3739.25   3750.84     11.585     14.75
  6    3737.19   3750.75     13.565     16.81
  7    3735.14   3750.72     15.584     18.86
  8    3734.12   3750.72     16.597     19.88
  9    3723.13   3750.71     27.582     30.87
 10    3730.21   3751.99     21.784     23.79
 11    3717.45   3751.35     33.904     36.55
 12    3713.09   3751.18     38.090     40.91
 13    3713.29   3751.12     37.825     40.71
 14    3712.65   3751.02     38.375     41.35
 15    3713.16   3750.92     37.765     40.84
 16    3713.17   3750.83     37.657     40.83
 17    3714.10   3750.76     36.661     39.90
 18    3714.13   3750.73     36.597     39.87
 19    3714.70   3750.72     36.017     39.30
 20    3716.10   3750.71     34.615     37.90
 21    3718.13   3751.28     33.150     35.87
 22    3719.57   3751.06     31.492     34.43
 23    3720.85   3750.94     30.086     33.15
 24    3721.25   3750.83     29.578     32.75
 25    3720.12   3750.75     30.635     33.88
 26    3718.30   3750.72     32.422     35.70
 27    3729.15   3751.08     21.929     24.85
 28    3729.11   3750.95     21.836     24.89
 29    3727.10   3750.83     23.726     26.90
 30    3727.04   3750.74     23.703     26.96
 31    3727.08   3750.71     23.635     26.92
```

Tabla 144 : Resultados presiones en cada nodo de iteración N° 50.
Fuente: Elaboración propia.

********** RESULTADOS EN TUBERIAS **********					
Tub #	Diam (mm)	Caudal (l/s)	Veloc (m/s)	hf_u (m/km)	hf (m)
1	55.4	2.1	0.841	14.649	1.465
2	38.4	0.02	0.015	0.047	0.001
3	38.4	0.06	0.054	0.17	0.010
4	38.4	0.05	0.043	0.133	0.007
5	38.4	0.02	0.018	0.057	0.003
6	38.4	0.02	0.020	0.063	0.003
7	38.4	0.01	0.010	0.032	0.002
8	38.4	0.06	0.049	0.154	0.007
9	38.4	0.12	0.106	0.660	0.034
10	38.4	0.01	0.012	0.038	0.002
11	38.4	0.13	0.109	0.687	0.033
12	38.4	0.05	0.041	0.128	0.007
13	38.4	0.11	0.099	0.584	0.028
14	38.4	0.02	0.020	0.062	0.003
15	38.4	0.12	0.105	0.643	0.031
16	38.4	0.03	0.025	0.079	0.004
17	38.4	0.21	0.177	1.574	0.080
18	38.4	0.03	0.023	0.073	0.004
19	38.4	0.21	0.182	1.656	0.083
20	38.4	0.18	0.159	1.311	0.066
21	38.4	0.01	0.011	0.034	0.002
22	38.4	0.20	0.169	1.460	0.073
23	38.4	0.24	0.206	2.042	0.098
24	38.4	0.00	0.003	0.011	0.001
25	38.4	0.25	0.215	2.205	0.108
26	38.4	0.00	0.004	0.012	0.001
27	38.4	0.27	0.232	2.510	0.120
28	38.4	0.02	0.020	0.063	0.003
29	38.4	0.31	0.264	3.138	0.154
30	29.4	0.05	0.078	0.417	0.022
31	38.4	0.23	0.197	1.886	0.091
32	38.4	0.24	0.208	2.082	0.100
33	38.4	0.05	0.047	0.146	0.011
34	38.4	0.28	0.238	2.625	0.126
35	38.4	0.08	0.066	0.204	0.011
36	38.4	0.04	0.037	0.115	0.006
37	38.4	0.28	0.246	2.762	0.133
38	38.4	0.14	0.122	0.837	0.043
39	38.4	0.50	0.431	7.310	0.351
40	38.4	1.00	0.867	24.902	1.195
41	38.4	0.41	0.351	5.118	0.261
42	38.4	0.10	0.087	0.466	0.037
43	38.4	0.38	0.328	4.555	0.219
44	29.4	0.06	0.087	0.463	0.025
45	38.4	0.23	0.201	1.964	0.165
46	38.4	0.67	0.580	12.302	1.255
47	29.4	0.28	0.412	9.494	0.541
48	29.4	0.22	0.324	6.276	0.640
49	29.4	0.11	0.164	1.949	0.173

Tabla 145 : Resultados velocidad en cada tubería de iteración N° 50.
Fuente: Elaboración propia.

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

- Pmin= 10m
- Pmax= 50m

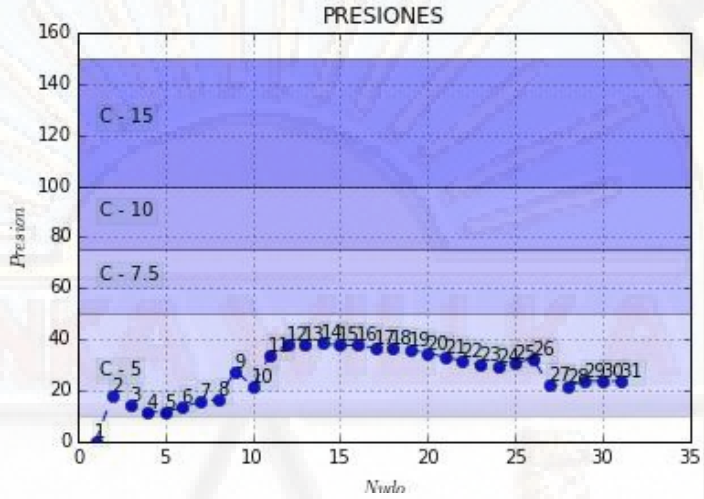


Figura 23: Presion en cada nodo (método de Gradiente Hidráulico).
Fuente: Elaboración propia.

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

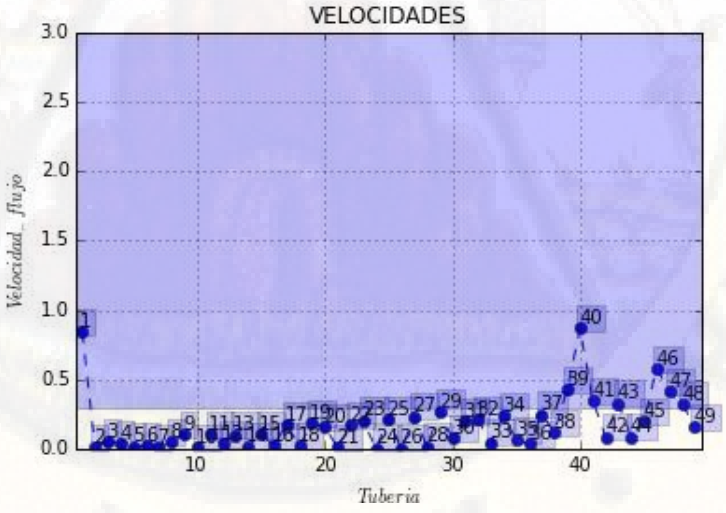


Figura 24: Velocidad en cada tubería (método de Gradiente Hidráulico).
Fuente: Elaboración propia.

4.1.4. ANÁLISIS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN POR EL MÉTODO DEL ALGORITMO GENÉTICO

Para el diseño optimizado de redes de distribución por Inteligencia artificial se utilizó Algoritmo Genético mediante el software (WATERGEMS), que permite el cálculo hidráulico de redes por lo cual se empleará en la red en estudio. Se procede a describir el proceso.

DATOS DE ENTRADA:

- Cotas en cada nodo

NODOS	COTA
RESERVORIO	3754.00
N-2	3,734.27
N-3	3,737.27
N-4	3,739.29
N-5	3,739.25
N-6	3,737.19
N-7	3,735.14
N-8	3,734.12
N-9	3,723.13
N-10	3,730.21
N-11	3,717.45
N-12	3,713.09
N-13	3,713.29
N-14	3,712.65
N-15	3,713.16
N-16	3,713.17
N-17	3,714.10
N-18	3,714.13
N-19	3,714.70
N-20	3,716.10
N-21	3,718.13
N-22	3,719.57
N-23	3,720.85
N-24	3,721.25
N-25	3,720.12
N-26	3,718.30
N-27	3,729.15
N-28	3,729.11
N-29	3,727.10
N-30	3,727.04
N-31	3,727.08

- Costo de tubería según diámetro nominal

DIAMETRO NOMINAL (pug.)	DIAMETRO INTERNO(mm)	COSTO(S/.)
1"	29.4	24.5
1 1/4	38.4	36.9
1 1/2	43.4	55.9
2"	55.4	89.9
2 1/2"	69.4	107.84
3"	84.1	131.25
4"	108.4	158.82

- Cálculo de demanda de agua

SIMBOLO	CANTIDAD	UND
Qm =	1.05	L/Seg:
Qmax d =	1.37	L/Seg:
Qmax h =	2.10	L/Seg:
Q 80% =	1.68	L/Seg:

PROCEDIMIENTOS PARA EL DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCION:

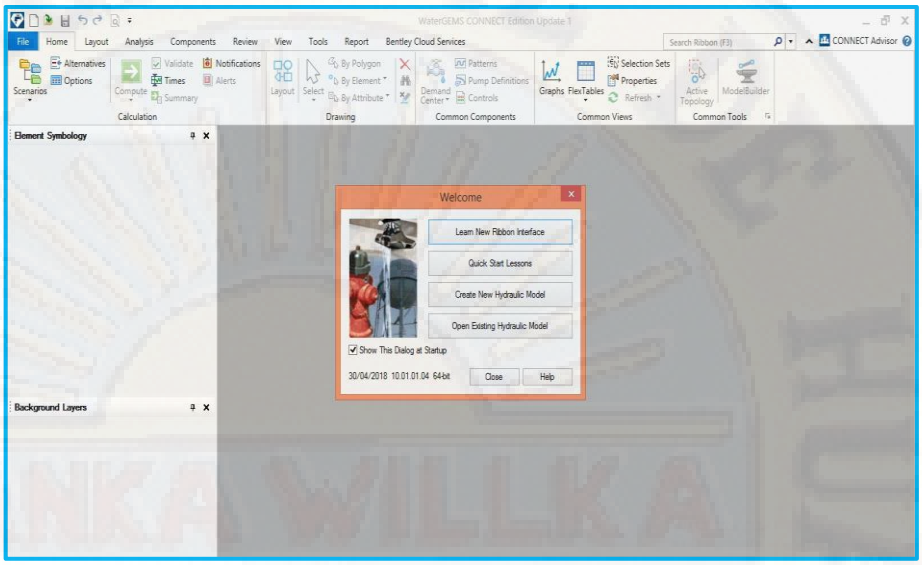


Figura 25: Pantalla de Inicio del software – WATERGEMS V10.01.01.04
Fuente: Software WaterGEMS

- **Configuración de la Unidades**

  El software permite la configuración de las unidades de medida en sistema internacional, el diámetro, velocidad, presión, longitud, cotas.

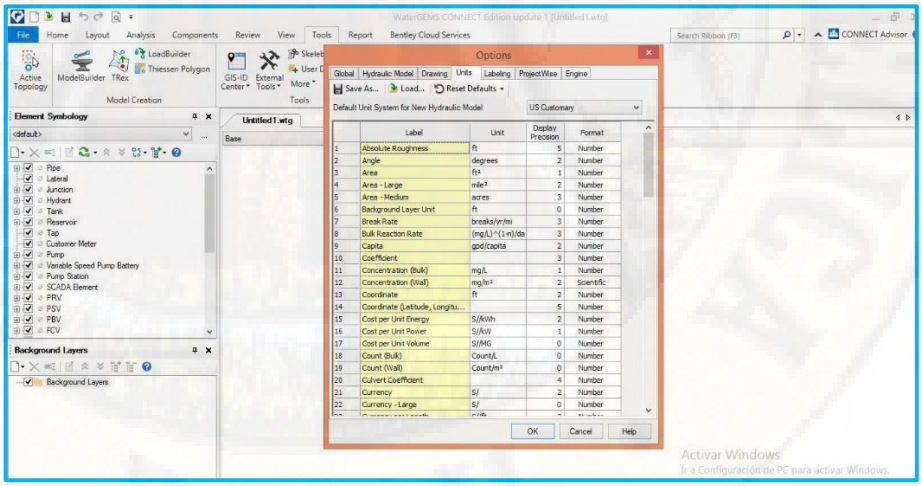


Figura 26: Configuración de unidades.
Fuente: Software WaterGEMS

- **Esquema hidraulico**

  El ingreso gráfico a partir de puntos topográficos en formato DXF mediante el comando ModelBuilder de los elementos de la red, nodos, tuberías y reservorio.

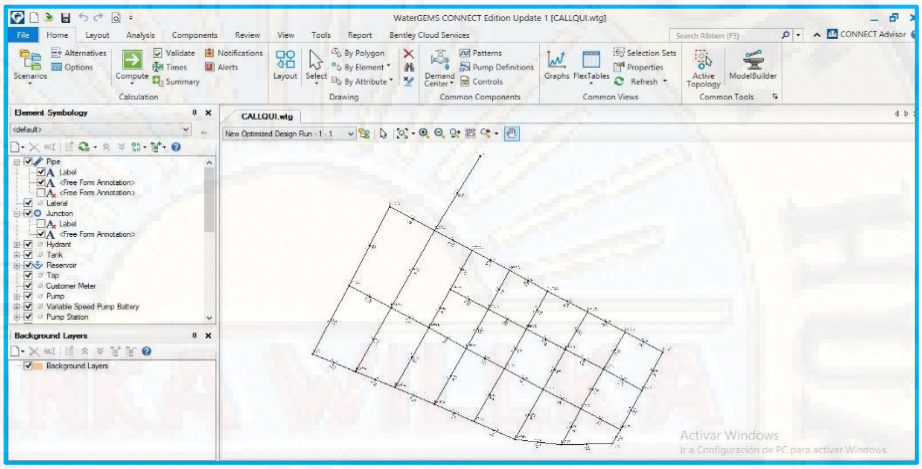


Figura 27: ingreso de grafico Background Layers.
Fuente: Software WaterGEMS

- **Caudal de Demanda en Nodos**

  Una vez dibujada la red, se procede a completar la información de los elementos En la tabla de nodos, se procede a completar los datos de etiqueta, caudal de demanda y cota.

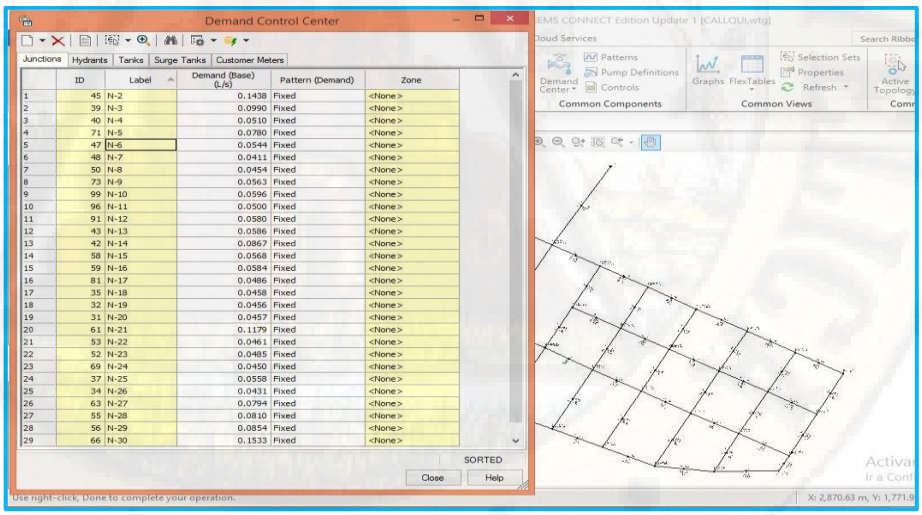


Figura 28: ingreso de caudal de demanda en Nodos
Fuente: Software WaterGEMS

- En la Juntion Table, se procede a ingresar los datos de cotas de elevación en cada nodo.

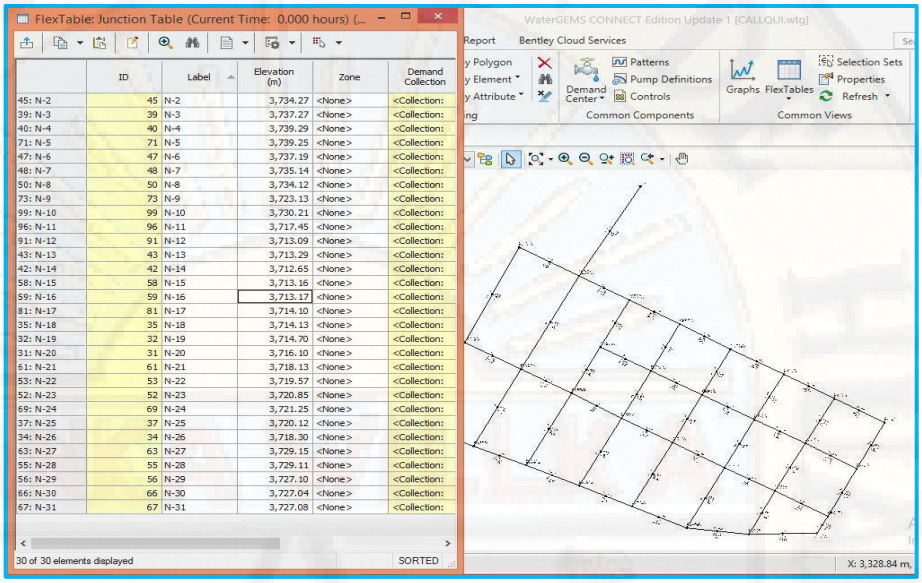


Figura 29: Cotas en cada nodo
Fuente: Software WaterGEMS

- Utilización del complemento de WATERGEMS Darwin Designer donde se ingresa parámetros de diseño de presiones y velocidades según Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE).

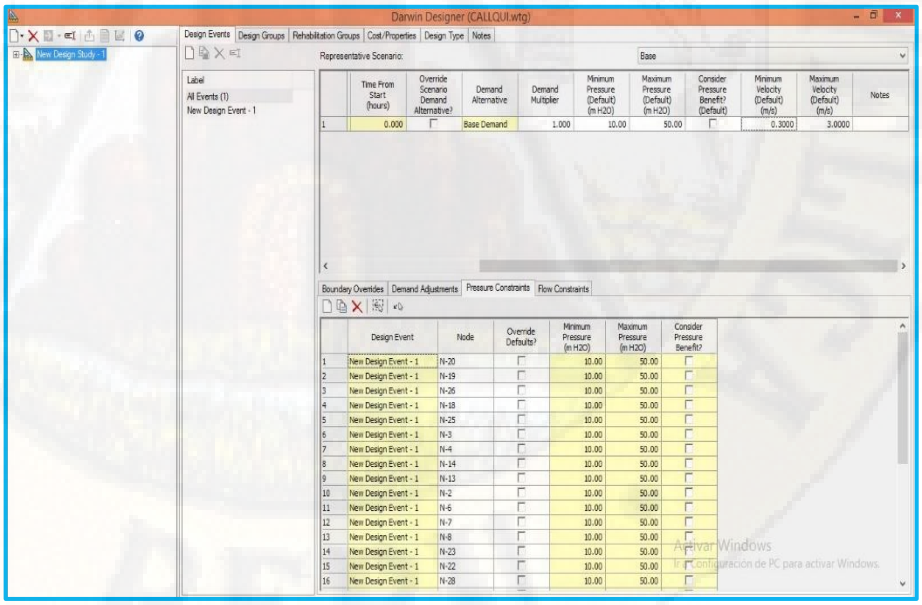


Figura 30: parámetros de Darwin Designer
Fuente: Software WaterGEMS

- Ingreso de propiedades y costos, basados en catálogos de tuberías disponibles.

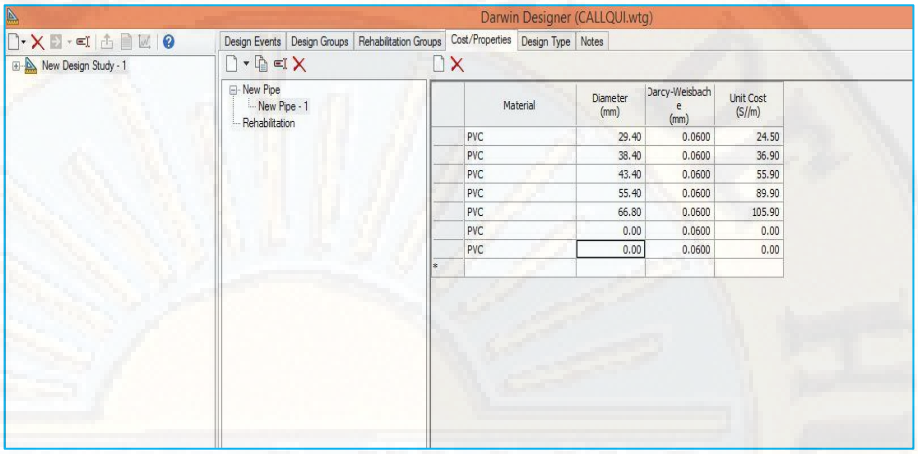


Figura 31: Propiedades y costos de tuberías.
Fuente: Software WaterGEMS

CÁLCULO DE LA RED

Para el cálculo de la red, se procede a definir los parámetros de Algoritmos genéticos, numero de generaciones, tamaño de población, probabilidad de corte, probabilidad de mutación, semilla aleatoria, generación de mejora y número de soluciones.

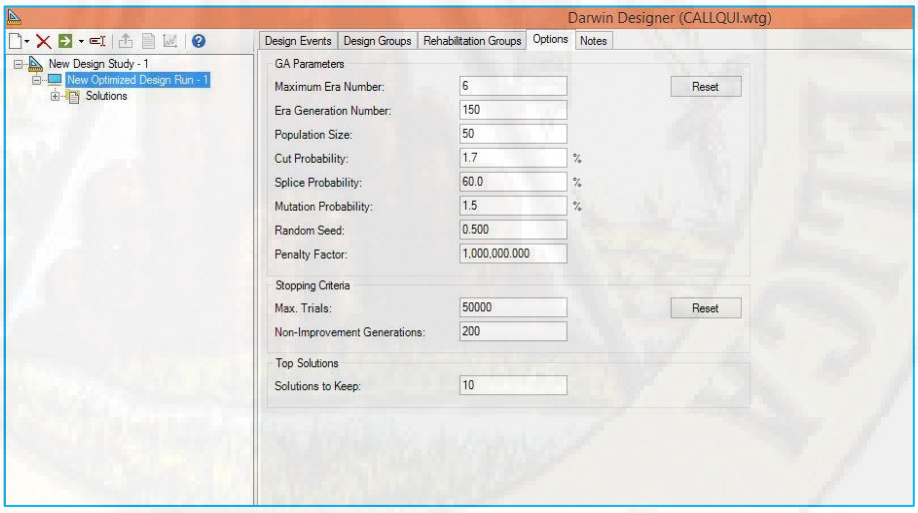


Figura 32: Parámetros de algoritmos genéticos.
Fuente: Software WaterGEMS

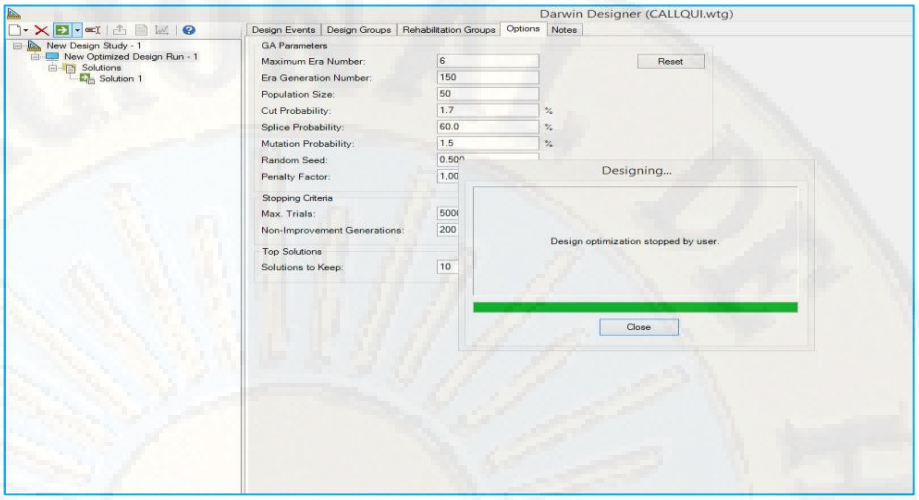
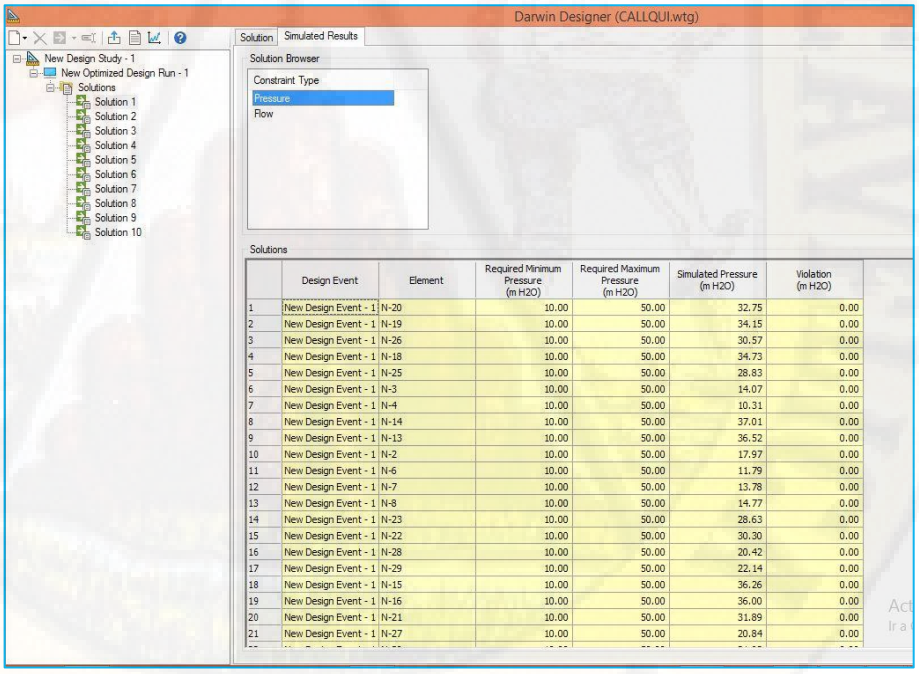


Figura 33: Previo cálculo de optimización de diseño por algoritmos genéticos.
Fuente: Software WaterGEMS

RESULTADOS

Finalizando el proceso se presentan en la ventana de cálculo de los resultados de diámetros, presiones y velocidades óptimas.



	Design Event	Element	Required Minimum Pressure (m H2O)	Required Maximum Pressure (m H2O)	Simulated Pressure (m H2O)	Violation (m H2O)
1	New Design Event - 1	N-20	10.00	50.00	32.75	0.00
2	New Design Event - 1	N-19	10.00	50.00	34.15	0.00
3	New Design Event - 1	N-26	10.00	50.00	30.57	0.00
4	New Design Event - 1	N-18	10.00	50.00	34.73	0.00
5	New Design Event - 1	N-25	10.00	50.00	28.83	0.00
6	New Design Event - 1	N-3	10.00	50.00	14.07	0.00
7	New Design Event - 1	N-4	10.00	50.00	10.31	0.00
8	New Design Event - 1	N-14	10.00	50.00	37.01	0.00
9	New Design Event - 1	N-13	10.00	50.00	36.52	0.00
10	New Design Event - 1	N-2	10.00	50.00	17.97	0.00
11	New Design Event - 1	N-6	10.00	50.00	11.79	0.00
12	New Design Event - 1	N-7	10.00	50.00	13.78	0.00
13	New Design Event - 1	N-8	10.00	50.00	14.77	0.00
14	New Design Event - 1	N-23	10.00	50.00	28.63	0.00
15	New Design Event - 1	N-22	10.00	50.00	30.30	0.00
16	New Design Event - 1	N-28	10.00	50.00	20.42	0.00
17	New Design Event - 1	N-29	10.00	50.00	22.14	0.00
18	New Design Event - 1	N-15	10.00	50.00	36.26	0.00
19	New Design Event - 1	N-16	10.00	50.00	36.00	0.00
20	New Design Event - 1	N-21	10.00	50.00	31.89	0.00
21	New Design Event - 1	N-27	10.00	50.00	20.84	0.00

Figura 34: resultado del cálculo de presiones optimas con AG.
Fuente: Software WaterGEMS

Tabla 146: presiones simuladas en función del costo, resultado 01.

Darwin Designer (CALLQUI.wtg.) New Optimized Solution 01						
ID	Desing Gruop	Pipe	Material	Darcy Weisbach e(mm)	Diameter (mm)	costo(s)
1	Design Group - T2 PVC	T2 PVC	PVC	0.0600	38.40	672.14
2	Design Group - T10 PVC	T10 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,154.90
3	Design Group - T11 PVC	T11 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,166.95
4	Design Group - T39 PVC	T39 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,170.26
5	Design Group - T31 PVC	T31 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,172.01
6	Design Group - T40 PVC	T40 PVC	PVC	0.0600	43.40	2,685.48
7	Design Group - T15 PVC	T15 PVC	PVC	0.0600	38.40	1,773.70
8	Design Group - T8 PVC	T8 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,177.74
9	Design Group - T34 PVC	T34 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,180.72
10	Design Group - T27 PVC	T27 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,181.30
11	Design Group - T23 PVC	T23 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,181.92
12	Design Group - T43 PVC	T43 PVC	PVC	0.0600	38.40	1,780.68
13	Design Group - T37 PVC	T37 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,183.91
14	Design Group - T32 PVC	T32 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,184.76
15	Design Group - T13 PVC	T13 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,184.90
16	Design Group - T25 PVC	T25 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,193.83
17	Design Group - T29 PVC	T29 PVC	PVC	0.0600	38.40	1,809.31
18	Design Group - T6 PVC	T6 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,210.47
19	Design Group - T14 PVC	T14 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,212.06
20	Design Group - T22 PVC	T22 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,213.07
21	Design Group - T19 PVC	T19 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,219.18
22	Design Group - T28 PVC	T28 PVC	PVC	0.0600	38.40	1,839.54
23	Design Group - T7 PVC	T7 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,226.47
24	Design Group - T16 PVC	T16 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,227.32
25	Design Group - T20 PVC	T20 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,229.16
26	Design Group - T36 PVC	T36 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,233.48
27	Design Group - T4 PVC	T4 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,239.18
28	Design Group - T17 PVC	T17 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,241.36
29	Design Group - T38 PVC	T38 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,252.42
30	Design Group - T5 PVC	T5 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,268.28
31	Design Group - T35 PVC	T35 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,270.64
32	Design Group - T41 PVC	T41 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,259.58
33	Design Group - T26 PVC	T26 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,275.05
34	Design Group - T30 PVC	T30 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,276.58
35	Design Group - T12 PVC	T12 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,284.54
36	Design Group - T9 PVC	T9 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,285.35
37	Design Group - T18 PVC	T18 PVC	PVC	0.0600	38.40	1,944.56
38	Design Group - T44 PVC	T44 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,309.33
39	Design Group - T3 PVC	T3 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,399.50
40	Design Group - T47 PVC	T47 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,400.41
41	Design Group - T21 PVC	T21 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,618.19
42	Design Group - T24 PVC	T24 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,721.37
43	Design Group - T33 PVC	T33 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,807.61
44	Design Group - T42 PVC	T42 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,937.89
45	Design Group - T45 PVC	T45 PVC	PVC	0.0600	29.40	2,061.20
46	Design Group - T49 PVC	T49 PVC	PVC	0.0600	29.40	2,185.74
47	Design Group - T1 PVC	T1 PVC	PVC	0.0600	55.40	9,015.12
48	Design Group - T46 PVC	T46 PVC	PVC	0.0600	29.40	2,498.22
49	Design Group - T48 PVC	T48 PVC	PVC	0.0600	29.40	2,506.44

Fuente: Reporte del software WaterGEMS.

Tabla 147: Presiones simuladas del resultado 01

Darwin Designer (CALLQUI.wtg.) New Optimized Pressure Results.						
ID	Design Event	Element	Required Minimum Pressure (m H 2 O)	Required Maximum Pressure (m H 2 O)	Simulated Pressure (H2O)	Violation (m H2O)
1	New Design Event - 1	N-20	10	50	32.75	0.00
2	New Design Event - 1	N-19	10	50	34.15	0.00
3	New Design Event - 1	N-26	10	50	30.57	0.00
4	New Design Event - 1	N-18	10	50	34.73	0.00
5	New Design Event - 1	N-25	10	50	28.83	0.00
6	New Design Event - 1	N-3	10	50	14.07	0.00
7	New Design Event - 1	N-4	10	50	10.31	0.00
8	New Design Event - 1	N-14	10	50	37.01	0.00
9	New Design Event - 1	N-13	10	50	36.52	0.00
10	New Design Event - 1	N-2	10	50	17.97	0.00
11	New Design Event - 1	N-6	10	50	11.79	0.00
12	New Design Event - 1	N-7	10	50	13.78	0.00
13	New Design Event - 1	N-8	10	50	14.77	0.00
14	New Design Event - 1	N-23	10	50	28.63	0.00
15	New Design Event - 1	N-22	10	50	30.30	0.00
16	New Design Event - 1	N-28	10	50	20.42	0.00
17	New Design Event - 1	N-29	10	50	22.14	0.00
18	New Design Event - 1	N-15	10	50	36.26	0.00
19	New Design Event - 1	N-16	10	50	36.00	0.00
20	New Design Event - 1	N-21	10	50	31.89	0.00
21	New Design Event - 1	N-27	10	50	20.84	0.00
22	New Design Event - 1	N-30	10	50	21.92	0.00
23	New Design Event - 1	N-31	10	50	21.80	0.00
24	New Design Event - 1	N-24	10	50	27.95	0.00
25	New Design Event - 1	N-5	10	50	10.05	0.00
26	New Design Event - 1	N-9	10	50	25.73	0.00
27	New Design Event - 1	N-17	10	50	34.85	0.00
28	New Design Event - 1	N-12	10	50	36.77	0.00
29	New Design Event - 1	N-11	10	50	32.68	0.00
30	New Design Event - 1	N-10	10	50	21.12	0.00

Fuente: Reporte del software WaterGEMS.

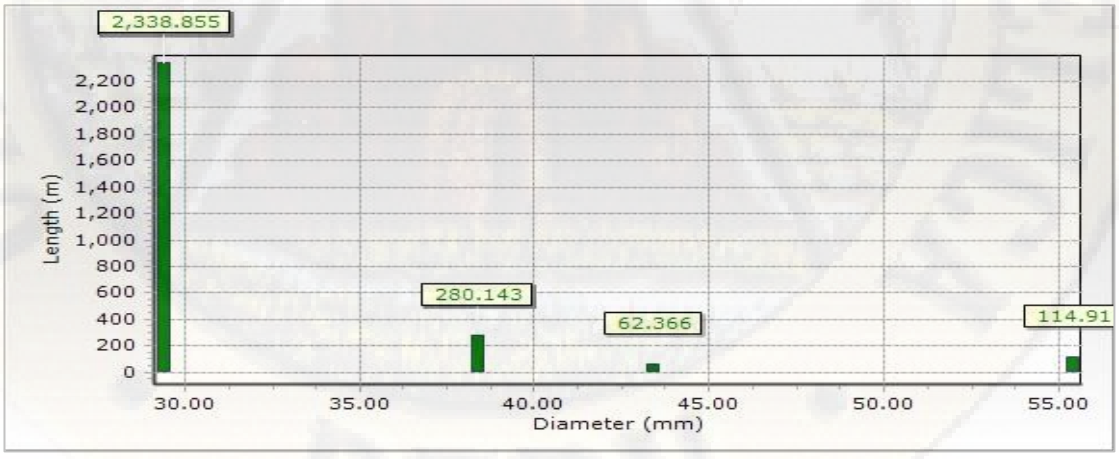


Figura 35: Longitud en función al diámetro, resultado 01.
Fuente: Reporte del software WaterGEMS.

Tabla 148: Velocidades simuladas del resultado 01

Darwin Designer (CALLQUI.wtg.) New Optimized velocity results 01						
ID	Desing Event.	Element.	Minimum Velocity (m/s)	Maximum velocity (m/s)	Simulated Velocity (m/s)	Violation (m/s)
1	New Design Event - 1	T2 PVC	0.0	3.0	0.003	0.00
2	New Design Event - 1	T10 PVC	0.0	3.0	0.013	0.00
3	New Design Event - 1	T11 PVC	0.0	3.0	0.153	0.00
4	New Design Event - 1	T39 PVC	0.0	3.0	0.850	0.00
5	New Design Event - 1	T31 PVC	0.0	3.0	0.219	0.00
6	New Design Event - 1	T40 PVC	0.0	3.0	0.781	0.00
7	New Design Event - 1	T15 PVC	0.0	3.0	0.149	0.00
8	New Design Event - 1	T8 PVC	0.0	3.0	0.099	0.00
9	New Design Event - 1	T34 PVC	0.0	3.0	0.373	0.00
10	New Design Event - 1	T27 PVC	0.0	3.0	0.312	0.00
11	New Design Event - 1	T23 PVC	0.0	3.0	0.294	0.00
12	New Design Event - 1	T43 PVC	0.0	3.0	0.267	0.00
13	New Design Event - 1	T37 PVC	0.0	3.0	0.412	0.00
14	New Design Event - 1	T32 PVC	0.0	3.0	0.281	0.00
15	New Design Event - 1	T13 PVC	0.0	3.0	0.153	0.00
16	New Design Event - 1	T25 PVC	0.0	3.0	0.307	0.00
17	New Design Event - 1	T29 PVC	0.0	3.0	0.383	0.00
18	New Design Event - 1	T6 PVC	0.0	3.0	0.044	0.00
19	New Design Event - 1	T14 PVC	0.0	3.0	0.095	0.00
20	New Design Event - 1	T22 PVC	0.0	3.0	0.282	0.00
21	New Design Event - 1	T19 PVC	0.0	3.0	0.303	0.00
22	New Design Event - 1	T28 PVC	0.0	3.0	0.125	0.00
23	New Design Event - 1	T7 PVC	0.0	3.0	0.032	0.00
24	New Design Event - 1	T16 PVC	0.0	3.0	0.010	0.00
25	New Design Event - 1	T20 PVC	0.0	3.0	0.264	0.00
26	New Design Event - 1	T36 PVC	0.0	3.0	0.177	0.00
27	New Design Event - 1	T4 PVC	0.0	3.0	0.070	0.00
28	New Design Event - 1	T17 PVC	0.0	3.0	0.325	0.00
29	New Design Event - 1	T38 PVC	0.0	3.0	0.121	0.00
30	New Design Event - 1	T5 PVC	0.0	3.0	0.007	0.00
31	New Design Event - 1	T35 PVC	0.0	3.0	0.102	0.00
32	New Design Event - 1	T41 PVC	0.0	3.0	0.706	0.00
33	New Design Event - 1	T26 PVC	0.0	3.0	0.097	0.00
34	New Design Event - 1	T30 PVC	0.0	3.0	0.121	0.00
35	New Design Event - 1	T12 PVC	0.0	3.0	0.034	0.00
36	New Design Event - 1	T9 PVC	0.0	3.0	0.153	0.00
37	New Design Event - 1	T18 PVC	0.0	3.0	0.050	0.00
38	New Design Event - 1	T44 PVC	0.0	3.0	0.173	0.00
39	New Design Event - 1	T3 PVC	0.0	3.0	0.072	0.00
40	New Design Event - 1	T47 PVC	0.0	3.0	0.541	0.00
41	New Design Event - 1	T21 PVC	0.0	3.0	0.039	0.00
42	New Design Event - 1	T24 PVC	0.0	3.0	0.056	0.00
43	New Design Event - 1	T33 PVC	0.0	3.0	0.097	0.00
44	New Design Event - 1	T42 PVC	0.0	3.0	0.190	0.00
45	New Design Event - 1	T45 PVC	0.0	3.0	0.184	0.00
46	New Design Event - 1	T49 PVC	0.0	3.0	0.206	0.00
47	New Design Event - 1	T1 PVC	0.0	3.0	0.871	0.00
48	New Design Event - 1	T46 PVC	0.0	3.0	0.639	0.00
49	New Design Event - 1	T48 PVC	0.0	3.0	0.453	0.00

Fuente: Reporte del software WaterGEMS.

Tabla 149: Presiones simuladas en función del costo, resultado 02 `

Darwin Designer (CALLQUI.wtg.) New Optimized Solution 02						
ID	Desing Gruop	Pipe	Material	Darcy Weisbach e(mm)	Diameter (mm)	costo(s)
1	Design Group - T2	T2 PVC	PVC	0.0600	29.40	446.27
2	Design Group - T10	T10 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,154.90
3	Design Group - T11	T11 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,166.95
4	Design Group - T39	T39 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,170.26
5	Design Group - T31	T31 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,172.01
6	Design Group - T40	T40 PVC	PVC	0.0600	43.40	2,685.48
7	Design Group - T15	T15 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,177.66
8	Design Group - T8	T8 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,177.74
9	Design Group - T34	T34 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,180.72
10	Design Group - T27	T27 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,181.30
11	Design Group - T23	T23 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,181.92
12	Design Group - T43	T43 PVC	PVC	0.0600	38.40	1,780.68
13	Design Group - T37	T37 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,183.91
14	Design Group - T32	T32 PVC	PVC	0.0600	38.40	1,784.39
15	Design Group - T13	T13 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,184.90
16	Design Group - T25	T25 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,193.83
17	Design Group - T29	T29 PVC	PVC	0.0600	38.40	1,809.31
18	Design Group - T6	T6 PVC	PVC	0.0600	38.40	1,823.11
19	Design Group - T14	T14 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,212.06
20	Design Group - T22	T22 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,213.07
21	Design Group - T19	T19 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,219.18
22	Design Group - T28	T28 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,221.38
23	Design Group - T7	T7 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,226.47
24	Design Group - T16	T16 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,227.32
25	Design Group - T20	T20 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,229.16
26	Design Group - T36	T36 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,233.48
27	Design Group - T4	T4 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,239.18
28	Design Group - T17	T17 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,241.36
29	Design Group - T38	T38 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,252.42
30	Design Group - T5	T5 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,268.28
31	Design Group - T35	T35 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,270.64
32	Design Group - T41	T41 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,259.58
33	Design Group - T26	T26 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,275.05
34	Design Group - T30	T30 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,276.58
35	Design Group - T12	T12 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,284.54
36	Design Group - T9	T9 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,285.35
37	Design Group - T18	T18 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,291.10
38	Design Group - T44	T44 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,309.33
39	Design Group - T3	T3 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,399.50
40	Design Group - T47	T47 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,400.41
41	Design Group - T21	T21 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,618.19
42	Design Group - T24	T24 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,721.37
43	Design Group - T33	T33 PVC	PVC	0.0600	38.40	2,722.48
44	Design Group - T42	T42 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,937.89
45	Design Group - T45	T45 PVC	PVC	0.0600	29.40	2,061.20
46	Design Group - T49	T49 PVC	PVC	0.0600	29.40	2,185.74
47	Design Group - T1	T1 PVC	PVC	0.0600	55.40	9,015.12
48	Design Group - T46	T46 PVC	PVC	0.0600	29.40	2,498.22
49	Design Group - T48	T48 PVC	PVC	0.0600	29.40	2,506.44

Fuente: Reporte del software WaterGEMS.

Tabla 150: Presiones simuladas del resultado 02

Darwin Designer (CALLQUI.wtg.) New Optimized Pressure Results.						
ID	Design Event	Element	Required Minimum Pressure (m H 2 O)	Required Maximum Pressure (m H 2 O)	Simulated Pressure (H_2O)	Violation (m H_2O)
1	New Design Event - 1	N-20	10	50	32.76	0.00
2	New Design Event - 1	N-19	10	50	34.16	0.00
3	New Design Event - 1	N-26	10	50	30.58	0.00
4	New Design Event - 1	N-18	10	50	34.75	0.00
5	New Design Event - 1	N-25	10	50	28.87	0.00
6	New Design Event - 1	N-3	10	50	14.08	0.00
7	New Design Event - 1	N-4	10	50	10.36	0.00
8	New Design Event - 1	N-14	10	50	36.93	0.00
9	New Design Event - 1	N-13	10	50	36.46	0.00
10	New Design Event - 1	N-2	10	50	17.97	0.00
11	New Design Event - 1	N-6	10	50	11.84	0.00
12	New Design Event - 1	N-7	10	50	13.77	0.00
13	New Design Event - 1	N-8	10	50	14.78	0.00
14	New Design Event - 1	N-23	10	50	28.66	0.00
15	New Design Event - 1	N-22	10	50	30.28	0.00
16	New Design Event - 1	N-28	10	50	20.45	0.00
17	New Design Event - 1	N-29	10	50	22.15	0.00
18	New Design Event - 1	N-15	10	50	36.33	0.00
19	New Design Event - 1	N-16	10	50	36.03	0.00
20	New Design Event - 1	N-21	10	50	31.86	0.00
21	New Design Event - 1	N-27	10	50	20.84	0.00
22	New Design Event - 1	N-30	10	50	21.95	0.00
23	New Design Event - 1	N-31	10	50	21.81	0.00
24	New Design Event - 1	N-24	10	50	27.98	0.00
25	New Design Event - 1	N-5	10	50	10.13	0.00
26	New Design Event - 1	N-9	10	50	25.74	0.00
27	New Design Event - 1	N-17	10	50	34.88	0.00
28	New Design Event - 1	N-12	10	50	36.73	0.00
29	New Design Event - 1	N-11	10	50	32.64	0.00
30	New Design Event - 1	N-10	10	50	21.11	0.00

Fuente: Reporte del software WaterGEMS.

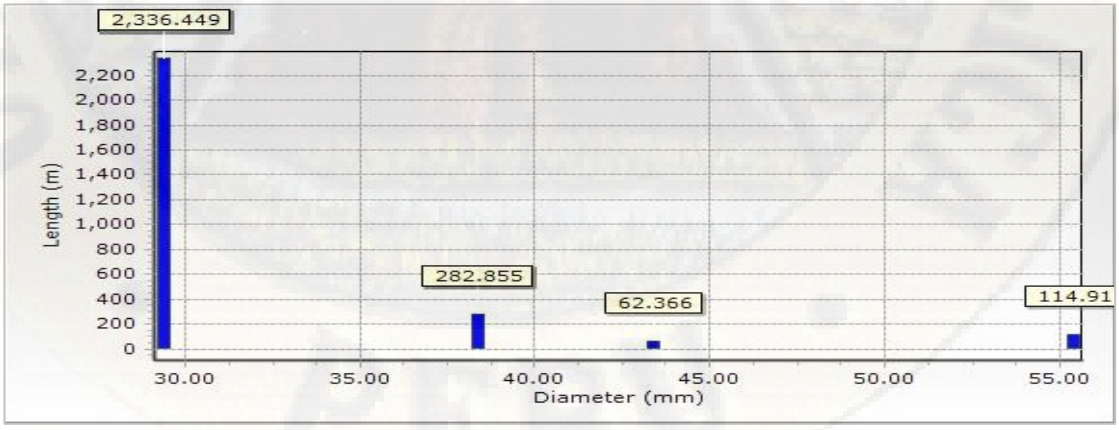


Figura 36: Longitud en función al diámetro, resultado 02.
Fuente: Reporte del software WaterGEMS.

Tabla 151: Velocidades simuladas del resultado 02

Darwin Designer (CALLQUI.wtg.) New Optimized velocity results 02						
ID	Desing Event.	Element.	Minimum Velocity (m/s)	Maximum velocity (m/s)	Simulated Velocity (m/s)	Violation (m/s)
1	New Design Event - 1	T2 PVC	0.0	3.0	0.111	0.00
2	New Design Event - 1	T10 PVC	0.0	3.0	0.124	0.00
3	New Design Event - 1	T11 PVC	0.0	3.0	0.278	0.00
4	New Design Event - 1	T39 PVC	0.0	3.0	0.839	0.00
5	New Design Event - 1	T31 PVC	0.0	3.0	0.340	0.00
6	New Design Event - 1	T40 PVC	0.0	3.0	0.777	0.00
7	New Design Event - 1	T15 PVC	0.0	3.0	0.285	0.00
8	New Design Event - 1	T8 PVC	0.0	3.0	0.172	0.00
9	New Design Event - 1	T34 PVC	0.0	3.0	0.345	0.00
10	New Design Event - 1	T27 PVC	0.0	3.0	0.320	0.00
11	New Design Event - 1	T23 PVC	0.0	3.0	0.314	0.00
12	New Design Event - 1	T43 PVC	0.0	3.0	0.259	0.00
13	New Design Event - 1	T37 PVC	0.0	3.0	0.397	0.00
14	New Design Event - 1	T32 PVC	0.0	3.0	0.197	0.00
15	New Design Event - 1	T13 PVC	0.0	3.0	0.181	0.00
16	New Design Event - 1	T25 PVC	0.0	3.0	0.310	0.00
17	New Design Event - 1	T29 PVC	0.0	3.0	0.365	0.00
18	New Design Event - 1	T6 PVC	0.0	3.0	0.136	0.00
19	New Design Event - 1	T14 PVC	0.0	3.0	0.053	0.00
20	New Design Event - 1	T22 PVC	0.0	3.0	0.378	0.00
21	New Design Event - 1	T19 PVC	0.0	3.0	0.392	0.00
22	New Design Event - 1	T28 PVC	0.0	3.0	0.169	0.00
23	New Design Event - 1	T7 PVC	0.0	3.0	0.015	0.00
24	New Design Event - 1	T16 PVC	0.0	3.0	0.174	0.00
25	New Design Event - 1	T20 PVC	0.0	3.0	0.265	0.00
26	New Design Event - 1	T36 PVC	0.0	3.0	0.194	0.00
27	New Design Event - 1	T4 PVC	0.0	3.0	0.173	0.00
28	New Design Event - 1	T17 PVC	0.0	3.0	0.339	0.00
29	New Design Event - 1	T38 PVC	0.0	3.0	0.141	0.00
30	New Design Event - 1	T5 PVC	0.0	3.0	0.117	0.00
31	New Design Event - 1	T35 PVC	0.0	3.0	0.099	0.00
32	New Design Event - 1	T41 PVC	0.0	3.0	0.708	0.00
33	New Design Event - 1	T26 PVC	0.0	3.0	0.172	0.00
34	New Design Event - 1	T30 PVC	0.0	3.0	0.128	0.00
35	New Design Event - 1	T12 PVC	0.0	3.0	0.066	0.00
36	New Design Event - 1	T9 PVC	0.0	3.0	0.170	0.00
37	New Design Event - 1	T18 PVC	0.0	3.0	0.141	0.00
38	New Design Event - 1	T44 PVC	0.0	3.0	0.170	0.00
39	New Design Event - 1	T3 PVC	0.0	3.0	0.078	0.00
40	New Design Event - 1	T47 PVC	0.0	3.0	0.545	0.00
41	New Design Event - 1	T21 PVC	0.0	3.0	0.124	0.00
42	New Design Event - 1	T24 PVC	0.0	3.0	0.137	0.00
43	New Design Event - 1	T33 PVC	0.0	3.0	0.136	0.00
44	New Design Event - 1	T42 PVC	0.0	3.0	0.323	0.00
45	New Design Event - 1	T45 PVC	0.0	3.0	0.399	0.00
46	New Design Event - 1	T49 PVC	0.0	3.0	0.314	0.00
47	New Design Event - 1	T1 PVC	0.0	3.0	0.871	0.00
48	New Design Event - 1	T46 PVC	0.0	3.0	0.644	0.00
49	New Design Event - 1	T48 PVC	0.0	3.0	0.457	0.00

Fuente: Reporte del software WaterGEMS.

Tabla 152: presiones simuladas en función al costo, resultado 03.

Darwin Designer (CALLQUI.wtg.) New Optimized Solution 03						
ID	Desing Gruop	Pipe	Material	Darcy Weisbach e(mm)	Diameter (mm)	costo(s)
1	Design Group - T2	T2 PVC	PVC	0.0600	55.40	1,637.55
2	Design Group - T10	T10 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,154.90
3	Design Group - T11	T11 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,166.95
4	Design Group - T39	T39 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,170.26
5	Design Group - T31	T31 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,172.01
6	Design Group - T40	T40 PVC	PVC	0.0600	43.40	2,685.48
7	Design Group - T15	T15 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,177.66
8	Design Group - T8	T8 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,177.74
9	Design Group - T34	T34 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,180.72
10	Design Group - T27	T27 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,181.30
11	Design Group - T23	T23 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,181.92
12	Design Group - T43	T43 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,182.29
13	Design Group - T37	T37 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,183.91
14	Design Group - T32	T32 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,184.76
15	Design Group - T13	T13 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,184.90
16	Design Group - T25	T25 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,193.83
17	Design Group - T29	T29 PVC	PVC	0.0600	38.40	1,809.31
18	Design Group - T6	T6 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,210.47
19	Design Group - T14	T14 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,212.06
20	Design Group - T22	T22 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,213.07
21	Design Group - T19	T19 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,219.18
22	Design Group - T28	T28 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,221.38
23	Design Group - T7	T7 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,226.47
24	Design Group - T16	T16 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,227.32
25	Design Group - T20	T20 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,229.16
26	Design Group - T36	T36 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,233.48
27	Design Group - T4	T4 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,239.18
28	Design Group - T17	T17 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,241.36
29	Design Group - T38	T38 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,252.42
30	Design Group - T5	T5 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,268.28
31	Design Group - T35	T35 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,270.64
32	Design Group - T41	T41 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,259.58
33	Design Group - T26	T26 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,275.05
34	Design Group - T30	T30 PVC	PVC	0.0600	38.40	1,922.68
35	Design Group - T12	T12 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,284.54
36	Design Group - T9	T9 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,285.35
37	Design Group - T18	T18 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,291.10
38	Design Group - T44	T44 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,309.33
39	Design Group - T3	T3 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,399.50
40	Design Group - T47	T47 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,400.41
41	Design Group - T21	T21 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,618.19
42	Design Group - T24	T24 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,721.37
43	Design Group - T33	T33 PVC	PVC	0.0600	38.40	2,722.48
44	Design Group - T42	T42 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,937.89
45	Design Group - T45	T45 PVC	PVC	0.0600	29.40	2,061.20
46	Design Group - T49	T49 PVC	PVC	0.0600	29.40	2,185.74
47	Design Group - T1	T1 PVC	PVC	0.0600	55.40	9,015.12
48	Design Group - T46	T46 PVC	PVC	0.0600	29.40	2,498.22
49	Design Group - T48	T48 PVC	PVC	0.0600	29.40	2,506.44

Fuente: Reporte del software WaterGEMS.

Tabla 153: Presiones simuladas del resultado 03

Darwin Designer (CALLQUI.wtg.) New Optimized Pressure Results.						
ID	Design Event	Element	Required Minimum Pressure (m H 2 O)	Required Maximum Pressure (m H 2 O)	Simulated Pressure (H_2O)	Violation (m H_2O)
1	New Design Event - 1	N-20	10	50	32.65	0.00
2	New Design Event - 1	N-19	10	50	34.04	0.00
3	New Design Event - 1	N-26	10	50	30.47	0.00
4	New Design Event - 1	N-18	10	50	34.63	0.00
5	New Design Event - 1	N-25	10	50	28.75	0.00
6	New Design Event - 1	N-3	10	50	14.04	0.00
7	New Design Event - 1	N-4	10	50	10.26	0.00
8	New Design Event - 1	N-14	10	50	36.96	0.00
9	New Design Event - 1	N-13	10	50	36.56	0.00
10	New Design Event - 1	N-2	10	50	17.97	0.00
11	New Design Event - 1	N-6	10	50	11.72	0.00
12	New Design Event - 1	N-7	10	50	13.66	0.00
13	New Design Event - 1	N-8	10	50	14.66	0.00
14	New Design Event - 1	N-23	10	50	28.53	0.00
15	New Design Event - 1	N-22	10	50	30.18	0.00
16	New Design Event - 1	N-28	10	50	20.33	0.00
17	New Design Event - 1	N-29	10	50	22.04	0.00
18	New Design Event - 1	N-15	10	50	36.20	0.00
19	New Design Event - 1	N-16	10	50	35.91	0.00
20	New Design Event - 1	N-21	10	50	31.99	0.00
21	New Design Event - 1	N-27	10	50	20.75	0.00
22	New Design Event - 1	N-30	10	50	21.84	0.00
23	New Design Event - 1	N-31	10	50	21.69	0.00
24	New Design Event - 1	N-24	10	50	27.86	0.00
25	New Design Event - 1	N-5	10	50	10.02	0.00
26	New Design Event - 1	N-9	10	50	25.63	0.00
27	New Design Event - 1	N-17	10	50	34.77	0.00
28	New Design Event - 1	N-12	10	50	36.78	0.00
29	New Design Event - 1	N-11	10	50	32.74	0.00
30	New Design Event - 1	N-10	10	50	21.15	0.00

Fuente: Reporte del software WaterGEMS.

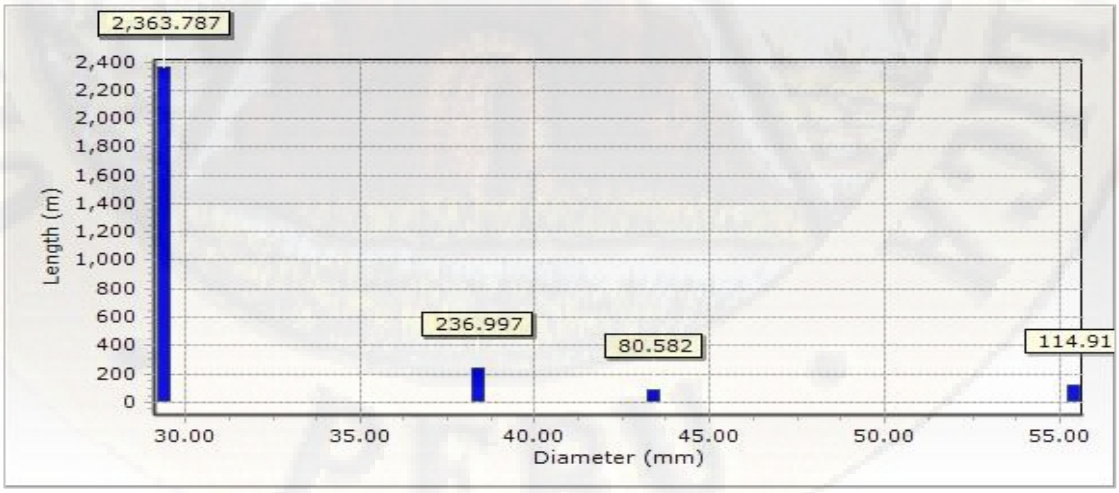


Figura 37: Longitud en función al diámetro, resultado 03.
Fuente: Reporte del software WaterGEMS.

Tabla 154: Velocidades simuladas del resultado 03

Darwin Designer (CALLQUI.wtg.) New Optimized velocity results 03						
ID	Desing Event.	Element.	Minimum Velocity (m/s)	Maximum velocity (m/s)	Simulated Velocity (m/s)	Violation (m/s)
1	New Design Event - 1	T2 PVC	0.0	3.0	0.002	0.00
2	New Design Event - 1	T10 PVC	0.0	3.0	0.009	0.00
3	New Design Event - 1	T11 PVC	0.0	3.0	0.147	0.00
4	New Design Event - 1	T39 PVC	0.0	3.0	0.857	0.00
5	New Design Event - 1	T31 PVC	0.0	3.0	0.281	0.00
6	New Design Event - 1	T40 PVC	0.0	3.0	0.793	0.00
7	New Design Event - 1	T15 PVC	0.0	3.0	0.157	0.00
8	New Design Event - 1	T8 PVC	0.0	3.0	0.076	0.00
9	New Design Event - 1	T34 PVC	0.0	3.0	0.359	0.00
10	New Design Event - 1	T27 PVC	0.0	3.0	0.324	0.00
11	New Design Event - 1	T23 PVC	0.0	3.0	0.307	0.00
12	New Design Event - 1	T43 PVC	0.0	3.0	0.367	0.00
13	New Design Event - 1	T37 PVC	0.0	3.0	0.406	0.00
14	New Design Event - 1	T32 PVC	0.0	3.0	0.295	0.00
15	New Design Event - 1	T13 PVC	0.0	3.0	0.154	0.00
16	New Design Event - 1	T25 PVC	0.0	3.0	0.304	0.00
17	New Design Event - 1	T29 PVC	0.0	3.0	0.370	0.00
18	New Design Event - 1	T6 PVC	0.0	3.0	0.064	0.00
19	New Design Event - 1	T14 PVC	0.0	3.0	0.021	0.00
20	New Design Event - 1	T22 PVC	0.0	3.0	0.276	0.00
21	New Design Event - 1	T19 PVC	0.0	3.0	0.298	0.00
22	New Design Event - 1	T28 PVC	0.0	3.0	0.177	0.00
23	New Design Event - 1	T7 PVC	0.0	3.0	0.009	0.00
24	New Design Event - 1	T16 PVC	0.0	3.0	0.102	0.00
25	New Design Event - 1	T20 PVC	0.0	3.0	0.260	0.00
26	New Design Event - 1	T36 PVC	0.0	3.0	0.201	0.00
27	New Design Event - 1	T4 PVC	0.0	3.0	0.072	0.00
28	New Design Event - 1	T17 PVC	0.0	3.0	0.340	0.00
29	New Design Event - 1	T38 PVC	0.0	3.0	0.150	0.00
30	New Design Event - 1	T5 PVC	0.0	3.0	0.010	0.00
31	New Design Event - 1	T35 PVC	0.0	3.0	0.113	0.00
32	New Design Event - 1	T41 PVC	0.0	3.0	0.725	0.00
33	New Design Event - 1	T26 PVC	0.0	3.0	0.077	0.00
34	New Design Event - 1	T30 PVC	0.0	3.0	0.087	0.00
35	New Design Event - 1	T12 PVC	0.0	3.0	0.020	0.00
36	New Design Event - 1	T9 PVC	0.0	3.0	0.148	0.00
37	New Design Event - 1	T18 PVC	0.0	3.0	0.087	0.00
38	New Design Event - 1	T44 PVC	0.0	3.0	0.136	0.00
39	New Design Event - 1	T3 PVC	0.0	3.0	0.072	0.00
40	New Design Event - 1	T47 PVC	0.0	3.0	0.532	0.00
41	New Design Event - 1	T21 PVC	0.0	3.0	0.040	0.00
42	New Design Event - 1	T24 PVC	0.0	3.0	0.039	0.00
43	New Design Event - 1	T33 PVC	0.0	3.0	0.056	0.00
44	New Design Event - 1	T42 PVC	0.0	3.0	0.142	0.00
45	New Design Event - 1	T45 PVC	0.0	3.0	0.218	0.00
46	New Design Event - 1	T49 PVC	0.0	3.0	0.234	0.00
47	New Design Event - 1	T1 PVC	0.0	3.0	0.871	0.00
48	New Design Event - 1	T46 PVC	0.0	3.0	0.622	0.00
49	New Design Event - 1	T48 PVC	0.0	3.0	0.444	0.00

Fuente: Reporte del software WaterGEMS.

Tabla 155: Presiones simuladas en función al costo, resultado 04.

Darwin Designer (CALLQUI.wtg.) New Optimized Solution 04						
ID	Desing Gruop	Pipe	Material	Darcy Weisbach e(mm)	Diameter (mm)	costo(s)
1	Design Group - T2	T2 PVC	PVC	0.0600	29.40	446.27
2	Design Group - T10	T10 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,154.90
3	Design Group - T11	T11 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,166.95
4	Design Group - T39	T39 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,170.26
5	Design Group - T31	T31 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,172.01
6	Design Group - T40	T40 PVC	PVC	0.0600	43.40	2,685.48
7	Design Group - T15	T15 PVC	PVC	0.0600	38.40	1,773.70
8	Design Group - T8	T8 PVC	PVC	0.0600	38.40	1,773.82
9	Design Group - T34	T34 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,180.72
10	Design Group - T27	T27 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,181.30
11	Design Group - T23	T23 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,181.92
12	Design Group - T43	T43 PVC	PVC	0.0600	38.40	1,780.68
13	Design Group - T37	T37 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,183.91
14	Design Group - T32	T32 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,184.76
15	Design Group - T13	T13 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,184.90
16	Design Group - T25	T25 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,193.83
17	Design Group - T29	T29 PVC	PVC	0.0600	38.40	1,809.31
18	Design Group - T6	T6 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,210.47
19	Design Group - T14	T14 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,212.06
20	Design Group - T22	T22 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,213.07
21	Design Group - T19	T19 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,219.18
22	Design Group - T28	T28 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,221.38
23	Design Group - T7	T7 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,226.47
24	Design Group - T16	T16 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,227.32
25	Design Group - T20	T20 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,229.16
26	Design Group - T36	T36 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,233.48
27	Design Group - T4	T4 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,239.18
28	Design Group - T17	T17 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,241.36
29	Design Group - T38	T38 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,252.42
30	Design Group - T5	T5 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,268.28
31	Design Group - T35	T35 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,270.64
32	Design Group - T41	T41 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,259.58
33	Design Group - T26	T26 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,275.05
34	Design Group - T30	T30 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,276.58
35	Design Group - T12	T12 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,284.54
36	Design Group - T9	T9 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,285.35
37	Design Group - T18	T18 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,291.10
38	Design Group - T44	T44 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,309.33
39	Design Group - T3	T3 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,399.50
40	Design Group - T47	T47 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,400.41
41	Design Group - T21	T21 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,618.19
42	Design Group - T24	T24 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,721.37
43	Design Group - T33	T33 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,807.61
44	Design Group - T42	T42 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,937.89
45	Design Group - T45	T45 PVC	PVC	0.0600	29.40	2,061.20
46	Design Group - T49	T49 PVC	PVC	0.0600	38.40	3,291.99
47	Design Group - T1	T1 PVC	PVC	0.0600	55.40	9,015.12
48	Design Group - T46	T46 PVC	PVC	0.0600	29.40	2,498.22
49	Design Group - T48	T48 PVC	PVC	0.0600	29.40	2,506.44

Fuente: Reporte del software WaterGEMS.

Tabla 156: Presiones simuladas del resultado 04

Darwin Designer (CALLQUI.wtg.) New Optimized Pressure Results.						
ID	Design Event	Element	Required Minimum Pressure (m H 2 O)	Required Maximum Pressure (m H 2 O)	Simulated Pressure (H2O)	Violation (m H2O)
1	New Design Event - 1	N-20	10	50	32.77	0.00
2	New Design Event - 1	N-19	10	50	34.16	0.00
3	New Design Event - 1	N-26	10	50	30.58	0.00
4	New Design Event - 1	N-18	10	50	34.75	0.00
5	New Design Event - 1	N-25	10	50	28.85	0.00
6	New Design Event - 1	N-3	10	50	14.08	0.00
7	New Design Event - 1	N-4	10	50	10.34	0.00
8	New Design Event - 1	N-14	10	50	37.03	0.00
9	New Design Event - 1	N-13	10	50	36.57	0.00
10	New Design Event - 1	N-2	10	50	17.97	0.00
11	New Design Event - 1	N-6	10	50	11.80	0.00
12	New Design Event - 1	N-7	10	50	13.78	0.00
13	New Design Event - 1	N-8	10	50	14.79	0.00
14	New Design Event - 1	N-23	10	50	28.64	0.00
15	New Design Event - 1	N-22	10	50	30.30	0.00
16	New Design Event - 1	N-28	10	50	20.43	0.00
17	New Design Event - 1	N-29	10	50	22.13	0.00
18	New Design Event - 1	N-15	10	50	36.28	0.00
19	New Design Event - 1	N-16	10	50	36.00	0.00
20	New Design Event - 1	N-21	10	50	31.88	0.00
21	New Design Event - 1	N-27	10	50	20.85	0.00
22	New Design Event - 1	N-30	10	50	21.93	0.00
23	New Design Event - 1	N-31	10	50	21.81	0.00
24	New Design Event - 1	N-24	10	50	27.95	0.00
25	New Design Event - 1	N-5	10	50	10.10	0.00
26	New Design Event - 1	N-9	10	50	25.75	0.00
27	New Design Event - 1	N-17	10	50	34.86	0.00
28	New Design Event - 1	N-12	10	50	36.88	0.00
29	New Design Event - 1	N-11	10	50	32.63	0.00
30	New Design Event - 1	N-10	10	50	21.10	0.00

Fuente: Reporte del software WaterGEMS.

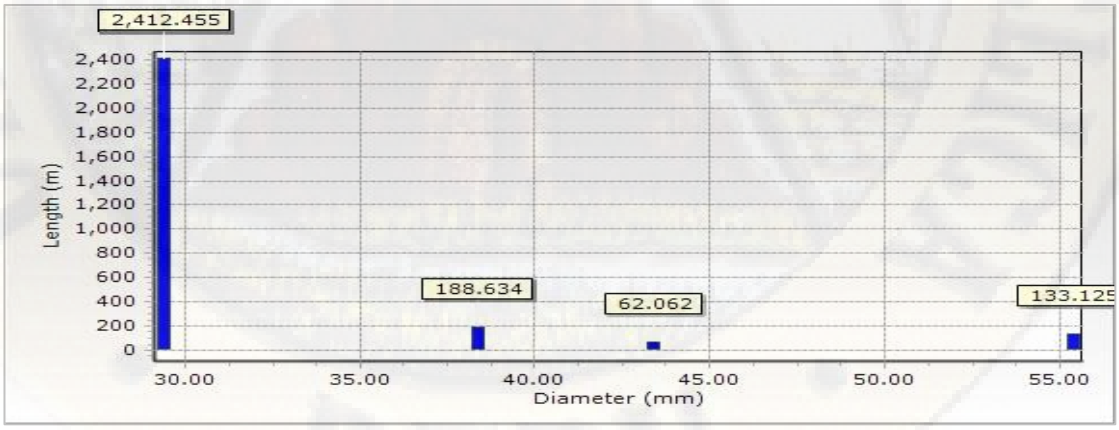


Figura 38: Longitud en función al diámetro, resultado 04.
Fuente: Reporte del software WaterGEMS.

Tabla 157: Velocidades simuladas del resultado 04

Darwin Designer (CALLQUI.wtg.) New Optimized velocity results 04						
ID	Desing Event.	Element.	Minimum Velocity (m/s)	Maximum velocity (m/s)	Simulated Velocity (m/s)	Violation (m/s)
1	New Design Event - 1	T2 PVC	0.0	3.0	0.004	0.00
2	New Design Event - 1	T10 PVC	0.0	3.0	0.021	0.00
3	New Design Event - 1	T11 PVC	0.0	3.0	0.178	0.00
4	New Design Event - 1	T39 PVC	0.0	3.0	0.857	0.00
5	New Design Event - 1	T31 PVC	0.0	3.0	0.281	0.00
6	New Design Event - 1	T40 PVC	0.0	3.0	0.793	0.00
7	New Design Event - 1	T15 PVC	0.0	3.0	0.186	0.00
8	New Design Event - 1	T8 PVC	0.0	3.0	0.079	0.00
9	New Design Event - 1	T34 PVC	0.0	3.0	0.359	0.00
10	New Design Event - 1	T27 PVC	0.0	3.0	0.323	0.00
11	New Design Event - 1	T23 PVC	0.0	3.0	0.307	0.00
12	New Design Event - 1	T43 PVC	0.0	3.0	0.367	0.00
13	New Design Event - 1	T37 PVC	0.0	3.0	0.406	0.00
14	New Design Event - 1	T32 PVC	0.0	3.0	0.295	0.00
15	New Design Event - 1	T13 PVC	0.0	3.0	0.180	0.00
16	New Design Event - 1	T25 PVC	0.0	3.0	0.304	0.00
17	New Design Event - 1	T29 PVC	0.0	3.0	0.371	0.00
18	New Design Event - 1	T6 PVC	0.0	3.0	0.046	0.00
19	New Design Event - 1	T14 PVC	0.0	3.0	0.047	0.00
20	New Design Event - 1	T22 PVC	0.0	3.0	0.277	0.00
21	New Design Event - 1	T19 PVC	0.0	3.0	0.292	0.00
22	New Design Event - 1	T28 PVC	0.0	3.0	0.175	0.00
23	New Design Event - 1	T7 PVC	0.0	3.0	0.012	0.00
24	New Design Event - 1	T16 PVC	0.0	3.0	0.076	0.00
25	New Design Event - 1	T20 PVC	0.0	3.0	0.263	0.00
26	New Design Event - 1	T36 PVC	0.0	3.0	0.202	0.00
27	New Design Event - 1	T4 PVC	0.0	3.0	0.078	0.00
28	New Design Event - 1	T17 PVC	0.0	3.0	0.342	0.00
29	New Design Event - 1	T38 PVC	0.0	3.0	0.150	0.00
30	New Design Event - 1	T5 PVC	0.0	3.0	0.025	0.00
31	New Design Event - 1	T35 PVC	0.0	3.0	0.114	0.00
32	New Design Event - 1	T41 PVC	0.0	3.0	0.725	0.00
33	New Design Event - 1	T26 PVC	0.0	3.0	0.081	0.00
34	New Design Event - 1	T30 PVC	0.0	3.0	0.087	0.00
35	New Design Event - 1	T12 PVC	0.0	3.0	0.058	0.00
36	New Design Event - 1	T9 PVC	0.0	3.0	0.170	0.00
37	New Design Event - 1	T18 PVC	0.0	3.0	0.038	0.00
38	New Design Event - 1	T44 PVC	0.0	3.0	0.136	0.00
39	New Design Event - 1	T3 PVC	0.0	3.0	0.081	0.00
40	New Design Event - 1	T47 PVC	0.0	3.0	0.532	0.00
41	New Design Event - 1	T21 PVC	0.0	3.0	0.022	0.00
42	New Design Event - 1	T24 PVC	0.0	3.0	0.042	0.00
43	New Design Event - 1	T33 PVC	0.0	3.0	0.057	0.00
44	New Design Event - 1	T42 PVC	0.0	3.0	0.142	0.00
45	New Design Event - 1	T45 PVC	0.0	3.0	0.218	0.00
46	New Design Event - 1	T49 PVC	0.0	3.0	0.234	0.00
47	New Design Event - 1	T1 PVC	0.0	3.0	0.871	0.00
48	New Design Event - 1	T46 PVC	0.0	3.0	0.622	0.00
49	New Design Event - 1	T48 PVC	0.0	3.0	0.444	0.00

Fuente: Reporte del software WaterGEMS.

Tabla 158: Presiones simuladas en función al costo**,** resultado 05

Darwin Designer (CALLQUI.wtg.) New Optimized Solution 05						
ID	Desing Gruop	Pipe	Material	Darcy Weisbach e(mm)	Diameter (mm)	costo(s)
1	Design Group - T2	T2 PVC	PVC	0.0600	29.40	446.27
2	Design Group - T10	T10 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,154.90
3	Design Group - T11	T11 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,166.95
4	Design Group - T39	T39 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,170.26
5	Design Group - T31	T31 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,172.01
6	Design Group - T40	T40 PVC	PVC	0.0600	43.40	2,685.48
7	Design Group - T15	T15 PVC	PVC	0.0600	38.40	1,773.70
8	Design Group - T8	T8 PVC	PVC	0.0600	38.40	1,773.82
9	Design Group - T34	T34 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,180.72
10	Design Group - T27	T27 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,181.30
11	Design Group - T23	T23 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,181.92
12	Design Group - T43	T43 PVC	PVC	0.0600	38.40	1,780.68
13	Design Group - T37	T37 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,183.91
14	Design Group - T32	T32 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,184.76
15	Design Group - T13	T13 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,184.90
16	Design Group - T25	T25 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,193.83
17	Design Group - T29	T29 PVC	PVC	0.0600	38.40	1,809.31
18	Design Group - T6	T6 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,210.47
19	Design Group - T14	T14 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,212.06
20	Design Group - T22	T22 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,213.07
21	Design Group - T19	T19 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,219.18
22	Design Group - T28	T28 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,221.38
23	Design Group - T7	T7 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,226.47
24	Design Group - T16	T16 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,227.32
25	Design Group - T20	T20 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,229.16
26	Design Group - T36	T36 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,233.48
27	Design Group - T4	T4 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,239.18
28	Design Group - T17	T17 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,241.36
29	Design Group - T38	T38 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,252.42
30	Design Group - T5	T5 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,268.28
31	Design Group - T35	T35 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,270.64
32	Design Group - T41	T41 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,259.58
33	Design Group - T26	T26 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,275.05
34	Design Group - T30	T30 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,276.58
35	Design Group - T12	T12 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,284.54
36	Design Group - T9	T9 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,285.35
37	Design Group - T18	T18 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,291.10
38	Design Group - T44	T44 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,309.33
39	Design Group - T3	T3 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,399.50
40	Design Group - T47	T47 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,400.41
41	Design Group - T21	T21 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,618.19
42	Design Group - T24	T24 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,721.37
43	Design Group - T33	T33 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,807.61
44	Design Group - T42	T42 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,937.89
45	Design Group - T45	T45 PVC	PVC	0.0600	29.40	2,061.20
46	Design Group - T49	T49 PVC	PVC	0.0600	38.40	3,291.99
47	Design Group - T1	T1 PVC	PVC	0.0600	55.40	9,015.12
48	Design Group - T46	T46 PVC	PVC	0.0600	29.40	2,498.22
49	Design Group - T48	T48 PVC	PVC	0.0600	29.40	2,506.44

Fuente: Reporte del software WaterGEMS.

Tabla 159: Presiones simuladas del resultado 05

Darwin Designer (CALLQUI.wtg.) New Optimized Pressure Results.						
ID	Design Event	Element	Required Minimum Pressure (m H 2 O)	Required Maximum Pressure (m H 2 O)	Simulated Pressure (H_2O)	Violation (m H_2O)
1	New Design Event - 1	N-20	10	50	32.77	0.00
2	New Design Event - 1	N-19	10	50	34.16	0.00
3	New Design Event - 1	N-26	10	50	30.58	0.00
4	New Design Event - 1	N-18	10	50	34.75	0.00
5	New Design Event - 1	N-25	10	50	28.85	0.00
6	New Design Event - 1	N-3	10	50	14.08	0.00
7	New Design Event - 1	N-4	10	50	10.34	0.00
8	New Design Event - 1	N-14	10	50	37.03	0.00
9	New Design Event - 1	N-13	10	50	36.57	0.00
10	New Design Event - 1	N-2	10	50	17.97	0.00
11	New Design Event - 1	N-6	10	50	11.80	0.00
12	New Design Event - 1	N-7	10	50	13.78	0.00
13	New Design Event - 1	N-8	10	50	14.79	0.00
14	New Design Event - 1	N-23	10	50	28.64	0.00
15	New Design Event - 1	N-22	10	50	30.30	0.00
16	New Design Event - 1	N-28	10	50	20.43	0.00
17	New Design Event - 1	N-29	10	50	22.13	0.00
18	New Design Event - 1	N-15	10	50	36.28	0.00
19	New Design Event - 1	N-16	10	50	36.00	0.00
20	New Design Event - 1	N-21	10	50	31.88	0.00
21	New Design Event - 1	N-27	10	50	20.85	0.00
22	New Design Event - 1	N-30	10	50	21.93	0.00
23	New Design Event - 1	N-31	10	50	21.81	0.00
24	New Design Event - 1	N-24	10	50	27.95	0.00
25	New Design Event - 1	N-5	10	50	10.10	0.00
26	New Design Event - 1	N-9	10	50	25.75	0.00
27	New Design Event - 1	N-17	10	50	34.86	0.00
28	New Design Event - 1	N-12	10	50	36.88	0.00
29	New Design Event - 1	N-11	10	50	32.63	0.00
30	New Design Event - 1	N-10	10	50	21.10	0.00

Fuente: Reporte del software WaterGEMS.

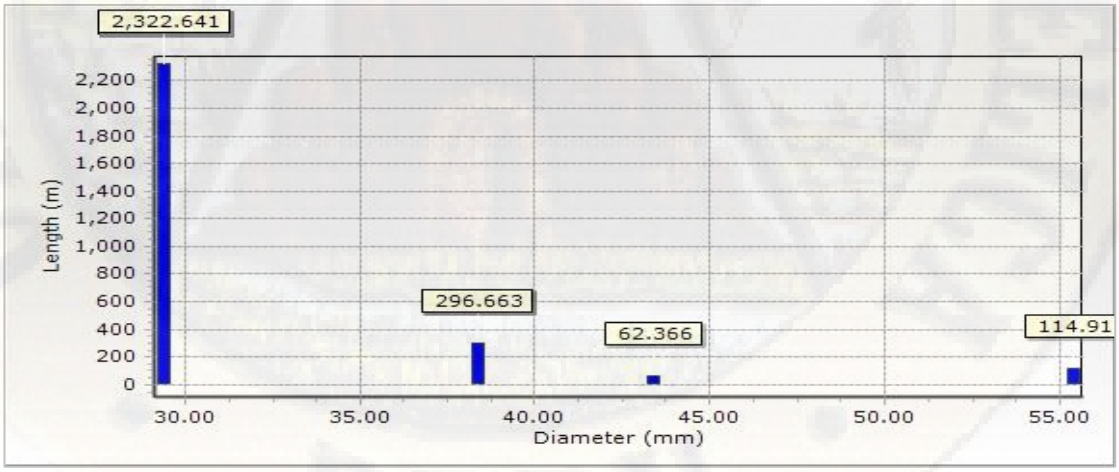


Figura 39: Longitud en función al diámetro, resultado 05.
Fuente: Reporte del software WaterGEMS.

Tabla 160: Velocidades simuladas del resultado 05

Darwin Designer (CALLQUI.wtg.) New Optimized velocity results 05						
ID	Desing Event.	Element.	Minimum Velocity (m/s)	Maximum velocity (m/s)	Simulated Velocity (m/s)	Violation (m/s)
1	New Design Event - 1	T2 PVC	0.0	3.0	0.003	0.00
2	New Design Event - 1	T10 PVC	0.0	3.0	0.015	0.00
3	New Design Event - 1	T11 PVC	0.0	3.0	0.154	0.00
4	New Design Event - 1	T39 PVC	0.0	3.0	0.844	0.00
5	New Design Event - 1	T31 PVC	0.0	3.0	0.239	0.00
6	New Design Event - 1	T40 PVC	0.0	3.0	0.778	0.00
7	New Design Event - 1	T15 PVC	0.0	3.0	0.155	0.00
8	New Design Event - 1	T8 PVC	0.0	3.0	0.072	0.00
9	New Design Event - 1	T34 PVC	0.0	3.0	0.372	0.00
10	New Design Event - 1	T27 PVC	0.0	3.0	0.325	0.00
11	New Design Event - 1	T23 PVC	0.0	3.0	0.299	0.00
12	New Design Event - 1	T43 PVC	0.0	3.0	0.259	0.00
13	New Design Event - 1	T37 PVC	0.0	3.0	0.410	0.00
14	New Design Event - 1	T32 PVC	0.0	3.0	0.290	0.00
15	New Design Event - 1	T13 PVC	0.0	3.0	0.144	0.00
16	New Design Event - 1	T25 PVC	0.0	3.0	0.312	0.00
17	New Design Event - 1	T29 PVC	0.0	3.0	0.370	0.00
18	New Design Event - 1	T6 PVC	0.0	3.0	0.026	0.00
19	New Design Event - 1	T14 PVC	0.0	3.0	0.080	0.00
20	New Design Event - 1	T22 PVC	0.0	3.0	0.275	0.00
21	New Design Event - 1	T19 PVC	0.0	3.0	0.293	0.00
22	New Design Event - 1	T28 PVC	0.0	3.0	0.169	0.00
23	New Design Event - 1	T7 PVC	0.0	3.0	0.056	0.00
24	New Design Event - 1	T16 PVC	0.0	3.0	0.003	0.00
25	New Design Event - 1	T20 PVC	0.0	3.0	0.259	0.00
26	New Design Event - 1	T36 PVC	0.0	3.0	0.178	0.00
27	New Design Event - 1	T4 PVC	0.0	3.0	0.066	0.00
28	New Design Event - 1	T17 PVC	0.0	3.0	0.347	0.00
29	New Design Event - 1	T38 PVC	0.0	3.0	0.138	0.00
30	New Design Event - 1	T5 PVC	0.0	3.0	0.001	0.00
31	New Design Event - 1	T35 PVC	0.0	3.0	0.104	0.00
32	New Design Event - 1	T41 PVC	0.0	3.0	0.705	0.00
33	New Design Event - 1	T26 PVC	0.0	3.0	0.075	0.00
34	New Design Event - 1	T30 PVC	0.0	3.0	0.171	0.00
35	New Design Event - 1	T12 PVC	0.0	3.0	0.040	0.00
36	New Design Event - 1	T9 PVC	0.0	3.0	0.152	0.00
37	New Design Event - 1	T18 PVC	0.0	3.0	0.074	0.00
38	New Design Event - 1	T44 PVC	0.0	3.0	0.129	0.00
39	New Design Event - 1	T3 PVC	0.0	3.0	0.070	0.00
40	New Design Event - 1	T47 PVC	0.0	3.0	0.547	0.00
41	New Design Event - 1	T21 PVC	0.0	3.0	0.035	0.00
42	New Design Event - 1	T24 PVC	0.0	3.0	0.045	0.00
43	New Design Event - 1	T33 PVC	0.0	3.0	0.093	0.00
44	New Design Event - 1	T42 PVC	0.0	3.0	0.179	0.00
45	New Design Event - 1	T45 PVC	0.0	3.0	0.154	0.00
46	New Design Event - 1	T49 PVC	0.0	3.0	0.150	0.00
47	New Design Event - 1	T1 PVC	0.0	3.0	0.871	0.00
48	New Design Event - 1	T46 PVC	0.0	3.0	0.639	0.00
49	New Design Event - 1	T48 PVC	0.0	3.0	0.459	0.00

Fuente: Reporte del software WaterGEMS.

Tabla 161: Presiones simuladas en función al costo, resultado 06.

Darwin Designer (CALLQUI.wtg.) New Optimized Solution 06						
ID	Desing Gruop	Pipe	Material	Darcy Weisbach e(mm)	Diameter (mm)	costo(s)
1	Design Group - T2	T2 PVC	PVC	0.0600	38.40	672.14
2	Design Group - T10	T10 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,154.90
3	Design Group - T11	T11 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,166.95
4	Design Group - T39	T39 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,170.26
5	Design Group - T31	T31 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,172.01
6	Design Group - T40	T40 PVC	PVC	0.0600	43.40	2,685.48
7	Design Group - T15	T15 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,177.66
8	Design Group - T8	T8 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,177.74
9	Design Group - T34	T34 PVC	PVC	0.0600	43.40	2,693.97
10	Design Group - T27	T27 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,181.30
11	Design Group - T23	T23 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,181.92
12	Design Group - T43	T43 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,182.29
13	Design Group - T37	T37 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,183.91
14	Design Group - T32	T32 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,184.76
15	Design Group - T13	T13 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,184.90
16	Design Group - T25	T25 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,193.83
17	Design Group - T29	T29 PVC	PVC	0.0600	38.40	1,809.31
18	Design Group - T6	T6 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,210.47
19	Design Group - T14	T14 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,212.06
20	Design Group - T22	T22 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,213.07
21	Design Group - T19	T19 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,219.18
22	Design Group - T28	T28 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,221.38
23	Design Group - T7	T7 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,226.47
24	Design Group - T16	T16 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,227.32
25	Design Group - T20	T20 PVC	PVC	0.0600	38.40	1,851.27
26	Design Group - T36	T36 PVC	PVC	0.0600	38.40	1,857.76
27	Design Group - T4	T4 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,239.18
28	Design Group - T17	T17 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,241.36
29	Design Group - T38	T38 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,252.42
30	Design Group - T5	T5 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,268.28
31	Design Group - T35	T35 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,270.64
32	Design Group - T41	T41 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,259.58
33	Design Group - T26	T26 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,275.05
34	Design Group - T30	T30 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,276.58
35	Design Group - T12	T12 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,284.54
36	Design Group - T9	T9 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,285.35
37	Design Group - T18	T18 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,291.10
38	Design Group - T44	T44 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,309.33
39	Design Group - T3	T3 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,399.50
40	Design Group - T47	T47 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,400.41
41	Design Group - T21	T21 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,618.19
42	Design Group - T24	T24 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,721.37
43	Design Group - T33	T33 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,807.61
44	Design Group - T42	T42 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,937.89
45	Design Group - T45	T45 PVC	PVC	0.0600	29.40	2,061.20
46	Design Group - T49	T49 PVC	PVC	0.0600	29.40	2,185.74
47	Design Group - T1	T1 PVC	PVC	0.0600	55.40	9,015.12
48	Design Group - T46	T46 PVC	PVC	0.0600	29.40	2,498.22
49	Design Group - T48	T48 PVC	PVC	0.0600	29.40	2,506.44

Fuente: Reporte del software WaterGEMS.

Tabla 162: presiones simuladas del resultado 06.

Darwin Designer (CALLQUI.wtg.) New Optimized Pressure Results.						
ID	Design Event	Element	Required Minimum Pressure (m H 2 O)	Required Maximum Pressure (m H 2 O)	Simulated Pressure (H_2O)	Violation (m H_2O)
1	New Design Event - 1	N-20	10	50	32.83	0.00
2	New Design Event - 1	N-19	10	50	34.23	0.00
3	New Design Event - 1	N-26	10	50	30.65	0.00
4	New Design Event - 1	N-18	10	50	34.82	0.00
5	New Design Event - 1	N-25	10	50	28.94	0.00
6	New Design Event - 1	N-3	10	50	14.05	0.00
7	New Design Event - 1	N-4	10	50	10.38	0.00
8	New Design Event - 1	N-14	10	50	36.97	0.00
9	New Design Event - 1	N-13	10	50	36.54	0.00
10	New Design Event - 1	N-2	10	50	17.97	0.00
11	New Design Event - 1	N-6	10	50	11.90	0.00
12	New Design Event - 1	N-7	10	50	13.84	0.00
13	New Design Event - 1	N-8	10	50	14.84	0.00
14	New Design Event - 1	N-23	10	50	28.71	0.00
15	New Design Event - 1	N-22	10	50	30.12	0.00
16	New Design Event - 1	N-28	10	50	20.47	0.00
17	New Design Event - 1	N-29	10	50	22.18	0.00
18	New Design Event - 1	N-15	10	50	36.27	0.00
19	New Design Event - 1	N-16	10	50	35.99	0.00
20	New Design Event - 1	N-21	10	50	31.97	0.00
21	New Design Event - 1	N-27	10	50	20.66	0.00
22	New Design Event - 1	N-30	10	50	22.02	0.00
23	New Design Event - 1	N-31	10	50	21.87	0.00
24	New Design Event - 1	N-24	10	50	27.99	0.00
25	New Design Event - 1	N-5	10	50	10.16	0.00
26	New Design Event - 1	N-9	10	50	25.81	0.00
27	New Design Event - 1	N-17	10	50	34.97	0.00
28	New Design Event - 1	N-12	10	50	36.81	0.00
29	New Design Event - 1	N-11	10	50	32.74	0.00
30	New Design Event - 1	N-10	10	50	21.14	0.00

Fuente: Reporte del software WaterGEMS.

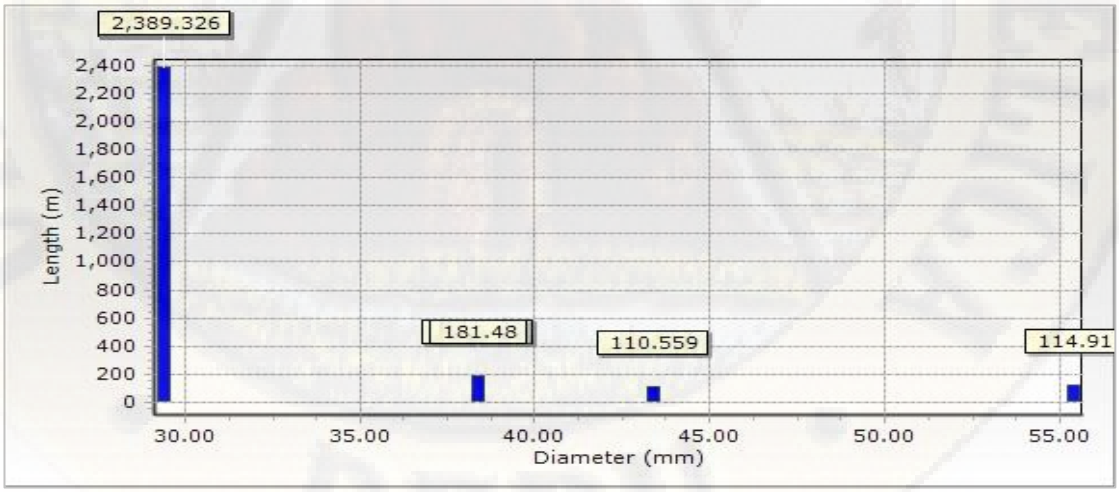


Figura 40: Longitud en función al diámetro, resultado 06.
Fuente: Reporte del software WaterGEMS.

Tabla 163: velocidades simuladas del resultado 06.

Darwin Designer (CALLQUI.wtg.) New Optimized velocity results 06						
ID	Desing Event.	Element.	Minimum Velocity (m/s)	Maximum velocity (m/s)	Simulated Velocity (m/s)	Violation (m/s)
1	New Design Event - 1	T2 PVC	0.0	3.0	0.010	0.00
2	New Design Event - 1	T10 PVC	0.0	3.0	0.031	0.00
3	New Design Event - 1	T11 PVC	0.0	3.0	0.177	0.00
4	New Design Event - 1	T39 PVC	0.0	3.0	0.826	0.00
5	New Design Event - 1	T31 PVC	0.0	3.0	0.265	0.00
6	New Design Event - 1	T40 PVC	0.0	3.0	0.791	0.00
7	New Design Event - 1	T15 PVC	0.0	3.0	0.179	0.00
8	New Design Event - 1	T8 PVC	0.0	3.0	0.077	0.00
9	New Design Event - 1	T34 PVC	0.0	3.0	0.261	0.00
10	New Design Event - 1	T27 PVC	0.0	3.0	0.317	0.00
11	New Design Event - 1	T23 PVC	0.0	3.0	0.307	0.00
12	New Design Event - 1	T43 PVC	0.0	3.0	0.387	0.00
13	New Design Event - 1	T37 PVC	0.0	3.0	0.278	0.00
14	New Design Event - 1	T32 PVC	0.0	3.0	0.244	0.00
15	New Design Event - 1	T13 PVC	0.0	3.0	0.175	0.00
16	New Design Event - 1	T25 PVC	0.0	3.0	0.333	0.00
17	New Design Event - 1	T29 PVC	0.0	3.0	0.358	0.00
18	New Design Event - 1	T6 PVC	0.0	3.0	0.044	0.00
19	New Design Event - 1	T14 PVC	0.0	3.0	0.042	0.00
20	New Design Event - 1	T22 PVC	0.0	3.0	0.242	0.00
21	New Design Event - 1	T19 PVC	0.0	3.0	0.269	0.00
22	New Design Event - 1	T28 PVC	0.0	3.0	0.173	0.00
23	New Design Event - 1	T7 PVC	0.0	3.0	0.010	0.00
24	New Design Event - 1	T16 PVC	0.0	3.0	0.064	0.00
25	New Design Event - 1	T20 PVC	0.0	3.0	0.199	0.00
26	New Design Event - 1	T36 PVC	0.0	3.0	0.209	0.00
27	New Design Event - 1	T4 PVC	0.0	3.0	0.079	0.00
28	New Design Event - 1	T17 PVC	0.0	3.0	0.323	0.00
29	New Design Event - 1	T38 PVC	0.0	3.0	0.140	0.00
30	New Design Event - 1	T5 PVC	0.0	3.0	0.029	0.00
31	New Design Event - 1	T35 PVC	0.0	3.0	0.018	0.00
32	New Design Event - 1	T41 PVC	0.0	3.0	0.752	0.00
33	New Design Event - 1	T26 PVC	0.0	3.0	0.095	0.00
34	New Design Event - 1	T30 PVC	0.0	3.0	0.134	0.00
35	New Design Event - 1	T12 PVC	0.0	3.0	0.066	0.00
36	New Design Event - 1	T9 PVC	0.0	3.0	0.184	0.00
37	New Design Event - 1	T18 PVC	0.0	3.0	0.068	0.00
38	New Design Event - 1	T44 PVC	0.0	3.0	0.152	0.00
39	New Design Event - 1	T3 PVC	0.0	3.0	0.085	0.00
40	New Design Event - 1	T47 PVC	0.0	3.0	0.533	0.00
41	New Design Event - 1	T21 PVC	0.0	3.0	0.084	0.00
42	New Design Event - 1	T24 PVC	0.0	3.0	0.119	0.00
43	New Design Event - 1	T33 PVC	0.0	3.0	0.146	0.00
44	New Design Event - 1	T42 PVC	0.0	3.0	0.107	0.00
45	New Design Event - 1	T45 PVC	0.0	3.0	0.218	0.00
46	New Design Event - 1	T49 PVC	0.0	3.0	0.219	0.00
47	New Design Event - 1	T1 PVC	0.0	3.0	0.871	0.00
48	New Design Event - 1	T46 PVC	0.0	3.0	0.626	0.00
49	New Design Event - 1	T48 PVC	0.0	3.0	0.445	0.00

Fuente: Reporte del software WaterGEMS.

Tabla 164: presiones simuladas en función al costo, resultado 07.

Darwin Designer (CALLQUI.wtg.) New Optimized Solution 07						
ID	Desing Gruop	Pipe	Material	Darcy Weisbach e(mm)	Diameter (mm)	costo(s)
1	Design Group - T2	T2 PVC	PVC	0.0600	29.40	446.27
2	Design Group - T10	T10 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,154.90
3	Design Group - T11	T11 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,166.95
4	Design Group - T39	T39 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,170.26
5	Design Group - T31	T31 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,172.01
6	Design Group - T40	T40 PVC	PVC	0.0600	43.40	2,685.48
7	Design Group - T15	T15 PVC	PVC	0.0600	38.40	1,773.70
8	Design Group - T8	T8 PVC	PVC	0.0600	38.40	1,773.82
9	Design Group - T34	T34 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,180.72
10	Design Group - T27	T27 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,181.30
11	Design Group - T23	T23 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,181.92
12	Design Group - T43	T43 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,182.29
13	Design Group - T37	T37 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,183.91
14	Design Group - T32	T32 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,184.76
15	Design Group - T13	T13 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,184.90
16	Design Group - T25	T25 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,193.83
17	Design Group - T29	T29 PVC	PVC	0.0600	38.40	1,809.31
18	Design Group - T6	T6 PVC	PVC	0.0600	38.40	1,823.11
19	Design Group - T14	T14 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,212.06
20	Design Group - T22	T22 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,213.07
21	Design Group - T19	T19 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,219.18
22	Design Group - T28	T28 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,221.38
23	Design Group - T7	T7 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,226.47
24	Design Group - T16	T16 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,227.32
25	Design Group - T20	T20 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,229.16
26	Design Group - T36	T36 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,233.48
27	Design Group - T4	T4 PVC	PVC	0.0600	38.40	1,866.35
28	Design Group - T17	T17 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,241.36
29	Design Group - T38	T38 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,252.42
30	Design Group - T5	T5 PVC	PVC	0.0600	38.40	1,910.19
31	Design Group - T35	T35 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,270.64
32	Design Group - T41	T41 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,259.58
33	Design Group - T26	T26 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,275.05
34	Design Group - T30	T30 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,276.58
35	Design Group - T12	T12 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,284.54
36	Design Group - T9	T9 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,285.35
37	Design Group - T18	T18 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,291.10
38	Design Group - T44	T44 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,309.33
39	Design Group - T3	T3 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,399.50
40	Design Group - T47	T47 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,400.41
41	Design Group - T21	T21 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,618.19
42	Design Group - T24	T24 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,721.37
43	Design Group - T33	T33 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,807.61
44	Design Group - T42	T42 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,937.89
45	Design Group - T45	T45 PVC	PVC	0.0600	29.40	2,061.20
46	Design Group - T49	T49 PVC	PVC	0.0600	29.40	2,185.74
47	Design Group - T1	T1 PVC	PVC	0.0600	55.40	9,015.12
48	Design Group - T46	T46 PVC	PVC	0.0600	29.40	2,498.22
49	Design Group - T48	T48 PVC	PVC	0.0600	29.40	2,506.44

Fuente: Reporte del software WaterGEMS.

Tabla 165: presiones simuladas del resultado 07.

Darwin Designer (CALLQUI.wtg.) New Optimized Pressure Results.						
ID	Design Event	Element	Required Minimum Pressure (m H 2 O)	Required Maximum Pressure (m H 2 O)	Simulated Pressure (H2O)	Violation (m H2O)
1	New Design Event - 1	N-20	10	50	32.68	0.00
2	New Design Event - 1	N-19	10	50	34.07	0.00
3	New Design Event - 1	N-26	10	50	30.49	0.00
4	New Design Event - 1	N-18	10	50	34.65	0.00
5	New Design Event - 1	N-25	10	50	28.75	0.00
6	New Design Event - 1	N-3	10	50	14.04	0.00
7	New Design Event - 1	N-4	10	50	10.25	0.00
8	New Design Event - 1	N-14	10	50	36.95	0.00
9	New Design Event - 1	N-13	10	50	36.54	0.00
10	New Design Event - 1	N-2	10	50	17.97	0.00
11	New Design Event - 1	N-6	10	50	11.70	0.00
12	New Design Event - 1	N-7	10	50	13.69	0.00
13	New Design Event - 1	N-8	10	50	14.70	0.00
14	New Design Event - 1	N-23	10	50	28.54	0.00
15	New Design Event - 1	N-22	10	50	30.17	0.00
16	New Design Event - 1	N-28	10	50	20.33	0.00
17	New Design Event - 1	N-29	10	50	22.04	0.00
18	New Design Event - 1	N-15	10	50	36.18	0.00
19	New Design Event - 1	N-16	10	50	35.91	0.00
20	New Design Event - 1	N-21	10	50	31.99	0.00
21	New Design Event - 1	N-27	10	50	20.75	0.00
22	New Design Event - 1	N-30	10	50	21.83	0.00
23	New Design Event - 1	N-31	10	50	21.72	0.00
24	New Design Event - 1	N-24	10	50	27.86	0.00
25	New Design Event - 1	N-5	10	50	10.01	0.00
26	New Design Event - 1	N-9	10	50	25.66	0.00
27	New Design Event - 1	N-17	10	50	34.77	0.00
28	New Design Event - 1	N-12	10	50	36.81	0.00
29	New Design Event - 1	N-11	10	50	32.75	0.00
30	New Design Event - 1	N-10	10	50	21.15	0.00

Fuente: Reporte del software WaterGEMS.

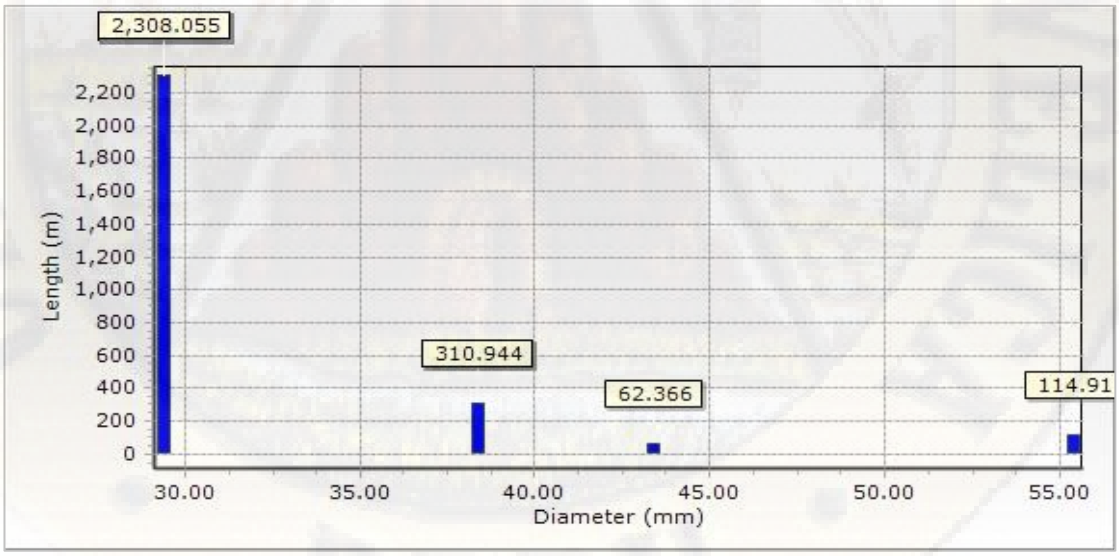


Figura 41: Longitud en función al diámetro, resultado 07.
Fuente: Reporte del software WaterGEMS.

Tabla 166: Velocidades simuladas del resultado 07

Darwin Designer (CALLQUI.wtg.) New Optimized velocity results 07						
ID	Desing Event.	Element.	Minimum Velocity (m/s)	Maximum velocity (m/s)	Simulated Velocity (m/s)	Violation (m/s)
1	New Design Event - 1	T2 PVC	0.0	3.0	0.011	0.00
2	New Design Event - 1	T10 PVC	0.0	3.0	0.028	0.00
3	New Design Event - 1	T11 PVC	0.0	3.0	0.156	0.00
4	New Design Event - 1	T39 PVC	0.0	3.0	0.858	0.00
5	New Design Event - 1	T31 PVC	0.0	3.0	0.277	0.00
6	New Design Event - 1	T40 PVC	0.0	3.0	0.793	0.00
7	New Design Event - 1	T15 PVC	0.0	3.0	0.154	0.00
8	New Design Event - 1	T8 PVC	0.0	3.0	0.069	0.00
9	New Design Event - 1	T34 PVC	0.0	3.0	0.355	0.00
10	New Design Event - 1	T27 PVC	0.0	3.0	0.324	0.00
11	New Design Event - 1	T23 PVC	0.0	3.0	0.299	0.00
12	New Design Event - 1	T43 PVC	0.0	3.0	0.369	0.00
13	New Design Event - 1	T37 PVC	0.0	3.0	0.406	0.00
14	New Design Event - 1	T32 PVC	0.0	3.0	0.297	0.00
15	New Design Event - 1	T13 PVC	0.0	3.0	0.145	0.00
16	New Design Event - 1	T25 PVC	0.0	3.0	0.308	0.00
17	New Design Event - 1	T29 PVC	0.0	3.0	0.373	0.00
18	New Design Event - 1	T6 PVC	0.0	3.0	0.012	0.00
19	New Design Event - 1	T14 PVC	0.0	3.0	0.084	0.00
20	New Design Event - 1	T22 PVC	0.0	3.0	0.274	0.00
21	New Design Event - 1	T19 PVC	0.0	3.0	0.293	0.00
22	New Design Event - 1	T28 PVC	0.0	3.0	0.172	0.00
23	New Design Event - 1	T7 PVC	0.0	3.0	0.051	0.00
24	New Design Event - 1	T16 PVC	0.0	3.0	0.006	0.00
25	New Design Event - 1	T20 PVC	0.0	3.0	0.258	0.00
26	New Design Event - 1	T36 PVC	0.0	3.0	0.202	0.00
27	New Design Event - 1	T4 PVC	0.0	3.0	0.053	0.00
28	New Design Event - 1	T17 PVC	0.0	3.0	0.349	0.00
29	New Design Event - 1	T38 PVC	0.0	3.0	0.147	0.00
30	New Design Event - 1	T5 PVC	0.0	3.0	0.007	0.00
31	New Design Event - 1	T35 PVC	0.0	3.0	0.110	0.00
32	New Design Event - 1	T41 PVC	0.0	3.0	0.725	0.00
33	New Design Event - 1	T26 PVC	0.0	3.0	0.077	0.00
34	New Design Event - 1	T30 PVC	0.0	3.0	0.138	0.00
35	New Design Event - 1	T12 PVC	0.0	3.0	0.029	0.00
36	New Design Event - 1	T9 PVC	0.0	3.0	0.151	0.00
37	New Design Event - 1	T18 PVC	0.0	3.0	0.071	0.00
38	New Design Event - 1	T44 PVC	0.0	3.0	0.146	0.00
39	New Design Event - 1	T3 PVC	0.0	3.0	0.056	0.00
40	New Design Event - 1	T47 PVC	0.0	3.0	0.531	0.00
41	New Design Event - 1	T21 PVC	0.0	3.0	0.035	0.00
42	New Design Event - 1	T24 PVC	0.0	3.0	0.045	0.00
43	New Design Event - 1	T33 PVC	0.0	3.0	0.086	0.00
44	New Design Event - 1	T42 PVC	0.0	3.0	0.148	0.00
45	New Design Event - 1	T45 PVC	0.0	3.0	0.226	0.00
46	New Design Event - 1	T49 PVC	0.0	3.0	0.223	0.00
47	New Design Event - 1	T1 PVC	0.0	3.0	0.871	0.00
48	New Design Event - 1	T46 PVC	0.0	3.0	0.622	0.00
49	New Design Event - 1	T48 PVC	0.0	3.0	0.443	0.00

Fuente: Reporte del software WaterGEMS.

Tabla 167: Presiones simuladas en función al costo, resultado 08.

Darwin Designer (CALLQUI.wtg.) New Optimized Solution 08						
ID	Desing Gruop	Pipe	Material	Darcy Weisbach e(mm)	Diameter (mm)	costo(s)
1	Design Group - T2	T2 PVC	PVC	0.0600	29.40	446.27
2	Design Group - T10	T10 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,154.90
3	Design Group - T11	T11 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,166.95
4	Design Group - T39	T39 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,170.26
5	Design Group - T31	T31 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,172.01
6	Design Group - T40	T40 PVC	PVC	0.0600	43.40	2,685.48
7	Design Group - T15	T15 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,177.66
8	Design Group - T8	T8 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,177.74
9	Design Group - T34	T34 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,180.72
10	Design Group - T27	T27 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,181.30
11	Design Group - T23	T23 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,181.92
12	Design Group - T43	T43 PVC	PVC	0.0600	38.40	1,780.68
13	Design Group - T37	T37 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,183.91
14	Design Group - T32	T32 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,184.76
15	Design Group - T13	T13 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,184.90
16	Design Group - T25	T25 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,193.83
17	Design Group - T29	T29 PVC	PVC	0.0600	38.40	1,809.31
18	Design Group - T6	T6 PVC	PVC	0.0600	38.40	1,823.11
19	Design Group - T14	T14 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,212.06
20	Design Group - T22	T22 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,213.07
21	Design Group - T19	T19 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,219.18
22	Design Group - T28	T28 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,221.38
23	Design Group - T7	T7 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,226.47
24	Design Group - T16	T16 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,227.32
25	Design Group - T20	T20 PVC	PVC	0.0600	38.40	1,851.27
26	Design Group - T36	T36 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,233.48
27	Design Group - T4	T4 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,239.18
28	Design Group - T17	T17 PVC	PVC	0.0600	38.40	1,869.63
29	Design Group - T38	T38 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,252.42
30	Design Group - T5	T5 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,268.28
31	Design Group - T35	T35 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,270.64
32	Design Group - T41	T41 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,259.58
33	Design Group - T26	T26 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,275.05
34	Design Group - T30	T30 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,276.58
35	Design Group - T12	T12 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,284.54
36	Design Group - T9	T9 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,285.35
37	Design Group - T18	T18 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,291.10
38	Design Group - T44	T44 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,309.33
39	Design Group - T3	T3 PVC	PVC	0.0600	38.40	2,107.82
40	Design Group - T47	T47 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,400.41
41	Design Group - T21	T21 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,618.19
42	Design Group - T24	T24 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,721.37
43	Design Group - T33	T33 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,807.61
44	Design Group - T42	T42 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,937.89
45	Design Group - T45	T45 PVC	PVC	0.0600	29.40	2,061.20
46	Design Group - T49	T49 PVC	PVC	0.0600	29.40	2,185.74
47	Design Group - T1	T1 PVC	PVC	0.0600	55.40	9,015.12
48	Design Group - T46	T46 PVC	PVC	0.0600	29.40	2,498.22
49	Design Group - T48	T48 PVC	PVC	0.0600	29.40	2,506.44

Fuente: Reporte del software WaterGEMS.

Tabla 168: presiones simuladas del resultado 08.

ID	Design Event	Element	Required Minimum Pressure (m H 2 O)	Required Maximum Pressure (m H 2 O)	Simulated Pressure (H2O)	Violation (m H2O)
1	New Design Event - 1	N-20	10	50	32.86	0.00
2	New Design Event - 1	N-19	10	50	34.26	0.00
3	New Design Event - 1	N-26	10	50	30.67	0.00
4	New Design Event - 1	N-18	10	50	34.84	0.00
5	New Design Event - 1	N-25	10	50	28.95	0.00
6	New Design Event - 1	N-3	10	50	14.07	0.00
7	New Design Event - 1	N-4	10	50	10.31	0.00
8	New Design Event - 1	N-14	10	50	37.01	0.00
9	New Design Event - 1	N-13	10	50	36.52	0.00
10	New Design Event - 1	N-2	10	50	17.97	0.00
11	New Design Event - 1	N-6	10	50	11.97	0.00
12	New Design Event - 1	N-7	10	50	13.87	0.00
13	New Design Event - 1	N-8	10	50	14.87	0.00
14	New Design Event - 1	N-23	10	50	28.63	0.00
15	New Design Event - 1	N-22	10	50	30.30	0.00
16	New Design Event - 1	N-28	10	50	20.42	0.00
17	New Design Event - 1	N-29	10	50	22.14	0.00
18	New Design Event - 1	N-15	10	50	36.26	0.00
19	New Design Event - 1	N-16	10	50	35.98	0.00
20	New Design Event - 1	N-21	10	50	31.88	0.00
21	New Design Event - 1	N-27	10	50	20.84	0.00
22	New Design Event - 1	N-30	10	50	22.03	0.00
23	New Design Event - 1	N-31	10	50	21.90	0.00
24	New Design Event - 1	N-24	10	50	27.96	0.00
25	New Design Event - 1	N-5	10	50	10.06	0.00
26	New Design Event - 1	N-9	10	50	25.84	0.00
27	New Design Event - 1	N-17	10	50	34.97	0.00
28	New Design Event - 1	N-12	10	50	36.77	0.00
29	New Design Event - 1	N-11	10	50	32.67	0.00
30	New Design Event - 1	N-10	10	50	21.12	0.00

Fuente: Reporte del software WaterGEMS.

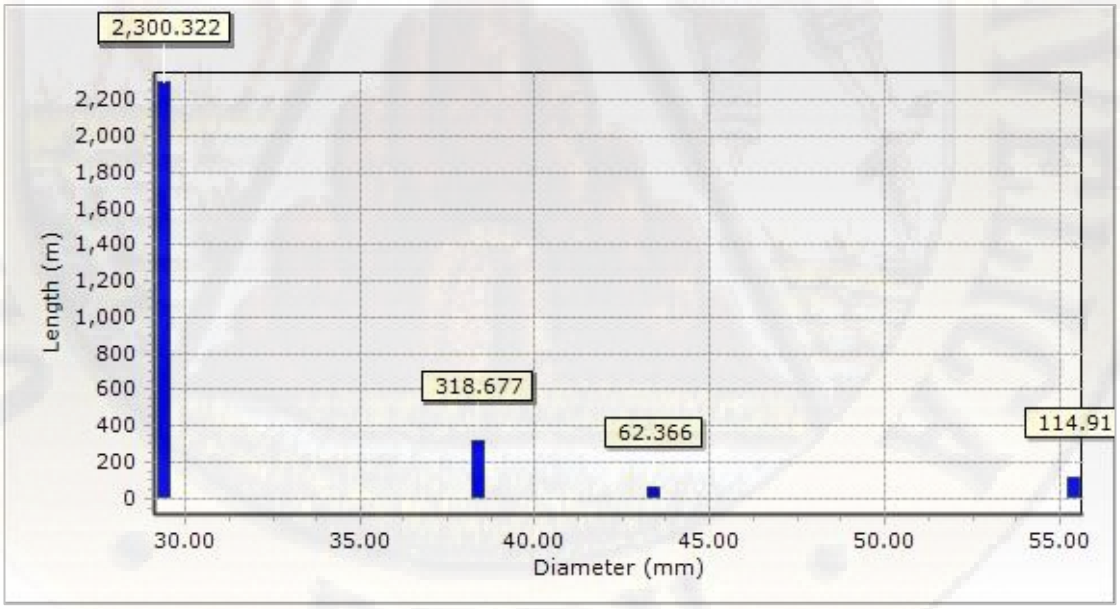


Figura 42: Longitud en función al diámetro, resultado 08.
Fuente: Reporte del software WaterGEMS.

Tabla 169: velocidades simuladas del resultado 08.

Darwin Designer (CALLQUI.wtg.) New Optimized velocity results 08						
ID	Desing Event.	Element.	Minimum Velocity (m/s)	Maximum velocity (m/s)	Simulated Velocity (m/s)	Violation (m/s)
1	New Design Event - 1	T2 PVC	0.0	3.0	0.011	0.00
2	New Design Event - 1	T10 PVC	0.0	3.0	0.028	0.00
3	New Design Event - 1	T11 PVC	0.0	3.0	0.156	0.00
4	New Design Event - 1	T39 PVC	0.0	3.0	0.858	0.00
5	New Design Event - 1	T31 PVC	0.0	3.0	0.277	0.00
6	New Design Event - 1	T40 PVC	0.0	3.0	0.793	0.00
7	New Design Event - 1	T15 PVC	0.0	3.0	0.154	0.00
8	New Design Event - 1	T8 PVC	0.0	3.0	0.069	0.00
9	New Design Event - 1	T34 PVC	0.0	3.0	0.355	0.00
10	New Design Event - 1	T27 PVC	0.0	3.0	0.324	0.00
11	New Design Event - 1	T23 PVC	0.0	3.0	0.299	0.00
12	New Design Event - 1	T43 PVC	0.0	3.0	0.369	0.00
13	New Design Event - 1	T37 PVC	0.0	3.0	0.406	0.00
14	New Design Event - 1	T32 PVC	0.0	3.0	0.297	0.00
15	New Design Event - 1	T13 PVC	0.0	3.0	0.145	0.00
16	New Design Event - 1	T25 PVC	0.0	3.0	0.308	0.00
17	New Design Event - 1	T29 PVC	0.0	3.0	0.373	0.00
18	New Design Event - 1	T6 PVC	0.0	3.0	0.012	0.00
19	New Design Event - 1	T14 PVC	0.0	3.0	0.084	0.00
20	New Design Event - 1	T22 PVC	0.0	3.0	0.274	0.00
21	New Design Event - 1	T19 PVC	0.0	3.0	0.293	0.00
22	New Design Event - 1	T28 PVC	0.0	3.0	0.172	0.00
23	New Design Event - 1	T7 PVC	0.0	3.0	0.051	0.00
24	New Design Event - 1	T16 PVC	0.0	3.0	0.006	0.00
25	New Design Event - 1	T20 PVC	0.0	3.0	0.258	0.00
26	New Design Event - 1	T36 PVC	0.0	3.0	0.202	0.00
27	New Design Event - 1	T4 PVC	0.0	3.0	0.053	0.00
28	New Design Event - 1	T17 PVC	0.0	3.0	0.349	0.00
29	New Design Event - 1	T38 PVC	0.0	3.0	0.147	0.00
30	New Design Event - 1	T5 PVC	0.0	3.0	0.007	0.00
31	New Design Event - 1	T35 PVC	0.0	3.0	0.110	0.00
32	New Design Event - 1	T41 PVC	0.0	3.0	0.725	0.00
33	New Design Event - 1	T26 PVC	0.0	3.0	0.077	0.00
34	New Design Event - 1	T30 PVC	0.0	3.0	0.138	0.00
35	New Design Event - 1	T12 PVC	0.0	3.0	0.029	0.00
36	New Design Event - 1	T9 PVC	0.0	3.0	0.151	0.00
37	New Design Event - 1	T18 PVC	0.0	3.0	0.071	0.00
38	New Design Event - 1	T44 PVC	0.0	3.0	0.146	0.00
39	New Design Event - 1	T3 PVC	0.0	3.0	0.056	0.00
40	New Design Event - 1	T47 PVC	0.0	3.0	0.531	0.00
41	New Design Event - 1	T21 PVC	0.0	3.0	0.035	0.00
42	New Design Event - 1	T24 PVC	0.0	3.0	0.045	0.00
43	New Design Event - 1	T33 PVC	0.0	3.0	0.086	0.00
44	New Design Event - 1	T42 PVC	0.0	3.0	0.148	0.00
45	New Design Event - 1	T45 PVC	0.0	3.0	0.226	0.00
46	New Design Event - 1	T49 PVC	0.0	3.0	0.223	0.00
47	New Design Event - 1	T1 PVC	0.0	3.0	0.871	0.00
48	New Design Event - 1	T46 PVC	0.0	3.0	0.622	0.00
49	New Design Event - 1	T48 PVC	0.0	3.0	0.443	0.00

Fuente: Reporte del software WaterGEMS.

Tabla 170: presiones simuladas en función al costo, resultado 09.

Darwin Designer (CALLQUI.wtg.) New Optimized Solution 09						
ID	Desing Gruop	Pipe	Material	Darcy Weisbach e(mm)	Diameter (mm)	costo(ü)
1	Design Group - T2	T2 PVC	PVC	0.0600	38.40	672.14
2	Design Group - T10	T10 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,154.90
3	Design Group - T11	T11 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,166.95
4	Design Group - T39	T39 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,170.26
5	Design Group - T31	T31 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,172.01
6	Design Group - T40	T40 PVC	PVC	0.0600	43.40	2,685.48
7	Design Group - T15	T15 PVC	PVC	0.0600	38.40	1,773.70
8	Design Group - T8	T8 PVC	PVC	0.0600	38.40	1,773.82
9	Design Group - T34	T34 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,180.72
10	Design Group - T27	T27 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,181.30
11	Design Group - T23	T23 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,181.92
12	Design Group - T43	T43 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,182.29
13	Design Group - T37	T37 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,183.91
14	Design Group - T32	T32 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,184.76
15	Design Group - T13	T13 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,184.90
16	Design Group - T25	T25 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,193.83
17	Design Group - T29	T29 PVC	PVC	0.0600	38.40	1,809.31
18	Design Group - T6	T6 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,210.47
19	Design Group - T14	T14 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,212.06
20	Design Group - T22	T22 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,213.07
21	Design Group - T19	T19 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,219.18
22	Design Group - T28	T28 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,221.38
23	Design Group - T7	T7 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,226.47
24	Design Group - T16	T16 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,227.32
25	Design Group - T20	T20 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,229.16
26	Design Group - T36	T36 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,233.48
27	Design Group - T4	T4 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,239.18
28	Design Group - T17	T17 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,241.36
29	Design Group - T38	T38 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,252.42
30	Design Group - T5	T5 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,268.28
31	Design Group - T35	T35 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,270.64
32	Design Group - T41	T41 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,259.58
33	Design Group - T26	T26 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,275.05
34	Design Group - T30	T30 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,276.58
35	Design Group - T12	T12 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,284.54
36	Design Group - T9	T9 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,285.35
37	Design Group - T18	T18 PVC	PVC	0.0600	38.40	1,944.56
38	Design Group - T44	T44 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,309.33
39	Design Group - T3	T3 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,399.50
40	Design Group - T47	T47 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,400.41
41	Design Group - T21	T21 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,618.19
42	Design Group - T24	T24 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,721.37
43	Design Group - T33	T33 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,807.61
44	Design Group - T42	T42 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,937.89
45	Design Group - T45	T45 PVC	PVC	0.0600	29.40	2,061.20
46	Design Group - T49	T49 PVC	PVC	0.0600	38.40	3,291.99
47	Design Group - T1	T1 PVC	PVC	0.0600	55.40	9,015.12
48	Design Group - T46	T46 PVC	PVC	0.0600	29.40	2,498.22
49	Design Group - T48	T48 PVC	PVC	0.0600	29.40	2,506.44

Fuente: Reporte del software WaterGEMS.

Tabla 171: Presiones simuladas del resultado 09.

Darwin Designer (CALLQUI.wtg.) New Optimized Pressure Results.						
ID	Design Event	Element	Required Minimum Pressure (m H 2 O)	Required Maximum Pressure (m H 2 O)	Simulated Pressure (H_2O)	Violation (m H_2O)
1	New Design Event - 1	N-20	10	50	32.70	0.00
2	New Design Event - 1	N-19	10	50	34.09	0.00
3	New Design Event - 1	N-26	10	50	30.51	0.00
4	New Design Event - 1	N-18	10	50	34.68	0.00
5	New Design Event - 1	N-25	10	50	28.77	0.00
6	New Design Event - 1	N-3	10	50	14.05	0.00
7	New Design Event - 1	N-4	10	50	10.27	0.00
8	New Design Event - 1	N-14	10	50	36.99	0.00
9	New Design Event - 1	N-13	10	50	36.61	0.00
10	New Design Event - 1	N-2	10	50	17.97	0.00
11	New Design Event - 1	N-6	10	50	11.73	0.00
12	New Design Event - 1	N-7	10	50	13.72	0.00
13	New Design Event - 1	N-8	10	50	14.72	0.00
14	New Design Event - 1	N-23	10	50	28.56	0.00
15	New Design Event - 1	N-22	10	50	30.19	0.00
16	New Design Event - 1	N-28	10	50	20.35	0.00
17	New Design Event - 1	N-29	10	50	22.06	0.00
18	New Design Event - 1	N-15	10	50	36.21	0.00
19	New Design Event - 1	N-16	10	50	35.93	0.00
20	New Design Event - 1	N-21	10	50	31.99	0.00
21	New Design Event - 1	N-27	10	50	20.77	0.00
22	New Design Event - 1	N-30	10	50	21.86	0.00
23	New Design Event - 1	N-31	10	50	21.74	0.00
24	New Design Event - 1	N-24	10	50	27.88	0.00
25	New Design Event - 1	N-5	10	50	10.04	0.00
26	New Design Event - 1	N-9	10	50	25.68	0.00
27	New Design Event - 1	N-17	10	50	34.79	0.00
28	New Design Event - 1	N-12	10	50	36.94	0.00
29	New Design Event - 1	N-11	10	50	32.70	0.00
30	New Design Event - 1	N-10	10	50	21.13	0.00

Fuente: Reporte del software WaterGEMS.

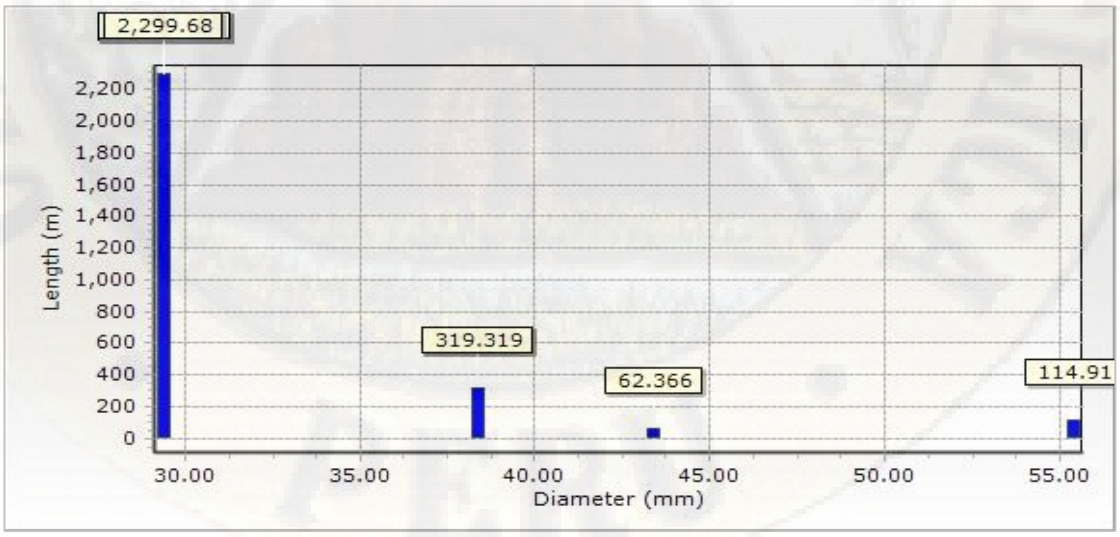


Figura 43: Longitud en función al diámetro, resultado 09.
Fuente: Reporte del software WaterGEMS.

Tabla 172: Velocidades simuladas del resultado 09.

Darwin Designer (CALLQUI.wtg.) New Optimized velocity results 09						
ID	Desing Event.	Element.	Minimum Velocity (m/s)	Maximum velocity (m/s)	Simulated Velocity (m/s)	Violation (m/s)
1	New Design Event - 1	T2 PVC	0.0	3.0	0.001	0.00
2	New Design Event - 1	T10 PVC	0.0	3.0	0.013	0.00
3	New Design Event - 1	T11 PVC	0.0	3.0	0.149	0.00
4	New Design Event - 1	T39 PVC	0.0	3.0	0.854	0.00
5	New Design Event - 1	T31 PVC	0.0	3.0	0.296	0.00
6	New Design Event - 1	T40 PVC	0.0	3.0	0.790	0.00
7	New Design Event - 1	T15 PVC	0.0	3.0	0.157	0.00
8	New Design Event - 1	T8 PVC	0.0	3.0	0.073	0.00
9	New Design Event - 1	T34 PVC	0.0	3.0	0.354	0.00
10	New Design Event - 1	T27 PVC	0.0	3.0	0.323	0.00
11	New Design Event - 1	T23 PVC	0.0	3.0	0.302	0.00
12	New Design Event - 1	T43 PVC	0.0	3.0	0.357	0.00
13	New Design Event - 1	T37 PVC	0.0	3.0	0.404	0.00
14	New Design Event - 1	T32 PVC	0.0	3.0	0.304	0.00
15	New Design Event - 1	T13 PVC	0.0	3.0	0.148	0.00
16	New Design Event - 1	T25 PVC	0.0	3.0	0.308	0.00
17	New Design Event - 1	T29 PVC	0.0	3.0	0.371	0.00
18	New Design Event - 1	T6 PVC	0.0	3.0	0.027	0.00
19	New Design Event - 1	T14 PVC	0.0	3.0	0.082	0.00
20	New Design Event - 1	T22 PVC	0.0	3.0	0.277	0.00
21	New Design Event - 1	T19 PVC	0.0	3.0	0.290	0.00
22	New Design Event - 1	T28 PVC	0.0	3.0	0.172	0.00
23	New Design Event - 1	T7 PVC	0.0	3.0	0.058	0.00
24	New Design Event - 1	T16 PVC	0.0	3.0	0.002	0.00
25	New Design Event - 1	T20 PVC	0.0	3.0	0.260	0.00
26	New Design Event - 1	T36 PVC	0.0	3.0	0.200	0.00
27	New Design Event - 1	T4 PVC	0.0	3.0	0.064	0.00
28	New Design Event - 1	T17 PVC	0.0	3.0	0.347	0.00
29	New Design Event - 1	T38 PVC	0.0	3.0	0.146	0.00
30	New Design Event - 1	T5 PVC	0.0	3.0	0.002	0.00
31	New Design Event - 1	T35 PVC	0.0	3.0	0.108	0.00
32	New Design Event - 1	T41 PVC	0.0	3.0	0.722	0.00
33	New Design Event - 1	T26 PVC	0.0	3.0	0.079	0.00
34	New Design Event - 1	T30 PVC	0.0	3.0	0.190	0.00
35	New Design Event - 1	T12 PVC	0.0	3.0	0.034	0.00
36	New Design Event - 1	T9 PVC	0.0	3.0	0.149	0.00
37	New Design Event - 1	T18 PVC	0.0	3.0	0.050	0.00
38	New Design Event - 1	T44 PVC	0.0	3.0	0.101	0.00
39	New Design Event - 1	T3 PVC	0.0	3.0	0.068	0.00
40	New Design Event - 1	T47 PVC	0.0	3.0	0.538	0.00
41	New Design Event - 1	T21 PVC	0.0	3.0	0.040	0.00
42	New Design Event - 1	T24 PVC	0.0	3.0	0.044	0.00
43	New Design Event - 1	T33 PVC	0.0	3.0	0.082	0.00
44	New Design Event - 1	T42 PVC	0.0	3.0	0.136	0.00
45	New Design Event - 1	T45 PVC	0.0	3.0	0.193	0.00
46	New Design Event - 1	T49 PVC	0.0	3.0	0.161	0.00
47	New Design Event - 1	T1 PVC	0.0	3.0	0.871	0.00
48	New Design Event - 1	T46 PVC	0.0	3.0	0.622	0.00
49	New Design Event - 1	T48 PVC	0.0	3.0	0.450	0.00

Fuente: Reporte del software WaterGEMS.

Tabla 173: Presiones simuladas en función al costo, resultado 10

Darwin Designer (CALLQUI.wtg.) New Optimized Solution 10						
ID	Desing Gruop	Pipe	Material	Darcy Weisbach e(mm)	Diameter (mm)	costo(s)
1	Design Group - T2	T2 PVC	PVC	0.0600	38.40	672.14
2	Design Group - T10	T10 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,154.90
3	Design Group - T11	T11 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,166.95
4	Design Group - T39	T39 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,170.26
5	Design Group - T31	T31 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,172.01
6	Design Group - T40	T40 PVC	PVC	0.0600	43.40	2,685.48
7	Design Group - T15	T15 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,177.66
8	Design Group - T8	T8 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,177.74
9	Design Group - T34	T34 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,180.72
10	Design Group - T27	T27 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,181.30
11	Design Group - T23	T23 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,181.92
12	Design Group - T43	T43 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,182.29
13	Design Group - T37	T37 PVC	PVC	0.0600	38.40	1,783.11
14	Design Group - T32	T32 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,184.76
15	Design Group - T13	T13 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,184.90
16	Design Group - T25	T25 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,193.83
17	Design Group - T29	T29 PVC	PVC	0.0600	38.40	1,809.31
18	Design Group - T6	T6 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,210.47
19	Design Group - T14	T14 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,212.06
20	Design Group - T22	T22 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,213.07
21	Design Group - T19	T19 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,219.18
22	Design Group - T28	T28 PVC	PVC	0.0600	38.40	1,839.54
23	Design Group - T7	T7 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,226.47
24	Design Group - T16	T16 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,227.32
25	Design Group - T20	T20 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,229.16
26	Design Group - T36	T36 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,233.48
27	Design Group - T4	T4 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,239.18
28	Design Group - T17	T17 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,241.36
29	Design Group - T38	T38 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,252.42
30	Design Group - T5	T5 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,268.28
31	Design Group - T35	T35 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,270.64
32	Design Group - T41	T41 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,259.58
33	Design Group - T26	T26 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,275.05
34	Design Group - T30	T30 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,276.58
35	Design Group - T12	T12 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,284.54
36	Design Group - T9	T9 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,285.35
37	Design Group - T18	T18 PVC	PVC	0.0600	38.40	1,944.56
38	Design Group - T44	T44 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,309.33
39	Design Group - T3	T3 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,399.50
40	Design Group - T47	T47 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,400.41
41	Design Group - T21	T21 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,618.19
42	Design Group - T24	T24 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,721.37
43	Design Group - T33	T33 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,807.61
44	Design Group - T42	T42 PVC	PVC	0.0600	29.40	1,937.89
45	Design Group - T45	T45 PVC	PVC	0.0600	29.40	2,061.20
46	Design Group - T49	T49 PVC	PVC	0.0600	38.40	3,291.99
47	Design Group - T1	T1 PVC	PVC	0.0600	55.40	9,015.12
48	Design Group - T46	T46 PVC	PVC	0.0600	29.40	2,498.22
49	Design Group - T48	T48 PVC	PVC	0.0600	29.40	2,506.44

Fuente: Reporte del software WaterGEMS.

Tabla 174: Presiones simuladas del resultado 10.

Darwin Designer (CALLQUI.wtg.) New Optimized Pressure Results.						
ID	Design Event	Element	Required Minimum Pressure (m H 2 O)	Required Maximum Pressure (m H 2 O)	Simulated Pressure (H_2O)	Violation (m H_2O)
1	New Design Event - 1	N-20	10	50	32.77	0.00
2	New Design Event - 1	N-19	10	50	34.17	0.00
3	New Design Event - 1	N-26	10	50	30.59	0.00
4	New Design Event - 1	N-18	10	50	34.76	0.00
5	New Design Event - 1	N-25	10	50	28.88	0.00
6	New Design Event - 1	N-3	10	50	14.05	0.00
7	New Design Event - 1	N-4	10	50	10.37	0.00
8	New Design Event - 1	N-14	10	50	37.02	0.00
9	New Design Event - 1	N-13	10	50	36.62	0.00
10	New Design Event - 1	N-2	10	50	17.97	0.00
11	New Design Event - 1	N-6	10	50	11.85	0.00
12	New Design Event - 1	N-7	10	50	13.79	0.00
13	New Design Event - 1	N-8	10	50	14.79	0.00
14	New Design Event - 1	N-23	10	50	28.65	0.00
15	New Design Event - 1	N-22	10	50	30.18	0.00
16	New Design Event - 1	N-28	10	50	20.51	0.00
17	New Design Event - 1	N-29	10	50	22.20	0.00
18	New Design Event - 1	N-15	10	50	36.29	0.00
19	New Design Event - 1	N-16	10	50	36.04	0.00
20	New Design Event - 1	N-21	10	50	32.00	0.00
21	New Design Event - 1	N-27	10	50	20.66	0.00
22	New Design Event - 1	N-30	10	50	21.97	0.00
23	New Design Event - 1	N-31	10	50	21.82	0.00
24	New Design Event - 1	N-24	10	50	27.99	0.00
25	New Design Event - 1	N-5	10	50	10.12	0.00
26	New Design Event - 1	N-9	10	50	25.75	0.00
27	New Design Event - 1	N-17	10	50	34.89	0.00
28	New Design Event - 1	N-12	10	50	36.95	0.00
29	New Design Event - 1	N-11	10	50	32.71	0.00
30	New Design Event - 1	N-10	10	50	21.13	0.00

Fuente: Reporte del software WaterGEMS.

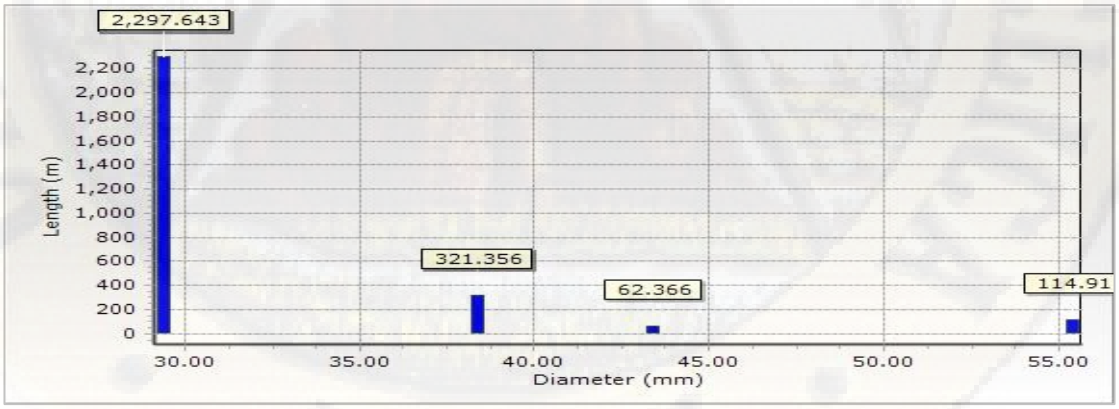


Figura 44: Longitud en función al diámetro, resultado 10.
Fuente: Reporte del software WaterGEMS.

Tabla 175: velocidades simuladas del resultado 10.

Darwin Designer (CALLQUI.wtg.) New Optimized velocity results 10						
ID	Desing Event.	Element.	Minimum Velocity (m/s)	Maximum velocity (m/s)	Simulated Velocity (m/s)	Violation (m/s)
1	New Design Event - 1	T2 PVC	0.0	3.0	0.008	0.00
2	New Design Event - 1	T10 PVC	0.0	3.0	0.021	0.00
3	New Design Event - 1	T11 PVC	0.0	3.0	0.177	0.00
4	New Design Event - 1	T39 PVC	0.0	3.0	0.827	0.00
5	New Design Event - 1	T31 PVC	0.0	3.0	0.287	0.00
6	New Design Event - 1	T40 PVC	0.0	3.0	0.791	0.00
7	New Design Event - 1	T15 PVC	0.0	3.0	0.186	0.00
8	New Design Event - 1	T8 PVC	0.0	3.0	0.079	0.00
9	New Design Event - 1	T34 PVC	0.0	3.0	0.294	0.00
10	New Design Event - 1	T27 PVC	0.0	3.0	0.331	0.00
11	New Design Event - 1	T23 PVC	0.0	3.0	0.284	0.00
12	New Design Event - 1	T43 PVC	0.0	3.0	0.365	0.00
13	New Design Event - 1	T37 PVC	0.0	3.0	0.306	0.00
14	New Design Event - 1	T32 PVC	0.0	3.0	0.273	0.00
15	New Design Event - 1	T13 PVC	0.0	3.0	0.183	0.00
16	New Design Event - 1	T25 PVC	0.0	3.0	0.295	0.00
17	New Design Event - 1	T29 PVC	0.0	3.0	0.385	0.00
18	New Design Event - 1	T6 PVC	0.0	3.0	0.047	0.00
19	New Design Event - 1	T14 PVC	0.0	3.0	0.046	0.00
20	New Design Event - 1	T22 PVC	0.0	3.0	0.279	0.00
21	New Design Event - 1	T19 PVC	0.0	3.0	0.309	0.00
22	New Design Event - 1	T28 PVC	0.0	3.0	0.128	0.00
23	New Design Event - 1	T7 PVC	0.0	3.0	0.012	0.00
24	New Design Event - 1	T16 PVC	0.0	3.0	0.059	0.00
25	New Design Event - 1	T20 PVC	0.0	3.0	0.262	0.00
26	New Design Event - 1	T36 PVC	0.0	3.0	0.111	0.00
27	New Design Event - 1	T4 PVC	0.0	3.0	0.078	0.00
28	New Design Event - 1	T17 PVC	0.0	3.0	0.324	0.00
29	New Design Event - 1	T38 PVC	0.0	3.0	0.095	0.00
30	New Design Event - 1	T5 PVC	0.0	3.0	0.024	0.00
31	New Design Event - 1	T35 PVC	0.0	3.0	0.167	0.00
32	New Design Event - 1	T41 PVC	0.0	3.0	0.750	0.00
33	New Design Event - 1	T26 PVC	0.0	3.0	0.114	0.00
34	New Design Event - 1	T30 PVC	0.0	3.0	0.186	0.00
35	New Design Event - 1	T12 PVC	0.0	3.0	0.056	0.00
36	New Design Event - 1	T9 PVC	0.0	3.0	0.169	0.00
37	New Design Event - 1	T18 PVC	0.0	3.0	0.024	0.00
38	New Design Event - 1	T44 PVC	0.0	3.0	0.104	0.00
39	New Design Event - 1	T3 PVC	0.0	3.0	0.081	0.00
40	New Design Event - 1	T47 PVC	0.0	3.0	0.537	0.00
41	New Design Event - 1	T21 PVC	0.0	3.0	0.021	0.00
42	New Design Event - 1	T24 PVC	0.0	3.0	0.064	0.00
43	New Design Event - 1	T33 PVC	0.0	3.0	0.095	0.00
44	New Design Event - 1	T42 PVC	0.0	3.0	0.114	0.00
45	New Design Event - 1	T45 PVC	0.0	3.0	0.187	0.00
46	New Design Event - 1	T49 PVC	0.0	3.0	0.159	0.00
47	New Design Event - 1	T1 PVC	0.0	3.0	0.871	0.00
48	New Design Event - 1	T46 PVC	0.0	3.0	0.622	0.00
49	New Design Event - 1	T48 PVC	0.0	3.0	0.449	0.00

Fuente: Reporte del software WaterGEMS.

Tabla 176: Resultados – Tabla y gráfica de objetivos de los pobladores de la malla.

Darwin Designer (CALLQUI.wtg.) New Optimized velocity results 10						
ID	Desing Event.	Element.	Minimum Velocity (m\s)	Maximum velocity (m\s)	Simulated Velocity (m\s)	Violation (m\s)
1	New Design Event - 1	T2 PVC	0.0	3.0	0.008	0.00
2	New Design Event - 1	T10 PVC	0.0	3.0	0.021	0.00
3	New Design Event - 1	T11 PVC	0.0	3.0	0.177	0.00
4	New Design Event - 1	T39 PVC	0.0	3.0	0.827	0.00
5	New Design Event - 1	T31 PVC	0.0	3.0	0.287	0.00
6	New Design Event - 1	T40 PVC	0.0	3.0	0.791	0.00
7	New Design Event - 1	T15 PVC	0.0	3.0	0.186	0.00
8	New Design Event - 1	T8 PVC	0.0	3.0	0.079	0.00
9	New Design Event - 1	T34 PVC	0.0	3.0	0.294	0.00
10	New Design Event - 1	T27 PVC	0.0	3.0	0.331	0.00
11	New Design Event - 1	T23 PVC	0.0	3.0	0.284	0.00
12	New Design Event - 1	T43 PVC	0.0	3.0	0.365	0.00
13	New Design Event - 1	T37 PVC	0.0	3.0	0.306	0.00
14	New Design Event - 1	T32 PVC	0.0	3.0	0.273	0.00
15	New Design Event - 1	T13 PVC	0.0	3.0	0.183	0.00
16	New Design Event - 1	T25 PVC	0.0	3.0	0.295	0.00
17	New Design Event - 1	T29 PVC	0.0	3.0	0.385	0.00
18	New Design Event - 1	T6 PVC	0.0	3.0	0.047	0.00
19	New Design Event - 1	T14 PVC	0.0	3.0	0.046	0.00
20	New Design Event - 1	T22 PVC	0.0	3.0	0.279	0.00
21	New Design Event - 1	T19 PVC	0.0	3.0	0.309	0.00
22	New Design Event - 1	T28 PVC	0.0	3.0	0.128	0.00
23	New Design Event - 1	T7 PVC	0.0	3.0	0.012	0.00
24	New Design Event - 1	T16 PVC	0.0	3.0	0.059	0.00
25	New Design Event - 1	T20 PVC	0.0	3.0	0.262	0.00
26	New Design Event - 1	T36 PVC	0.0	3.0	0.111	0.00
27	New Design Event - 1	T4 PVC	0.0	3.0	0.078	0.00
28	New Design Event - 1	T17 PVC	0.0	3.0	0.324	0.00
29	New Design Event - 1	T38 PVC	0.0	3.0	0.095	0.00
30	New Design Event - 1	T5 PVC	0.0	3.0	0.024	0.00
31	New Design Event - 1	T35 PVC	0.0	3.0	0.167	0.00
32	New Design Event - 1	T41 PVC	0.0	3.0	0.750	0.00
33	New Design Event - 1	T26 PVC	0.0	3.0	0.114	0.00
34	New Design Event - 1	T30 PVC	0.0	3.0	0.186	0.00
35	New Design Event - 1	T12 PVC	0.0	3.0	0.056	0.00
36	New Design Event - 1	T9 PVC	0.0	3.0	0.169	0.00
37	New Design Event - 1	T18 PVC	0.0	3.0	0.024	0.00
38	New Design Event - 1	T44 PVC	0.0	3.0	0.104	0.00
39	New Design Event - 1	T3 PVC	0.0	3.0	0.081	0.00
40	New Design Event - 1	T47 PVC	0.0	3.0	0.537	0.00
41	New Design Event - 1	T21 PVC	0.0	3.0	0.021	0.00
42	New Design Event - 1	T24 PVC	0.0	3.0	0.064	0.00
43	New Design Event - 1	T33 PVC	0.0	3.0	0.095	0.00
44	New Design Event - 1	T42 PVC	0.0	3.0	0.114	0.00
45	New Design Event - 1	T45 PVC	0.0	3.0	0.187	0.00
46	New Design Event - 1	T49 PVC	0.0	3.0	0.159	0.00
47	New Design Event - 1	T1 PVC	0.0	3.0	0.871	0.00
48	New Design Event - 1	T46 PVC	0.0	3.0	0.622	0.00
49	New Design Event - 1	T48 PVC	0.0	3.0	0.449	0.00

Fuente: Reporte del software WaterGEMS.

4.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS

Para la presente investigación analizaremos diversas condiciones propias de la presente, para poder determinar una prueba estadística aplicable a nuestra investigación.

- El objetivo principal para una técnica explicativa que usaremos es la COMPARACIÓN, que indica si existe alguna influencia significativa entre las variables planteadas.

- En cuanto a la muestra analizada identificamos que se acoge a una muestra RELACIONADA debido a que tenemos varias observaciones (según método de cálculo) del mismo grupo (red de distribución de la localidad de Callqui Grande).

- Así mismo los tipos de dato que tenemos se acogen a una variable NUMERICA continua ya que los valores que se presentan son números reales.

- Seguidamente evaluaremos nuestros datos de investigación en cuanto a los supuestos de la prueba estadística que deben de cumplir (independencia, homogeneidad y normalidad), esto nos permite elegir entre qué tipo de prueba escoger ya se la prueba paramétrica, no paramétrica y pruebas robustas; para la presente investigación según los datos que tenemos podremos afirmar que NO cumplen con los supuestos por lo que nos acogeremos a una PRUEBA NO PARAMÉTRICA.

En conclusión, después de todas las condiciones analizadas líneas arriba se considera pertinente utilizar la PRUEBA DE LOS RANGOS CON SIGNO DE WILCOXON.

4.2.1. PRUEBA DE HÍPOTESIS ESPECÍFICA

4.2.1.1. METODO DE HARDY CROSS:

Se pretende validar la Hipótesis "El uso de método de Hardy Cross influye significativamente en el diseño de redes de distribución en sistemas de abastecimiento de agua en la localidad de Callqui grande –Huancavelica."

a) Parámetros de interés.

Tabla 177: Tratamiento de resultados Hardy Cross

TUBERIA	L (m)	D (mm) CALC.	D (mm) PROM.	DIFERENCIA	RANGO	W +	W -
1	100.00	67.8	55.4	12.4	13	13	
2	18.00	29.4	29.4	0			
3	57.00	38.4	38.4	0			
4	51.00	29.4	29.4	0			
5	52.00	38.4	38.4	0			
6	49.00	29.4	38.4	-9	7		7
7	50.00	38.4	38.4	0			
8	48.00	29.4	29.4	0			
9	52.00	29.4	29.4	0			
10	47.00	38.4	38.4	0			
11	48.00	29.4	29.4	0			
12	52.00	38.4	38.4	0			
13	48.00	38.4	38.4	0			
14	49.00	29.4	29.4	0			
15	48.00	38.4	38.4	0			
16	50.00	29.4	29.4	0			
17	51.00	38.4	38.4	0			
18	53.00	29.4	29.4	0			
19	50.00	29.4	29.4	0			
20	50.00	29.4	29.4	0			
21	66.00	38.4	38.4	0			
22	50.00	38.4	38.4	0			
23	48.00	29.4	29.4	0			
24	70.00	29.4	29.4	0			
25	49.00	29.4	29.4	0			
26	52.00	38.4	38.4	0			
27	48.00	29.4	29.4	0			
28	50.00	38.4	38.4	0			
29	49.00	43.4	38.4	5	1.5	1.5	
30	52.00	38.4	29.4	9	7	7	
31	48.00	38.4	38.4	0			
32	48.00	29.4	38.4	-9	7		7
33	74.00	29.4	38.4	-9	7		7
34	48.00	29.4	29.4	0			
35	52.00	38.4	38.4	0			
36	50.00	29.4	29.4	0			
37	48.00	29.4	29.4	0			
38	51.00	29.4	29.4	0			
39	48.00	43.4	38.4	5	1.5	1.5	
40	48.00	55.4	43.4	12	12	12	
41	51.00	29.4	29.4	0			
42	79.00	38.4	38.4	0			
43	48.00	29.4	38.4	-9	7		7
44	53.00	38.4	29.4	9	7	7	
45	84.00	29.4	29.4	0			
46	102.00	55.4	38.4	17	14	14	
47	57.00	38.4	29.4	9	7	7	
48	102.00	38.4	29.4	9	7	7	
49	89.00	38.4	29.4	9	7	7	
				Σ =	**105**	**77**	**28**

Fuente: Elaboración propia

b) Hipótesis estadística

Hipótesis nula (Ho):

"El uso de método de Hardy Cross NO influye significativamente en el diseño de redes de distribución en sistemas de abastecimiento de agua en la localidad de Callqui grande –Huancavelica."

Hipótesis alterna - Hipótesis de la investigación (H1):

"El uso de método de Hardy Cross influye significativamente en el diseño de redes de distribución en sistemas de abastecimiento de agua en la localidad de Callqui grande –Huancavelica."

c) Nivel de significancia

Para la presente investigación se tomó un riesgo de α = 5% = 0.05 (o un nivel de confianza de 95%), además utilizamos una distribución normal aproximada de parámetros Z~N(0,1), obteniendo valores para $z_{(p)}$ con el cual se contrastará la Hipótesis.

d) Regla de decisión

Se plantea:

Rechazar H0 y se aceptar H1: si $P\ valor \leq \alpha = 0.05$

Rechazar H1 y se aceptar Ho: si $P\ valor \geq \alpha = 0.05$

e) Cálculo del estadístico de prueba.

Tabla 178: resultados del análisis estadístico WILCOXON

N. Diferencia (N)	14
suma de rangos W+	28
E[W+]	52.5
Var[W+]	15.929
Zp	-1.54
Sig. Asintot. Bilateral (P valor)	**0.12**
α=5%=	**0.05**

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, el estadístico de prueba es P valor = 0.12

f) Decisión estadística:

Puesto que (P valor) es mayor que el valor $\alpha = 0.05$ ósea (0.12>0.05) en consecuencia, se acepta la Hipótesis nula (Ho) y se rechaza la Hipótesis alterna (Hi).

g) Conclusión estadística:

De lo analizado concluimos que el uso de método de Hardy Cross No influye significativamente en el diseño de redes de distribución en sistemas de abastecimiento de agua en la localidad de Callqui grande –Huancavelica.

h) Conclusión técnica:

En general se concluye que el uso de método de Hardy Cross No influye significativamente en el diseño de redes de distribución en sistemas de abastecimiento de agua en la localidad de Callqui grande –Huancavelica, en cuanto a:

La obtención del diámetro, ya que en el proceso de cálculo se observó que la metodología usada por Hardy Cross al ser desarrollada hace más de medio siglo tuvo muchas limitaciones, una de las cuales es la dificultad de interactuar

las dos variables de ingreso que se tiene que asumir según vemos el comportamiento de los parámetros de caudal, velocidad y presión según normativa, esto hace que el cálculo se extienda en cuanto a horas hombre que se tiene que invertir para realizar el diseño.

Así mismo la precisión con la que se calcula vemos afectado por la suposición de dos variables de entrada como son las cabezas de presión y el diámetro, esto nos lleva a errores y dificultad de converger las iteraciones, asu vez que esta metodología no proporciona un resultado óptimo por las limitaciones que tiene, en todo caso se tendría que invertir mayor tiempo en el análisis del diseño y según criterio del diseñador.

4.2.1.2.METODO DE GRADIENTE HIDRAULICO:

Se pretende validar la Hipótesis "El uso de método de Gradiente hidráulico influye significativamente en el diseño de redes de distribución en sistemas de abastecimiento de agua en la localidad de Callqui grande –Huancavelica."

a) Parámetros de interés.

Tabla 179: Tratamiento de resultados Gradiente Hidráulico

TUBERIA	L (m)	D (mm)	D (mm)	DIFEREN	RANGO	W +	W -
1	100.00	55.4	55.4	0			
2	18.00	38.4	29.4	9	11.5	11.5	
3	57.00	38.4	38.4	0			
4	51.00	38.4	29.4	9	11.5	11.5	
5	52.00	38.4	38.4	0			
6	49.00	38.4	38.4	0			
7	50.00	38.4	38.4	0			
8	48.00	38.4	29.4	9	11.5	11.5	
9	52.00	38.4	29.4	9	11.5	11.5	
10	47.00	38.4	38.4	0			
11	48.00	38.4	29.4	9	11.5	11.5	
12	52.00	38.4	38.4	0			
13	48.00	38.4	38.4	0			
14	49.00	38.4	29.4	9	11.5	11.5	
15	48.00	38.4	38.4	0			
16	50.00	38.4	29.4	9	11.5	11.5	
17	51.00	38.4	38.4	0			
18	53.00	38.4	29.4	9	11.5	11.5	
19	50.00	38.4	29.4	9	11.5	11.5	
20	50.00	38.4	29.4	9	11.5	11.5	
21	66.00	38.4	38.4	0			
22	50.00	38.4	38.4	0			
23	48.00	38.4	29.4	9	11.5	11.5	
24	70.00	38.4	29.4	9	11.5	11.5	
25	49.00	38.4	29.4	9	11.5	11.5	
26	52.00	38.4	38.4	0			
27	48.00	38.4	29.4	9	11.5	11.5	
28	50.00	38.4	38.4	0			
29	49.00	38.4	38.4	0			
30	52.00	29.4	29.4	0			
31	48.00	38.4	38.4	0			
32	48.00	38.4	38.4	0			
33	74.00	38.4	38.4	0			
34	48.00	38.4	29.4	9	11.5	11.5	
35	52.00	38.4	38.4	0			
36	50.00	38.4	29.4	9	11.5	11.5	
37	48.00	38.4	29.4	9	11.5	11.5	
38	51.00	38.4	29.4	9	11.5	11.5	
39	48.00	38.4	38.4	0			
40	48.00	38.4	43.4	-5	1		1
41	51.00	38.4	29.4	9	11.5	11.5	
42	79.00	38.4	38.4	0			
43	48.00	38.4	38.4	0			
44	53.00	29.4	29.4	0			
45	84.00	38.4	29.4	9	11.5	11.5	
46	102.00	38.4	38.4	0			
47	57.00	29.4	29.4	0			
48	102.00	29.4	29.4	0			
49	89.00	29.4	29.4	0			
				Σ =	**231**	**230**	**1**

Fuente: Elaboración propia

b) Hipótesis estadística

Hipótesis nula (Ho):

"El uso de método de Gradiente hidráulico NO influye significativamente en el diseño de redes de distribución en sistemas de abastecimiento de agua en la localidad de Callqui grande –Huancavelica."

Hipótesis alterna - Hipótesis de la investigación (H1):

"El uso de método de Gradiente hidráulico influye significativamente en el diseño de redes de distribución en sistemas de abastecimiento de agua en la localidad de Callqui grande –Huancavelica."

c) Nivel de significancia

Para la presente investigación se tomó un riesgo de α = 5% = 0.05 (o un nivel de confianza de 95%), además utilizamos una distribución normal aproximada de parámetros Z~N(0,1), obteniendo valores para $z_{(p)}$ con el cual se contrastara la Hipótesis.

d) Regla de decisión

Se plantea:

Rechazar H0 y se aceptar H1: si $P\ valor \leq \alpha = 0.05$

Rechazar H1 y se aceptar Ho: si $P\ valor \geq \alpha = 0.05$

e) Cálculo del estadístico de prueba.

Tabla 180: resultados del análisis estadístico WILCOXON

N. Diferencia (N)	21
suma de rangos W+	1
E[W+]	115.5
Var[W+]	28.77
Zp	-3.98
Sig. Asintot. Bilateral (P valor)	**0.001**
α=5%=	**0.05**

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, el estadístico de prueba es P valor = 0.001

f) Decisión estadística:

Puesto que (P valor) es menor que el valor $\alpha = 0.05$ ósea (0.001<0.05) en consecuencia, se rechaza la Hipótesis nula (Ho) y se acepta la Hipótesis alterna (Hi).

g) Conclusión estadística:

De lo analizado concluimos que el uso de método de Gradiente Hidráulico influye significativamente en el diseño de redes de distribución en sistemas de abastecimiento de agua en la localidad de Callqui grande –Huancavelica.

h) Conclusión técnica:

En general se concluye que el uso de método de Gradiente Hidráulico influye significativamente en el diseño de redes de distribución en sistemas de abastecimiento de agua en la localidad de Callqui grande –Huancavelica, en cuanto a:

La obtención del diámetro optimo y en consecuencia el costo que conlleva, ya que en el proceso de cálculo se observó que la metodología usada por Gradiente Hidráulico tiene limitaciones en el tiempo de cálculo ya que el proceso de

cambiar el diámetro hasta cumplir con los parámetros de velocidad y presión según normativa, hace que el cálculo se extienda en cuanto a horas hombre que se tiene que invertir para realizar el diseño.

Esta metodología no proporciona diámetros optimizados en referencia a costo mínimo, por lo que los resultados obtenidos resultan de la experiencia del diseñador y criterios del mismo.

4.2.1.3.MÉTODO DEL ALGORITMO GENETICO:

Se pretende validar la Hipótesis "El uso de método de algoritmo genético influye significativamente en la optimización de redes de distribución en sistemas de abastecimiento de agua de Callqui grande -Huancavelica.

a) Parámetros de interés.

Tabla 181: Tratamiento de resultados Inteligencia artificial

TUBERIA	L (m)	D (mm)	D (mm)	DIFEREN	RANGO	W +	W -
1	100.00	55.4	55.4	0			
2	18.00	29.4	29.4	0			
3	57.00	29.4	38.4	-9	9		9
4	51.00	29.4	29.4	0			
5	52.00	29.4	38.4	-9	9		9
6	49.00	38.4	38.4	0			
7	50.00	29.4	38.4	-9	9		9
8	48.00	29.4	29.4	0			
9	52.00	29.4	29.4	0			
10	47.00	29.4	38.4	-9	9		9
11	48.00	29.4	29.4	0			
12	52.00	29.4	38.4	-9	9		9
13	48.00	29.4	38.4	-9	9		9
14	49.00	29.4	29.4	0			
15	48.00	29.4	38.4	-9	9		9
16	50.00	29.4	29.4	0			
17	51.00	29.4	38.4	-9	9		9
18	53.00	29.4	29.4	0			
19	50.00	29.4	29.4	0			
20	50.00	29.4	29.4	0			
21	66.00	29.4	38.4	-9	9		9
22	50.00	29.4	38.4	-9	9		9
23	48.00	29.4	29.4	0			
24	70.00	29.4	29.4	0			
25	49.00	29.4	29.4	0			
26	52.00	29.4	38.4	-9	9		9
27	48.00	29.4	29.4	0			
28	50.00	29.4	38.4	-9	9		9
29	49.00	38.4	38.4	0			
30	52.00	29.4	29.4	0			
31	48.00	29.4	38.4	-9	9		9
32	48.00	38.4	38.4	0			
33	74.00	38.4	38.4	0			
34	48.00	29.4	29.4	0			
35	52.00	29.4	38.4	-9	9		9
36	50.00	29.4	29.4	0			
37	48.00	29.4	29.4	0			
38	51.00	29.4	29.4	0			
39	48.00	29.4	38.4	-9	9		9
40	48.00	43.4	43.4	0			
41	51.00	29.4	29.4	0			
42	79.00	29.4	38.4	-9	9		9
43	48.00	38.4	38.4	0			
44	53.00	29.4	29.4	0			
45	84.00	29.4	29.4	0			
46	102.00	29.4	38.4	-9	9		9
47	57.00	29.4	29.4	0			
48	102.00	29.4	29.4	0			
49	89.00	29.4	29.4	0			
				Σ =	153	0	153

Fuente: Elaboración propia

b) Hipótesis estadística

Hipótesis nula (Ho):

"El uso de método de algoritmo genético NO influye significativamente en el diseño de redes de distribución en sistemas de abastecimiento de agua en la localidad de Callqui grande –Huancavelica."

Hipótesis alterna - Hipótesis de la investigación (H1):

"El uso de método de algoritmo genético influye significativamente en el diseño de redes de distribución en sistemas de abastecimiento de agua en la localidad de Callqui grande –Huancavelica."

c) Nivel de significancia

Para la presente investigación se tomó un riesgo de α = 5% = 0.05 (o un nivel de confianza de 95%), además utilizamos una distribución normal aproximada de parámetros Z~N(0,1), obteniendo valores para $z_{(p)}$ con el cual se contrastara la Hipótesis.

d) Regla de decisión

Se plantea:

Rechazar H0 y se aceptar H1: si $P\ valor \leq \alpha = 0.05$

Rechazar H1 y se aceptar Ho: si $P\ valor \geq \alpha = 0.05$

e) Cálculo del estadístico de prueba.

Tabla 182: resultados del análisis estadístico WILCOXON

N. Diferencia (N)	17
suma de rangos W+	0
E[W+]	76.5
Var[W+]	21.124
Zp	-3.62
Sig. Asintot. Bilateral (P valor)	**0.001**
α=5%=	**0.05**

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, el estadístico de prueba es P valor = 0.001

f) Decisión estadística:

Puesto que (P valor) es menor que el valor $\alpha = 0.05$ ósea (0.001<0.05) en consecuencia, se rechaza la Hipótesis nula (Ho) y se acepta la Hipótesis alterna (Hi).

g) Conclusión estadística:

De lo analizado concluimos que el uso de método de algoritmo genético influye significativamente en el diseño de redes de distribución en sistemas de abastecimiento de agua en la localidad de Callqui grande –Huancavelica.

h) Conclusión técnica:

Del análisis con la metodología de los algoritmos genéticos para el diseño optimizado de la red de distribución obtuvimos resultados aceptables y una ventaja en la facilidad de convergencia para obtener diámetros optimizados que conlleva a un menor costo, además los datos de ingreso fueron propios de la topografía y condiciones de la red sumado de los diámetros comerciales que se usa con su respectivo costo.

Llegando a la conclusión de que la metodología empleada influye favorablemente en el diseño de la red de distribución, tanto en la obtención de diámetro como en la presión para converger y consecuentemente menor tiempo horas-hombre de trabajo.

4.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.3.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL DISEÑO UTILIZANDO EL MÉTODO DE HARDY CROSS

Para diseño de la red de distribución de la localidad de Callqui Grande utilizando Hardy Cross, se tomó como base de análisis los datos recolectado en campo tales como la topografía, aforo del caudal en captación, dato de población actual y otros que se consideró según requerimientos en el proceso de cálculo.

Del proceso de cálculo se observó dos etapas a considerar, una de ellas es el análisis y calculo con las condiciones propias de lo observado y recolectado en campo y la otra parte es la suposición de valores tales como el diámetro y la presión en cada nodo, todo esto para completar los datos requeridos para el cálculo con la metodología de Hardy Cross.

Al finalizar el cálculo se obtuvo resultados de diámetro y presión que cumplen relativamente los requerimientos de la normativa RNE 0.S-050, el mismo que nos indica cuando un diseño de red de distribución de agua es aceptable, finalmente obteniendo los siguientes:

Tabla 183: resultados del cálculo Hardy Cross

TUBERIA	L (m)	D (mm)	COSTO	TOTAL
1	100.00	67.8	105.90	10590.00
2	18.00	29.4	24.50	441.00
3	57.00	38.4	36.90	2103.30
4	51.00	29.4	24.50	1249.50
5	52.00	38.4	36.90	1918.80
6	49.00	29.4	24.50	1200.50
7	50.00	38.4	36.90	1845.00
8	48.00	29.4	24.50	1176.00
9	52.00	29.4	24.50	1274.00
10	47.00	38.4	36.90	1734.30
11	48.00	29.4	24.50	1176.00
12	52.00	38.4	36.90	1918.80
13	48.00	38.4	36.90	1771.20
14	49.00	29.4	24.50	1200.50
15	48.00	38.4	36.90	1771.20
16	50.00	29.4	24.50	1225.00
17	51.00	38.4	36.90	1881.90
18	53.00	29.4	24.50	1298.50
19	50.00	29.4	24.50	1225.00
20	50.00	29.4	24.50	1225.00
21	66.00	38.4	36.90	2435.40
22	50.00	38.4	36.90	1845.00
23	48.00	29.4	24.50	1176.00
24	70.00	29.4	24.50	1715.00
25	49.00	29.4	24.50	1200.50
26	52.00	38.4	36.90	1918.80
27	48.00	29.4	24.50	1176.00
28	50.00	38.4	36.90	1845.00
29	49.00	43.4	55.90	2739.10
30	52.00	38.4	36.90	1918.80
31	48.00	38.4	36.90	1771.20
32	48.00	29.4	24.50	1176.00
33	74.00	29.4	24.50	1813.00
34	48.00	29.4	24.50	1176.00
35	52.00	38.4	36.90	1918.80
36	50.00	29.4	24.50	1225.00
37	48.00	29.4	24.50	1176.00
38	51.00	29.4	24.50	1249.50
39	48.00	43.4	55.90	2683.20
40	48.00	55.4	89.90	4315.20
41	51.00	29.4	24.50	1249.50
42	79.00	38.4	36.90	2915.10
43	48.00	29.4	24.50	1176.00
44	53.00	38.4	36.90	1955.70
45	84.00	29.4	24.50	2058.00
46	102.00	55.4	89.90	9169.80
47	57.00	38.4	36.90	2103.30
48	102.00	38.4	36.90	3763.80
49	89.00	38.4	36.90	3284.10
			Σ =	102374.3

Fuente: Elaboración propia

Cabe señalar que el proceso de cálculo se hace tedioso a la hora de asumir los diámetros y presiones en cada nodo, ya que para corregir las variaciones de la ecuación de continuidad en cada nodo se tiene que realizar muchos ciclos iterativos hasta que esta tienda a cero y luego recién evaluar las condiciones de cumplimiento de presiones y velocidad según Norma. y con este resultado evaluar si volveremos a cambiar los valores supuestos, esto hace que se haga más tedioso obtener un diseño óptimo.

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

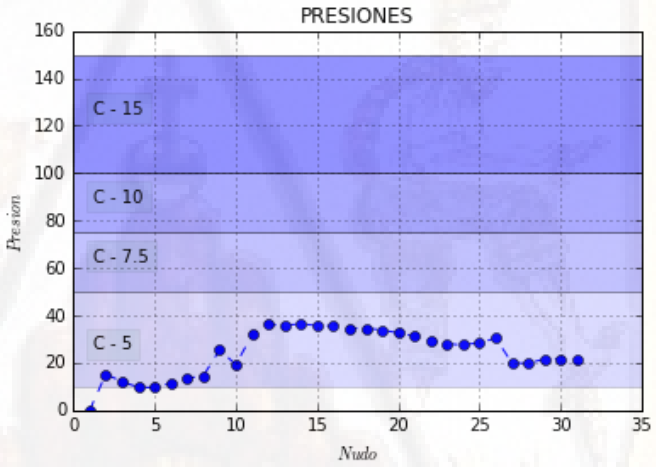


Figura 45: Presiones en cada nodo
Fuente: resultado grafico en Python.

Con respecto a las velocidades podemos decir que las condiciones minimasa y máximas que tiene que cumplir nuestra red de agua, no fueron alcanzados en su totalidad, por lo que según consulta a expertos se debería a la cantidad de población que cuenta la localidad de Callqui Grande ya que es una característica propia de una zona rural, en tanto para la presente investigación los valores de velocidad tratamos que sea los más lejano a cero para evitar efectos de sedimentación.

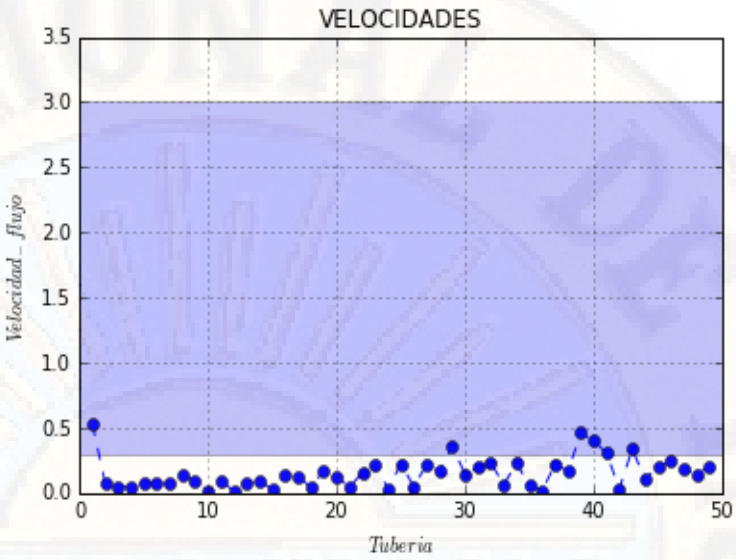


Figura 46: Velocidades en cada tubería

Fuente: resultado grafico en Python.

4.3.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL DISEÑO UTILIZANDO EL MÉTODO DE GRADIENTE HIDRAULICO

Para diseño por el método de Gradiente Hidráulico, utilizamos como datos de entrada las condiciones propias como la topografía, aforo del caudal en captación, dato de población actual y otros que se consideró según requerimientos en el proceso de cálculo.

En consecuencia, para realizar el diseño con la metodología planteada necesitamos un dato adicional como es el DIAMETRO, valor que asumiremos para obtener los primeros resultados con los que posteriormente iremos ajustando hasta obtener valores aceptables con los que cumplan las condiciones de mínimas y máximas de presión y velocidad según Normativa, del ciclo iterativo obtenemos los siguientes:

Tabla 184 : resultados del cálculo Gradiente Hidráulico

TUBERIA	L (m)	D (mm)	COSTO	TOTAL
1	100.00	55.4	89.90	8990.00
2	18.00	38.4	36.90	664.20
3	57.00	38.4	36.90	2103.30
4	51.00	38.4	36.90	1881.90
5	52.00	38.4	36.90	1918.80
6	49.00	38.4	36.90	1808.10
7	50.00	38.4	36.90	1845.00
8	48.00	38.4	36.90	1771.20
9	52.00	38.4	36.90	1918.80
10	47.00	38.4	36.90	1734.30
11	48.00	38.4	36.90	1771.20
12	52.00	38.4	36.90	1918.80
13	48.00	38.4	36.90	1771.20
14	49.00	38.4	36.90	1808.10
15	48.00	38.4	36.90	1771.20
16	50.00	38.4	36.90	1845.00
17	51.00	38.4	36.90	1881.90
18	53.00	38.4	36.90	1955.70
19	50.00	38.4	36.90	1845.00
20	50.00	38.4	36.90	1845.00
21	66.00	38.4	36.90	2435.40
22	50.00	38.4	36.90	1845.00
23	48.00	38.4	36.90	1771.20
24	70.00	38.4	36.90	2583.00
25	49.00	38.4	36.90	1808.10
26	52.00	38.4	36.90	1918.80
27	48.00	38.4	36.90	1771.20
28	50.00	38.4	36.90	1845.00
29	49.00	38.4	36.90	1808.10
30	52.00	29.4	24.50	1274.00
31	48.00	38.4	36.90	1771.20
32	48.00	38.4	36.90	1771.20
33	74.00	38.4	36.90	2730.60
34	48.00	38.4	36.90	1771.20
35	52.00	38.4	36.90	1918.80
36	50.00	38.4	36.90	1845.00
37	48.00	38.4	36.90	1771.20
38	51.00	38.4	36.90	1881.90
39	48.00	38.4	36.90	1771.20
40	48.00	38.4	36.90	1771.20
41	51.00	38.4	36.90	1881.90
42	79.00	38.4	36.90	2915.10
43	48.00	38.4	36.90	1771.20
44	53.00	29.4	24.50	1298.50
45	84.00	38.4	36.90	3099.60
46	102.00	38.4	36.90	3763.80
47	57.00	29.4	24.50	1396.50
48	102.00	29.4	24.50	2499.00
49	89.00	29.4	24.50	2180.50
			Σ =	**101918.10**

Fuente: Elaboración propia

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

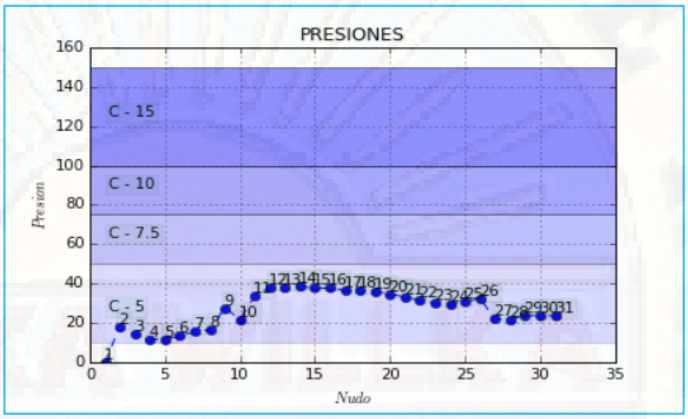


Figura 47: Presiones en cada nodo
Fuente: resultado grafico en Python.

Con respecto a las velocidades podemos decir que las condiciones minimasa y máximas que tiene que cumplir nuestra red de agua, no fueron alcanzados en su totalidad, por lo que según consulta a expertos se debería a la cantidad de población que cuenta la localidad de Callqui Grande ya que es una característica propia de una zona rural, en tanto para la presente investigación los valores de velocidad tratamos que sea los más lejano a cero para evitar efectos de sedimentación.

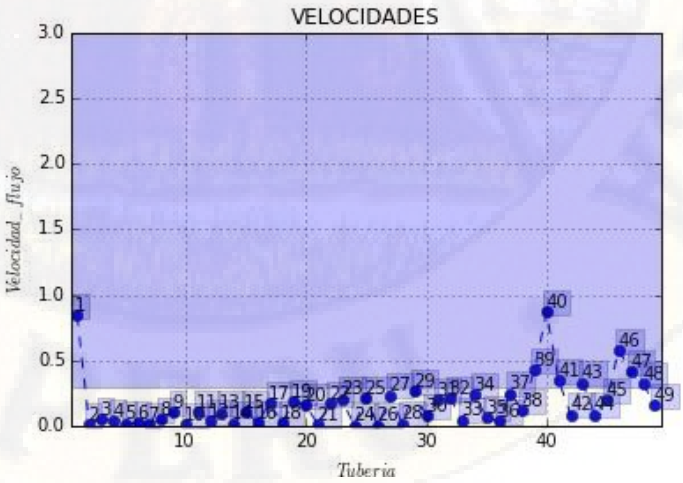


Figura 48: Velocidades en cada tubería
Fuente: resultado grafico en Python.

4.3.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL DISEÑO UTILIZANDO EL MÉTODO DEL ALGORITMO GENÉTICO

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

Para el diseño con la metodología planteada simplemente se esperó a obtener los resultados, ya que esta no requiere asumir valores como los otros métodos evaluados, solamente ingresar los rangos de valores mínimas y máximas de presión y velocidad según Normativa, obteniendo como resultados los siguientes:

Tabla 185 : resultados del cálculo Inteligencia Artificial

TUBERIA	L (m)	D (mm)	COSTO	TOTAL
1	100.00	55.4	89.90	8990.00
2	18.00	29.4	24.50	441.00
3	57.00	29.4	24.50	1396.50
4	51.00	29.4	24.50	1249.50
5	52.00	29.4	24.50	1274.00
6	49.00	38.4	36.90	1808.10
7	50.00	29.4	24.50	1225.00
8	48.00	29.4	24.50	1176.00
9	52.00	29.4	24.50	1274.00
10	47.00	29.4	24.50	1151.50
11	48.00	29.4	24.50	1176.00
12	52.00	29.4	24.50	1274.00
13	48.00	29.4	24.50	1176.00
14	49.00	29.4	24.50	1200.50
15	48.00	29.4	24.50	1176.00
16	50.00	29.4	24.50	1225.00
17	51.00	29.4	24.50	1249.50
18	53.00	29.4	24.50	1298.50
19	50.00	29.4	24.50	1225.00
20	50.00	29.4	24.50	1225.00
21	66.00	29.4	24.50	1617.00
22	50.00	29.4	24.50	1225.00
23	48.00	29.4	24.50	1176.00
24	70.00	29.4	24.50	1715.00
25	49.00	29.4	24.50	1200.50
26	52.00	29.4	24.50	1274.00
27	48.00	29.4	24.50	1176.00
28	50.00	29.4	24.50	1225.00
29	49.00	38.4	36.90	1808.10
30	52.00	29.4	24.50	1274.00
31	48.00	29.4	24.50	1176.00
32	48.00	38.4	36.90	1771.20
33	74.00	38.4	36.90	2730.60
34	48.00	29.4	24.50	1176.00
35	52.00	29.4	24.50	1274.00
36	50.00	29.4	24.50	1225.00
37	48.00	29.4	24.50	1176.00
38	51.00	29.4	24.50	1249.50
39	48.00	29.4	24.50	1176.00
40	48.00	43.4	55.90	2683.20
41	51.00	29.4	24.50	1249.50
42	79.00	29.4	24.50	1935.50
43	48.00	38.4	36.90	1771.20
44	53.00	29.4	24.50	1298.50
45	84.00	29.4	24.50	2058.00
46	102.00	29.4	24.50	2499.00
47	57.00	29.4	24.50	1396.50
48	102.00	29.4	24.50	2499.00
49	89.00	29.4	24.50	2180.50
			Σ =	**78426.90**

Fuente: Elaboración propia

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

Así también de las velocidades podemos decir que las condiciones minimasa y máximas que tiene que cumplir nuestra red de agua, no fueron alcanzados en su totalidad, por lo que según consulta a expertos se debería a la cantidad de población que cuenta la localidad de Callqui Grande ya que es una característica propia de una zona rural, en tanto para la presente investigación los valores de velocidad tratamos que sea los más lejano a cero para evitar efectos de sedimentación.

CONCLUSIONES

1. Para el trabajo de investigación de diseño del sistema de abastecimiento de agua en la localidad de Callqui Grande - Huancavelica se utilizó el lenguaje de programación Python, el software de AutoCAD civil 3D y Wáter GEMS. En este trabajo se definen los tipos de redes, sus componentes y las funciones principales que éstas desarrollan. Una vez entendida la problemática, se explica el modelo matemático tradicional (METODOS RACIONALES) e inteligencia artificial (ALGORITMO GENÉTICO) que incluye las ecuaciones de conservación de masa y energía, propias de las redes hidráulicas. Las características del modelo hacen de él un problema no lineal mixto y entero. Esto se debe a la naturaleza discreta de los diámetros, ya que éstos deben ser escogidos de entre los disponibles en una gama comercial. Y a la no linealidad de las ecuaciones de conservación de masa y energía.

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

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

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

4. Con el método de algoritmo genético se observó un mejor desempeño que los métodos racionales complejos utilizados, los resultados indicaron que la metodología de los algoritmos genéticos influye significativamente en el diseño de redes de distribución de agua además la facilidad de converger para obtener diámetros optimizados teniendo un mayor porcentaje de confiabilidad, precisión y menor probabilidad de fallas que estimó 2737.0 ml de tubería de PVC en 49 tramos y con un costo total de S/. 78,426.90. Se evidencia notables mejoras respecto a los otros dos métodos racionales de diseño que se limitan a verificar condiciones hidráulicas y no pretenden optimizar el diseño de la red de agua potable.

RECOMENDACIONES

1. Evaluar el uso de metodologías que nos proporcionen mejores resultados en el diseño de la red de distribución, mayor precisión y menor tiempo invertido en el análisis. Esto nos llevara a optimizar recursos tanto en la etapa de estudio como ejecución.
2. Se recomienda continuar con investigaciones sobre el tema de redes de distribución de agua, ya que en el proceso de realizar la presente tesis se encontró obstáculos principalmente en el cumplimiento de Normativas aplicables, al ser una zana rural de poca población las condiciones mínimas y máximas de velocidad que deben cumplir muchas veces se ve afectado.
3. Se recomienda a la comunidad científica seguir investigando sobre metodologías nuevas y mejores para el diseño de redes de distribución, ya que es muy importante obtener métodos de cálculo que nos aproximen mejor a un buen comportamiento hidráulico de una red en funcionamiento, además de que el servicio de abastecimiento de agua es unos de las que mayor brecha tiene a nivel del Perú.
4. Se recomienda la incorporación de nuevas alternativas de análisis y diseño a la norma OS. 050 en redes de distribución de agua potable en zonas rurales como: en tasa de crecimiento, en algunas zonas rurales la tasa de crecimiento es negativo este dato no favorece para el diseño de agua potable para una población futura.
5. Se recomienda para los futuros trabajos que la variación de las velocidades mínimas según normativa no sea considerada como límite para la función de confiabilidad. Porque el diámetro asumido es inferior a 50 mm en muchas ocasiones no cumplirá con las velocidades mínimas requeridas debido al caudal que circula, sin embargo tenemos que cumplir con el diámetro mínimo de 1” (25 mm) en redes cerradas.

REFERENCIAS BIBILOGRAFICAS

Saldarriaga J. (2001). “Hidráulica de tuberías”. Colombia. Editorial Emma Ariza H.

Cesar E. (1994). “Abastecimiento de agua potable”. México. Universidad Nacional Autónoma de México.

Rodriguez P. (2001). “Abastecimiento de agua”. México. Instituto Tecnológico de Oaxaca.

Arocha S. (1997). “Abastecimiento de agua”. Venezuela. Universidad Central de Venezuela.

Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2006). “Reglamento Nacional de Edificaciones”. Lima, Perú.

Shanel, (2017), “Propuesta de optimización del servicio de la red de distribución de agua potable -RDAP- del Municipio de Madrid, Cundinamarca”, Colombia: Universidad Católica de Colombia

Villacís, (2014), “Análisis comparativo técnico y económico de métodos de cálculo y diseño de redes de agua potable”, Ecuador: Universidad Central del Ecuador.

Romero, (2013), “problemas en redes de abastecimiento de agua potable”, México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Mora, (2012), “Diseño de redes de distribución de agua mediante algoritmos evolutivos análisis de eficiencia”, España: Universidad Politécnica de Valencia.

López, (2003), “Diseño de redes de distribución de agua potable de mínimo costo con algoritmo genético”, Colombia: Universidad de los Andes.

Valle, (2014), “Optimización del diseño de redes de distribución de agua potable, usando algoritmos genéticos con tres funciones objetivo. Caso: Viñani-Tacna”, Perú: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.

Anchapuri, (2018), “Determinación del diámetro optimo en redes de distribución de agua potable por el método Hardy Cross en el Centro Poblado de Lampa Putuma Pomata-Chucuito-Puno”, Perú: Universidad Nacional del Altiplano.

Villegas, (2017), “Metodología computarizada de dimensionamiento de redes de agua potable”, Perú: Universidad de Piura.

Dávila, (2017), “Relación entre redes cerradas y el sistema de abastecimiento de agua potable de la localidad de Caja – Huancavelica”, Perú: Universidad Peruana Los Andes.

Huayra y Layme, (2018), “Comparación de atributos del softwar´s Python con Watercad –Sewercad, en el diseño de suministro de agua potable en el Centro Poblado de Silva -Acoria - Huancavelica”, Perú: Universidad Nacional de Huancavelica.

ANEXOS

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: "DISEÑO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN EN SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA UTILIZANDO MÉTODOS RACIONALES COMPLEJOS E INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA LOCALIDA DE CALLQUI GRANDE – HUANCAVELICA"

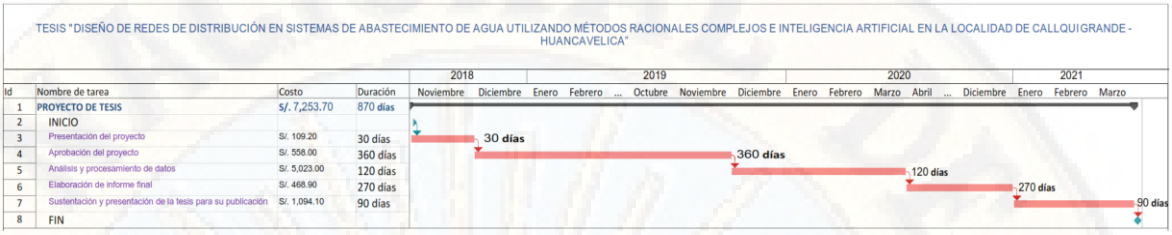
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	MARCO TEORICO	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA
Problema general ¿Cuál será la influencia de usar métodos racionales complejos e inteligencia artificial para diseño de redes de distribución en sistemas de abastecimiento de agua en la localidad de Callqui grande - Huancavelica? **Problemas específicos:** **a.** ¿Cuál será la influencia de usar método de Hardy Cross en el diseño de redes de distribución en sistemas de abastecimiento de agua en la localidad de Callqui grande - Huancavelica? **b.** ¿Cuál será la influencia de usar	**Objetivo general** Determinar la influencia de usar métodos racionales complejos e inteligencia artificial para diseño de redes de distribución en sistemas de abastecimiento de agua en la localidad de Callqui grande - Huancavelica. **Objetivos específicos:** **a.** Determinar la influencia de usar método de Hardy Cross en el diseño de redes de distribución en sistemas de abastecimiento de agua en la localidad de Callqui grande - Huancavelica. **b.** Determinar la influencia de usar	**Antecedentes** **A. Internacional** Natareno (2013). "Inteligencia artificial aplicada al tránsito en la Cuidad de Guatemala utilizando redes neuronales". **B. Nacional** TAPARA (2017). "Optimización de redes pluviales de desagüe y alcantarillado del distrito de paucarpata, con métodos genéticos" REQUENA (2018). "tránsito de avenidas en el cauce natural del rio Ichu mediante redes neuronales	**Hipótesis general** El uso de métodos racionales complejos e inteligencia artificial influye significativamente en el diseño de redes de distribución en sistemas de abastecimiento de agua en la localidad de Callqui grande -Huancavelica. **Hipótesis específicos:** **a.** El uso de método de Hardy Cross influye significativamente en el diseño de redes de distribución en sistemas de abastecimiento de agua en la localidad de Callqui grande – Huancavelica.	**Identificación de Variables:** **a. Variable 1:** Diseño de Redes de distribución en sistemas de abastecimiento de agua. **Dimensiones:** **1.** Diámetro 2. Velocidad 3. Presión. **b. Variable 2:** Utilización de Métodos racionales complejos e Inteligencia artificial **Dimensiones**	**Tipo :** Aplicada. **Nivel :** Explicativo. **Diseño:** No Experimental. GC: O1…… O2 DONDE: GC: Grupo control O1 y O2: Pre test **Población y Muestra:** **Población** La red de distribución de agua de la localidad de Callqui Grande; Conformado por los componentes del sistema de agua potable tales como captación, línea de conducción, reservorio y la red de distribución de agua.

método de gradiente hidráulico en el diseño de redes de distribución en sistemas de abastecimiento de agua en la localidad de Callqui grande - Huancavelica? **c.** ¿Cuál será la influencia de usar método de algoritmo genético en el diseño de redes de distribución en sistemas de abastecimiento de agua en la localidad de Callqui grande - Huancavelica?	método de gradiente hidráulico en el diseño de redes de distribución en sistemas de abastecimiento de agua en la localidad de Callqui grande - Huancavelica. **c.** Determinar la influencia de usar método de algoritmo genético en el diseño de redes de distribución en sistemas de abastecimiento de agua en la localidad de Callqui grande - Huancavelica.	artificiales " * Entre otros autores **Marco Teórico Referencial** - Sistema de abastecimiento de agua. - Análisis de redes de tuberías. - Conexión predial.	**b.** El uso de método de Gradiente hidráulico influye significativamente en el diseño de redes de distribución en sistemas de abastecimiento de agua en la localidad de Callqui grande – Huancavelica. **c.** El uso de método de algoritmo genético influye significativamente en la optimización de redes de distribución en sistemas de abastecimiento de agua de Callqui grande - Huancavelica.	1. Hardy Cross 2. Gradiente hidráulico 3. Algoritmo genético	**Muestra** Conformada por red de distribución de agua de la localidad de Callqui Grande; que parte de un reservorio de 12 m3 y se distribuyen con 49 tramos de tubería en una longitud total de 2737.00 ml **Técnicas e Instrumentos:** **Técnicas:** Observación. Medición. Descripción. **Instrumentos:** Instrumentos de observación. Instrumentos de medición. Instrumentos de descripción. **Técnicas de Procesamiento de datos** Estadística inferencial. Análisis de datos.

AUTORES: Bach. Soto Gabriel, Jhoans Melchor

: Bach. Jurado Pari, Víctor

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES



PRESUPUESTO

TESIS "DISEÑO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN EN SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA UTILIZANDO MÉTODOS RACIONALES COMPLEJOS E INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA LOCALIDAD DE CALLQUI GRANDE - HUANCAVELICA"

			PRESUPUESTO									
N°	Nombre de tarea	Costo total	Noviembre 2018	Diciembre 2018	Enero-octubre 2019	Noviembre 2019	Diciembre 2019	Enero 2020	Febrero 2020	Marzo 2020	Abril - Diciembre 2020	Enero - Marzo 2021
	PROYECTO DE TESIS	**S/. 7,253.20**	**S/. 109.20**	**S/. 147.30**	**S/. 310.70**	**S/. 65.00**	**S/. 537.30**	**S/. 1,506.90**	**S/. 1,506.90**	**S/. 1,506.90**	**S/. 442.52**	**S/. 1,120.48**
1	Presentación del proyecto	S/. 109.20	S/. 109.20									
2	Aprobación del proyecto	S/. 558.00		S/. 147.30	S/. 310.70	S/. 65.00	S/. 35.00					
3	Análisis y procesamiento de datos	S/. 5,023.00					S/. 502.30	S/. 1,506.90	S/. 1,506.90	S/. 1,506.90		
4	Elaboración de informe final	S/. 468.90									S/. 442.52	S/. 26.38
5	Sustentación y presentación de la tesis para su publicación	S/. 1,094.10										S/. 1,094.10

FINANCIAMIENTO

Los recursos fueron financiados enteramente por los tesistas:

Bachiller: SOTO GABRIEL, Jhoans Melchor

Bachiller: JURADO PARI, Victor

SIGLAS Y ABREVIATURAS

L:	Longitud
C:	Coeficiente de Hazen Williams
D:	Diámetro
KM:	Kilometro
P:	Presión
M.C.A:	Metro por columna de agua
V:	Velocidad
KM2:	Kilómetro cuadrado
M:	Metro
M.L:	Metro lineal
M2	Metro cuadrado
M3:	Metro cubico
TUB:	Tubería
PVC:	Policloruro de vinilo
GH:	Gradiente Hidráulico
AG:	Algoritmo Genético
Pf.	Población Futura
RVS:	Reservorio
Dw:	Coeficiente de Darcy Weisbach
PG:	Planteamiento General
NL:	Numero de Lamina
JR:	Jirón
AV.:	Avenida.

PANEL FOTOGRÁFICO DE RECOPILACION DE INFORMACIÓN

Imagen 01: Captación n°1 de tipo ladera.

Imagen 02: Captación n°2 de tipo ladera.

Imagen 03: Ubicación del BM1 en captación.

Imagen 04: Aforamiento en captación para caudal de diseño.

Imagen 05: Vista de cámara de cloración por goteo.

Imagen 06: Medición de reservorio.

Imagen 07: Aforamiento de caudal de reboce en reservorio.

Imagen 08: calles principales de Callqui Grande donde se realizará trazos para línea de distribución.

Imagen 09: Avenida principal de Callqui Grande .

Imagen 10: Estacionamiento para levantamiento topográfico a exteriores De la plaza principal

Imagen 11: Levantamiento topográfico de para diseño de redes de distribución.

Imagen 12: Ubicación de los BMs para trazado de redes de distribución.

Imagen 13: Levantamiento topográfico para diseño de redes de distribución

Imagen 14: Levantamiento topográfico para diseño de redes de distribución.

CÓDIGOS UTILIZADOS EN LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN PYTHON

- **CODIGO PARA EL METODO DE HARDY CROSS**

```
# coding: utf-8
# ## $$&METODO HARDY-CROSS$$
# REFERENCIAS:
# 1. SIMON AROCHA PAG. 61; CROSS CON CORRECION DE  GASTOS (AMPLIO)
# 2. JUAN SALDARRIAGA PAG. 309; METODO HARDYC CROSS CON CORRECION DE CAUDALES Y CABEZAS
# 3. ARTURO ROCHA PAG. 229; METODO CROSS CON CORRECCION DE CAUDAL
# 4. ENRIQUE CESAR VALDEZ PAG.239 ; METODO CROSS CON CORRECION DE GASTOS Y CARGAS
# 5. VIERENDEL PAG 47; METODO DE CROSS CON CAUDALES ASUMIDOS Y METODO CON CARGAS ASUMIDA
# Los métodos de análisis de redes de tuberías utilizan conjuntos de ecuaciones de cabeza y de caudal para solucionar la red. en todos los casos se conocen los  diámetros y rugosidades de la tuberías, lo cual implica que en realidad se trata de procesos de comprobación de diseño y no de diseños en si. sin embargo, en programas de diseño, con función objetivo de tipo optimización de costos, estos métodos de análisis deben conformar alguna de las subrutinas del programa. (Saldarriaga, pag. 309)
# ### IMPORTANDO LIBRERIAS
# In[1]:
import openpyxl
from  numpy import *
import numpy as np
from pandas import *
import pandas as pd
from math import *
```

```
import matplotlib.pyplot as plt
get_ipython().magic('matplotlib inline')
# ### INGRESO DE DATOS
# In[2]:
# matriz de nodos y presion
tuberias=np.genfromtxt("tuberias.txt")
nodos=np.genfromtxt("nodos.txt")
# In[3]:
pd.DataFrame(tuberias,columns = ["nodo i","nodo j","long.","D","km","ks"])
# In[4]:
pd.DataFrame(nodos,columns = ["Cotas","Cabezas","Qdem"])
# ### PROCESO
# In[5]:
resultado=np.array(tuberias[:,0:4])
ciclo=0
# In[6]:
def conectividad(nodo):
    conect=[]
    for i in range(len(tuberias)):
        if tuberias[i,0]==nodo:
            conect.append(tuberias[i,:])
        if tuberias[i,1]==nodo:
            conect.append(tuberias[i,:])
    return (conect)
# In[23]:
g=9.81 #m/s2
ks=0.0000015 # metros  ,rugosidad absoluta PVC
v=1.14*10**(-6) #M2/S  T=15 C
ciclo=ciclo+1
print("")
print(".............................CICLO ITERATIVO N. ",ciclo,".....................for i in
range(len(nodos)):
```

```
    i=i+2
    #PARA LA SUMATORIA
    SUMQ=[]
    SUMQhf=[]
    tub=np.array(conectividad(i))

    print ('-----','NODO',i,'-----')
    for a in range(len(tub)):

      a=int(a)
      # variacion de presion en nodos
      if tub[a,0]==i:
         Hi=nodos[int(tub[a,0]-1),1]+nodos[int(tub[a,0]-1),0]
         Hj=nodos[int(tub[a,1]-1),1]+nodos[int(tub[a,1]-1),0]
      else:
         Hj=nodos[int(tub[a,0]-1),1]+nodos[int(tub[a,0]-1),0]
         Hi=nodos[int(tub[a,1]-1),1]+nodos[int(tub[a,1]-1),0]

      #CALCULO DE CAUDAL
      L=tub[a,2]
      D=tub[a,3]
      Km=tub[a,4]
      Z2=nodos[int(tub[a,1]-1),0]

      #ITERACION PARA CALCULAR VELOCIDAD (V)
      tol=1e-5
      V, VV = 1., 2.
      con=0
      while (abs(V-VV)>= tol):
         VV=V
         V=(-2*sqrt(2*g*D*(abs(Hi-Hj)-
Km*(V**2)/(2*g)))/sqrt(L))*log10((ks/(3.7*D))+(
```

```
        con=con+1

        if (con==40):
            break

    hf=abs(Hi-Hj)-Km*(V**2)/(2*g)
    Q=V*(pi*(D**2)/4)*(-(Hi-Hj)/abs(Hi-Hj))
    SUMQ.append(Q)
    Qhf=abs(Q)/hf
    SUMQhf.append(Qhf)
    print(tub[a,0],tub[a,1],Hi,Hj,hf,Q,Qhf)

    #cuadro de resultados
    for ii in range(len(resultado)):
        if resultado[ii,0]==tub[a,0] and resultado[ii,1]==tub[a,1]:
            resultado[ii,2]=V
            resultado[ii,3]=Q
        else:
            pas=1

Qs=-nodos[i-1,2] #caudal de demanda
ST_Qhf=sum(SUMQhf)
ST_Q=sum(SUMQ)+Qs
VAR_H=2*ST_Q/ST_Qhf

nodos[i-1,1]=nodos[i-1,1]+VAR_H  #correccion del nodo evaluado

print("Qs =",Qs)
print("SUMATORIA Q/hf =",ST_Qhf)
print("SUMATORIA Q =",ST_Q)
print("CORRECCION DE H =",VAR_H)
print("")
```

```
    print("")
    if (i==len(nodos)):
        break
print ("")
print ("PRESIONES CORREGIDOS CICLO ITERATIVO",ciclo )
pd.DataFrame(nodos,columns = ["Cotas","Cabezas","Qdem"])

# ### RESULTADOS
# $$ PRESIONES $$
# In[24]:
pd.DataFrame(nodos[:,1],columns = ["Presion"])
# In[36]:
Hfinal= nodos[:,1]
n=len(nodos)
print("")
print("* VERIFICANDO PRESIONES")
print("- condiciones segun reglamento :")
print("         Pmin = 10 m")
print("         Pmax = 50 m")
print("- Resumen de presiones en cada nodo:")
def pre(ingrese):
    """valida la presion segun reglamento"""
    if ingrese<50:
        if ingrese>10:
            a="OK"
        else:
            a="SUBIR DIAMETRO ",i
    else:
        a="BAJAR DIAMETRO ",i+1
    return a
for i in range(len(Hfinal)):
    print("      [ %0.3f ]"%Hfinal[i], " ...",pre(Hfinal[i]))
```

```
print("- Graficamente :")
fig, axes =plt.subplots()
lnp=arange(1,n+1,1)
ltp=Hfinal
plt.plot( lnp, ltp, 'bo--',label='$Presiones$')
plt.grid(True)
plt.axhspan(0,10 , color = 'w')
plt.axhspan(10,50 , alpha =0.25)
plt.axhspan(50,60 ,color = 'w' )
plt.title("PRESIONES")
plt.xlabel("$Nudos$")
plt.ylabel("$Presion$")
plt.legend()
# $$ VELOCIDADES $$
# In[37]:
vel=resultado[:,2]
t_v=resultado[:,0:3]
pd.DataFrame(t_v,columns = ["nodo i","nodo j","Velocidad"])
# In[38]:
t=tuberias.shape[0]
veld=matrix(vel).T
# In[42]:
vel=np.array(vel)
veld=matrix(vel).T
print("=======================================")
print("VERIFICANDO VELOCIDADES Y PRESIONES SEGUN
REGLAMENTO")
print("")
print("* VERIFICANDO VELOCIDADES")
print("- condiciones segun reglamento :")
print("        Vmin = 0.3 m/s")
print("        Vmax = 3 m/s")
```

```
print("- Resumen de velocidad en cada tramo:")
def valida(ingrese):
    """valida la velocidad segun reglamento"""
    if ingrese<3:
        if ingrese>0.3:            #0.3 PARA ZONA RURAL
            a="OK"
        else:
            a="BAJAR DIAMETRO"
    else:
        a="SUBIR DIAMETRO"
    return (a)
for i in range(len(veld)):
    print("          tuberia:",i+1,";  Vel=[ %0.3f ]"%veld[i], " ...",valida(veld[i]))
print("- Graficamente :")
fig, axes =plt.subplots()
t=tuberias.shape[0]
ltt=arange(1, t+1, 1)
plt.plot( ltt, vel, 'ro--')
plt.grid(True)
plt.axhspan(0.3,3 ,alpha =0.25 )
plt.axhspan(3,4 ,color = 'w' )
plt.title("$Grafica-de-velocidad$")
plt.xlabel("$Tramos$")
plt.ylabel("$Velocidad$")
# $$ CAUDALES $$
# In[43]:
t_Q=[]
for i in range(len(resultado)):
    a=resultado[i,0]
    b=resultado[i,1]
    p1=nodos[int(a-1),0]+nodos[int(a-1),1]
    p2=nodos[int(b-1),0]+nodos[int(b-1),1]
```

```
    c=abs(resultado[i,3])*1000*((p1-p2)/abs(p1-p2))
    t_Q.append([a,b,c])

pd.DataFrame(t_Q,columns = ["nodo i","nodo j","Caudal (lps)"])
# by; Los tesistas Soto y Jurado
```

- **CODIGO PARA EL METODO DE GRADIENTE HIDRAULICO**

```
# coding: utf-8
# In[1]:
# IMPORTANDO LIBRERIAS
import numpy as np
from funcBasic import *
from funcAbast import *
import matplotlib.pyplot as plt


print("""=======================================
|    GRADIENTE HIDRAULICO V 3.0     |
| LENGUAJE: PYTHON 2.X              |
=======================================
""")
# # 1. INGRESO DE DATOS


# In[2]:
act_dat = np.loadtxt('in_datos_generales2.txt')
visc, g, iter_max, presic, q_s = act_dat


print("DATOS GENERALES".ljust(70, "-"))
print("  Viscosid = %.10f   m2/s" % visc)
```

```
print("  gravedad = %.4f   m/s2" % g)
print("  iter_max = %i   (Numero maximo de iteraciones)" % iter_max)
print("  presic   = %.10f   (Presicion)" % presic)
print("  Q_semilla= %.10f  m3/s (Caudal semilla)" % q_s)
print(70*"-")
try:
   var1 = raw_input("Desea modificar los datos iniciales <S/N> : ")
except:
   var1 = "n"

if var1.lower() == "s":
   var1 = 1
   while var1!=0 and var1!=5:
      try:
         visc = input("Ingrese Viscosidad: ")
         g = input("Ingrese Gravedad: ")
         iter_max = input("Ingrese numero de iterac máximas: ")
         presic = input("Ingrese la presicion deseada: ")
         q_s = input("Ingrese la caudal semilla: ")
         var1 = 0
      except:
         print("\nIngrese correctamente los dato:")
         print("\nVuelva a intentarlo")
         var1 += 1
new_dat = "%.10f\n%.4f\n%i\n%.10f\n%.10f" %(visc, g, iter_max, presic, q_s)
new_dat_write = open('in_datos_generales2.txt','w')
new_dat_write.write(new_dat)
new_dat_write.close()
```

```
v_min = 0.3

v_max = 3

m = 2


# In[3]:

# IMPORTANDO DATOS

matr_tub = np.genfromtxt('in_tuberias.txt')  # Importando matriz de tuberías

matr_nud = np.genfromtxt('in_nudos.txt')  # Importando matriz de nudos

matr_nud_c = np.genfromtxt('in_nudos_cpc.txt')  # Importando matriz de nudos



# # 2. CALCULOS

# ## 2.1 VARIABLES PARA EL CALCULO


# In[4]:

num_tub = matr_tub[:,0].size  # Numero de tuberias. 7

num_nud = matr_nud[:,0].size  # Numero de nudos 6

num_nud_c = matr_nud_c.size  # Numero de nudo de cota piezometrica conocida (reservorio) 1

num_nud_d = num_nud - num_nud_c  # Numero de nudo de cota piezometrica desconocida (salida de caudales) 5


lst_tub = range(num_tub)  # Rango de tuberias

lst_nud = range(num_nud)  # Rango de nudos

if num_nud_c == 1:

    lst_nud_c = range(1)

    lst_nud_c[0] = matr_nud_c.astype(int) - 1
```

```
else:
    lst_nud_c = matr_nud_c.astype(int) - 1  # Rango de nudos de CPC
lst_nud_d = complem(lst_nud, lst_nud_c)     # Rango de nudos de CPD


lst_cotas_pt = matr_nud[:,0]  # Lista de cotas topograficas/p en nudos (p'graficar nomas)
D = matr_tub[:,3] / 1000.  # Vector diametros de tuberias
BMB = matr_tub[:, 6:9]  # Matriz de bombas
Ho = np.matrix(matr_nud[lst_nud_c, 0]).T  # Cota piezometrica conocida
q = np.matrix(matr_nud[lst_nud_d, 1]/1000.).T  # Matriz demanda de nudos


print("\n\nRESULTADOS INICIALES:".ljust(70, "-"))
print("Numero de tuberias : %i" %num_tub)
print("Numero de nudo     : %i" %num_nud)
print("Numero de nudos CPC: %i   (reservorios)" %num_nud_c)
print("Numero de nudos CPD: %i" %num_nud_d)
print("Viscosidad         : %.10f" %visc)
print(70*"-")


# ## 2.2 CALCULOS CONSTANTES


# In[5]:
At = np.zeros((num_tub, num_nud))
# MATRIX DE CONECTIVIDAD TOTAL
for i in lst_tub:
    nud_i = matr_tub[i, 0] - 1
    nud_f = matr_tub[i, 1] - 1
    At[i,[nud_i, nud_f]] = -1, 1
```

```
# MATRIZ CONECTIVIDAD A12 - COTA PIEZOMETRICA DESCONOCIDA
A12 = At[:, lst_nud_d]
A21 = A12.T

# MATRIZ TOPOLÓGICA A10 - COTA PIEZOMETRICA CONOCIDA
A10 = At[:, lst_nud_c]

# MATRIZ IDENTIDAD, DIAGONAL
Id = np.matrix(np.identity(num_tub))
Nd = Id * m

print("\n\nRESULTADOS CONSTANTES:".ljust(70, "-"))
print("\nVector cotas piezometricas fijas: Ho")
print(Ho)
print("\nMatriz conectividad total: At")
print(At)
print("\nMatriz conectividad: A12")
print(A12)
print("\nMatriz transpuesta: A21")
print(A21)
print("\nMatriz Topologica: A10")
print(A10)
print("\nMatriz identidad: Id")
print(Id)
print(70*"-")
# ## 2.3 CALCULOS ITERATIVOS
```

```
# In[6]:
# Valores iniciales
Qac = np.ones(num_tub) * q_s   # Semilla de caudales Qac
lst_f = np.zeros(num_tub)           # Lst de factores de fricción de cada tubería
lst_l = matr_tub[:,2]           # Lst de longitudes de cada tubería
lst_km = matr_tub[:,5]          # Lst de perdidas menores de cada tubería
error = 100.              # error inicial
cont = 0.                 # contador inicial
A11 = np.matrix(np.zeros((num_tub, num_tub)))
print("\n\nRESULTADOS ITERACIONES:".ljust(70, "-"))
print ("\nIteracion %i".ljust(70, "-") %cont)
print("\nVector de consumo: Qac")
print(Qac)
print(70*"-")
while cont <= iter_max:
    for i in lst_tub:
        ks = matr_tub[i,4]
        lst_f[i] = friccion2(Qac[i], D[i], ks, visc )[0]
    alp = .08262686 * lst_f * lst_l / D ** 5         # alpha
    bet = 8 * Qac * lst_km / g / np.pi **2 / D **4    # beta
    lmb = np.array(BMB[:,0].T)[0]*Qac**2+np.array(BMB[:,1].T)[0]*Qac+np.array(BMB[:,2].T)[0] # cbm
    dA11 = alp * Qac ** (m-1) + bet + lmb / Qac    # diagonal de A11
    for i in lst_tub:
        A11[i, i] = dA11[i]
    Q = np.matrix(Qac).T
    NdI, A11I = Nd.I, A11.I
```

```
# CALCULANDO CARGAS PIEZOMÉTRICAS
Hnxt=-((A21*NdI*A11I*A12).I)*(A21*NdI*(Q+A11I*A10*Ho)+q-A21*Q)
Qnxt=(Id-NdI)*Q-(NdI*A11I)*(A12*Hnxt+A10*Ho)
Qnxt = np.array(Qnxt.T)[0]
error = Qnxt - Qac
error = np.sqrt(abs(sum(error)))
Qac = abs(Qnxt)
cont += 1

print ("\nIteracion %i".ljust(70, "-") %cont)
print("\nVector de consumo: Qac")
print(Qac)
print("\nCoeficiente alfa: alfa")
print(alp)
print("\nMatriz A11:")
print(A11)
print("\nCargas piezometricas: Hnxt")
print(Hnxt)
print("\nCaudales en tuberias: Qnxt")
print(Qnxt)

lst_vel = Qac*4/np.pi/D**2  # Lista de velocidades en tuberias
lst_hfu = lst_f * 1000. / D * lst_vel ** 2 / 2 / g
lst_hf = lst_hfu * lst_l / 1000.

lst_cotas_p = np.zeros(num_nud)  # List de cotas piezometricas en nudos
lst_cotas_p[lst_nud_c] = Ho
```

```
lst_cotas_p[lst_nud_d] = Hnxt
lst_pres = lst_cotas_p - lst_cotas_pt  # Lista de presiones en nudos


# # 3. RESULTADOS
# ## 3.1 RESULTADOS - TABLAS


# In[73]:
lst_pres_sta = float(max(Ho)) - lst_cotas_pt
lst_nud_tipo = np.zeros(num_nud)
lst_nud_tipo[lst_nud_c] = 1
lst_tub_caso = np.zeros(num_tub)
for i in lst_tub:
    if lst_vel[i] < v_min or lst_vel[i] > v_max:
        lst_tub_caso[i] = 1


resul_nud = np.zeros([num_nud, 6])
resul_nud[:,0] = np.arange(num_nud) + 1  # Enumeracion de nudos
resul_nud[:,1] = lst_cotas_pt  # Cotas topograficas
resul_nud[:,2] = lst_cotas_p  # Cotas piezometricas (Hnxt)
resul_nud[:,3] = lst_pres  # Presion dinamica
resul_nud[:,4] = lst_pres_sta  # Presion estatica
resul_nud[:,5] = lst_nud_tipo  # Tipo de tub (0: nudos_CPD, 1: nudos_CPC)


resul_tub = np.zeros([num_tub, 7])
resul_tub[:,0] = np.arange(num_tub) + 1  # Enumeracion de tuberias
resul_tub[:,1] = D * 1000
resul_tub[:,2] = Qac * 1000
resul_tub[:,3] = lst_vel
```

```
    resul_tub[:,4] = lst_hfu
    resul_tub[:,5] = lst_hf
    resul_tub[:,6] = lst_tub_caso


    print ("\n*********************** RESULTADOS EN NUDOS ***********************")
    print ("Nudo  "+"Cota_T".ljust(10, " ")+"Cota_P".ljust(10, " ")+"Presion".ljust(10, " ")+"P_stat".ljust(10, " ")+"Comentario".ljust(10, " "))
    print ("  #     msnm      msnm        m          m")
    resul_nud_txt = ""
    for i in lst_nud:
        resul_nud_txt += str(i + 1).rjust(3, " ")+str(round(lst_cotas_pt[i],3)).rjust(10, " ")+str(round(lst_cotas_p[i],2)).rjust(10, " ")
        resul_nud_txt += str(round(lst_pres[i],3)).rjust(10, " ")+str(round(lst_pres_sta[i],3)).rjust(10, " ")
        if lst_nud_tipo[i] == 1:
            resul_nud_txt += "   Nudo CP_Conocida (reservorio)" + "\n"
        else:
            resul_nud_txt += "   Nudo CP_Desconocida (abastecedor)" + "\n"
    print (resul_nud_txt)


    print ("\n*********************** RESULTADOS EN TUBERIAS ***********************")
    print ("Tub    Diam    Caudal    Veloc    hf_u     hf    Comentario")
    print ("#        mm        l/s        m/s        m/km        m")
    resul_tub_txt = ""
    for i in lst_tub:
        resul_tub_txt += str(i + 1).rjust(3, " ")+str(round(D[i]*1000,3)).rjust(10, " ")+str(round(Qac[i]*1000,2)).rjust(10, " ")
```

```
        resul_tub_txt += str(round(lst_vel[i],3)).rjust(10, " ")+str(round(lst_hfu[i],3)).rjust(10, " ")+str(round(lst_hf[i],3)).rjust(10, " ")
        if lst_tub_caso[i] == 1:
            resul_tub_txt += "   Verificar diametro" + "\n"
        else:
            resul_tub_txt += "   Cumple" + "\n"
    print(resul_tub_txt)
    print("Eror: %.6f" %error)
    print(70*"-")

    if error < presic:
        break
else:
    print ("OJO: No se llego a la presicion deseada, error: %.16f" %error)
coment = ""
for i in lst_tub:
    if Qnxt[i] < 0:
        coment += "Se ha cambiado la direccion de flujo en la tuberia: " + str(i+1) + "\n"
        matr_tub[i,0], matr_tub[i,1] = matr_tub[i,1], matr_tub[i,0]
print ("\n********* Los calculos terminaron satisfacoriamente *********")
print ("Iteraciones : %i" %cont)
print ("Presicion   : %.16f" %error)
print ("\n" + "Direccion de flujo:\n" + coment)
```

3.2 RESULTADOS - GRAFICOS

```
# In[8]:

enum_tub = sum_listnum(lst_tub)

enum_nud = sum_listnum(lst_nud)

rango_vel = max(lst_vel) - min(lst_vel)

fig, axes = plt.subplots()

plt.title("VELOCIDADES")

axes.set_ylabel("$Velocidad_-flujo$")

axes.set_xlabel("$Tuberia$")

axes.set_xlim(.5, num_tub + .5)

plt.grid(True)

axes.plot(enum_tub, lst_vel, 'bo--')

plt.axhspan(v_min,v_max , alpha =0.25 )

for i in lst_tub:

    axes.text( enum_tub[i], lst_vel[i] + .035 * rango_vel, i+1, bbox=dict(facecolor='b',
alpha=.2) )


fig.savefig("out_grafica_velocidades.png")


# In[10]:

rango_pres = max(lst_cotas_p) - min(lst_cotas_pt)

rango_sup = max(lst_cotas_p) + 0.4 * rango_pres

rango_inf = min(lst_cotas_pt) - 0.1 * rango_pres

fig, axes = plt.subplots()

plt.title("COTAS: PIEZOMETRICAS_TOPOGRAFICAS")  # Titulo grafica

axes.set_ylabel("$Cotas$")  # Etiqueta_y

axes.set_xlabel("$Nudos$")  # Etiqueta_x

axes.set_ylim(rango_inf, rango_sup)

axes.set_xlim(.5, num_nud + .5)
```

```
plt.grid(True)

axes.plot(enum_nud, lst_cotas_p, 'bo--', label="$Cota\_piezometrica$")  # Dibujando Cota piezometrica...

axes.plot(enum_nud, lst_cotas_pt, 'go--', label="$Cota\_topografica$")  # Dibujando Cota topográfica...

plt.legend()  # Leyenda

for i in lst_nud:

    axes.text( enum_nud[i], lst_cotas_p[i] + .035 * rango_pres, i+1, bbox=dict(facecolor='b', alpha=.2) )  # Dibujando ennumeracion ariba

for i in lst_nud_d:

    cord_cotas = [lst_cotas_p[i], lst_cotas_pt[i]]

    axes.plot( sum_listnum([lst_nud[i], lst_nud[i]]), cord_cotas, 'b-')  # Dibujando alturas de presión

    axes.text( enum_nud[i], np.mean(cord_cotas), "P "+str(int(round(lst_pres[i],0))), bbox=dict(facecolor='b', alpha=.2) )  # Dibujando valor de presión


try:

    fig.savefig("out_grafica_cotas_piezometricas.png")

except IOError:

    print "No guardado, Cierre primero la imagen"

except:

    print "Se genero un error, desonocido"



# In[11]:

fig, axes = plt.subplots()

plt.title("PRESIONES")

axes.set_ylabel("$Presion$")

axes.set_xlabel("$Nudo$")

plt.grid(True)
```

```
axes.plot(enum_nud, lst_pres, 'bo--')
plt.axhspan(10, 50, alpha = 0.15 )
plt.axhspan(50, 75, alpha = 0.25 )
plt.axhspan(75, 100, alpha = 0.35 )
plt.axhspan(100, 150, alpha = 0.45 )
if min(lst_pres) < 0:
    plt.axhspan(0, min(lst_pres), alpha = 0.5 )
axes.text( 1.25, 26, "C - 5", bbox=dict(facecolor='g', alpha=.05) )
axes.text( 1.25, 63, "C - 7.5", bbox=dict(facecolor='g', alpha=.05) )
axes.text( 1.25, 88, "C - 10", bbox=dict(facecolor='g', alpha=.05) )
axes.text( 1.25, 125, "C - 15", bbox=dict(facecolor='g', alpha=.05) )
for i in lst_nud:
    axes.text( enum_nud[i], lst_pres[i] + .035 * rango_pres, i+1, bbox=dict(facecolor='g', alpha=.05) )


fig.savefig("out_grafica_presiones.png")



# ## 3.2 RESULTADOS - GRAFICOS


# In[ ]:
out_file = open('out_resultados.txt','w')


out_file.write("\n********** UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA **********\n")
out_file.write("********** FACULTAD DE MINAS CIVIL AMBIENTAL **********\n")
out_file.write("********** ECUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL **********\n")
```

```
out_file.write("\n**********************          RESULTADOS EN NUDOS
**********************\n")
out_file.write("Nud\tCota_T\tCota_P\tPresion\tP_stat\tComentario\n")
out_file.write("# \tmsnm\tmsnm\t  m\t  m\n")
out_file.write(resul_nud_txt)


out_file.write("\n**********************  RESULTADOS EN TUBERIAS
**********************\n")
out_file.write("Tub\tDiam\tCaudal\tVeloc\thf_u\thf\tComentario\n")
out_file.write("#  \t mm\t l/s\t m/s\t m/km\t m\n")
out_file.write(resul_tub_txt)


out_file.close()


# In[ ]:
print ("*******  Programa finalizado exitosamente  *******")
# by; Los tesistas Soto y Jurado
```

PLANOS

- NL-01: Plano de planteamiento general.
- NL-02: Plano de distribución de presiones resultado de Hardy Cross
- NL-03: Plano de distribución de velocidades resultado de Hardy Cross
- NL-04: Plano de distribución hidráulica resultado de Hardy Cross
- NL-05: Plano de distribución de presiones resultado de gradiente hidráulica
- NL-06: Plano de distribución de velocidades resultado de gradiente hidráulica
- NL-07: Plano de distribución hidráulica resultado de gradiente hidráulica
- NL-08: Plano de distribución de presiones resultado de A.G
- NL-09: Plano de distribución de velocidades resultado de A.G
- NL-10: Plano de distribución hidráulica por método de A.G

510640.000 510720.000 510800.000 510880.000 510960.000 511040.000 511120.000 511200.000

8584000.000 8583920.000 8583840.000 8583760.000 8583680.000 8583600.000 8583520.000

ZONA DE PROTECCION ECOLOGICA

PARQUE INDUSTRIAL

CALLQUI GRANDE

CEMENTERIO

N W E S

Jr. NUEVA VILLA

Jr. MARGARITAS

Jr. ROSAS

Jr. CLAVELES

Jr. JAZMINES

Jr. GIRASOLES

Jr. RETAMAS

Jr. CANTUTAS

Jr. CLAVELES

Jr. TULIPANES

Jr. GLADIOLOS

Av. SANTOS VILLA OESTE

Av. SANTOS VILLA OESTE

PUENTE PEATONAL

PLANO P. GENERAL

ESCALA 1/3200

510720.000 510800.000 510880.000 510960.000 511040.000 511120.000 511200.000

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

AREA

HIDROLOGIA HIDRAULICA

PROYECTO P.C

"DISEÑO DE REDES DE DISTRIBUCION EN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA UTILIZANDO METODOS RACIONALES COMPLEJOS E INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA LOCALIDAD DE CALLQUI GRANDE"

NOMBRE DE PLANO:

PLANTEAMIENTO GENERAL

UBICACION:

ASCENCION- CALLQUI GRANDE

ESCALA:

INDICADA

UNH

UBICACION:

Distrito : ASCENCION ANEXO CALLQUI GRADE

Provincia : HUANCAVELICA

Región : HUANCAVELICA

CODIGO DE PLANO:

P.G

NUMERO DE LAMINA:

NL - 01

FECHA:

ENERO DEL 2021

510650.000 510720.000 510790.000 510860.000 510930.000 511000.000 511070.000

8583890.000 8583820.000 8583750.000 8583680.000 8583610.000 8583540.000

PARQUE INDUSTRIAL

CALLQUI GRANDE

CEMENTER

RESERVORIO

N E S W

PL.DISTRIBUCION P.
Escala 1/2500

N-10 E=3,730.21 m P=19.20 m H2O
N-2 E=3,734.27 m P=15.24 m H2O
N-3 E=3,737.27 m P=12.04 m H2O
N-4 E=3,739.29 m P=9.69 m H2O
N-5 E=3,739.25 m P=9.55 m H2O
N-6 E=3,737.19 m P=11.52 m H2O
N-7 E=3,735.14 m P=13.53 m H2O
N-8 E=3,734.12 m P=14.51 m H2O
N-9 E=3,723.13 m P=25.48 m H2O
N-11 E=3,717.45 m P=31.85 m H2O
N-21 E=3,718.13 m P=31.20 m H2O
N-27 E=3,729.15 m P=19.67 m H2O
N-28 E=3,729.11 m P=19.76 m H2O
N-22 E=3,719.57 m P=29.46 m H2O
N-12 E=3,713.09 m P=36.07 m H2O
N-13 E=3,713.29 m P=35.83 m H2O
N-23 E=3,720.85 m P=28.02 m H2O
N-29 E=3,727.10 m P=21.65 m H2O
N-30 E=3,727.04 m P=21.61 m H2O
N-31 E=3,727.08 m P=21.55 m H2O
N-14 E=3,712.65 m P=36.38 m H2O
N-24 E=3,721.25 m P=27.47 m H2O
N-15 E=3,713.16 m P=35.69 m H2O
N-25 E=3,720.12 m P=28.54 m H2O
N-26 E=3,718.30 m P=30.33 m H2O
N-16 E=3,713.17 m P=35.56 m H2O
N-17 E=3,714.10 m P=34.56 m H2O
N-18 E=3,714.13 m P=34.50 m H2O
N-19 E=3,714.70 m P=33.90 m H2O
N-20 E=3,716.10 m P=32.52 m H2O

TUBERIA1 PVC
TUBERIA2 PVC
TUBERIA3 PVC
TUBERIA4 PVC
TUBERIA5 PVC
TUBERIA6 PVC
TUBERIA7 PVC
TUBERIA8 PVC
TUBERIA9 PVC
TUBERIA10 PVC
TUBERIA11 PVC
TUBERIA12 PVC
TUBERIA13 PVC
TUBERIA14 PVC
TUBERIA15 PVC
TUBERIA16 PVC
TUBERIA17 PVC
TUBERIA18 PVC
TUBERIA19 PVC
TUBERIA20 PVC
TUBERIA21 PVC
TUBERIA22 PVC
TUBERIA23 PVC
TUBERIA24 PVC
TUBERIA25 PVC
TUBERIA26 PVC
TUBERIA27 PVC
TUBERIA28 PVC
TUBERIA29 PVC
TUBERIA30 PVC
TUBERIA31 PVC
TUBERIA32 PVC
TUBERIA33 PVC
TUBERIA34 PVC
TUBERIA35 PVC
TUBERIA36 PVC
TUBERIA37 PVC
TUBERIA38 PVC
TUBERIA39 PVC
TUBERIA40 PVC
TUBERIA41 PVC
TUBERIA42 PVC
TUBERIA43 PVC
TUBERIA44 PVC
TUBERIA45 PVC
TUBERIA46 PVC
TUBERIA47 PVC
TUBERIA48 PVC
TUBERIA49 PVC

A B C D E F G H I J K L L' M N Ñ O P Q

510720.000 510790.000 510860.000 510930.000 511000.000 511070.000 511140.000

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

AREA

HIDROLOGIA HIDRAULICA

PROYECTO P.C

"DISEÑO DE REDES DE DISTRIBUCION EN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA UTILIZANDO METODOS RACIONALES COMPLEJOS E INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA LOCALIDAD DE CALLQUI GRANDE"

NOMBRE DE PLANO:

DISTRIBUCION DE PRESIONES METODO DE CROOS

UBICACION:

ASCENCION- CALLQUI GRANDE

ESCALA:

INDICADA

UNH

UBICACION:

Distrito : ASCENCION ANEXO CALLQUI GRADE
Provincia : HUANCAVELICA
Región : HUANCAVELICA

CODIGO DE PLANO:

D.H

NUMERO DE LAMINA:

NL - 02

FECHA:

ENERO DEL 2021

PARQUE INDUSTRIAL

CALLQUI GRANDE

CEMENTER

PL.DISTRIBUCION V.
Escala 1/2500

A B C D E F G H I J K L L' M M' N Ñ O P Q

TUBERIAT1 PVC L=190 m C=150.0 D=38.40" V=0.528 m/s
TUBERIAT2 PVC L=18 m C=150.0 D=38.40" V=0.074 m/s
TUBERIAT3 PVC L=57 m C=150.0 D=38.40" V=0.047 m/s
TUBERIAT4 PVC L=55 m C=150.0 D=38.40" V=0.049 m/s
TUBERIAT5 PVC L=55 m C=150.0 D=38.40" V=0.071 m/s
TUBERIAT6 PVC L=149 m C=150.0 D=38.40" V=0.075 m/s
TUBERIAT7 PVC L=50 m C=150.0 D=38.40" V=0.050 m/s
TUBERIAT8 PVC L=149 m C=150.0 D=38.40" V=0.137 m/s
TUBERIAT9 PVC L=52 m C=150.0 D=38.40" V=0.091 m/s
TUBERIAT10 PVC L=47 m C=150.0 D=38.40" V=0.018 m/s
TUBERIAT11 PVC L=44 m C=150.0 D=38.40" V=0.086 m/s
TUBERIAT12 PVC L=24 m C=150.0 D=38.40" V=0.018 m/s
TUBERIAT13 PVC L=149 m C=150.0 D=38.40" V=0.071 m/s
TUBERIAT14 PVC L=149 m C=150.0 D=38.40" V=0.091 m/s
TUBERIAT15 PVC L=149 m C=150.0 D=38.40" V=0.024 m/s
TUBERIAT16 PVC L=50 m C=150.0 D=38.40" V=0.153 m/s
TUBERIAT17 PVC L=154 m C=150.0 D=38.40" V=0.144 m/s
TUBERIAT18 PVC L=153 m C=150.0 D=38.40" V=0.044 m/s
TUBERIAT19 PVC L=50 m C=150.0 D=38.40" V=0.174 m/s
TUBERIAT20 PVC L=50 m C=150.0 D=38.40" V=0.174 m/s
TUBERIAT21 PVC L=166 m C=150.0 D=38.40" V=0.071 m/s
TUBERIAT22 PVC L=150 m C=150.0 D=38.40" V=0.195 m/s
TUBERIAT23 PVC L=148 m C=150.0 D=38.40" V=0.234 m/s
TUBERIAT24 PVC L=79 m C=150.0 D=38.40" V=0.030 m/s
TUBERIAT25 PVC L=149 m C=150.0 D=38.40" V=0.234 m/s
TUBERIAT26 PVC L=53 m C=150.0 D=38.40" V=0.040 m/s
TUBERIAT27 PVC L=148 m C=150.0 D=38.40" V=0.215 m/s
TUBERIAT28 PVC L=150 m C=150.0 D=38.40" V=0.110 m/s
TUBERIAT29 PVC L=149 m C=150.0 D=38.40" V=0.357 m/s
TUBERIAT30 PVC L=57 m C=150.0 D=38.40" V=0.174 m/s
TUBERIAT31 PVC L=148 m C=150.0 D=38.40" V=0.193 m/s
TUBERIAT32 PVC L=148 m C=150.0 D=38.40" V=0.234 m/s
TUBERIAT33 PVC L=74 m C=150.0 D=38.40" V=0.047 m/s
TUBERIAT34 PVC L=148 m C=150.0 D=38.40" V=0.229 m/s
TUBERIAT35 PVC L=155 m C=150.0 D=38.40" V=0.086 m/s
TUBERIAT36 PVC L=58 m C=150.0 D=38.40" V=0.020 m/s
TUBERIAT37 PVC L=149 m C=150.0 D=38.40" V=0.219 m/s
TUBERIAT38 PVC L=51 m C=150.0 D=38.40" V=0.166 m/s
TUBERIAT39 PVC L=148 m C=150.0 D=38.40" V=0.431 m/s
TUBERIAT40 PVC L=149 m C=150.0 D=38.40" V=0.307 m/s
TUBERIAT41 PVC L=151 m C=150.0 D=38.40" V=0.307 m/s
TUBERIAT42 PVC L=79 m C=150.0 D=38.40" V=0.091 m/s
TUBERIAT43 PVC L=148 m C=150.0 D=38.40" V=0.356 m/s
TUBERIAT44 PVC L=148 m C=150.0 D=38.40" V=0.106 m/s
TUBERIAT45 PVC L=184 m C=150.0 D=38.40" V=0.261 m/s
TUBERIAT46 PVC L=102 m C=150.0 D=38.40" V=0.246 m/s
TUBERIAT47 PVC L=57 m C=150.0 D=38.40" V=0.104 m/s
TUBERIAT48 PVC L=102 m C=150.0 D=38.40" V=0.138 m/s
TUBERIAT49 PVC L=189 m C=150.0 D=38.40" V=0.268 m/s

N
W E
S

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

AREA

HIDROLOGIA HIDRAULICA

PROYECTO P.C

"DISEÑO DE REDES DE DISTRIBUCION EN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA UTILIZANDO METODOS RACIONALES COMPLEJOS E INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA LOCALIDAD DE CALLQUI GRANDE"

NOMBRE DE PLANO:

DISTRIBUCION DE VELOCIDAD METODO DE CROSS

UBICACION:

ASCENCION- CALLQUI GRANDE

ESCALA:

INDICADA

UNH

UBICACION:

Distrito : ASCENCION ANEXO CALLQUI GRADE
Provincia : HUANCAVELICA
Región : HUANCAVELICA

CODIGO DE PLANO:

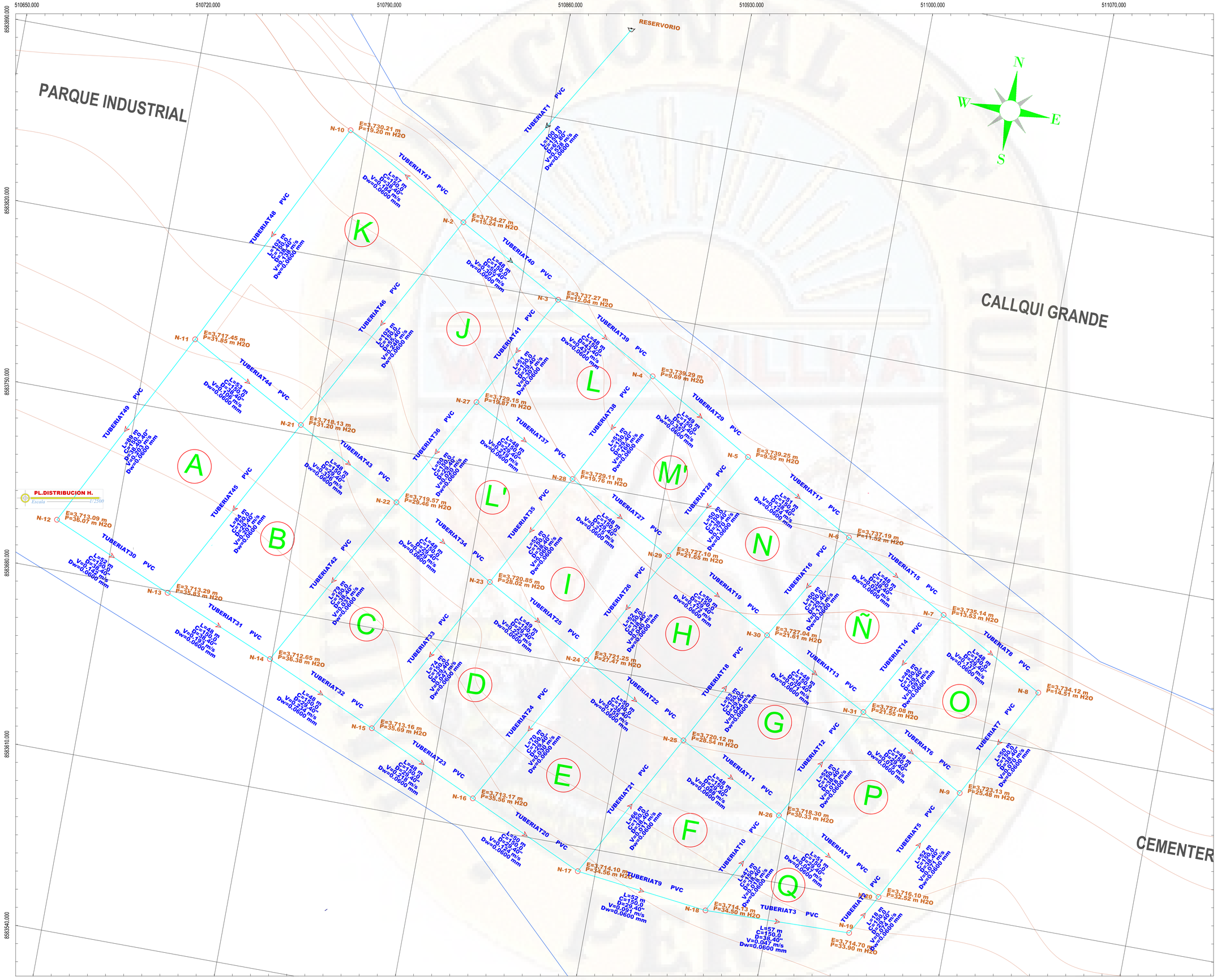
D.H

NUMERO DE LAMINA:

NL - 03

FECHA:

ENERO DEL 2021



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

AREA

HIDROLOGIA HIDRAULICA

PROYECTO P.C

"DISEÑO DE REDES DE DISTRIBUCION EN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA UTILIZANDO METODOS RACIONALES COMPLEJOS E INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA LOCALIDAD DE CALLQUI GRANDE"

NOMBRE DE PLANO:

DISTRIBUCION HIDRAULICA M. CROSS

UBICACION:

ASCENCION- CALLQUI GRANDE

ESCALA:

INDICADA

UNH

UBICACION:

Distrito : ASCENCION ANEXO CALLQUI GRADE
Provincia : HUANCAVELICA
Región : HUANCAVELICA

CODIGO DE PLANO:

D.H

NUMERO DE LAMINA:

NL - 04

FECHA:

ENERO DEL 2021

510650.000 510720.000 510790.000 510860.000 510930.000 511000.000 511070.000

8563900.000 8563820.000 8563750.000 8563680.000 8563610.000 8563540.000

PARQUE INDUSTRIAL

CALLQUI GRANDE

CEMENTER

RESERVORIO

N

W E

S

PL.DISTRIBUCION DE P..
Escala 1/2500

N-10 E=3,730.21 m P=23.79 m H2O
N-2 E=3,734.27 m P=19.73 m H2O
N-3 E=3,737.27 m P=16.73 m H2O
N-4 E=3,739.29 m P=14.71 m H2O
N-5 E=3,739.25 m P=14.75 m H2O
N-6 E=3,737.19 m P=16.81 m H2O
N-7 E=3,735.14 m P=18.86 m H2O
N-8 E=3,734.12 m P=19.88 m H2O
N-9 E=3,723.13 m P=30.87 m H2O
N-11 E=3,717.45 m P=36.55 m H2O
N-21 E=3,718.13 m P=35.87 m H2O
N-27 E=3,729.15 m P=24.85 m H2O
N-28 E=3,729.11 m P=24.89 m H2O
N-22 E=3,719.57 m P=34.43 m H2O
N-29 E=3,727.10 m P=26.90 m H2O
N-30 E=3,727.04 m P=26.96 m H2O
N-31 E=3,727.08 m P=26.92 m H2O
N-12 E=3,713.09 m P=40.91 m H2O
N-13 E=3,713.29 m P=40.71 m H2O
N-23 E=3,720.85 m P=33.15 m H2O
N-24 E=3,721.25 m P=32.75 m H2O
N-14 E=3,712.65 m P=41.35 m H2O
N-15 E=3,713.16 m P=40.84 m H2O
N-25 E=3,720.12 m P=33.88 m H2O
N-26 E=3,718.30 m P=35.70 m H2O
N-16 E=3,713.17 m P=40.83 m H2O
N-17 E=3,714.10 m P=39.90 m H2O
N-18 E=3,714.13 m P=39.87 m H2O
N-20 E=3,716.10 m P=37.90 m H2O
N-19 E=3,714.70 m P=39.30 m H2O

TUBERIAT1 PVC
TUBERIAT47 PVC
TUBERIAT48 PVC
TUBERIAT40 PVC
TUBERIAT46 PVC
TUBERIAT41 PVC
TUBERIAT39 PVC
TUBERIAT44 PVC
TUBERIAT49 PVC
TUBERIAT29 PVC
TUBERIAT38 PVC
TUBERIAT36 PVC
TUBERIAT37 PVC
TUBERIAT43 PVC
TUBERIAT17 PVC
TUBERIAT45 PVC
TUBERIAT28 PVC
TUBERIAT35 PVC
TUBERIAT27 PVC
TUBERIAT30 PVC
TUBERIAT34 PVC
TUBERIAT16 PVC
TUBERIAT19 PVC
TUBERIAT15 PVC
TUBERIAT42 PVC
TUBERIAT26 PVC
TUBERIAT31 PVC
TUBERIAT33 PVC
TUBERIAT14 PVC
TUBERIAT8 PVC
TUBERIAT25 PVC
TUBERIAT18 PVC
TUBERIAT13 PVC
TUBERIAT32 PVC
TUBERIAT24 PVC
TUBERIAT22 PVC
TUBERIAT12 PVC
TUBERIAT6 PVC
TUBERIAT7 PVC
TUBERIAT23 PVC
TUBERIAT21 PVC
TUBERIAT11 PVC
TUBERIAT5 PVC
TUBERIAT20 PVC
TUBERIAT10 PVC
TUBERIAT4 PVC
TUBERIAT9 PVC
TUBERIAT3 PVC
TUBERIAT2 PVC

A B C D E F G H I J K L L' M N Ñ O P Q

510720.000 510790.000 510860.000 510930.000 511000.000 511070.000 511140.000

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

AREA

HIDROLOGIA HIDRAULICA

PROYECTO P.C

"DISEÑO DE REDES DE DISTRIBUCION EN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA UTILIZANDO METODOS RACIONALES COMPLEJOS E INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA LOCALIDAD DE CALLQUI GRANDE"

NOMBRE DE PLANO:

DISTRIBUCION DE PRESIONES G.H

UBICACION:

ASCENCION- CALLQUI GRANDE

ESCALA:

INDICADA

UNH

UBICACION:

Distrito : ASCENCION ANEXO CALLQUI GRADE
Provincia : HUANCAVELICA
Región : HUANCAVELICA

CODIGO DE PLANO:

D.H

NUMERO DE LAMINA:

NL - 05

FECHA:

ENERO DEL 2021

510650.000 510720.000 510790.000 510860.000 510930.000 511000.000 511070.000

8563890.000 8563820.000 8563750.000 8563680.000 8563610.000 8563540.000

PARQUE INDUSTRIAL

CALLQUI GRANDE

CEMENTER

N W E S

PL.DISTRIBUCION V.
Escala 1/2500

A B C D E F G H I J K L L' M M' N Ñ O P Q

TUBERIAT1 PVC L=1060 m C=150.0 D=38.40" V=0.847 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT2 PVC L=18 m C=150.0 D=38.40" V=0.015 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT3 PVC L=57 m C=150.0 D=18.40" V=0.024 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT4 PVC L=55 m C=150.0 D=38.40" V=0.034 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT5 PVC L=56 m C=150.0 D=38.40" V=0.018 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT6 PVC L=49 m C=150.0 D=38.40" V=0.038 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT7 PVC L=60.0 m C=150.0 D=38.40" V=0.016 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT8 PVC L=49 m C=150.0 D=38.40" V=0.053 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT9 PVC L=52 m C=150.0 D=38.40" V=0.106 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT10 PVC L=87 m C=150.0 D=38.40" V=0.123 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT11 PVC L=49 m C=150.0 D=38.40" V=0.053 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT12 PVC L=52 m C=150.0 D=38.40" V=0.034 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT13 PVC L=49 m C=150.0 D=38.40" V=0.053 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT14 PVC L=49 m C=150.0 D=38.40" V=0.038 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT15 PVC L=49 m C=150.0 D=38.40" V=0.053 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT16 PVC L=50 m C=150.0 D=38.40" V=0.034 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT17 PVC L=49 m C=150.0 D=38.40" V=0.053 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT18 PVC L=74 m C=150.0 D=38.40" V=0.047 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT19 PVC L=49 m C=150.0 D=38.40" V=0.053 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT20 PVC L=150 m C=150.0 D=38.40" V=0.053 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT21 PVC L=56 m C=150.0 D=38.40" V=0.034 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT22 PVC L=49 m C=150.0 D=38.40" V=0.053 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT23 PVC L=49 m C=150.0 D=38.40" V=0.053 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT24 PVC L=70 m C=150.0 D=38.40" V=0.038 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT25 PVC L=49 m C=150.0 D=38.40" V=0.053 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT26 PVC L=52 m C=150.0 D=38.40" V=0.034 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT27 PVC L=49 m C=150.0 D=38.40" V=0.053 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT28 PVC L=50 m C=150.0 D=38.40" V=0.034 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT29 PVC L=49 m C=150.0 D=38.40" V=0.053 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT30 PVC L=49 m C=150.0 D=38.40" V=0.053 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT31 PVC L=49 m C=150.0 D=38.40" V=0.053 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT32 PVC L=49 m C=150.0 D=38.40" V=0.053 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT33 PVC L=74 m C=150.0 D=38.40" V=0.047 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT34 PVC L=49 m C=150.0 D=38.40" V=0.053 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT35 PVC L=52 m C=150.0 D=38.40" V=0.106 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT36 PVC L=50 m C=150.0 D=38.40" V=0.034 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT37 PVC L=49 m C=150.0 D=38.40" V=0.053 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT38 PVC L=51 m C=150.0 D=38.40" V=0.123 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT39 PVC L=49 m C=150.0 D=38.40" V=0.053 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT40 PVC L=49 m C=150.0 D=38.40" V=0.053 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT41 PVC L=51 m C=150.0 D=38.40" V=0.034 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT42 PVC L=79 m C=150.0 D=38.40" V=0.034 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT43 PVC L=49 m C=150.0 D=38.40" V=0.053 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT44 PVC L=49 m C=150.0 D=38.40" V=0.053 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT45 PVC L=84 m C=150.0 D=38.40" V=0.236 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT46 PVC L=102 m C=150.0 D=38.40" V=0.098 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT47 PVC L=137 m C=150.0 D=38.40" V=0.439 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT48 PVC L=102 m C=150.0 D=38.40" V=0.394 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT49 PVC L=89 m C=150.0 D=38.40" V=0.164 m/s Dw=0.0600 mm

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

AREA

HIDROLOGIA HIDRAULICA

PROYECTO P.C

"DISEÑO DE REDES DE DISTRIBUCION EN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA UTILIZANDO METODOS RACIONALES COMPLEJOS E INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA LOCALIDAD DE CALLQUI GRANDE"

NOMBRE DE PLANO:

DISTRIBUCION DE VELOCIDADES G.H

UBICACION:

ASCENCION- CALLQUI GRANDE

ESCALA:

INDICADA

UNH

UBICACION:

Distrito : ASCENCION ANEXO CALLQUI GRADE
Provincia : HUANCAVELICA
Región : HUANCAVELICA

CODIGO DE PLANO:

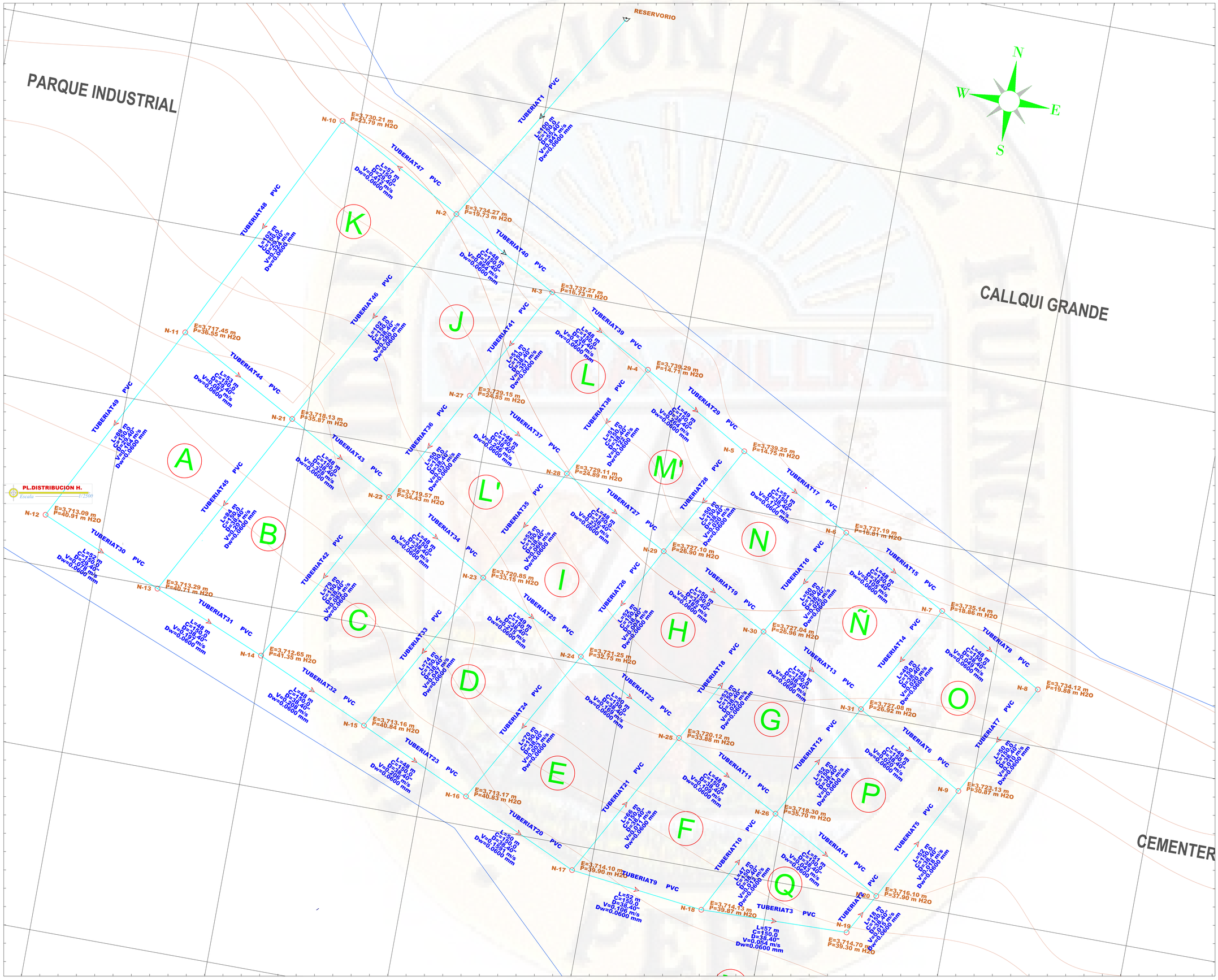
D.H

NUMERO DE LAMINA:

NL - 06

FECHA:

ENERO DEL 2021



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

AREA

HIDROLOGIA HIDRAULICA

PROYECTO P.C

"DISEÑO DE REDES DE DISTRIBUCION EN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA UTILIZANDO METODOS RACIONALES COMPLEJOS E INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA LOCALIDAD DE CALLQUI GRANDE"

NOMBRE DE PLANO:

DISTRIBUCION HIDRAULICA G.H

UBICACION:

ASCENCION- CALLQUI GRANDE

ESCALA:

INDICADA

UNH

UBICACION:

Distrito : ASCENCION ANEXO CALLQUI GRADE
Provincia : HUANCAVELICA
Región : HUANCAVELICA

CODIGO DE PLANO:

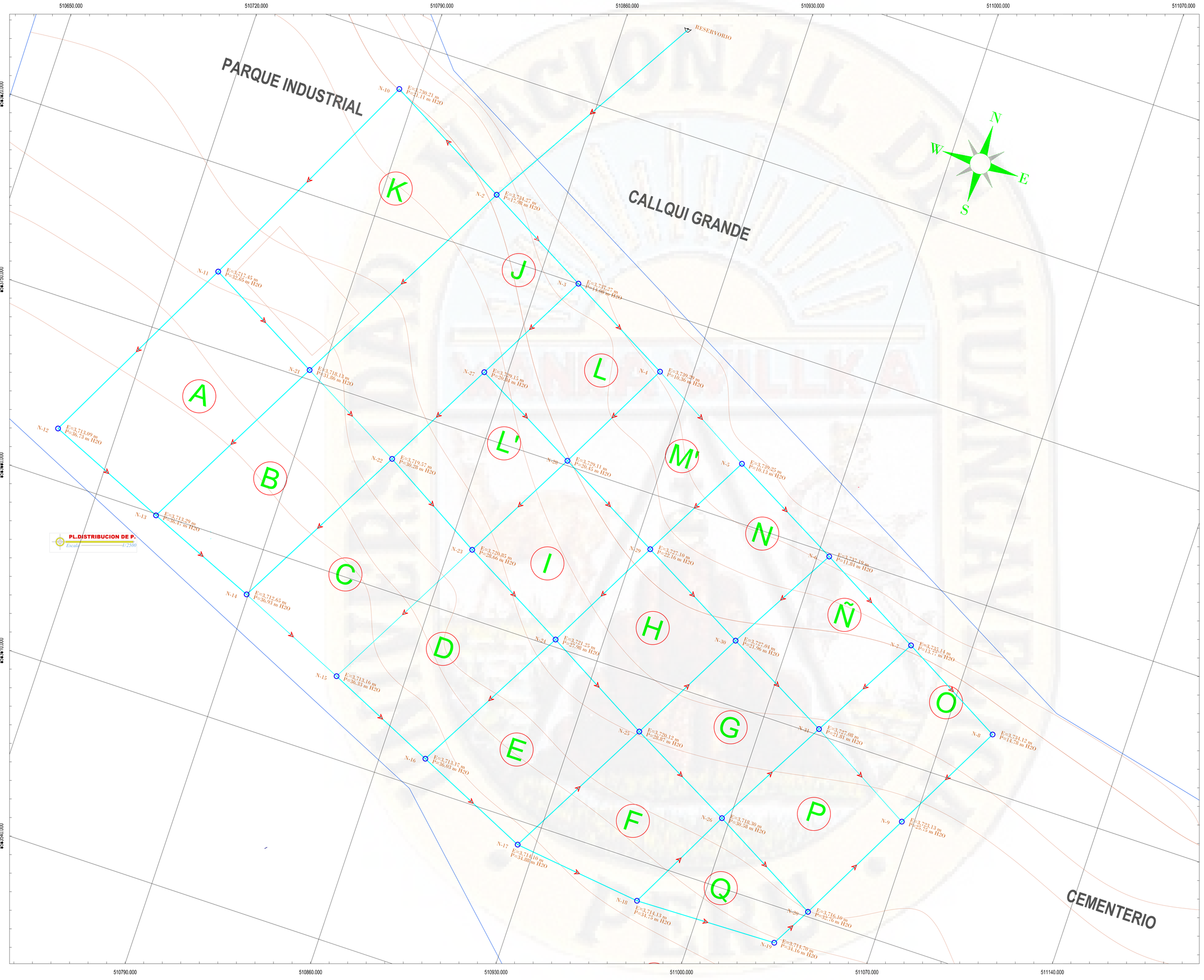
D.H

NUMERO DE LAMINA:

NL - 07

FECHA:

ENERO DEL 2021



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

CURSO

HIDROLOGIA HIDRAULICA

PROYECTO P.C

"DISEÑO DE REDES DE DISTRIBUCION EN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA UTILIZANDO METODOS RACIONALES COMPLEJOS E INTELIGENCIA ARTIFICIALEN LA LOCALIDAD DE CALLQUI GRANDE"

NOMBRE DE PLANO:

DISTRIBUCION HIDRAULICA DE PRESIONES

UBICACION:

ASCENCION- CALLQUI GRANDE

ESCALA:

INDICADA

UNH

UBICACION:

Distrito : ASCENCION ANEXO CALLQUI GRADE
Provincia : HUANCAVELICA
Región : HUANCAVELICA

CODIGO DE PLANO:

D.H

NUMERO DE LAMINA:

NL - 08

FECHA:

ENERO DEL 2021

PARQUE INDUSTRIAL

CALLQUI GRANDE

N

W

E

S

PL. DISTRIBUCION DE V.

Escala

A

B

C

D

E

F

G

H

I

J

K

L

L

M

M'

N

N

O

P

Q

TUBERIAT1 PVC L=190 m C=150.0 D=29.40" V=0.1212 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT2 PVC L=18 m C=150.0 D=29.40" V=0.1100 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT3 PVC L=57 m C=150.0 D=29.40" V=0.0792 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT4 PVC L=57 m C=150.0 D=29.40" V=0.0792 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT5 PVC L=136 m C=150.0 D=29.40" V=0.1276 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT6 PVC L=149 m C=150.0 D=29.40" V=0.1387 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT7 PVC L=50 m C=150.0 D=29.40" V=0.0465 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT8 PVC L=149 m C=150.0 D=29.40" V=0.1387 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT9 PVC L=52 m C=150.0 D=29.40" V=0.1100 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT10 PVC L=147.6 m C=150.0 D=29.40" V=0.1373 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT11 PVC L=148 m C=150.0 D=29.40" V=0.1378 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT12 PVC L=50 m C=150.0 D=29.40" V=0.0465 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT13 PVC L=149 m C=150.0 D=29.40" V=0.1387 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT14 PVC L=48 m C=150.0 D=29.40" V=0.0446 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT15 PVC L=149 m C=150.0 D=29.40" V=0.1387 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT16 PVC L=50 m C=150.0 D=29.40" V=0.0465 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT17 PVC L=149 m C=150.0 D=29.40" V=0.1387 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT18 PVC L=50 m C=150.0 D=29.40" V=0.0465 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT19 PVC L=149 m C=150.0 D=29.40" V=0.1387 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT20 PVC L=150 m C=150.0 D=29.40" V=0.1396 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT21 PVC L=66 m C=150.0 D=29.40" V=0.1229 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT22 PVC L=149 m C=150.0 D=29.40" V=0.1387 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT23 PVC L=148 m C=150.0 D=29.40" V=0.1378 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT24 PVC L=70 m C=150.0 D=29.40" V=0.1298 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT25 PVC L=148 m C=150.0 D=29.40" V=0.1378 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT26 PVC L=52 m C=150.0 D=29.40" V=0.0919 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT27 PVC L=148 m C=150.0 D=29.40" V=0.1378 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT28 PVC L=150 m C=150.0 D=29.40" V=0.1764 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT29 PVC L=149 m C=150.0 D=29.40" V=0.1387 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT30 PVC L=52 m C=150.0 D=29.40" V=0.0919 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT31 PVC L=146 m C=150.0 D=29.40" V=0.3491 m/s Dw=0.0500 mm

TUBERIAT32 PVC L=148 m C=150.0 D=29.40" V=0.1378 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT33 PVC L=74.6 m C=150.0 D=29.40" V=0.1319 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT34 PVC L=148 m C=150.0 D=29.40" V=0.1378 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT35 PVC L=52 m C=150.0 D=29.40" V=0.0919 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT36 PVC L=50 m C=150.0 D=29.40" V=0.0465 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT37 PVC L=148 m C=150.0 D=29.40" V=0.1378 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT38 PVC L=151 m C=150.0 D=29.40" V=0.1407 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT39 PVC L=148 m C=150.0 D=29.40" V=0.1378 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT40 PVC L=148 m C=150.0 D=29.40" V=0.1378 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT41 PVC L=151 m C=150.0 D=29.40" V=0.1407 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT42 PVC L=79.6 m C=150.0 D=29.40" V=0.1274 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT43 PVC L=148 m C=150.0 D=29.40" V=0.1378 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT44 PVC L=53 m C=150.0 D=29.40" V=0.0493 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT45 PVC L=80 m C=150.0 D=29.40" V=0.2986 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT46 PVC L=105 m C=150.0 D=29.40" V=0.3915 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT47 PVC L=157 m C=150.0 D=29.40" V=0.1460 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT48 PVC L=105 m C=150.0 D=29.40" V=0.3915 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIAT49 PVC L=189 m C=150.0 D=29.40" V=0.1759 m/s Dw=0.0600 mm

510650.000 510720.000 510790.000 510860.000 510930.000 511000.000 511070.000

8583890.000 8583820.000 8583750.000 8583680.000 8583610.000 8583540.000

510720.000 510790.000 510860.000 510930.000 511000.000 511070.000 511140.000

8583890.000 8583820.000 8583750.000 8583680.000 8583610.000 8583540.000

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

CURSO

HIDROLOGIA HIDRAULICA

PROYECTO P.C

"DISEÑO DE REDES DE DISTRIBUCION EN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA UTILIZANDO METODOS RACIONALES COMPLEJOS Y INTELIGENCIA ARTIFICIALEN LA LOCALIDAD DE CALLQUI GRANDE"

NOMBRE DE PLANO:

DISTRIBUCION HIDRAULICA DE VELOCIDADES

UBICACION:

ASCENCION- CALLQUI GRANDE

ESCALA:

INDICADA

UNH

UBICACION:

Distrito : ASCENCION ANEXO CALLQUI GRADE

Provincia : HUANCAVELICA

Región : HUANCAVELICA

CODIGO DE PLANO:

D.H

NUMERO DE LAMINA:

NL - 09

FECHA:

ENERO DEL 2021

510650.000 510720.000 510790.000 510860.000 510930.000 511000.000 511070.000

8583890.000 8583960.000

8583820.000 8583890.000

8583750.000 8583820.000

8583680.000 8583750.000

8583610.000 8583680.000

8583540.000 8583610.000

510720.000 510790.000 510860.000 510930.000 511000.000 511070.000 511140.000

PARQUE INDUSTRIAL

CALLQUI GRANDE

CEMENTER

RESERVORIO

N

W E

S

PL.DISTRIBUCION H.

Escala 1/2500

A B C D E F G H I J K L L' M M' N Ñ O P Q

N-10 E=3,730.21 m P=21.11 m H2O

N-2 E=3,734.27 m P=17.98 m H2O

N-3 E=3,737.27 m P=14.08 m H2O

N-4 E=3,739.29 m P=10.36 m H2O

N-5 E=3,739.25 m P=10.13 m H2O

N-6 E=3,737.19 m P=11.84 m H2O

N-7 E=3,735.14 m P=13.77 m H2O

N-8 E=3,734.12 m P=14.78 m H2O

N-9 E=3,723.13 m P=25.79 m H2O

N-11 E=3,717.45 m P=32.65 m H2O

N-21 E=3,718.13 m P=31.86 m H2O

N-27 E=3,729.15 m P=20.84 m H2O

N-28 E=3,729.11 m P=20.45 m H2O

N-22 E=3,719.57 m P=30.28 m H2O

N-29 E=3,727.10 m P=22.16 m H2O

N-30 E=3,727.04 m P=21.96 m H2O

N-31 E=3,727.08 m P=21.81 m H2O

N-24 E=3,721.25 m P=27.98 m H2O

N-25 E=3,720.12 m P=28.87 m H2O

N-26 E=3,718.30 m P=30.58 m H2O

N-20 E=3,716.10 m P=32.76 m H2O

N-18 E=3,714.13 m P=34.75 m H2O

N-19 E=3,714.70 m P=34.16 m H2O

N-23 E=3,720.85 m P=28.66 m H2O

N-12 E=3,713.09 m P=36.73 m H2O

N-13 E=3,713.29 m P=36.47 m H2O

N-14 E=3,712.65 m P=36.93 m H2O

N-15 E=3,713.16 m P=36.33 m H2O

N-16 E=3,713.17 m P=36.03 m H2O

N-17 E=3,714.10 m P=34.86 m H2O

TUBERIA1 PVC L=100 m C=150.0 D=29.40" V=0.6743 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIA2 PVC L=157 m C=150.0 D=29.40" V=0.6743 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIA3 PVC L=57 m C=150.0 D=29.40" V=0.0782 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIA4 PVC L=52 m C=150.0 D=29.40" V=0.1710 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIA5 PVC L=52 m C=150.0 D=29.40" V=0.1710 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIA6 PVC L=52 m C=150.0 D=29.40" V=0.1710 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIA7 PVC L=50 m C=150.0 D=29.40" V=0.1645 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIA8 PVC L=49 m C=150.0 D=29.40" V=0.0540 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIA9 PVC L=52 m C=150.0 D=29.40" V=0.1710 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIA10 PVC L=47 m C=150.0 D=29.40" V=0.1548 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIA11 PVC L=52 m C=150.0 D=29.40" V=0.1710 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIA12 PVC L=52 m C=150.0 D=29.40" V=0.1710 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIA13 PVC L=49 m C=150.0 D=29.40" V=0.0540 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIA14 PVC L=49 m C=150.0 D=29.40" V=0.0540 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIA15 PVC L=54 m C=150.0 D=29.40" V=0.0594 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIA16 PVC L=50 m C=150.0 D=29.40" V=0.1645 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIA17 PVC L=51 m C=150.0 D=29.40" V=0.1678 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIA18 PVC L=52 m C=150.0 D=29.40" V=0.1710 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIA19 PVC L=50 m C=150.0 D=29.40" V=0.1645 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIA20 PVC L=50 m C=150.0 D=29.40" V=0.1645 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIA21 PVC L=50 m C=150.0 D=29.40" V=0.1645 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIA22 PVC L=49 m C=150.0 D=29.40" V=0.0540 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIA23 PVC L=74 m C=150.0 D=29.40" V=0.1462 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIA24 PVC L=74 m C=150.0 D=29.40" V=0.1462 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIA25 PVC L=52 m C=150.0 D=29.40" V=0.1710 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIA26 PVC L=52 m C=150.0 D=29.40" V=0.1710 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIA27 PVC L=52 m C=150.0 D=29.40" V=0.1710 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIA28 PVC L=50 m C=150.0 D=29.40" V=0.1645 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIA29 PVC L=49 m C=150.0 D=29.40" V=0.0540 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIA30 PVC L=152 m C=150.0 D=29.40" V=0.1678 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIA31 PVC L=148 m C=150.0 D=29.40" V=0.3263 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIA32 PVC L=148 m C=150.0 D=29.40" V=0.3263 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIA33 PVC L=79 m C=150.0 D=29.40" V=0.3263 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIA34 PVC L=148 m C=150.0 D=29.40" V=0.3263 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIA35 PVC L=52 m C=150.0 D=29.40" V=0.1710 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIA36 PVC L=50 m C=150.0 D=29.40" V=0.1645 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIA37 PVC L=149 m C=150.0 D=29.40" V=0.3285 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIA38 PVC L=151 m C=150.0 D=29.40" V=0.1667 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIA39 PVC L=148 m C=150.0 D=29.40" V=0.3263 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIA40 PVC L=148 m C=150.0 D=29.40" V=0.3263 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIA41 PVC L=51 m C=150.0 D=29.40" V=0.1683 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIA42 PVC L=79 m C=150.0 D=29.40" V=0.3263 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIA43 PVC L=148 m C=150.0 D=29.40" V=0.3263 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIA44 PVC L=148 m C=150.0 D=29.40" V=0.3263 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIA45 PVC L=94 m C=150.0 D=29.40" V=0.2496 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIA46 PVC L=109 m C=150.0 D=29.40" V=0.6455 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIA47 PVC L=157 m C=150.0 D=29.40" V=0.6743 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIA48 PVC L=107 m C=150.0 D=29.40" V=0.6743 m/s Dw=0.0600 mm

TUBERIA49 PVC L=169 m C=150.0 D=29.40" V=0.7284 m/s Dw=0.0600 mm

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

AREA

HIDROLOGIA HIDRAULICA

PROYECTO P.C

"DISEÑO DE REDES DE DISTRIBUCION EN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA UTILIZANDO METODOS RACIONALES COMPLEJOS E INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA LOCALIDAD DE CALLQUI GRANDE"

NOMBRE DE PLANO:

DISTRIBUCION HIDRAULICA

UBICACION:

ASCENCION- CALLQUI GRANDE

ESCALA:

INDICADA

UNH INGENIERIA CIVIL

UNH

UBICACION:

Distrito : ASCENCION ANEXO CALLQUI GRADE

Provincia : HUANCAVELICA

Región : HUANCAVELICA

CODIGO DE PLANO:

D.H

NUMERO DE LAMINA:

NL-10

FECHA:

ENERO DEL 2021