

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“DISEÑO ÓPTIMO DE REDES CERRADAS DE TUBERIAS PRESURIZADAS
PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN FLUJO PERMANENTE Y
APLICACIÓN AL CENTRO POBLADO CAMPANITA UBICADO EN SAN JOSE
PACASMAYO – LA LIBERTAD”**

Proyecto de Tesis presentado por el bachiller en Ingeniería Civil:

LUIS ARMANDO, ZAPATA NEGREIROS

Para obtener el título de:

INGENIERO CIVIL

Asesor:

Msc. Ing. SERRANO HERNANDEZ, JOSE LUIS

TRUJILLO – PERÚ

OCTUBRE -2014

FIRMAS DE JURADO Y ASESOR

Dr. Fidel Germán, Sagástegui Plasencia

CIP: 32720

PRESIDENTE

Ing. Felix Gilberto, Pérrigo Sarmiento

CIP: 29401

SECRETARIO

Ms. Ricardo Andrés, Narvaez Aranda

CIP: 58776

VOCAL

Ms. José Luis, Serrano Hernández

CIP: 54464

ASESOR

PRESENTACIÓN

Señores Miembros del Jurado:

De conformidad con el reglamento de grados y títulos de la Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Civil de esta universidad, ponemos a vuestra disposición la siguiente tesis:

**“DISEÑO ÓPTIMO DE REDES CERRADAS DE TUBERIAS PRESURIZADAS
PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN FLUJO PERMANENTE Y
APLICACIÓN AL CENTRO POBLADO CAMPANITA UBICADO EN SAN JOSE
PACASMAYO – LA LIBERTAD”**

Conscientes de haber realizado el esfuerzo debido para alcanzar las metas, objetivos y sobretodo haber realizado una labor que satisfaga los requisitos exigidos, tanto a nivel académico como profesional, basándonos en los conocimientos impartidos en esta casa superior de estudios; entregamos a usted la presente para su revisión y posterior aprobación. Esperamos que las limitaciones y deficiencias que pudieras observarse en el desarrollo de esta sean disculpadas gracias a vuestro lúcido criterio.

El Autor

DEDICATORIA

A mi familia, que con su apoyo integral, hicieron posible abrazar la meta proyectada.

AGRADECIMIENTO

Nuestro Reconocimiento y gratitud muy especial a nuestro asesor: Ing. José Luis Serrano Hernández, por su acertado y oportuno asesoramiento para la cristalización de la presente tesis.

RESUMEN

El objetivo de la presente tesis es diseñar en forma óptima redes cerradas de tuberías presurizadas para abastecimiento de agua potable, para lo cual se plantea una metodología basadas en algoritmos ingeniosos, lógicos y relativamente sencillos. La aplicación con la finalidad de explicar referida metodología en una forma didáctica es al centro poblado campanita ubicado en el distrito de San José, provincia Pacasmayo, departamento La Libertad.

Se realizó una revisión del fundamento hidráulico aplicado a redes cerradas de tuberías presurizadas siendo los principios de conservación de masa y energía los que gobiernan el cálculo hidráulico. Con ayuda del Ms Excel, se comparó los diversos métodos de cálculo hidráulico verificándose su convergencia y estabilidad. Se seleccionó al método de la Teoría Lineal como el motor de cálculo hidráulico para la metodología de optimización que se propone por ser su relativa sencillez.

La normatividad actual (OS. 050 REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO) no contempla la optimización en el diseño de tuberías presurizadas que conforman sistemas de distribución de agua potable. Con la metodología propuesta se pretende complementarla.

La metodología para optimización contempla priorizar tuberías teniendo en cuenta el número de Reynolds, aumentando el diámetro de tubería por el inmediato superior comercial de opción por iteración que tenga mayor beneficio/costo hasta alcanzar carga de presión mínima (10 m H₂O) al menor costo, permitiendo también dar seguimiento al análisis de cálculo hidráulico desde un punto de vista físico identificando las tuberías principales, como se demuestra en la aplicación donde las tuberías principales son P1, P2, P7 y P8, lo cual tiene correlación lógica con la topografía del terreno, es decir, se necesita de tuberías con mayor diámetro para que la línea de carga dinámica se mantenga en niveles que garanticen una carga de presión adecuada en este sector; lo cual se obtiene reduciendo las pérdidas de carga por fricción aumentando el diámetro en tuberías.

ABSTRACT

The objective of this thesis is to design optimally closed pressurized pipe networks for drinking water, for which a methodology based on ingenious, logical and relatively simple algorithms is proposed. The application in order to explain Said methodology in a didactic way is to populated bell located in the district of San José, Pacasmayo province, La Libertad department center.

A review of the hydraulic foundation applied to closed pressurized pipe networks being the principles of conservation of mass and energy which govern the hydraulic calculation was performed. With the help of Ms Excel, various methods of hydraulic calculations verifying their convergence and stability compared. Was selected the method of Linear Theory as hydraulic calculation engine for optimization methodology is proposed to be its relative simplicity.

Current regulations (OS. 050 REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO) does not provide optimization in the design of pressurized piping systems that make water distribution. With the proposed methodology is intended to complement it.

The methodology provides for optimization taking into account priority pipe Reynolds number, increasing the diameter of the pipe immediately above iteration commercial option that has more benefit/cost to reach minimum pressure load (10 m H₂O) at the lowest cost, also allowing to track analysis of hydraulic calculation from a physical standpoint identifying the main pipes, as demonstrated in the application where mains are P1, P2, P7 and P8, which is logical correlation with the topography, that is, it takes larger diameter pipe for the dynamic load line is maintained at levels that ensure adequate pressure load in this area; which is obtained by reducing the frictional losses in increasing the pipe diameter.

ÍNDICE

<i>FIRMAS DE JURADO Y ASESOR</i>	II
<i>PRESENTACIÓN</i>	III
<i>DEDICATORIA</i>	IV
<i>AGRADECIMIENTO</i>	V
<i>RESUMEN</i>	VI
<i>ABSTRACT</i>	VII
<i>INDICE</i>	01
<i>LISTA DE TABLAS</i>	04
<i>LISTA DE FIGURAS</i>	12
<i>INTRODUCCIÓN</i>	14
<i>OBJETIVOS</i>	15
<i>CAPÍTULO I: ASPECTOS TEÓRICOS</i>	16
1.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.1.1. HIDRÁULICA DE TUBERÍAS	16
1.1.2. ELEMENTOS DE DISEÑO PARA ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLAS	17
1.1.3. THE HISTORY OF WATER DISTRIBUTION NETWORK ANALYSIS: THE COMPUTER AGE	19
1.1.4. PROPUESTA DE MÉTODOS PARA REVISIÓN, REHABILITACIÓN Y DISEÑO DE REDES DE TUBERÍA DE AGUA POTABLE	26
1.1.5. NORMA OS. 050 – REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO	28
1.2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN	30
1.2.1. PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DE ANÁLISIS DE REDES CERRADAS	30
1.2.2. MÉTODOS PARA EL ANÁLISIS DE REDES CERRADAS	35
1.2.2.1. MÉTODOS DE HARDY – CROSS CON CORRECCIÓN DE CAUDALES	35
1.2.2.2. MÉTODO DE CORNISH CON CORRECCIÓN DE CARGAS DE PRESIÓN	39
1.2.2.3. MÉTODO DE NEWTON – RAPHSON	44
1.2.2.4. MÉTODO DE LA TEORÍA LINEAL	51
1.2.2.5. MÉTODO DEL GRADIENTE	58

<i>CAPÍTULO II:</i>	<i>METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO OPTIMIZADO DE REDES CERRADAS DE TUBERÍAS PRESURIZADAS PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA</i>	63
2.1.	DISEÑO OPTIMIZADO DE REDES CERRADAS DE TUBERÍAS PRESURIZADAS PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA	63
2.1.1.	RECOLECCION DE DATOS NECESARIOS	64
2.1.2.	JERARQUIZACIÓN	65
2.1.3.	CARGA DE PRESIÓN MÍNIMA EN EL SISTEMA	67
2.1.4.	COSTO INICIAL EN SISTEMA	68
2.1.5.	NÚMERO DE OPCIONES A ANALIZAR POR CADA ITERACIÓN	68
2.1.6.	ESTIMACIÓN DEL BENEFICIO / COSTO EN EL SISTEMA	69
2.2.	TÉCNICA DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	71
<i>CAPÍTULO III:</i>	<i>APLICACIÓN – CENTRO POBLADO CAMPANITA</i>	74
3.1.	ASPECTOS GENERALES	74
3.1.1.	EJEMPLO DE APLICACIÓN	74
3.1.2.	UBICACIÓN	74
3.1.3.	TOPOGRAFÍA	74
3.2.	TÉCNICA DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	78
3.2.1.	CÁLCULOS PRELIMINARES	78
3.2.1.1.	POBLACIÓN DE DISEÑO	78
3.2.1.2.	PARÁMETROS DE CONSUMO	78
3.2.2.	CÁLCULO DE CAUDALES DE DISEÑO PARA AGUA POTABLE	80
3.2.3.	PLANTEAMIENTO DEL ESQUEMA HIDRÁULICO	81
3.2.4.	COSTOS DE TUBERÍAS	84
3.2.5.	CÁLCULOS HIDRÁULICOS	85
3.2.5.1.	MÉTODOS DE HARDY – CROSS CON CORRECCIÓN DE CAUDALES	86
3.2.5.2.	MÉTODO DE CORNISH CON CORRECCIÓN DE CARGAS DE PRESIÓN	92
3.2.5.3.	MÉTODO DE NEWTON – RAPHSON	114
3.2.5.4.	MÉTODO DE LA TEORÍA LINEAL	122
3.2.5.5.	MÉTODO DEL GRADIENTE	130
3.2.6.	RESULTADOS	180
3.2.6.1.	MÉTODOS DE HARDY – CROSS CON CORRECCIÓN DE CAUDALES	180
3.2.6.2.	MÉTODO DE CORNISH CON CORRECCIÓN DE CARGAS DE PRESIÓN	184
3.2.6.3.	MÉTODO DE NEWTON – RAPHSON	189
3.2.6.4.	MÉTODO DE LA TEORÍA LINEAL	193

3.2.6.5. MÉTODO DEL GRADIENTE	197
3.2.7. RESULTADO DE OPTIMIZACIÓN DE LA RED – TEORÍA LINEAL	201
3.2.8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	258
3.2.8.1. MÉTODOS DE HARDY – CROSS CON CORRECCIÓN DE CAUDALES	258
3.2.8.2. MÉTODO DE CORNISH CON CORRECCIÓN DE CARGAS DE PRESIÓN	261
3.2.8.3. MÉTODO DE NEWTON – RAPHSON	265
3.2.8.4. MÉTODO DE LA TEORÍA LINEAL	268
3.2.8.5. MÉTODO DEL GRADIENTE	271
3.2.9. RESULTADOS DE OPTIMIZACIÓN	274
<i>CONCLUSIONES</i>	280
<i>RECOMENDACIONES</i>	285
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	286

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1a.	Síntesis histórica de formulaciones y métodos de análisis de redes malladas	22
Tabla 1.1b.	Síntesis histórica de formulaciones y métodos de análisis de redes malladas	23
Tabla 1.1c.	Síntesis histórica de formulaciones y métodos de análisis de redes malladas	23
Tabla 1.1d.	Síntesis histórica de formulaciones y métodos de análisis de redes malladas	24
Tabla 1.1e.	Síntesis histórica de formulaciones y métodos de análisis de redes malladas	24
Tabla 1.1f.	Síntesis histórica de formulaciones y métodos de análisis de redes malladas	25
Tabla 3.1.	Cálculo del Caudal para fines de uso en Vivienda	80
Tabla 3.2.	Cálculo del Caudal para otros fines	80
Tabla 3.3.	Detalle del Cálculo del Caudal para otros fines	81
Tabla 3.4.	Características de la Tuberías	83
Tabla 3.5.	Características de los nudos	83
Tabla 3.6.	Costo según Diámetro Nominal	84
Tabla 3.7.	Detalle de Costo Total elabora al 31 de Julio de 2014	85
Tabla 3.8a.	Método de Hardy Cross - Primera Iteración	87
Tabla 3.8b.	Método de Hardy Cross - Primera Iteración	87
Tabla 3.9a.	Método de Hardy Cross - Segunda iteración	87
Tabla 3.9b.	Método de Hardy Cross - Segunda iteración	87
Tabla 3.10a.	Método de Hardy Cross - Tercera Iteración	88
Tabla 3.10b.	Método de Hardy Cross - Tercera Iteración	88
Tabla 3.11a.	Método de Hardy Cross - Cuarta iteración	88
Tabla 3.11b.	Método de Hardy Cross - Cuarta iteración	88
Tabla 3.12a.	Método de Hardy Cross - Quinta Iteración	89
Tabla 3.12b.	Método de Hardy Cross - Quinta Iteración	89
Tabla 3.13a.	Método de Hardy Cross - Sexta iteración	89
Tabla 3.13b.	Método de Hardy Cross - Sexta iteración	89
Tabla 3.14a.	Método de Hardy Cross - Séptima Iteración	90
Tabla 3.14b.	Método de Hardy Cross - Séptima Iteración	90
Tabla 3.15a.	Método de Hardy Cross - Octava iteración	90
Tabla 3.15b.	Método de Hardy Cross - Octava iteración	90
Tabla 3.16a.	Método de Hardy Cross - Novena Iteración	91
Tabla 3.16b.	Método de Hardy Cross - Novena Iteración	91
Tabla 3.17a.	Método de Hardy Cross - Décima iteración	91
Tabla 3.17b.	Método de Hardy Cross - Décima iteración	91
Tabla 3.18.	Método de Cornish - Primera Iteración	93
Tabla 3.19.	Método de Cornish - Segunda Iteración	94
Tabla 3.20.	Método de Cornish - Tercera Iteración	95
Tabla 3.21.	Método de Cornish - Cuarta Iteración	96
Tabla 3.22.	Método de Cornish - Quinta Iteración	97
Tabla 3.23.	Método de Cornish - Sexta Iteración	98

Tabla 3.24.	Método de Cornish - Séptima Iteración	99
Tabla 3.25.	Método de Cornish - Octava Iteración	100
Tabla 3.26.	Método de Cornish - Novena Iteración	101
Tabla 3.27.	Método de Cornish - Décima Iteración	102
Tabla 3.28.	Método de Cornish - Décimo Primera Iteración	103
Tabla 3.29.	Método de Cornish - Décimo Segunda Iteración	104
Tabla 3.30.	Método de Cornish - Décimo Tercera Iteración	105
Tabla 3.31.	Método de Cornish - Décimo Cuarta Iteración	106
Tabla 3.32.	Método de Cornish - Décimo Quinta Iteración	107
Tabla 3.33.	Método de Cornish - Décimo Sexta Iteración	108
Tabla 3.34.	Método de Cornish - Décimo Séptima Iteración	109
Tabla 3.35.	Método de Cornish - Décimo Octava Iteración	110
Tabla 3.36.	Método de Cornish - Décimo Novena Iteración	111
Tabla 3.37.	Método de Cornish - Duodécima Iteración	112
Tabla 3.38.	Método de Cornish - Duodécima Primera Iteración	113
Tabla 3.39.	Método de Newton-Raphson - Primera Iteración	115
Tabla 3.40.	Método de Newton-Raphson - Segunda Iteración	116
Tabla 3.41.	Método de Newton-Raphson - Tercera Iteración	117
Tabla 3.42.	Método de Newton-Raphson - Cuarta Iteración	118
Tabla 3.43.	Método de Newton-Raphson - Quinta Iteración	119
Tabla 3.44.	Método de Newton-Raphson - Sexta Iteración	120
Tabla 3.45.	Método de Newton-Raphson - Séptima Iteración	121
Tabla 3.46.	Método de la Teoría Lineal - Primera Iteración	123
Tabla 3.47.	Método de la Teoría Lineal - Segunda Iteración	124
Tabla 3.48.	Método de la Teoría Lineal - Tercera Iteración	125
Tabla 3.49.	Método de la Teoría Lineal - Cuarta Iteración	126
Tabla 3.50.	Método de la Teoría Lineal - Quinta Iteración	127
Tabla 3.51.	Método de la Teoría Lineal - Sexta Iteración	128
Tabla 3.52.	Método de la Teoría Lineal - Séptima Iteración	129
Tabla 3.53a.	Datos - Primera Iteración	131
Tabla 3.53b.	Método del Gradiente - Primera Iteración	133
Tabla 3.54a.	Datos - Segunda Iteración	138
Tabla 3.54b.	Método del Gradiente - Segunda Iteración	140
Tabla 3.55a.	Datos - Tercera Iteración	145
Tabla 3.55b.	Método del Gradiente - Tercera Iteración	147
Tabla 3.56a.	Datos - Cuarta Iteración	152
Tabla 3.56b.	Método del Gradiente - Cuarta Iteración	154
Tabla 3.57a.	Datos - Quinta Iteración	159
Tabla 3.57b.	Método del Gradiente - Quinta Iteración	161
Tabla 3.58a.	Datos - Sexta Iteración	166
Tabla 3.58b.	Método del Gradiente - Sexta Iteración	168
Tabla 3.59a.	Datos - Séptima Iteración	173
Tabla 3.59b.	Método del Gradiente - Séptima Iteración	175
Tabla 3.60.	Método de Hardy Cross - Principio de Conservación De La Energía	181
Tabla 3.61.	Método de Hardy Cross - Resumen de Caudal en Tuberías (lps)	182

Tabla 3.62.	Método de Hardy Cross - Resumen de Cargas de Presión (m H ₂ O)	182
Tabla 3.63	Método de Cornish - Principio de Conservación de Masa de Nudos	185
Tabla 3.64a.	Método de Cornish - Resumen de Caudal en Tuberías (lps)	186
Tabla 3.64b.	Método de Cornish - Resumen de Caudal en Tuberías (lps)	186
Tabla 3.65a.	Método de Cornish - Resumen de Cargas de Presión (m H ₂ O)	187
Tabla 3.65b.	Método de Cornish - Resumen de Cargas de Presión (m H ₂ O)	187
Tabla 3.66.	Método de Newton Raphson - Principio de Conservación de la Energía	190
Tabla 3.67.	Método de Newton Raphson - Resumen de Caudal en Tuberías (lps)	191
Tabla 3.68.	Método de Newton Raphson - Resumen de Cargas de Presión (m H ₂ O)	191
Tabla 3.69.	Método de la Teoría Lineal - Principio de Conservación de la Energía	194
Tabla 3.70.	Método de la Teoría Lineal - Resumen de Caudal en Tuberías (lps)	195
Tabla 3.71.	Método de la Teoría Lineal - Resumen de Cargas de Presión (m H ₂ O)	195
Tabla 3.72.	Método del Gradiente - Principio de Conservación de la Energía	198
Tabla 3.73.	Método del Gradiente - Resumen de Caudal en Tuberías (lps)	199
Tabla 3.74.	Método del Gradiente - Resumen de Cargas de Presión (m H ₂ O)	199
Tabla 3.75a.	Iteración 1: Opción Inicial Cálculos Hidráulicos: Teoría Lineal Caudales Iniciales	202
Tabla 3.75b.	Iteración 1: Opción Inicial Cálculos Hidráulicos: Teoría Lineal Caudales Finales	203
Tabla 3.76.	Iteración 1: Opción Inicial Costo de la Opción Inicial	204
Tabla 3.77.	Iteración 1: Opción Inicial Cálculo de la Carga de Presión en Nudos	204
Tabla 3.78.	Iteración 1: Opción Inicial Jerarquización	205
Tabla 3.79.	Iteración 1: Opción Inicial Beneficio Costo por Opciones	205
Tabla 3.80a.	Iteración 2: Opción Inicial Cálculos Hidráulicos: Teoría Lineal Caudales Iniciales	206

Tabla 3.80b.	Iteración 2: Opción Inicial Cálculos Hidráulicos: Teoría Lineal Caudales Finales	207
Tabla 3.81.	Iteración 2: Opción Inicial Costo de la Opción Inicial	208
Tabla 3.82.	Iteración 2: Opción Inicial Cálculo de la Carga de Presión en Nudos	208
Tabla 3.83.	Iteración 2: Opción Inicial Jerarquización	209
Tabla 3.84.	Iteración 2: Opción Inicial Beneficio Costo por Opciones	209
Tabla 3.85a.	Iteración 3: Opción Inicial Cálculos Hidráulicos: Teoría Lineal Caudales Iniciales	210
Tabla 3.85b.	Iteración 3: Opción Inicial Cálculos Hidráulicos: Teoría Lineal Caudales Finales	211
Tabla 3.86.	Iteración 3: Opción Inicial Costo de la Opción Inicial	212
Tabla 3.87.	Iteración 3: Opción Inicial Cálculo de la Carga de Presión en Nudos	212
Tabla 3.88.	Iteración 3: Opción Inicial Jerarquización	213
Tabla 3.89.	Iteración 3: Opción Inicial Beneficio Costo por Opciones	213
Tabla 3.90a.	Iteración 4: Opción Inicial Cálculos Hidráulicos: Teoría Lineal Caudales Iniciales	214
Tabla 3.90b.	Iteración 4: Opción Inicial Cálculos Hidráulicos: Teoría Lineal Caudales Finales	215
Tabla 3.91.	Iteración 4: Opción Inicial Costo de la Opción Inicial	216
Tabla 3.92.	Iteración 4: Opción Inicial Cálculo de la Carga de Presión en Nudos	216
Tabla 3.93.	Iteración 4: Opción Inicial Jerarquización	217
Tabla 3.94.	Iteración 4: Opción Inicial Beneficio Costo por Opciones	217
Tabla 3.95a.	Iteración 5: Opción Inicial Cálculos Hidráulicos: Teoría Lineal Caudales Iniciales	218
Tabla 3.95b.	Iteración 5: Opción Inicial Cálculos Hidráulicos: Teoría Lineal Caudales Finales	219
Tabla 3.96.	Iteración 5: Opción Inicial Costo de la Opción Inicial	220

Tabla 3.97.	Iteración 5: Opción Inicial Cálculo de la Carga de Presión en Nudos	220
Tabla 3.98.	Iteración 5: Opción Inicial Jerarquización	221
Tabla 3.99.	Iteración 5: Opción Inicial Beneficio Costo por Opciones	221
Tabla 3.100a.	Iteración 6: Opción Inicial Cálculos Hidráulicos: Teoría Lineal Caudales Iniciales	222
Tabla 3.100b.	Iteración 6: Opción Inicial Cálculos Hidráulicos: Teoría Lineal Caudales Finales	223
Tabla 3.101.	Iteración 6: Opción Inicial Costo de la Opción Inicial	224
Tabla 3.102.	Iteración 6: Opción Inicial Cálculo de la Carga de Presión en Nudos	224
Tabla 3.103.	Iteración 6: Opción Inicial Jerarquización	225
Tabla 3.104.	Iteración 6: Opción Inicial Beneficio Costo por Opciones	225
Tabla 3.105a.	Iteración 7: Opción Inicial Cálculos Hidráulicos: Teoría Lineal Caudales Iniciales	226
Tabla 3.105b.	Iteración 7: Opción Inicial Cálculos Hidráulicos: Teoría Lineal Caudales Finales	227
Tabla 3.106.	Iteración 7: Opción Inicial Costo de la Opción Inicial	228
Tabla 3.107.	Iteración 7: Opción Inicial Cálculo de la Carga de Presión en Nudos	228
Tabla 3.108.	Iteración 7: Opción Inicial Jerarquización	229
Tabla 3.109.	Iteración 7: Opción Inicial Beneficio Costo por Opciones	229
Tabla 3.110a.	Iteración 8: Opción Inicial Cálculos Hidráulicos: Teoría Lineal Caudales Iniciales	230
Tabla 3.110b.	Iteración 8: Opción Inicial Cálculos Hidráulicos: Teoría Lineal Caudales Finales	231
Tabla 3.111.	Iteración 8: Opción Inicial Costo de la Opción Inicial	232
Tabla 3.112.	Iteración 8: Opción Inicial Cálculo de la Carga de Presión en Nudos	232
Tabla 3.113.	Iteración 8: Opción Inicial Jerarquización	233
Tabla 3.114.	Iteración 8: Opción Inicial Beneficio Costo por Opciones	233

Tabla 3.115a.	Iteración 9: Opción Inicial Cálculos Hidráulicos: Teoría Lineal Caudales Iniciales	234
Tabla 3.115b.	Iteración 9: Opción Inicial Cálculos Hidráulicos: Teoría Lineal Caudales Finales	235
Tabla 3.116.	Iteración 9: Opción Inicial Costo de la Opción Inicial	236
Tabla 3.117.	Iteración 9: Opción Inicial Cálculo de la Carga de Presión en Nudos	236
Tabla 3.118.	Iteración 9: Opción Inicial Jerarquización	237
Tabla 3.119.	Iteración 9: Opción Inicial Beneficio Costo por Opciones	237
Tabla 3.120a.	Iteración 10: Opción Inicial Cálculos Hidráulicos: Teoría Lineal Caudales Iniciales	238
Tabla 3.120b.	Iteración 10: Opción Inicial Cálculos Hidráulicos: Teoría Lineal Caudales Finales	239
Tabla 3.121.	Iteración 10: Opción Inicial Costo de la Opción Inicial	240
Tabla 3.122.	Iteración 10: Opción Inicial Cálculo de la Carga de Presión en Nudos	240
Tabla 3.123.	Iteración 10: Opción Inicial Jerarquización	241
Tabla 3.124.	Iteración 10: Opción Inicial Beneficio Costo por Opciones	241
Tabla 3.125a.	Iteración 11: Opción Inicial Cálculos Hidráulicos: Teoría Lineal Caudales Iniciales	242
Tabla 3.125b.	Iteración 11: Opción Inicial Cálculos Hidráulicos: Teoría Lineal Caudales Finales	243
Tabla 3.126.	Iteración 11: Opción Inicial Costo de la Opción Inicial	244
Tabla 3.127.	Iteración 11: Opción Inicial Cálculo de la Carga de Presión en Nudos	244
Tabla 3.128.	Iteración 11: Opción Inicial Jerarquización	245
Tabla 3.129.	Iteración 11: Opción Inicial Beneficio Costo por Opciones	245
Tabla 3.130a.	Iteración 12: Opción Inicial Cálculos Hidráulicos: Teoría Lineal Caudales Iniciales	246
Tabla 3.130b.	Iteración 12: Opción Inicial Cálculos Hidráulicos: Teoría Lineal Caudales Finales	247

Tabla 3.131.	Iteración 12: Opción Inicial Costo de la Opción Inicial	248
Tabla 3.132.	Iteración 12: Opción Inicial Cálculo de la Carga de Presión en Nudos	248
Tabla 3.133.	Iteración 12: Opción Inicial Jerarquización	249
Tabla 3.134.	Iteración 12: Opción Inicial Beneficio Costo por Opciones	249
Tabla 3.135a.	Iteración 13: Opción Inicial Cálculos Hidráulicos: Teoría Lineal Caudales Iniciales	250
Tabla 3.135b.	Iteración 13: Opción Inicial Cálculos Hidráulicos: Teoría Lineal Caudales Finales	251
Tabla 3.136.	Iteración 13: Opción Inicial Costo de la Opción Inicial	252
Tabla 3.137.	Iteración 13: Opción Inicial Cálculo de la Carga de Presión en Nudos	252
Tabla 3.138.	Iteración 13: Opción Inicial Jerarquización	253
Tabla 3.139.	Iteración 13: Opción Inicial Beneficio Costo por Opciones	253
Tabla 3.140a.	Iteración con el Diámetro de Mayor Costo Cálculos Hidráulicos: Teoría Lineal Caudales Iniciales	254
Tabla 3.140b.	Iteración con el Diámetro de Mayor Costo Cálculos Hidráulicos: Teoría Lineal Caudales Finales	255
Tabla 3.141.	Iteración con el Diámetro de Mayor Costo Costo de la Opción Inicial	256
Tabla 3.142.	Iteración con el Diámetro de Mayor Costo Cálculo de la Carga de Presión en Nudos	256
Tabla 3.143.	Iteración con el Diámetro de Mayor Costo Jerarquización	257
Tabla 3.144.	Iteración con el Diámetro de Mayor Costo Beneficio Costo por Opciones	257
Tabla 3.145.	Método de Hardy Cross - Caudal Relativo en Tuberías	259
Tabla 3.146.	Método de Hardy Cross - Cargas de Presiones Relativas en Nudos	259
Tabla 3.147a.	Método de Cornish - Caudal Relativo en Tuberías	262
Tabla 3.147b.	Método de Cornish - Caudal Relativo en Tuberías	262
Tabla 3.148a.	Método de Cornish - Carga De Presión Relativa en Nudos	263
Tabla 3.148b.	Método de Cornish - Carga De Presión Relativa en Nudos	263
Tabla 3.149.	Método de Newton Raphson - Caudal Relativo en Tuberías	266

Tabla 3.150.	Método de Newton Raphson - Cargas de Presiones Relativas en Nudos	266
Tabla 3.151.	Método de la Teoría Lineal - Caudal Relativo en Tuberías	269
Tabla 3.152.	Método de la Teoría Lineal - Cargas de Presiones Relativas en Nudos	269
Tabla 3.153.	Método del Gradiente - Caudal Relativo en Tuberías	272
Tabla 3.154.	Método del Gradiente - Cargas de Presiones Relativas en Nudos	272

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1.	Caudales consumidos en los nudos y Caudales de Alimentación	31
Figura 1.2.	Red cerrada para ilustrar el uso del Método de la Teoría Lineal	55
Figura 3.1.	Ubicación Política del Centro Poblado “Campanita”	75
Figura 3.2.	Ubicación del Centro Poblado “Campanita” dentro del Distrito de San José	76
Figura 3.3.	Plano de Lotización – Centro Poblado “Campanita”	77
Figura 3.4.	Plano Topográfico – Centro Poblado “Campanita”	82
Figura 3.5.	Plano del Esquema Hidráulico	84
Figura 3.6.	Gráfica – Costo por metro lineal vs. Diámetro	85
Figura 3.7.	Condiciones Iniciales adoptadas	181
Figura 3.8.	Método de Hardy Cross – Principio de Conservación de la Energía	183
Figura 3.9.	Método de Hardy Cross – Caudal en Tuberías (lps)	183
Figura 3.10.	Método de Hardy Cross – Carga de Presión en Nudos (H ₂ O)	185
Figura 3.11.	Método de Cornish – Principio de Conservación de Masa en Nudos	188
Figura 3.12.	Método de Cornish – Caudal en Tuberías (lps)	188
Figura 3.13.	Método de Cornish – Carga de Presión en Nudos (H ₂ O)	190
Figura 3.14.	Método de Newton Raphson – Principio de Conservación de la Energía	192
Figura 3.15.	Método de Newton Raphson – Caudal en Tuberías (lps)	192
Figura 3.16.	Método de Newton Raphson – Carga de Presión en Nudos (H ₂ O)	192
Figura 3.17.	Método de la Teoría Lineal – Principio de Conservación de la Energía	194
Figura 3.18.	Método de la Teoría Lineal – Caudal en Tuberías (lps)	196
Figura 3.19.	Método de la Teoría Lineal – Carga de Presión en Nudos (H ₂ O)	196
Figura 3.20.	Método del Gradiente – Principio de Conservación de la Energía	198
Figura 3.21.	Método del Gradiente – Caudal en Tuberías (lps)	200
Figura 3.22.	Método del Gradiente – Carga de Presión en Nudos (H ₂ O)	200
Figura 3.23.	Método de Hardy Cross – Caudal Relativo en Tuberías	260
Figura 3.24.	Método de Hardy Cross – Carga de Presión Relativa en Nudos	260
Figura 3.25.	Método de Cornish – Caudal Relativo en Tuberías	264
Figura 3.26.	Método de Cornish – Carga de Presión Relativa en Nudos	264
Figura 3.27.	Método de Newton Raphson – Caudal Relativo en Tuberías	267

Figura 3.28.	Método de Newton Raphson – Carga de Presión Relativa en Nudos	267
Figura 3.29.	Método de la Teoría Lineal – Caudal Relativo en Tuberías	270
Figura 3.30.	Método de la Teoría Lineal – Carga de Presión Relativa en Nudos	270
Figura 3.31.	Método del Gradiente – Caudal Relativo en Tuberías	273
Figura 3.32.	Método del Gradiente – Carga de Presión Relativa en Nudos	273
Figura 3.33.	Carga de Presión vs. Costo Considerando cada Opción	274
Figura 3.34.	$\Delta P/\Delta C$ vs. Costo Considerando cada Opción	275
Figura 3.35.	Variación de Diámetros en Tuberías Considerando cada Iteración	276
Figura 3.36.	Variación de Velocidad en Tuberías Considerando cada Iteración	278
Figura 3.37.	Variación de la Carga de Presión en Nudos Considerando cada Opción por Iteración	279

INTRODUCCIÓN

Actualmente el ingeniero calculista de redes cerradas presurizadas de distribución de agua potable dispone de muchas herramientas poderosas (software) para el análisis y diseño de estos sistemas; sin embargo el ingeniero debe aspirar a ser algo más que un calculista que maneje a nivel de usuario los nuevos programas como una caja negra, donde introduzca los datos por una parte y la computadora les responda lo que debe hacer, por la otra.

La decisión sobre el software a utilizar depende tanto de los alcances deseados del análisis de la red, como de los recursos disponibles, así como de su utilización a futuro. Para un ingeniero que revise o diseñe una red pequeña de tuberías puede ser suficiente un programa de cálculo desarrollado por él mismo, no obstante para un organismo operador de una red en una ciudad, puede ser necesario el uso de un programa que además de calcular su funcionamiento permita el uso simultáneo del software por varios ingenieros para su monitoreo y operación en tiempo real.

Independientemente de la complejidad de la red cerrada presurizada de tuberías, del software disponible como herramienta, y del tipo de análisis, el ingeniero calculista, debe estar familiarizado con los componentes de la red, su rango de operación, así como las bases, alcances y limitaciones del método de cálculo y del software empleado, pues es necesario dicho conocimiento para detectar errores de cálculo, funcionamiento y operación, así como para proponer de manera racional los cambios o adecuaciones necesarias a la red de abastecimiento para lograr un funcionamiento satisfactorio.

La normatividad actual (OS. 50 REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO) no contempla la optimización en el diseño de tuberías presurizadas que conforman sistemas de distribución de agua potable, por lo que se hace necesario plantear metodologías basadas en algoritmos ingeniosos, lógicos y relativamente sencillos.

OBJETIVOS

OBJETIVO PRINCIPAL

Diseñar en forma óptima de redes cerradas de tuberías presurizadas para abastecimiento de agua potable.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Revisar los fundamentos de hidráulica aplicados a redes cerradas de tuberías presurizadas.
- Revisar y comparar los métodos de cálculo hidráulico aplicados a redes cerradas de tuberías presurizadas para abastecimiento de agua.
- Plantear metodología para el diseño óptimo de redes cerradas de tuberías presurizadas.
- Diseñar en forma óptima la red cerrada de tuberías presurizadas para abastecimiento de agua potable en flujo permanente destinado al centro poblado Campanita ubicado en el distrito de San José de la Provincia de Pacasmayo del Departamento de La Libertad.

CAPITULO I: ASPECTOS TEÓRICOS

1.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

1.1.1. HIDRÁULICA DE TUBERÍAS

Autor: Juan G. Saldarriaga V.

País: Colombia.

Año: 2007.

RESUMEN

Las redes cerradas 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. Las ecuaciones que gobiernan el flujo uniforme en tuberías se conocen con el nombre de ecuaciones de fricción, ya que por lo general relacionan la energía que se pierde en el proceso del movimiento del fluido a causa de la fricción entre la pared del ducto y el fluido. Todas las ecuaciones que describen el flujo uniforme en tuberías son de naturaleza similar: se basan en un equilibrio de fuerzas muy sencillo. Las diferencias entre estas ecuaciones, más de forma que de fondo, obedecen a los procesos empíricos utilizados en la deducción.

Son deducidas en forma clara y didáctica las ecuaciones de distribución de velocidad y de esfuerzo cortante en tuberías, las ecuaciones que describen la interacción fluido – paredes sólidas y las ecuaciones de fricción, utilizadas para el diseño de tuberías. Se plantean las diferentes ecuaciones que describen el factor de fricción de Darcy para el caso de flujo permanente, desde hidráulicamente liso hasta hidráulicamente rugoso.

En orden cronológico se presentan los métodos más utilizados en el análisis y diseño de redes cerradas:

1936: Método de Hardy Cross con corrección de caudales en tuberías.

1938: Método de Cornish con corrección de cargas de presión en tuberías.

1970: Método de Newton – Rapshon.

1972: Método de la teoría lineal

1988: Método del gradiente hidráulico.

La presentación de los métodos más utilizados en el análisis y diseño de redes cerradas, obedece a dos hechos importantes. En primer lugar, los métodos más importantes 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 de 1970 y 1980, impuso 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 el análisis de redes cerradas se determinan los caudales en cada una de las tuberías y las cargas de presión en cada uno de los nudos de la red dadas unas condiciones de topografía, de caudales demandados en los nudos y de cargas de presión fijas en los nudos de entrada a la red. Se presenta una corta descripción de los diferentes programas comerciales para el análisis de redes de acueductos. Finalmente se introducen a dos tópicos avanzados relacionados con este tipo de redes de tuberías: el diseño optimizado de redes nuevas y el diseño optimizado de redes existentes.

1.1.2. ELEMENTOS DE DISEÑO PARA ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLAS.

Autor: Ricardo A. López C.

País: Colombia.

Año: 2011.

RESUMEN

El transporte de agua para satisfacer las necesidades de una comunidad es una práctica muy antigua. El primer sistema de transporte de agua en el que se usaban conductos circulares cerrados (civilizaciones anteriores transportaban el agua en canales abiertos) data del año 1500 A.C. en la isla de Creta. Posteriormente Arquímedes desarrolla las primeras leyes de la mecánica de fluidos (250 a.C.), mientras que hacia el año 100 D.C. se construyó el acueducto romano que transporta agua desde grandes distancias y se publican los primeros libros acerca de los sistemas de abastecimiento de agua. En el año de 1455 aparece la tubería de hierro en Alemania.

Adelantos científicos como los de Pitot (medición de la velocidad del flujo en 1732), Bernoulli (publicación de los principios de las leyes de energía aplicados a sistemas hidráulicos en 1738) y Euler (desarrollo la ecuación de energía en 1752) sientan las bases de la hidráulica que aún perdura en nuestros tiempos. En 1754 se construye el primer sistema de acueducto en Estados Unidos (Pensilvania). Los trabajos desarrollados por numerosos investigadores, como St. Venant (ecuaciones de cantidad de movimiento en 1843), Darcy – Weibash (primer desarrollo de la ecuación de pérdida de energía en 1845) y Hazen Williams (fórmula empírica para el cálculo de pérdidas de energía en 1906), son base para la modelación matemática del flujo en tuberías. Hardy Cross formula las primeras ecuaciones para el análisis de sistemas de redes en 1936.

La segunda mitad del siglo XX es de particular importancia, debido al desarrollo de los primeros computadores en la década de los años 50. Los primeros modelos digitales para la solución de redes de tuberías aparecen en las décadas de los sesenta y setenta. Surgen muchos métodos de análisis de redes numéricamente complejos, pero de relativa facilidad de solución debido al alto grado de desarrollo en la capacidad de cálculo en los computadores modernos.; uno de los últimos métodos es el del gradiente, publicado en 1988 por E. Todini y S. Polati. Hoy en día existen numerosos programas comerciales para la modelación hidráulica y de calidad de agua en redes de distribución de los sistemas de acueductos. Cabe anotar que los

resultados obtenidos por dichos modelos jamás serán superiores a la calidad de los datos de entrada y no remplazaran el análisis juicioso del ingeniero, que debe aplicar dichos resultados en condiciones técnicas, económicas y sociales de muy diversa naturaleza.

En el caso de mallas cerradas, el equilibrio hidráulico de la red puede hacerse por cualquier método que permita el cierre o diferencia de presiones entre la entrada y la salida de la malla menor a 0.1 metros de columna de agua. Los métodos tradicionales de cálculo manual son Hardy Cross y Longitudes Equivalentes. Otros métodos, como por ejemplo el método del gradiente, pueden consultarse en otros textos de referencia.

A la fecha, existen varios programas comerciales que permiten la modelación y optimización de redes combinadas (abiertas y cerradas): Kypipe, Watercad, Epanet, Cybernet y Redes, entre otros.

1.1.3. THE HISTORY OF WATER DISTRIBUTION NETWORK ANALYSIS: THE COMPUTER AGE.

Autor: Lindell E. Ormsbee.

País: Estados Unidos.

Año: 2013.

RESUMEN

En los últimos 70 años, diferentes métodos numéricos han sido usados (y siguen empleándose) para estimar los caudales y presiones en redes de distribución de agua. Estos métodos van desde aproximaciones gráficas basadas en analogías físicas, métodos numéricos iterativos simples hasta complejas organizaciones matriciales para la resolución numérica de sistemas de ecuaciones no lineales.

Es importante destacar que todos los métodos numéricos de análisis de régimen permanente en redes de distribución se basan en dos principios tan básicos como

antiguos que se cumplen independientemente de la configuración y elementos que componen el sistema, estos son:

- Ecuación de Conservación de Masa en Nodos
- Ecuación de Conservación de Energía aplicadas a un flujo incompresible a través de un sistema a Presión.

Las variables del modelo (algunas conocidas) son entonces:

- Los Caudales internos que circulan por las líneas.
- Los Caudales Q_D externos demandados por los nodos.
- La altura piezométrica H y Presión P en los nodos del sistema.
- Las pérdidas de carga h en cada línea.

Si bien los principios básicos conocidos también como Leyes de Kirchoff, son compartidos por todos los métodos y las formulaciones constituyen un sistema de ecuaciones resultantes de naturaleza no lineal que no tiene una resolución directa y requiere de procesos iterativos; las diferentes aproximaciones numéricas para la determinación de incógnitas (comprobación de diseño) en redes de distribución se pueden agrupar en dos grandes familias:

- **Metodologías basadas en técnicas iterativas de Gauss-Seidel y Jacobi** (resolución del problema efectuando en cada iteración una resolución secuencial de cada una de las ecuaciones). Ejemplo: Métodos de Cross y Cornish.
- **Metodologías de Equilibrio Simultáneo de las Variables** (resolución basada en técnicas de linealización de las ecuaciones). Ejemplo: Métodos de Newton – Rapshon, Teoría Lineal y del gradiente hidráulico.

Es importante anotar que los métodos de Newton – Rapshon, Teoría Lineal y del gradiente hidráulico emplean formulaciones matriciales aprovechando el gran poder de procesamiento numérico de los computadores modernos.

Podemos establecer una breve síntesis histórica clasificando en 5 diferentes periodos los avances que nos han conllevado al estado actual de la tecnología. El resumen (sujeto a diversas discusiones) se puede apreciar en la Tabla 1.1.

- Periodo I: Desarrollo fundamentos teóricos.
- Periodo II: Era pre-informática.
- Periodo III: Inicio de la era computacional.
- Periodo IV: Surgimiento de métodos de análisis avanzados en la era computacional moderna.
- Periodo V: La industria del software comercial para análisis de sistemas de distribución.

En los últimos 10 años (después de 2002), el desarrollo y avance de los paquetes comerciales ha sido tal que a pesar de compartir muchos la misma base del algoritmo de cálculo (Gradiente Hidráulico) existe una marcada diferenciación entre los diferentes software especialmente en conceptos de interoperabilidad, facilidad de uso, herramientas de productividad, procesos de consulta multi-criterio, operaciones de análisis espacial, posibilidades gráficas, integración con Sistemas de Información Geográfica (GIS), etc.

Predecir el futuro y las tendencias de desarrollo no es una tarea fácil, especialmente por la pronunciada dinámica de la industria del software. Sin embargo hay tendencias que claramente están ganando popularidad marcarán algunos de los desarrollos futuros, como son:

- Intercambio de Datos con otros Sistemas de Información, Dispositivos Electrónicos (Gadgets) y/o otros programas de gestión.

- Uso de avanzadas técnicas de inteligencia artificial (ej.: Algoritmos Genéticos) para procesos de calibración hidráulica automatizada, diseño óptimo y optimización energética.
- Detección automática de Fugas.
- Planes de Vulnerabilidad ante eventos de Contaminación.
- Integración con SCADA.
- Análisis de Calidad multi-parámetro.
- Integración con Análisis de Gradientes Hidráulicos.

No obstante, lo anterior no elimina la necesidad de contar en los proyectos de modelación con la participación de ingenieros y técnicos experimentados, dado que sigue siendo responsabilidad del usuario de los modelos el entendimiento del sistema real y del modelo, y la toma de decisiones operativas de diseño y/o administrativas basadas en el buen juicio de ingeniería.

Tabla 1.1a. Síntesis histórica de formulaciones y métodos de análisis de redes malladas.

Periodo	Año	Investigados/Autor(es)	Investigaciones/Formulaciones/Métodos de Análisis
I	1839	<i>G. Hagen y J.L. Poiseulle</i>	Ecuación de Pérdidas de Carga para tuberías en régimen laminar.
	1845	<i>Darcy y Weisbach</i>	Fórmula para las pérdidas de carga por fricción en un flujo a través de una tubería simple.
	1883	<i>O. Reynolds</i>	Definición de Número Adimensional para distinción entre régimen Laminar y Turbulento.
	1906	<i>Hazen y Williams</i>	Fórmula empírica para la pérdida de carga por fricción en el flujo a través de una tubería simple.
	1938	<i>C. Colebrook y C. White</i>	Formulación basada en trabajos de <i>Prandtl</i> y sus discípulos (<i>Von Karman, Nikurodse y Blasius</i>) para la determinación del factor de fricción en la fórmula de <i>Darcy</i> .

Tabla 1.1b. Síntesis histórica de formulaciones y métodos de análisis de redes malladas.

Periodo	Año	Investigados/Autor(es)	Investigaciones/Formulaciones/Métodos de Análisis
II	1936	<i>Hardy Cross</i>	Método de Cross con Corrección de Caudales. Técnica de Relajación elaborada por H. Cross profesor de ingeniería estructural I de la Universidad de Illinois. Método originalmente desarrollado para cálculo de estructuras de concreto extendido a Redes Malladas a Presión basado en un principio de balanceo de caudal.
	1938	<i>R.J. Cornish</i>	Modificación al Método de Cross denominado originalmente <i>Balance de Cantidad</i> que posteriormente se conoció como M. Hardy Cross con corrección de altura.
	1950	<i>McIlroy</i>	Método de Análisis de Fluidos en Redes análogo al Método Computacional Eléctrico.

Tabla 1.1c. Síntesis histórica de formulaciones y métodos de análisis de redes malladas.

Periodo	Año	Investigados/Autor(es)	Investigaciones/Formulaciones/Métodos de Análisis
III	>1950	N/A	Desarrollos y Pruebas con subrutinas numéricas de los primeros computadores digitales.
	1957	<i>Hang and Weinberg</i>	Adaptación de los métodos de <i>Hardy Cross</i> para computadores digitales.
	1955-1965	<i>Rader & Associates y Brown & Caldwell</i>	Comercialización de Servicios de Ingeniería para cálculo de redes basado en modelos computacionales.
	>1960	<i>Daries Corporation, TX</i>	Pioneros en la Venta de Software de Cálculo comercial.

Tabla 1.1d. Síntesis histórica de formulaciones y métodos de análisis de redes malladas.

Periodo	Año	Investigados/Autor(es)	Investigaciones/Formulaciones/Métodos de Análisis
IV	1962-1963	<i>Martin y Peters</i>	Método del Nodo Simultáneo. Aplicación del Método Iterativo de <i>Newton-Raphson</i> a redes de distribución por parte de <i>D.W. Martin</i> y <i>G. Peters</i> .
	1968	<i>Shamir y Howard</i>	Expansión del Método del Nodo Simultáneo.
	1970	<i>A. Fowler y R. Epp</i>	Método del Circuito Simultáneo.
	1970-1972	<i>Wood y Charles</i>	Método de la Teoría Lineal. Metodología desarrollada por <i>D.J. Wood</i> y <i>C.O.A. Charles</i> que permite resolver simultáneamente las ecuaciones de conservación de masa en nodos y conservación de energía en circuitos.
	1977	<i>R. Jeppson</i>	Programa comercial para el análisis de redes con base en el método del circuito simultáneo.
	1987	<i>Todini y Pilati</i>	Método del Gradiente Hidráulico. Finalmente formulado por <i>E. Todini</i> y <i>Plati</i> . Método de manejo matricial de las ecuaciones de energía y conservación de masa de rápida convergencia.

Tabla 1.1e. Síntesis histórica de formulaciones y métodos de análisis de redes malladas.

Periodo	Año	Investigados/Autor(es)	Investigaciones/Formulaciones/Métodos de Análisis
V	1980-1985	IBM y Otros Fabricantes	Introducción de los primeros Computadores Personales (IBM o Compatibles) y nacimiento de la industria del Software Comercial para Análisis de Redes.
	1981-1985	Boeing Computer Servi - Univ. Kentucky Civil	Lanzamiento de primeros programas comerciales de Análisis de Redes de Distribución para PC como el WATSIM (Boeing Computer Serv.) y KYPIPE (Universidad de Kentucky).
	1982-1985	<i>D. Wood</i> y U.S. EPA	Desarrollos de los primeros modelos de calidad en estado estático.

Tabla 1.1f. Síntesis histórica de formulaciones y métodos de análisis de redes malladas.

Periodo	Año	Investigados/Autor(es)	Investigaciones/Formulaciones/Métodos de Análisis
V	1985	ASCE-División de Gestión de Recursos Hídricos	La sociedad de Ingenieros de EE.UU. en su conferencia anual realizó una serie de sesiones para evaluación de metodologías numéricas que posteriormente se llamaron "La Batalla de los Modelos".
	1986	AWWA-U.S. EPA-Diversas Universidades	En el Simposio de Sistemas de Distribución organizado por AWWA se da una Introducción formal a los Modelos Dinámicos de Calidad de Agua.
	1987	<i>J. Gessler, J. Sjoström y T. Walski</i> - Patrocinio USACE	Lanzamiento de software WADISO, programa de dominio público con simulaciones en periodo estático y extendido. Uno de los pioneros en incluir un módulo de optimización de diseño.
	1988-1990	<i>W. Grayman, R. Clark y D. Males</i>	Desarrollo del modelo de calidad DWQM. Modelo Dinámico de calidad basado en un Método de Elementos de Volumen Discretos que se integraba y partía de los resultados generados por un modelo hidráulico.
	1990-1993	Firmas de desarrollo de Software Comercial	Lanzamiento de paquetes de software con entrada amigable de datos y entornos gráficos como CyberNet, RINCAD, STONER, AQUANET, Piccolo, etc. Se destaca la integración de algunos paquetes con entornos CAD como el CyberNET de Haestad Methods.
	1993	<i>Lewis Rossman</i> - U.S. EPA	EPANET 1.0. Lanzamiento al Público del Programa para el Análisis de Redes por parte de la EPA y bajo el liderazgo de <i>L. Rossman</i> retomando los modelos WADISO y DQM, y llevando al usuario a una interfaz gráfica en Windows. La versión 2.0 a finales de los 90's incluyó importantes modificaciones al programa original.
	1998-2002	Centro Suizo de Desarrollo Cooperativo de Tecnologías (SKAT)	Publicación/Recopilación Técnica de los 10 programas de software mas usado a nivel mundial para el análisis y diseño de sistemas de Distribución. Predecesores de los programas actualmente mas populares del mercado: WaterCAD/GE MS, H ₂ O Map, MikeNet, Pipe 2012, etc.
	2002-Actualidad	Firmas varias de desarrollo de Software Comercial	Adopción del método del gradiente como algoritmo estándar de la mayoría de software, entorno gráfico en Windows, y técnicas de inteligencia artificial para Calibración Hidráulica y Diseño Optimizado.

1.1.4. PROPUESTA DE MÉTODOS PARA REVISIÓN, REHABILITACIÓN Y DISEÑO DE REDES DE TUBERÍA DE AGUA POTABLE.

Autor: Ismene Libertad América Rosales Plascencia.

País: México.

Año: 2012.

La revisión hidráulica consiste en determinar los gastos que circulan en las tuberías y los niveles piezométricos (cargas de presión) en varios puntos de la red. Para ello se requiere de la información siguiente: características físicas de las tuberías, conexiones entre tuberías, gastos de demanda, elevaciones de los tanques reguladores, etc.

El diseño hidráulico de una red consiste en seleccionar los diámetros de sus tuberías, de tal modo que conduzcan el agua hasta los usuarios, con servicio continuo, en cantidad suficiente y con la presión requerida en toda la zona por abastecer. Sin embargo, para que el diseño de la red de tuberías de agua potable sea el óptimo, se debe considerar no solo que el sistema propuesto sea eficiente desde el punto de vista hidráulico, sino que además sea una opción económica.

El proceso de selección de los diámetros de las tuberías de la red no es simple, ya que para llevar agua a los sitios de consumo, existen numerosas posibilidades, cada una con un costo determinado, que satisfacen las condiciones de operación hidráulica eficiente.

Para determinar una solución bajo la condición de diseño óptimo de una red de agua potable, es necesario contar con cierto número de soluciones, para elegir la que satisfaga las condiciones hidráulicas del sistema y que además sea una opción accesible considerando el aspecto económico.

Es importante señalar, que la solución óptima de una red de tuberías es única, y que el método propuesto no garantiza en todos los casos llegar a dicha solución; sin

embargo, sí reporta una solución sub-óptima, es decir, muy cercana a la solución óptima.

Para la aplicación del método propuesto, se requiere hacer el análisis hidráulico de la red de tuberías tantas veces como sea necesario, en función del número de arreglos que se proponga.

El planteamiento que se lleva a cabo del método de diseño de redes desde un punto de vista óptimo, no requiere fijar una distribución inicial de los gastos en las tuberías de la red, lo cual es una ventaja con respecto a la mayoría de los métodos existentes y además, los diámetros propuestos para formar la red son diámetros comerciales.

Considerando que en un proyecto de diseño se cuenta con los gastos de demanda y las características de la zona por abastecer, se procede a realizar el trazo, el cual consiste en la unión de los puntos de demanda por medio de líneas, de modo tal que sigan la configuración urbana y la topografía de la zona. Por lo general, el trazo se define formando circuitos.

Sera necesario asignar un mismo diámetro inicial para todas las tuberías de la red, será el diámetro mínimo, para definir con el cual se habrá de iniciar la aplicación de la metodología propuesta, se evitara cálculos innecesarios; por otro lado, influye de manera positiva y la experiencia del técnico encargado del estudio, ya que ese diámetro será el menor del arreglo de la solución final a la que se llegara.

En los primeros métodos se trataba que la suma de las longitudes de los conductos que unen los puntos de demanda de la red fuera mínima; sin embargo, ella se determinaba una vez que se habían escogido los diámetros de las tuberías de acuerdo con la experiencia del diseñador (Tong, 1961). En 1966, Raman y Raman propusieron modificar el método anterior condicionando que en los circuitos, la longitud mínima de tubería se encontrara cuando se cumpliera que en un circuito la suma de las longitudes entre el gasto fuera nula. Con este método tampoco se encontraba propiamente un diseño económico.

Deb y Sarkar (1971) plantearon minimizar los diámetros utilizados por medio de una ecuación de pérdida de energía junto con una función lineal del costo de la tubería. Como esta función no está relacionada con los diámetros comerciales, al ajustarlos cambia su valor mínimo.

Con base en los primeros modelos se propusieron otros en los que se establece una función objetivo sujeta a varias restricciones; las cuales estaban basadas en el trazo de la red, en las condiciones de operación hidráulica y en los diámetros comerciales.

Uno de los métodos de optimación de redes más conocidos es el de Alperovits y Shamir (1977), en él se plantea como función objetivo a la suma de los costos de cada tubería. El costo de la tubería se obtiene al sumar los productos del costo por metro lineal asociado a un cierto diámetro por la longitud del tramo, para los tramos en que se divide la longitud de cada tubería. En el método se busca minimizarla. En las restricciones se establece que la suma algebraica de las pérdidas de carga en un circuito sea igual a cero. Las incógnitas a determinar corresponden a las longitudes de los tramos de cierto diámetro que se consideran en cada tubería de la red. Este método tiene la desventaja de que en cada tubería deben existir más de dos tramos con diámetros diferentes, lo cual no es práctico. También requiere establecer de antemano la dirección y la magnitud de los gastos a conducir en cada tubería, lo que no asegura una solución óptima.

1.1.5. NORMA OS. 050 – REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO.

Autor: SENCICO.

País: Perú.

Año: 2007.

El objetivo de esta norma es fijar las condiciones exigibles en la elaboración de los proyectos hidráulicos de redes de agua para consumo humano.

Esta Norma 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.

En lo que respecta al análisis hidráulico la norma dispone:

- 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. Las tuberías y accesorios a utilizar deberán cumplir con las normas técnicas peruanas vigentes y aprobadas por el ente respectivo.

Otras disposiciones:

- **Con respecto al diámetro mínimo:**
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.

- **Con respecto a la velocidad:**

La velocidad máxima será de 3 m/s. En casos justificados se aceptará una velocidad máxima de 5 m/s.

- **Con respecto a las 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 H₂O la salida de la pileta.

1.2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

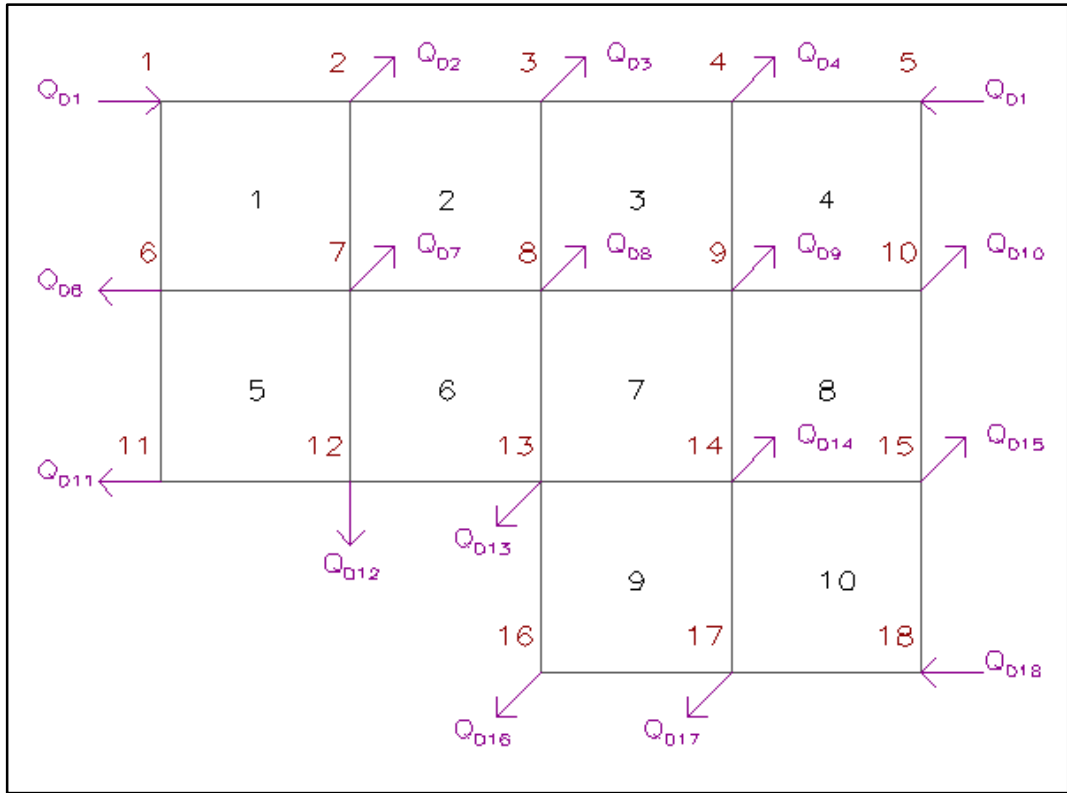
1.2.1. PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DEL ANÁLISIS DE REDES CERRADAS

Si se considera la red cerrada mostrada en la figura 1.1. y se tiene en cuenta que $Q_{D1}, Q_{D2}, Q_{D3}, Q_{D4}, \dots, Q_{Dn}$, 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 $Q_{e1}, Q_{e2}, Q_{e3}, \dots, Q_{en}$, son los caudales que alimentan la red de distribución, se puede establecer la siguiente ecuación:

$$\sum_{i=1}^m Q_e = \sum_{i=1}^{N_u} Q_D \quad (1.1)$$

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

Figura 1.1. Caudales consumidos en los nudos y Caudales de Alimentación.



La ecuación (1.1) 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:

$$\sum_{j=1}^{NT_i} Q_{ij} + Q_{Dj} = 0 \quad (1.2)$$

Donde NT_i es el número de tubos que llegan al nodo i y Q_{ij} representa el caudal que pasa por la tubería ij 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 Q_{ij} de la ecuación (1.2) 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:

$$H_j - H_i = \sum K_{mij} \frac{v_{ij}^2}{2g} + h_f \quad (1.2a)$$

$$H_j - H_i = \frac{v_{ij}^2}{2g} (\sum K_{mij} + f_{ij} \frac{i_{ij}}{d_{ij}}) \quad (1.2b)$$

$$H_j - H_i = \frac{Q_{ij}^2}{2gA_{ij}^2} (\sum K_{mij} + f_{ij} \frac{i_{ij}}{d_{ij}}) \quad (1.2c)$$

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

$$Q_{ij} = \left(\frac{H_j - H_i}{\sum K_{mij} + f_{ij} \frac{i_{ij}}{d_{ij}}} \right)^{\frac{1}{2}} \sqrt{2g} A_{ij} \quad (1.3)$$

Si se reemplaza este último resultado en la ecuación (1.2) se obtiene:

$$\sum_{j=1}^{NT_i} \left(\frac{H_j - H_i}{\sum K_{mij} + f_{ij} \frac{i_{ij}}{d_{ij}}} \right)^{\frac{1}{2}} \sqrt{2g} A_{ij} + Q_{Dj} = 0 \quad (1.4)$$

Donde NT_i 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 en la ecuación (1.3) se puede cambiar por la siguiente expresión:

$$Q_{ij} = \sqrt{2g} A_{ij} \left(\frac{1}{\sum K_{mij} + f_{ij} \frac{i_{ij}}{d_{ij}}} \right)^{\frac{1}{2}} (H_j - H_i) (|H_j - H_i|)^{-1/2} \quad (1.5)$$

Este tipo de ecuaciones para el diseño y análisis de redes cerradas de tuberías se conocen como las ecuaciones de cargas de presión. 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 cargas de presión, 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.

Por otro lado, a partir de los circuitos de tubos que conforman la red, los cuales pueden ser adyacentes o superpuestos, se pueden plantear las siguientes ecuaciones:

Ecuación de continuidad en las uniones que conforman el circuito:

$$\sum_{j=1}^{NT_i} Q_{ij} + Q_{Dj} = 0 \quad (1.2)$$

Ecuación de conservación de la energía alrededor del circuito:

$$\sum_{j=1}^{NT_i} h_{fij} + \sum_{j=1}^{NT_i} h_{mij} = 0 \quad (1.6)$$

Donde NT_i es el número de tubos del circuito i. Luego, si se utiliza la ecuación de Darcy-Weisbach en esta última ecuación, se obtiene la siguiente expresión:

$$\sum_{j=1}^{NT_i} \frac{V_{ij}^2}{2g} \left(\sum K_{mij} + f_{ij} \frac{l_{ij}}{d_{ij}} \right) = 0 \quad (1.7a)$$

$$\sum_{j=1}^{NT_i} \frac{Q_{ij}^2}{2gA_{ij}^2} \left(\sum K_{mij} + f_{ij} \frac{l_{ij}}{d_{ij}} \right) = 0 \quad (1.7b)$$

Las ecuaciones de tipo (1.7) se conocen como las ecuaciones de caudal de la red. En total se tienen NC ecuaciones de caudal, donde NC es el número de circuitos

que conforman la red, Nuevamente se puede observar que son ecuaciones no lineales.

Lo anterior implica que para el análisis de la red cerrada se tienen en total $NC + (NU - 1)$.

Ecuaciones que pueden ser utilizadas para encontrar las cargas de presión en cada nodo, una de las cuales debe ser conocida o supuesta, y los caudales en cada uno de los tubos que conforman la red. Sin embargo, este conjunto de ecuaciones no puede ser resuelto fácilmente debido a su naturaleza no lineal.

Una vez más debe establecerse una convención de signos para las ecuaciones de caudal (1.7). Los caudales en el circuito se consideran positivos si giran en el sentido de las agujas del reloj y negativos si lo hacen en sentido contrario. Para asegurar una correcta asignación del signo, estas ecuaciones se pueden transformar tal como se indica a continuación:

$$\sum_{j=1}^{NT_i} \frac{\sum K_{mij} + f_{ij} \frac{l_{ij}}{d_{ij}}}{2gA_{ij}^2} Q_{ij} (|Q_{ij}|) \quad (1.8)$$

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 las tuberías, lo cual implica que en realidad se trata de procesos de comprobación de diseño y no de diseños en sí. Sin embargo, en programas de diseño, con función objetivo de tipo optimización de costos, estos métodos de análisis deben informar alguna de las subrutinas del programa.

1.2.2. MÉTODOS PARA EL ANÁLISIS DE REDES CERRADAS.

1.2.2.1. MÉTODOS DE HARDY – CROSS CON CORRECCIÓN DE CAUDALES.

Este método para resolver las ecuaciones (1.4) y (1.7) fue desarrollado por el ingeniero norteamericano H. Cross 1936. El método original se basa en suponer los caudales en cada uno de los tubos de la red e ir corrigiendo esta suposición. Dado que todas las características de la tubería (d , k_s , $\sum K_m$), se conocen, el método es un proceso de comprobación de diseño.

La corrección de los caudales en cada uno de los ciclos de cálculo se hace de la siguiente manera.

Primero se supone un error ΔQ_i en el circuito i . Por consiguiente, para ese tubo las pérdidas reales son:

$$h_{ij} + \sum h_{mij} = \left(f_{ij} \frac{l_{ij}}{d_{ij}} + \sum k_{mij} \right) \frac{(Q_{ij} + \Delta Q_i)^2}{2gA_i^2} \quad (1.9)$$

Si se define una carga de presión que incluya la carga de presión perdida por fricción y la carga de presión perdida por accesorios, en la siguiente forma:

$$h_{ij} = h_{fij} + \sum h_{mij} \quad (1.10)$$

La anterior ecuación se convierte en:

$$h_{ij} = \left(f_{ij} \frac{l_{ij}}{d_{ij}} + \sum k_{mij} \right) \frac{(Q_{ij}^2 + 2Q_{ij}\Delta Q_i + \Delta Q_i^2)}{2gA_i^2} \quad (1.11)$$

El término ΔQ_i^2 puede ser despreciado en el segundo paréntesis de la parte derecha de esta última ecuación, ya que su orden de magnitud es pequeño comparado con los demás sumandos; luego:

$$h_{ij} = \left(f_{ij} \frac{I_{ij}}{d_{ij}} + \sum k_{mij} \right) \frac{Q_{ij}^2 + 2Q_{ij}\Delta Q_i}{2gA_i^2} \quad (1.12)$$

Ahora, utilizando la ecuación (1.8) se tiene que:

$$\sum_{j=1}^{NT_i} \frac{Q_{ij}^2}{2gA_{ij}^2} \left(\sum K_{mij} + f_{ij} \frac{I_{ij}}{d_{ij}} \right) + 2\Delta Q_i \sum_{j=1}^{NT_i} \frac{Q_{ij}^2}{2gA_{ij}^2} \left(\sum K_{mij} + f_{ij} \frac{I_{ij}}{d_{ij}} \right) = 0 \quad (1.13)$$

Despejando ΔQ_i se obtiene la siguiente ecuación para el cálculo del factor de corrección de caudales cada uno de los ciclos de cálculo:

$$\Delta Q_i = \frac{\sum \left(\sum K_{mij} + f_{ij} \frac{I_{ij}}{d_{ij}} \right) \frac{Q_{ij}^2}{A_{ij}^2}}{2 \sum \left(\sum K_{mij} + f_{ij} \frac{I_{ij}}{d_{ij}} \right) \frac{Q_{ij}^2}{A_{ij}^2}} \quad (1.14)$$

Esta última ecuación también puede ser escrita en la siguiente forma:

$$\Delta Q_i = \frac{\sum (\sum h_{ij} + \sum h_{mij})}{2 \sum \left[\frac{(\sum h_{ij} + \sum h_{mij})}{Q_{ij}} \right]} \quad (1.15)$$

Pasos que se deben seguir en el análisis con método de Hardy-Cross con corrección de caudales:

El análisis de una red de distribución de agua según el método de Hardy-Cross con corrección de caudales en los circuitos propone los pasos siguientes:

1. Se define claramente la geometría de la red, identificando en forma coherente los nodos y los circuitos.
2. Si existe más de un nodo con presión constante (tanque en la red o embalse), es necesario conectarlos en pares por medio de tuberías hipotéticas que pueden ser representadas por líneas punteadas. En estas tuberías hipotéticas se deben suponer diámetros, longitudes y rugosidades absolutas, de tal manera que se pueda calcular el caudal correspondiente a las diferencias de nivel entre los diferentes pares de embalses o tanques. En las correcciones de caudales, los tubos hipotéticos no deben ser incluidos, lo cual sí debe hacerse en el cálculo de las pérdidas de presión (por fricción y por accesorios).
3. Se suponen todos los diámetros de la tubería que conforman la red. Tal paso convierte este método en un proceso de comprobación de diseño.
4. Se supone que la red está compuesta por circuitos cerrados en cualquier orden. Con el fin de acelerar la convergencia se puede suponer que los tubos de diámetros grandes forman circuitos independientes. Se deben utilizar tantos circuitos como sea necesario para asegurar que todos los tubos queden incluidos en por lo menos un circuito.
5. Se supone el caudal a partir de cualquiera de las tuberías de la red. Luego se procede alrededor del circuito que contiene esta tubería para calcular los caudales en las demás tuberías que conforman el circuito teniendo en cuenta los caudales que salen de las uniones (caudales negativos) y los que entran a

ellas (caudales positivos). Si los flujos hacia o desde otro circuito son desconocidos, se deben suponer los caudales correspondientes. Esto significa que se deben hacer tantas suposiciones de caudales como circuitos existan en la red que se está analizando. Cuanto mejores sean estas suposiciones más rápidamente convergerá el método. La experiencia ayuda mucho en este aspecto.

6. Se calcula la pérdida de cabeza en cada tubería de la red utilizando la siguiente ecuación (de Darcy-Weisbach), si bien podría emplearse cualquier ecuación de resistencia fluida, tal como la de Hazen-Williams:

$$h_{ij} + \sum h_{mij} = \frac{Q_{ij}^2}{2gA_{ij}^2} (\sum K_{mij} + f_{ij} \frac{l_{ij}}{d_{ij}}) \quad (1.16)$$

El factor de fricción se calcula utilizando la ecuación de Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{K_S}{3.7d} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right) \quad (1.17)$$

7. Se calcula la pérdida neta de cabeza alrededor del circuito, es decir, se suman las pérdidas de cabeza y restando las "adiciones" de cabeza siempre medidas en el sentido de las agujas del reloj. Si la pérdida neta de cabeza no es cero, se procede a corregir los caudales de cada una de las tuberías del circuito mediante la ecuación (1.10):

$$\Delta Q_i = \frac{\sum(\sum h_{ij} + \sum h_{mij})}{2 \sum \left[\frac{(\sum h_{ij} + \sum h_{mij})}{Q_{ij}} \right]} \quad (1.18)$$

8. Si en alguna de las tuberías del circuito existe una bomba centrífuga se debe restar la presión generada por ésta de las pérdidas en la tubería antes de hacer el cálculo de la corrección de caudales ΔQ_{ij} :

$$\sum(h_{ij} + \sum h_{mij}) \quad (1.19)$$

9. Los pasos 5 a 8 se repiten para todos los circuitos teniendo en cuenta los caudales corregidos en los circuitos calculados previamente.
10. Los pasos 5 a 9 se repiten hasta que el balance de presiones alrededor de todos los circuitos (ecuación de conservación de la energía) llegue a valores razonablemente cercanos a cero. Este criterio de convergencia es fijado por el diseñador de acuerdo con las características de la red que esté analizando.

1.2.2.2. MÉTODO DE CORNISH CON CORRECCIÓN DE CARGAS DE PRESIÓN.

Ésta es una modificación al método de Hardy-Cross hecha por R. J. Cornish (1939-1940) la cual, en esencia, es muy similar al método de balance de cantidad utilizado para el diseño y la comprobación de diseño en el caso de redes abiertas.

El método de Cornish con corrección de carga de presión se utiliza para resolver las ecuaciones de presión como las establecidas anteriormente. De nuevo se utiliza la ecuación de Darcy-Weisbach para el cálculo de las pérdidas por fricción, aunque se podría recurrir a cualquier ecuación de resistencia fluida. Las ecuaciones del método son, por consiguiente:

$$Q_{ij} = \left(\frac{H_j - H_i}{\sum K_{mij} + f_{ij} \frac{L_{ij}}{d_{ij}}} \right)^{\frac{1}{2}} \sqrt{2g} A_{ij} \quad (1.20)$$

En vez de suponer los caudales en cada uno de los tubos de la red, esta variación supone la presión en cada uno (NU-1) nodos de ésta (la presión en uno de los nodos es conocida o en su defecto tiene que ser supuesta por el diseñador). Luego se ajustan las presiones supuestas, nodo por nodo, hasta completar todos los nodos de la red. El proceso se repite hasta que la ecuación de continuidad llega a valores "lo suficientemente cercanos" a cero en todos los nodos. Esta cercanía es fijada por el diseñador de acuerdo con su criterio y con red que se esté diseñando.

El factor que se utiliza para corregir las presiones en cada uno de los nodos se calcula tal como se explica a continuación. Si se supone que la presión H convierte en:

$$Q_{ij} = \left(\frac{H_j - H_i - \Delta H_i}{\sum K_{mij} + f_{ij} \frac{L_{ij}}{d_{ij}}} \right)^{\frac{1}{2}} \sqrt{2g} A_{ij} \quad (1.21)$$

De donde se obtiene la siguiente ecuación:

$$Q_{ij} = \frac{\sqrt{2g} A_{ij}}{(\sum K_{mij} + f_{ij} \frac{L_{ij}}{d_{ij}})^{1/2}} (H_j - H_i - \Delta H_i)^{\frac{1}{2}} \quad (1.22)$$

Si se toma el último término de la derecha de la ecuación (1.22) y se utiliza el teorema del binomio:

$$(H_j - H_i - \Delta H_i)^{\frac{1}{2}} = (H_j - H_i)^{\frac{1}{2}} - \frac{1}{2} (H_j - H_i)^{-\frac{1}{2}} \Delta H_i \quad (1.23)$$

Luego, al remplazar esta última ecuación en la ecuación (1.15) se obtiene:

$$Q_{ij} = \frac{\sqrt{2g} A_{ij}}{(\sum K_{mij} + f_{ij} \frac{L_{ij}}{d_{ij}})^{1/2}} (H_j - H_i)^{\frac{1}{2}} - \frac{1}{2} (H_j - H_i)^{-\frac{1}{2}} \Delta H_i \quad (1.24)$$

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

$$\sum_{j=1}^{NTi} Q_{ij} + Q_{Dj} = 0 \quad (1.25)$$

Si se reemplaza los Q_{ij} se llega a:

$$\Delta H_i = \frac{2(\sum Q_{ij} - Q_{DJ} (+ Q_{ej}))}{\sum \frac{Q_{ij}}{H_j - H_i}} \quad (1.26)$$

En esta última ecuación, cada uno de los caudales Q_{ij} se calcula teniendo en cuenta las cabezas estimadas o las ya corregidas en uniones anteriores. Por supuesto, estas últimas se calculan de acuerdo con:

$$H_{ik} = H_{ik-1} + \Delta H_i \quad (1.20)$$

Donde los subíndices k y $(k-1)$ indican la iteración que se está haciendo y la iteración anterior. Ahora, la ecuación que se utiliza para el cálculo de los caudales sigue siendo la ecuación (1.3):

$$Q_{ij} = \left(\frac{H_j - H_i}{\sum K_{mij} + f_{ij} \frac{l_{ij}}{d_{ij}}} \right)^{\frac{1}{2}} \sqrt{2g} A_{ij} \quad (1.3)$$

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

$$H_B = A Q_{ij}^2 + B Q_{ij} + C \quad (1.21)$$

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

$$H_j - H_i = f_{ij} \frac{l_{ij}}{d_{ij}} \frac{Q_{ij}^2}{2gA_{ij}^2} + \sum K_{mij} \frac{Q_{ij}^2}{2gA_{ij}^2} - A Q_{ij}^2 + B Q_{ij} + C \quad (1.22)$$

Dado que esta ecuación es de la forma:

$$aQ_{ij}^2 + bQ_{ij} + c = 0 \quad (1.23)$$

Q_{ij} podrá calcularse fácilmente.

Pasos que se deben seguir en el análisis con Método de Cornish con corrección de Carga de Presiones

El análisis de una red de distribución de agua según el método de Cornish con corrección de carga de presiones en los nodos de la red propone los pasos siguientes:

1. Se define claramente la geometría de la red identificando en forma coherente los nodos y los circuitos.
2. Se supone la carga piezométrica en cada uno de los nodos de la red, excepto en aquellos en los que la presión sea fija (debe existir al menos un nodo con esta característica). Cuanto mejor sea la estimación inicial de estas presiones más rápidamente convergerá el método.
3. Se calcula el caudal en cada una de las tuberías mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{ij} = \left(\frac{H_j - H_i}{\sum K_{mij} + f_{ij} \frac{L_{ij}}{d_{ij}}} \right)^{\frac{1}{2}} \sqrt{2g} A_{ij} \quad (1.3)$$

El factor de fricción se calcula utilizando la ecuación de Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{K_S}{3.7d} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right) \quad (1.17)$$

Y algún método numérico, ya que el número de Reynolds Re es función del caudal Q_{ij} .

4. Se calcula la ecuación de continuidad para alguno de los nodos. Si ésta no arroja un resultado razonablemente similar a cero, se debe corregir la presión en este nodo utilizando la ecuación (1.26):

$$\Delta H_i = \frac{2 \sum [Q_{ij} - Q_{Dj} (+ Q_{ej})]}{\sum \frac{Q_{ij}}{H_j - H_i}} \quad (1.26)$$

Los caudales Q_{ij} y las cargas de presión ($H_j - H_i$) se consideran positivos si se dirigen hacia el nodo respectivo, es decir, si el caudal entra al nodo y si H_j es mayor que H_i .

5. Se corrige la carga de presión en cada uno de los nodos de presión variable de la red, es decir, repetir los pasos 3 y 4 para cada nodo.
6. El proceso se detiene en el momento en que la suma de caudales en cada nodo sea razonablemente similar a cero. El margen de error en esta aproximación debe ser fijado por el diseñador de acuerdo con su experiencia y con la red que se esté analizando. En caso de que alguno de los nodos no cumpla con esta condición se deben repetir los pasos 3, 4 y 5.

1.2.2.3. MÉTODO DE NEWTON – RAPHSON.

El método de Newton – Raphson es un método numérico que permite la solución de ecuaciones no lineales o cálculo de raíces de ecuaciones, en forma rápida y segura; las ecuaciones pueden ser explícitas o no explícitas:

$$f(x) = 0 \quad \text{Explícita} \quad (1.27)$$

$$g(x) = 0 \quad \text{No Explícita} \quad (1.28)$$

Es decir:

$$f(x) = g(x) - x \quad (1.29)$$

La raíz de la ecuación puede calcularse mediante iteraciones sucesivas siguiendo la regla de Newton. Dicha regla establece que si x_0 es una aproximación, a la raíz de $f(x)$ entonces $x_0 + \delta x_0$ es una mejor aproximación, donde:

$$\delta X_0 = - \frac{f(X_0)}{f'(X_0)} \quad (1.30)$$

Esta ecuación resulta de una serie de Taylor para $f(X_0 + \delta X_0)$ tal como se muestra a continuación:

$$f(X_0 + \delta X_0) = f(X_0) + f'(X_0)\delta X_0 + \frac{f''(X_0)}{2!}\delta X_0^2 + \frac{f'''(X_0)}{3!}\delta X_0^3 + \dots \quad (1.31)$$

Donde las primas indican derivadas de la función f . Si $X_0 + \delta X_0$ es la raíz de la función f , entonces:

$$f(X_0 + \delta X_0) = 0 \quad (1.32)$$

Si se iguala las ecuaciones (1.31) y (1.32) y despreciando los términos de segundo orden y órdenes superiores de δX_0 se obtiene la siguiente ecuación:

$$f(X_0) + \frac{df}{dx} \delta X_0 = 0 \quad (1.33)$$

$$\frac{df}{dx} \delta X_0 = -f(X_0) \quad (1.34)$$

Este procedimiento se puede generalizar fácilmente para encontrar las raíces de sistemas de ecuaciones no lineales.

Si se requiere resolver un sistema de N ecuaciones, las mejoras a las raíces aproximadas ($X_{01}, X_{02}, X_{03}, X_{04}, \dots, X_{0N}$), la cuales son $\delta X_{01}, \delta X_{02}, \delta X_{03}, \delta X_{04}, \dots, \delta X_{0N}$, pueden calcularse resolviendo las siguientes N ecuaciones lineales simultáneas:

$$-f_i(X_{01} + X_{02} + \dots + X_{0N}) = \sum_{i=1}^N \frac{df}{dx} \delta X_0 = 0 \quad (1.35)$$

Dónde $i = (1, N)$

Esta última ecuación puede expresarse en forma matricial si se recurre a la ecuación (1.34) y resolverse mediante un proceso de eliminación de Gauss. Los elementos conocidos son $\delta f_i / \delta x_j$ y f la matriz resultante es:

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} & \dots & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_N} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial f_3}{\partial x_1} & \frac{\partial f_3}{\partial x_2} & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial f_N}{\partial x_1} & \frac{\partial f_N}{\partial x_2} & \dots & \dots & \frac{\partial f_N}{\partial x_N} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \partial x_{0_1} \\ \partial x_{0_2} \\ \dots \\ \dots \\ \partial x_{0_N} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -f_1 \\ -f_2 \\ \dots \\ \dots \\ -f_N \end{pmatrix} \quad (1.36)$$

La anterior ecuación puede ser resuelta por eliminación gaussiana. En forma general, el sistema (1.36) puede escribirse en forma más compacta:

$$\begin{bmatrix} D_f \\ D_x \end{bmatrix} [D_x] = [-f] \quad (1.37)$$

Donde D_f/D_x denota la primera matriz de la ecuación (1.36) y D_x y $-f$ denotan las dos matrices columnas; entonces, multiplicando por la matriz inversa:

$$Q_{ij} = \sqrt{2g} A_{ij} \left(\frac{1}{\sum K_{mij} + f_{ij} \frac{1}{a_{ij}}} \right)^{\frac{1}{2}} (H_j - H_i) (|H_j - H_i|)^{-1/2} \quad (1.5)$$

Se obtiene:

$$Q_{ij} = \sqrt{2g} A_{ij} \left(\frac{H_j - H_i}{\sum K_{mij} + f_{ij} \frac{1}{a_{ij}}} \right)^{\frac{1}{2}} - Q_{oi} - O_i = 1, \dots, NU \quad (1.38)$$

Es evidente que esta ecuación es de la forma siguiente:

$$f_i(H_1 \dots H_{NU}) = \sqrt{2g} A_{ij} \left(\frac{H_j - H_i}{\sum K_{mij} + f_{ij} d_{ij}} \right)^{\frac{1}{2}} - Q_{oi} = 0 \quad (1.39)$$

Es decir:

$$f_i(H_1 \dots H_{NU}) = 0 \quad (1.40)$$

Las ecuaciones (1.39) y (1.40) son válidas para i variando entre 1 y NU ; es decir, se tiene un conjunto de ecuaciones que pueden ser resueltas mediante el método de Newton-Raphson.

Para aplicar el método en la ecuación (1.36) se debe calcular la matriz $[D_f/D_x]$. En este caso:

$$\frac{\partial f_i}{\partial X_j} = \frac{\partial f_i}{\partial H_j} \quad (1.41)$$

$$\frac{\partial f_i}{\partial X_i} = \frac{\partial f_i}{\partial H_i} \quad (1.42)$$

Donde H_i y H_j representan las cargas de presión en los nodos. Luego:

$$\frac{\partial f_i}{\partial X_j} = \frac{\partial}{\partial H_j} \left[\sum_{i=1}^N \sqrt{2g} A_{ij} \left(\frac{H_j - H_i}{\sum K_{mij} + f_{ij} d_{ij}} \right)^{\frac{1}{2}} - Q_{oi} = 0 \right] \quad (1.43)$$

Al llevar a cabo el proceso de derivación se obtiene:

$$\frac{\partial f_i}{\partial X_j} = \left[\frac{1}{2} \sqrt{2g} A_{ij} \left(\frac{1}{\Sigma K_{mij} + f_{ij} \frac{L_{ij}}{d_{ij}}} \right)^{\frac{1}{2}} (H_j - H_i)^{-1/2} \right] \quad (1.44)$$

En esta ecuación H_j debe ser mayor que H_i . En caso contrario se debe utilizar el valor absoluto.

Por otro lado, para la carga de presión H_i se tiene que:

$$\frac{\partial f_i}{\partial X_j} = \frac{\partial}{\partial H_j} \left[\sum_{i=1}^N \sqrt{2g} A_{ij} \left(\frac{H_j - H_i}{\Sigma K_{mij} + f_{ij} \frac{L_{ij}}{d_{ij}}} \right)^{\frac{1}{2}} - Q_{oi} = 0 \right] \quad (1.45)$$

Nuevamente, al desarrollar el proceso de derivación:

$$\frac{\partial f_i}{\partial X_j} = \left[-\frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sqrt{2g} A_{ij} \left(\frac{1}{\Sigma K_{mij} + f_{ij} \frac{L_{ij}}{d_{ij}}} \right)^{\frac{1}{2}} (H_j - H_i)^{-1/2} \right] \quad (1.46)$$

Y comparar las ecuaciones (1.41) y (1.42) se obtiene:

$$\frac{\partial f_i}{\partial H_j} = - \sum_{i=1}^N \frac{\partial f_i}{\partial H_j} \quad (1.47)$$

Pasos que se deben seguir en el análisis con el método de Newton Raphson

En la aplicación del método de Newton-Raphson se deben seguir los siguientes pasos:

1. Se suponen las cargas de presión en todos los nodos de la red. Las cargas de presión fijadas por tanques o embalses deben permanecer constantes a lo largo del proceso.
2. Se supone en cada tubo de la red que $\sum h_m$ es cero. Luego se calcula el caudal mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{IJ} = -2A_{ij} \frac{\sqrt{2gd_{ij}}}{\sqrt{I_{ij}}} \sqrt{h_i} \log_{10} \left[\frac{k_{ij}}{3.7d_{ij}} + \frac{2.51v\sqrt{I_{ij}}}{\sqrt{2gd_{ij}^3 h_i}} \right] \quad (1.48)$$

3. Con el caudal calculado se estima la velocidad V_{ij} y las pérdidas menores:

$$\sum h_{mij} = k_{mij} \frac{V_{ij}^2}{2g} \quad (1.49)$$

4. Se calcula un nuevo valor de h_{ij} .

$$h_{ij} = H_j - H_i - \sum h_{mij} \quad (1.50)$$

Y se determina un nuevo valor de Q_{ij} en la ecuación (1.48). El Proceso sigue hasta que valores sucesivos de cada caudal Q_{ij} son suficientemente parecidos.

5. Con los valores de caudal calculados y mediante la ecuación (1.3):

$$Q_{ij} = \left(\frac{H_j - H_i}{\sum K_{mij} + f_{ij} \frac{l_{ij}}{d_{ij}}} \right)^{\frac{1}{2}} \sqrt{2g} A_{ij} \quad (1.3)$$

$$\sum K_{mij} + f_{ij} \frac{l_{ij}}{d_{ij}} = \frac{H_i + H_j}{Q_{ij}^2} \sqrt{2g} A_{ij}^2 \quad (1.51)$$

6. Con los valores de $\sum K_{mij} + f_{ij} \frac{l_{ij}}{d_{ij}}$ calculados se estiman los valores de $\frac{\partial f_i}{\partial x_j}$ y $\frac{\partial f_i}{\partial H_j}$ en las ecuaciones (1.44) y (1.47) respectivamente. También se determinan los valores de f_i en la ecuación (1.40).

7. Se plantea la ecuación matricial:

$$\left[\frac{Df}{DH} \right] [DH] = [-F] \quad (1.52)$$

Y se resuelve para encontrar la matriz columna DH:

$$[DH] = \begin{bmatrix} \delta H_1 \\ \vdots \\ \delta H_{NU} \end{bmatrix} \quad (1.53)$$

8. Se corrigen los valores de H_i y H_j para todos los nodos:

$$H_{in} = H_{in-1} + \delta H_i \quad (1.54)$$

9. Con los nuevos valores de H_i y H_{jse} vuelve al paso 2. Los valores de las cargas de presión en nodos de presión constante no se corrigen.
10. El proceso termina cuando valores sucesivos de los H_{son} razonablemente iguales en iteraciones sucesivas.
11. El proceso converge de manera rápida. Para suposiciones de cargas de presión iniciales lógicas no se requiere más de cinco iteraciones.
12. Los nodos de cargas de presión constante pueden ser dejados por fuera del análisis, reduciéndose así el número de elementos de las matrices y vectores de la ecuación (1.36).

1.2.2.4. MÉTODO DE LA TEORÍA LINEAL.

Este método fue desarrollado por D. J. Wood y C. O.A. Charles entre 1970 y 1972. Se basa en la linealización de las ecuaciones de energía en cada una de las tuberías de la red. R_{oij} un método muy apto para ser programado, ya que sólo requiere de inversión de matrices y algunas iteraciones. Se ha demostrado que converge mucho más rápidamente que los métodos antes visto.

El método de la teoría lineal se basa en las siguientes ecuaciones:

1. Para cada unión (nodo) de la red se debe cumplir la ecuación de continuidad:

$$\sum_{j=1}^{NT_i} Q_{IJ} + Q_{DJ} = 0 \quad (1.2)$$

Si NU representa el número de nodos de la red se tendrán Nu ecuaciones, una de las cuales es redundante.

2. Para cada uno de los circuitos de la red se debe cumplir la ecuación de conservación de la energía:

$$\sum_{j=1}^{NTi} h_{fij} + \sum_{j=1}^{NTi} h_{mij} = 0 \quad (1.6)$$

Si NC representa el número de circuitos de la red, se tendrán NC ecuaciones. Mediante la ecuación de Darcy-Weisbach en la ecuación (1.6) se obtiene:

$$\sum_{j=1}^{NTi} \frac{Q_{ij}^2}{2gA_{ij}^2} \left(\sum K_{mij} + f_{ij} \frac{l_{ij}}{d_{ij}} \right) = 0 \quad (1.7b)$$

La anterior ecuación indica que se tienen NC ecuaciones no lineales para el caudal. Dado que no es posible resolver directamente estas ecuaciones simultáneas no lineales, en el caso de flujo en redes se deben utilizar métodos iterativos.

Las ecuaciones (1.7) y (1.7b), de las cuales existe una por cada circuito, se pueden transformar en:

$$\sum_{j=1}^{NTi} k_{ij} Q_{ij}^2 = 0 \quad (1.55)$$

Es claro que el factor k_{ij} estaría definido como:

$$K_{ij} = \frac{\sum K_{mij} + f_{ij} \frac{l_{ij}}{d_{ij}}}{2gA_{ij}^2} \quad (1.56)$$

Para resolver el sistema de ecuaciones, el método de la teoría lineal propone el procedimiento siguiente:

$$h_{ij} + \sum h_{mij} = k'_{ij} Q_{ij} \quad (1.57)$$

En donde:

$$k'_{ij} = k'_{ij} Q_{ij} \quad (1.58)$$

El caudal Q_{Dij} es el caudal estimado si se trata de la primera iteración, o el caudal corregido de la iteración previa para las demás iteraciones. Al reemplazar la ecuación (1.58) en la ecuación (1.55) se obtiene que:

$$\sum_{i=1}^{NTi} k'_{ij} Q_{ij} = 0 \quad (1.59)$$

Si en el circuito existe una bomba esta última ecuación cambia a:

$$\sum_{i=1}^{NTi} k'_{ij} Q_{ij} = H_B \quad (1.60)$$

Las NC ecuaciones (44), una para cada circuito, se combinan con las n ecuaciones de continuidad (una de las cuales es redundante, luego en realidad se utilizan: n-1 ecuaciones) para formar un sistema: $NT=NC+NU-1$ ecuaciones lineales. Es fácil demostrar que NT es el número de tubos de la red. Es decir, se tiene una ecuación para cada tubo y la incógnita para ellas es el caudal. Las cargas de presión de los nodos pueden ser calculadas, si se requieren, posteriormente.

Para utilizar las ecuaciones anteriores se debe suponer un caudal inicial en cada tubo. Una de las grandes ventajas del método de la teoría lineal radica en que al no tener éstos que cumplir la ecuación de continuidad en el nodo no se requiere tiempo para la preparación de datos iniciales. El caudal inicial puede ser supuesto igual para todos los tubos: por ejemplo, $Q = 100$ l/s para todo t_i . Esta situación no afecta la velocidad de convergencia.

Para obtener los k'_{ij} en cada iteración se utilizan las siguientes ecuaciones:

- **Factor de pérdidas:**

$$K_{ij} = \frac{\sum K_{mij} + f_{ij} \frac{l_{ij}}{d_{ij}}}{2gA_{ij}^2} \quad (1.56)$$

- **Ecuación de Colebrook-White:**

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{K_s}{3.7d} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad (1.17)$$

- **Número de Reynolds:**

$$Re_{ij} = \frac{v_{ij} d_{ij}}{\nu} = \frac{4Q_{oij}}{\pi d_{ij} \nu} \quad (1.61)$$

Junto con la ecuación (1.58)

$$k'_{ij} = k'_{ij} Q_{ij} \quad (1.58)$$

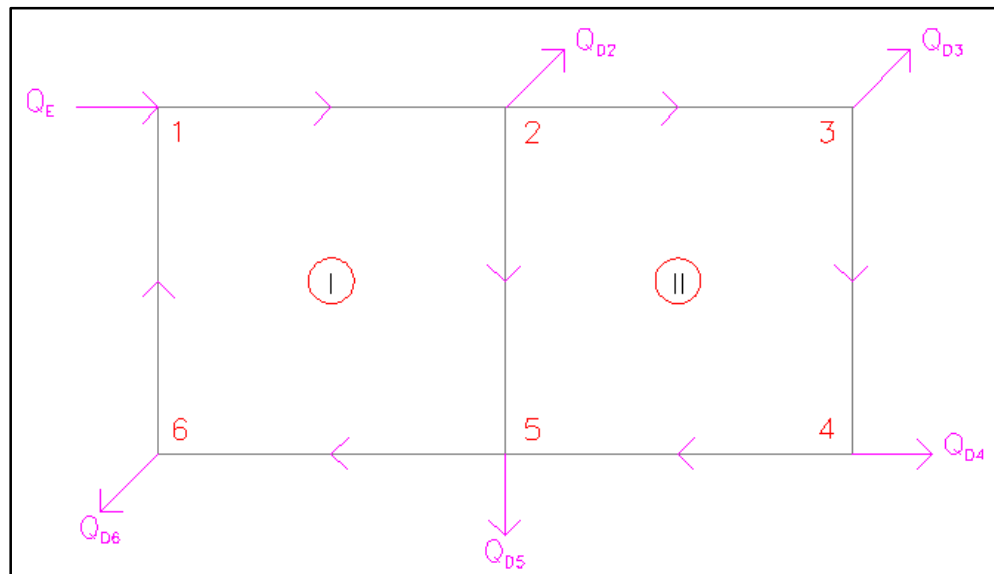
Al observar que en todos los procesos de cálculo de redes (Hardy-Cross, Newton-Raphson, etc.). Los valores del caudal en cada tubo convergen por

encima y por debajo, sucesivamente, al caudal final, Wood propuso que el caudal de la siguiente iteración ($k + 1$) no fuera el calculado en la iteración anterior (k), sino el siguiente:

$$Q_{o_{ijk+1}} = \frac{Q_{o_{ijk+1}} + Q_{ijk}}{2} \quad (1.62)$$

Esta última ecuación acelera de manera considerable el proceso de convergencia. El método puede resolverse matricialmente en la forma ilustrada en la figura B representativa de una red cerrada, en donde observa la topología de la red con dos circuitos y seis nodos.

Figura 1.2. Red cerrada para ilustrar el uso del Método de la Teoría Lineal.



En la figura anterior, las direcciones de los caudales son supuestas en forma arbitraria. Para esta red se pueden plantear las siguientes ecuaciones:

- **Ecuaciones de continuidad en los nodos:**

Se utiliza la convención usual: Si el caudal llega al nodo es positivo, si sale de él es negativo. Por consiguiente:

$$\begin{aligned}
-Q_{12} + Q_{16} &= -Q_E \\
+Q_{12} - Q_{23} - Q_{25} &= +Q_{D2} \\
+Q_{23} - Q_{34} &= +Q_{D3} \\
+Q_{34} - Q_{45} &= +Q_{D4} \\
+Q_{25} - Q_{45} - Q_{56} &= +Q_{D5} \\
+Q_{56} - Q_{61} &= +Q_{D6} \textit{ redundante}
\end{aligned} \tag{1.64}$$

- **Ecuaciones de conservación de energía en los circuitos:**

Nuevamente se utiliza la convención normal: Si el caudal (por consiguiente, la pérdida de energía) se dirige en sentido de las agujas del reloj es positivo; si lo hace en sentido contrario, es negativo. Para la red cerrada de la figura B se tiene que:

$$\begin{aligned}
K'_{12} Q_{12} + K'_{25} Q_{25} + K'_{56} Q_{56} + K'_{16} Q_{16} &= 0 \\
K'_{23} Q_{23} + K'_{34} Q_{34} + K'_{45} Q_{45} + K'_{25} Q_{25} &= 0
\end{aligned} \tag{1.65}$$

Las ecuaciones (1.64) y (1.65) pueden ser ordenadas en forma matricial de la siguiente manera:

$$\begin{bmatrix}
-1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\
1 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\
0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 1 & 1 & -1 & 0 \\
K'_{12} & 0 & 0 & 0 & K'_{25} & K'_{56} & K'_{61} \\
0 & K'_{23} & K'_{34} & K'_{45} & -K'_{25} & 0 & 0
\end{bmatrix}
\begin{bmatrix}
Q_{12} \\
Q_{23} \\
Q_{34} \\
Q_{45} \\
Q_{25} \\
Q_{56} \\
Q_{61}
\end{bmatrix}
=
\begin{bmatrix}
-Q_E \\
-Q_{D2} \\
-Q_{D3} \\
-Q_{D4} \\
-Q_{D5} \\
0 \\
0
\end{bmatrix} \tag{1.66}$$

O, en forma reducida:

$$[A][B] = [C] \tag{1.67}$$

Las incógnitas en cada iteración son los Q_{ij} (matriz columna $[B]$), es decir, los caudales en cada uno de los tubos que conforman la red; luego:

$$[B] = [B]^{-1} = [C] \quad (1.68)$$

Los valores de los k_{ij} de la matriz $[A]$ se calculan con los Q_{oij} para la primera iteración o con los: $Q_{oij(k+1)}$ para las demás iteraciones.

Pasos que se deben seguir en el análisis con el método de La Teoría Lineal

1. Se suponen los caudales con sus respectivas direcciones para cada uno de los tubos. Por ejemplo, se puede suponer un caudal de $Q_{ij} = 100$ l/s para todo tubo ij ; todos ellos en la dirección de las agujas del reloj.
2. Con estos caudales se calculan los K_{ij} en las ecuaciones (1.56), (1.17), (1.61) y (1.58) para cada tubo de la red.
3. Se plantean las ecuaciones lineales de continuidad y de conservación de energía (ecuaciones (1.2) y (1.58)).
4. Se construye la matriz $[A]$ (ecuación (1.67)), la cual es una forma compacta de las ecuaciones de continuidad en los nodos (ecuaciones (1.64)) y de conservación de energía en los circuitos (ecuaciones (1.65)).
5. Se calculan los caudales Q_{ij} en cada uno de los tubos de la red invirtiendo la matriz $[A]$, y resolviendo la ecuación (1.68).

6. Se corrigen Q_{oij} los caudales iniciales para la primera iteración o los caudales corregidos para las demás, antes de pasar a la siguiente iteración, utilizando la ecuación (1.62).
7. Se calculan los nuevos k_{ij} mediante las ecuaciones (1.56), (1.17), (1.61) y (1.58) y los caudales corregidos.
8. Se repiten los pasos 3 a 7 hasta que los Q_{ij} sean todos lo suficientemente parecidos en dos iteraciones sucesivas.

El grado de aproximación en los caudales es definido por el diseñador teniendo en cuenta factores tales como el tamaño de la red y los caudales de consumo en cada uno de los nodos.

1.2.2.5. MÉTODO DEL GRADIENTE

El método del gradiente para el cálculo de redes de distribución de aguas está basado en el hecho de que al tenerse un flujo permanente se garantiza que se cumplan las ecuaciones 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 dos condiciones:

- En cada nodo se debe cumplir la ecuación de continuidad:

$$\sum_{i=1}^{NTi} Q_{ij} - Q_{Di} + Q_{ei} = 0 \quad (1.69)$$

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

$$Q = -2 \frac{\sqrt{2gdh_i}}{\sqrt{f}} \text{Alog}_{10} \left[\frac{K_s}{3.7d} + \frac{2.51v\sqrt{f}}{\sqrt{2gd^3\sqrt{h_i}}} \right] \quad (1.70)$$

En esta última ecuación se ha utilizado la ecuación de Darcy-Weisbach junto con la ecuación de Colebrook – White, ya que durante el proceso de diseño el programador no tiene control sobre el número de Reynolds en todas las tuberías de la red, lo cual invalida el uso de la ecuación de Hazen – Williams.

Si se tienen en cuenta las pérdidas menores y la posible existencia de bombas en algunos de los tubos de la red, la anterior ecuación toma la siguiente forma general, válida para todos los tubos:

$$h_i = \alpha Q_i^n + \beta Q + \gamma \quad (1.71)$$

Donde:

n: exponente que depende de la ecuación de fricción utilizada (2.0 para el caso de la ecuación de Darcy – Weisbach)

α β γ : parámetros característicos del tubo, la válvula y las bombas. Los factores β y γ sólo son necesarios para este último caso.

Para el método del gradiente hidráulico se hacen las siguientes definiciones adicionales:

NT : Número de tuberías de la red

NN : Número de nodos con presión piezométrica desconocida.

[A12]: Matriz de Conectividad asociada a cada uno de los nodos de la red. Su dimensión es NT x NN con solo dos elementos diferentes de cero en la i-ésima fila:

- -1 en la columna correspondiente al nodo inicial del tramo i.
- 1 en la columna correspondiente al nodo final del tramo i.

NS: Número de nodos de carga de presión fija o conocida.

[A10]: Matriz topológica tramo para los NS nodos de carga de presión fija. Su dimensión es NT x NS con un valor igual a -1 en las filas correspondientes a los tramos conectados a nodos de carga de presión fija.

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

$$[A11][Q] + [A12][H] = -[A10][H_c] \quad (1.72)$$

Donde:

[A 11]: Matriz diagonal de NT x NT definida como sigue:

$$\begin{bmatrix} \alpha_1 Q_1^{n_1-1} + \beta_1 \frac{\gamma_1}{Q_1} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \alpha_2 Q_2^{n_2-1} + \beta_2 \frac{\gamma_2}{Q_2} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \alpha_3 Q_3^{n_3-1} + \beta_3 \frac{\gamma_3}{Q_3} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \alpha_{NT} Q_{NT}^{n_{NT}-1} + \beta_{NT} \frac{\gamma_{NT}}{Q_{NT}} \end{bmatrix} \quad (1.73)$$

Características Especiales del Método del Gradiente

A continuación se presentan algunas de las características especiales que hacen del método del gradiente el mejor método de cálculo de redes, el cual podría ser incluido en un programa de diseño óptimo de este tipo de sistemas de tuberías. Algunas de dichas características se plantean comparándolas con las correspondientes al método de la teoría lineal, el método de cálculo de redes más ampliamente utilizado.

1. Se puede 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.
2. El método de cálculo anterior garantiza la solución en máximo NN iteraciones.

3. La manipulación de las matrices dispersas típicas del método del gradiente reduce la memoria requerida y el tiempo de cálculo en el computador.
4. Todo lo anterior no es posible en el método de la teoría lineal ya que en éste el sistema que tiene que ser resuelto no es simétrico.
5. El método del gradiente resuelve un sistema de dimensión $NN \times NN$, mientras que el método de la teoría lineal resuelve un sistema de $NT \times NT$. 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 un 50% menor en el caso de redes grandes.
6. El método del gradiente calcula y ajusta simultáneamente los caudales y las cargas de presión, ya que es el método más eficiente, esto reduce el número de iteraciones con respecto al método de la teoría lineal.
7. 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.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO OPTIMIZADO DE REDES CERRADAS DE TUBERÍAS PRESURIZADAS PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA.

2.1. DISEÑO OPTIMIZADO DE REDES CERRADAS DE TUBERÍAS PRESURIZADAS PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA.

Uno de los objetivos de este trabajo, es proponer un método para el diseño de redes de tuberías, el cual deberá superar parte de los inconvenientes de los métodos de diseño actuales.

El diseño hidráulico de una red consiste en seleccionar los diámetros de sus tuberías, de tal modo que conduzcan el agua hasta los usuarios, con un servicio continuo, en cantidad suficiente y con la presión requerida en toda la zona por abastecer. Sin embargo, para que el diseño de la red de tuberías de agua potable sea optimo, se debe considerar no solo que el sistema propuesto sea eficiente desde el punto de vista hidráulico, sino que sea una opción económica.

El proceso de selección de los diámetros de las tuberías de la red no es simple, ya que para llevar agua a los sitios de consumo, existen numerosas posibilidades, cada una con un costo determinado, que satisfacen las condiciones de operación hidráulica eficiente.

Para determinar una solución bajo la condición de diseño óptimo de una red de agua potable, es necesario contar con cierto número de soluciones, para elegir la que satisfaga las condiciones hidráulicas del sistema y que además sea una opción accesible considerando el aspecto económico.

Para la aplicación del método propuesto, se requiere hacer el análisis hidráulico de la red de tuberías tantas veces como sea necesario, en función del número de arreglos que se propongan.

El planteamiento que se lleva a cabo del método de diseño de redes desde un punto de vista óptimo, no requiere fijar una distribución inicial de los gastos en las tuberías de la red, lo cual es una ventaja con respecto a la mayoría de los métodos existentes y además, los diámetros propuestos para formar la red son diámetros comerciales.

Considerando que en un proyecto de diseño se cuenta con los gastos de demanda y las características de la zona por abastecer, se procede a realizar el trazo, el cual consiste en la unión de los puntos de demanda por medio de líneas, de modo tal que sigan la configuración urbana y la topografía de la zona. Por lo general, el trazo se define formando circuitos para que en caso de una reparación el líquido pueda suministrado a los usuarios y atendiendo criterios de carácter no hidráulico, por lo que no suele incluirse dentro de los métodos de diseño de redes.

Sera necesario asignar un mismo diámetro inicial para todas las tuberías de la red, atendiendo a las recomendaciones emitidas de la institución correspondientes para tal fin, se considera que el diámetro mínimo de las tuberías correspondientes a una red primaria es de 100 mm; sin embargo, en colonias urbanas populares se puede aceptar de 75 mm y en zonas urbanas hasta 50 mm, aunque en grandes urbes se puede aceptar a partir de 500 mm.

Teniendo en cuenta la recomendación del diámetro mínimo, para definir el diámetro con el cual se habrá de iniciar la aplicación de la metodología propuesta, se evitara cálculos innecesarios; por otro lado, influyen de manera positiva el criterio y la experiencia del técnico encargado del estudio, ya que ese diámetro será el menor del arreglo de la solución final a la que se llegará.

2.1.1. RECOLECCIÓN DE DATOS NECESARIOS.

Una vez que se cuenta con los datos necesarios como: el trazo, la topografía, la ubicación del o los puntos de alimentación y su respectiva elevación, el tipo de material, el diámetro inicial en las tubería (que será el mismo para todas), la

demanda en los nudos, etc., es posible realizar un primer análisis hidráulico de la red de tuberías.

Del análisis antes mencionado, se obtendrá el gasto que circula a través de cada tubería así como las cargas de presión existentes en los nudos de demanda, por lo cual es posible determinar otros parámetros tales como: la velocidad, el número de Reynolds, las pérdidas de carga debido al esfuerzo cortante, etc.

Con los números de Reynolds obtenidos en este primer análisis hidráulico, se realizará una selección por orden de prioridad de las tuberías a las cuales se aumentara el diámetro, para poco a poco mejorar las condiciones de funcionamiento del sistema.

En el comportamiento de las cargas de presión se espera que los valores reportados en algunos nudos sean negativos, se admiten estos valores porque se está iniciando el procesamiento numérico para llegar al resultado deseado. Aunque se puede interpretar que en estos puntos no existe carga de presión alguna.

En cada opción, se propondrá un solo cambio de diámetro para una tubería a la vez, se llevara a cabo el respectivo análisis hidráulico y además se estimará la relación beneficio/costo; de esta forma se seleccionara la opción más conveniente para la aplicación del cambio de diámetro para continuar con la siguiente iteración.

2.1.2. JERARQUIZACIÓN.

Para obtener una primera propuesta de las tuberías, en las cuales inicialmente se sugieren los cambios a realizar, se plantea considerar el número de Reynolds como el parámetro que ayuda a hacer esta selección. Se propone entonces, establecer la prioridad de los casos a analizar ordenando los números de Reynolds, con la finalidad de aumentar el diámetro en primer lugar a aquellos conductos en donde este número sea mayor.

El utilizar el número de Reynolds, se debe a que este parámetro está en función de características hidráulicas y geométricas del conducto.

En el caso de una tubería a presión, el número de Reynolds queda definido como:

$$Re = \frac{\text{Fuerza de inercia}}{\text{Fuerza viscosa}} = \frac{VD}{\nu} \quad (2.1)$$

Donde:

V: Velocidad media del flujo (en m/s)

D: Diámetro de la tubería (m)

ν : Viscosidad cinemática del agua (en m²/s)

Un flujo en una tubería llena es laminar si el número de Reynolds es pequeño ($Re < 2000$) y es turbulento cuando este es mayor a 4 000 ($Re > 4000$), entre 2000 y 4000 está en transición.

Se pretende tener flujo turbulento en los conductos de una red de agua potable, por tratarse de flujo a presión y al iniciar el análisis con diámetros pequeños, se garantiza que en todas las tuberías exista este tipo de flujo, es decir, que se presente números de Reynolds grandes; sin embargo como este parámetro es directamente proporcional a la velocidad, es importante por otro lado, evitar velocidades grandes debido a que estas a su vez implican significantes pérdidas de energía por esfuerzo cortante en las paredes de las tuberías.

El procedimiento es iterativo y en cada cálculo se selecciona una tubería en la cual se debe realizar un cambio de diámetro al siguiente diámetro comercial. Al estar involucrados la velocidad y el diámetro de la tubería en el numerador de esta relación, se está considerando la fuerza de inercia. Con este criterio, se propone entonces cambiar el diámetro primeramente aquellas tuberías que conduzcan más agua y con el análisis comparativo de la relación beneficio/costo de las diferentes opciones que se revisan por cada iteración, se determina cual es la opción más

conveniente; hasta conformar el arreglo de tuberías que nos acerque a la solución óptima.

Si existen pérdidas de energía considerables, las cargas de presión disponibles en los nudos de la red disminuyen, empeorando las condiciones en aquellos puntos más desfavorables, ya sea por distancia respecto al punto de alimentación, o por condiciones topográficas.

Al aumentar el diámetro en una tubería, existe una disminución de las velocidades, reduciendo así, las pérdidas de energía debidas a la fricción, para una misma condición de gasto.

Se propone entonces, de los datos obtenidos en el análisis hidráulico establecer un orden de prioridad con base en los valores de los números de Reynolds de cada tubería, para así asociar el parámetro n que ayudará a tener un orden de análisis para las diferentes tuberías a considerar.

Los valores del número de Reynolds se ordenan de mayor a menor. A la tubería que reporto el mayor número de Reynolds, se le asigna $n = 1$, por lo que esta será la primera a la cual se hará el cambio de diámetro al siguiente mayor; así este nuevo arreglo de tuberías será además el primer caso a estudiar, dentro de la iteración j . A la tubería con el segundo valor mayor de Re se le asigna $n = 2$ y así sucesivamente.

2.1.3. CARGA DE PRESIÓN MÍNIMA EN EL SISTEMA.

Por recomendación, debe existir una carga de presión mínima en el sistema (h_{\min}), ya que esta garantiza satisfacer las demandas en los nudos, si no se cuenta con esta carga de presión, entonces no llegara el agua a los usuarios o al menos no en la cantidad suficiente. Por consiguiente, si se cuenta con esta carga mínima en todos los nudos que tienen demanda, se tendrá una red de tuberías de agua eficiente. La carga de presión mínima corresponderá entonces al nudo más desfavorable ya sea

por distancias con respecto al punto de alimentación, a la topografía del área o una combinación de ambas.

El aumento de la carga de presión mínima del sistema, que reportan los diferentes arreglos de diámetros en las tuberías, que se presentan a lo largo del proceso de solución, se entiende como el beneficio del problema a resolver.

Durante la aplicación del método de diseño óptimo propuesto, la carga mínima en el sistema estará en aumento en cada iteración hasta satisfacer la mínima requerida, este comportamiento se debe a que los diferentes cambios de diámetro en las tuberías serán en aumento hasta llegar a la solución y los gastos de ingreso y demanda serán constantes.

2.1.4. COSTO INICIAL EN SISTEMA.

Con las longitudes de las tuberías y los costos asociados al suministro e instalación para cada diámetro, es posible determinar desde la propuesta de diámetro inicial, cuanto será la inversión total del sistema

Es importante señalar que cada diferente arreglo de los que se originan con los correspondientes cambios de diámetro que se realicen, implicará un costo determinado.

En ocasiones, no se contará con los montos de instalación; sin embargo, es posible llegar a una solución sólo con los datos de suministro, pero considerados de igual forma para todas las opciones de diámetro a tener en cuenta.

2.1.5. NÚMERO DE OPCIONES A ANALIZAR POR CADA ITERACIÓN.

La asignación del orden de prioridad en las tuberías a las cuales se llevará a cabo el cambio de diámetro, es para evitar realizar este procedimiento en todas las tuberías del sistema.

El proceso es iterativo, y por cada iteración se analizarán tantos casos como cambios propuestos de diámetros en las tuberías. Entendiendo como caso un arreglo de diámetros en las tuberías diferentes a los demás (siempre se tendrá solo un cambio de diámetro con respecto a la propuesta de la cual se parte).

2.1.6. ESTIMACIÓN DEL BENEFICIO / COSTO EN EL SISTEMA

Una vez que se resuelven las opciones, en cada una de ellas se estima la relación beneficio/costo con la siguiente expresión:

$$\frac{\Delta P}{\Delta C} = \frac{P_i^{\text{mín}} - P_0^{\text{mín}}}{C_i - C_0} \quad (2.2)$$

Dónde:

$P_i^{\text{mín}}$: Es la carga de presión mínima del sistema del caso que se esté analizando.

$P_0^{\text{mín}}$: Es la carga de presión mínima de referencia del sistema en el arreglo inicial del procedimiento, es decir, del arreglo en el cual se propuso un mismo diámetro para todas las tuberías.

C_i : Es el costo de inversión de la opción i en estudio.

$C_{\text{mín}}$: Es el costo de inversión de referencia del sistema en el arreglo inicial del procedimiento, es decir, del arreglo en el cual se propuso un mismo diámetro para todas las tuberías.

En la expresión anterior se observa que el beneficio se estima como el incremento en la carga de presión en el punto más desfavorable del sistema, es decir, en el nudo que presenta el valor mínimo.

Aunque el denominador de la expresión anterior siempre será un valor positivo porque a medida que se converge a la solución se incrementa los diámetros en las tuberías por lo tanto el costo de las nuevas propuestas serán mayores al costo de referencia; como el numerador puede generar valores negativos en las primeras iteraciones, es importante considerar el valor absoluto del resultado del cociente.

Es de esperarse que la carga de presión mínima del sistema ($h_{\text{mín}}$), no quede satisfecha con ninguna de las opciones obtenidas en una primera iteración.

De todos los casos estudiados en una primera iteración, se hace una comparación de los resultados y se elige una opción para continuar con el procedimiento, dicha opción será aquella que implique la relación beneficio/costo más alta en valor absoluto. El arreglo de la opción elegida tendrá un cambio de diámetro en alguna tubería y este nuevo arreglo de diámetros será el que se mantenga constante en la segunda iteración.

Durante la segunda iteración los valores de los diámetros, se mantendrán constantes, es decir, serán los datos de referencia para el nuevo análisis de las n opciones, y en los resultados del número de Reynolds de su respectivo análisis hidráulico se asignará nuevamente los coeficientes n_i , cabe señalar que la correspondencia no necesariamente será la misma y por consiguiente las tuberías elegidas para cambiar de diámetro tampoco serán las mismas en esta segunda iteración, así como en las subsecuentes.

En la segunda iteración se llevará a cabo nuevamente el mismo procedimiento de cálculo, éste permitirá hacer otra comparación de resultados y elegir una nueva opción con el valor de la relación beneficio/costo más alto. Una vez más, los resultados del arreglo de la opción elegida en esta segunda iteración, se establecerá como datos de referencia para la tercera iteración, hasta esta segunda iteración existirán dos cambios de diámetro desde el arreglo propuesto con un mismo diámetro. En cada iteración se estará eligiendo un cambio de diámetro de los casos analizados.

En los casos que se estudiarán en la iteración tres, la opción con la que se comparan los resultados, tendrá dos cambios de diámetro (en una misma tubería o en dos tuberías diferentes), con respecto al arreglo con el cual se inició la aplicación del método, en donde todas las tuberías tienen el mismo diámetro.

En cada iteración, existirán n casos a analizar y el número de iteraciones, quedará definido por el proceso hasta llegar a la solución; la última iteración, será aquella en donde se tenga un arreglo que satisfaga a la carga mínima para todos los nudos con demanda de la red.

2.2. TÉCNICA DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Procedimiento de Cálculo

1. Atendiendo a las condiciones particulares de cada caso, se determina el diámetro inicial, el cual se asigna a todas las tuberías del sistema, este arreglo será el que se tome como referencia en la iteración 1.
2. Con el respectivo listado de costos por suministro e instalación asignados a cada diámetro de tubería, se determina el monto del costo inicial, que será el costo de referencia a lo largo del proceso.
3. Para este arreglo con un mismo diámetro en todas las tuberías, se realiza el análisis hidráulico de la red.
4. Con los números de Reynolds obtenidos del análisis hidráulico, se determina el orden de prioridad de las tuberías seleccionadas, así como la asignación del coeficiente n_i . La primera opción de cambio de diámetro en la tubería dentro de esta iteración, es la tubería que tiene asignado el coeficiente $n = 1$, porque es la que presenta el número de Reynolds más grande.

5. A la tubería con $n = 1$, se le cambia el diámetro por el siguiente diámetro comercial mayor. Este caso es el primero de la iteración j .
6. Con el cambio de diámetro anterior se hace nuevamente un análisis hidráulico, cuyos resultados probablemente todavía no satisfagan las condiciones hidráulicas del sistema, sin embargo, siempre existirá una mejora que estará reflejada en el aumento de la carga de presión mínima en el sistema, considerando solo los nudos de demanda.
7. Con este primer caso de análisis, también se lleva a cabo el cálculo de costos de inversión, ya que al haber un cambio de diámetro en una tubería a uno mayor, se incrementa el costo.
8. Como segunda opción (segundo caso en la iteración j) se toma aquella tubería a la cual se le asigno $n = 2$, y ahora es a esta a la que se le cambiara el diámetro por el siguiente mayor. Es importante destacar que en este como en los sucesivos casos a analizar, solo se hará un cambio a la vez, es decir, en la primera iteración por ejemplo, todas las tuberías seguirán conservando el mismo diámetro inicialmente propuesto; excepto la tubería $n = 2$. Hecho el cambio de diámetro solo en una tubería, se realiza el respectivo análisis hidráulico con el nuevo arreglo de tuberías, así como la evaluación del costo correspondiente a este arreglo.
9. El paso anterior se repite para las tuberías asignadas para $n = 3$, hasta $n =$ al número total de tuberías a analizar.
10. Una vez que se cuenta con las n opciones, en cada una de ellas se estima el beneficio.
11. De la misma forma con la ecuación 2.2, se determina la relación beneficio /costo para cada caso.

12. De todos los casos estudiados en la iteración j , se hace una comparación de los resultados y se elige una opción que implique la relación beneficio/costo más alta en valor absoluto. El arreglo de la opción elegida será el que se mantenga constante en la siguiente iteración (por otro lado, la carga de presión mínima en el sistema así como el respectivo costo cuando se inició el procedimiento y se propuso el mismo diámetro para todas las tuberías $P_o^{\text{mín.}}$ y C_o , aportaran los valores de referencia en la ecuación 2.2).

13. Si la opción elegida en el paso anterior en esta iteración j , ya satisface la condición de carga mínima en el sistema, se ha llegado a la solución, de lo contrario se inicia una nueva iteración $j + 1$; considerando los números de Reynolds del respectivo análisis hidráulico de esta opción elegida, se repite el procedimiento desde el paso 4.

CAPÍTULO III: APLICACIÓN – CENTRO POBLADO CAMPANITA

3.1. ASPECTOS GENERALES

3.1.1. EJEMPLO DE APLICACIÓN

Los cálculos hidráulicos que se realizan en la presente tesis; así como el diseño optimizado son aplicados al centro poblado Campanita cuyas características y disposiciones específicas para el diseño se detallan a continuación.

3.1.2. UBICACIÓN

El centro poblado “Campanita” se encuentra ubicado (Ver figura 3.1 y 3.2):

Ubicación Política

Región : La Libertad
Provincia : Pacasmayo
Distrito : San José.

Ubicación Geográfica

Longitud : 79° 30' 0" W
Latitud : 7° 25' 0.01" S
Altura : 104.00 msnm.

3.1.3. TOPOGRAFÍA

En la figura 3.3 se puede apreciar el plano de lotización del centro poblado Campanita. El centro poblado Campanita cuenta con 40 Manzanas con un total de 466 lotes destinados a uso viviendas.

En la figura 3.4 se puede apreciar el plano de curvas de nivel.

Figura 3.1. Ubicación Política del Centro Poblado “Campanita”.



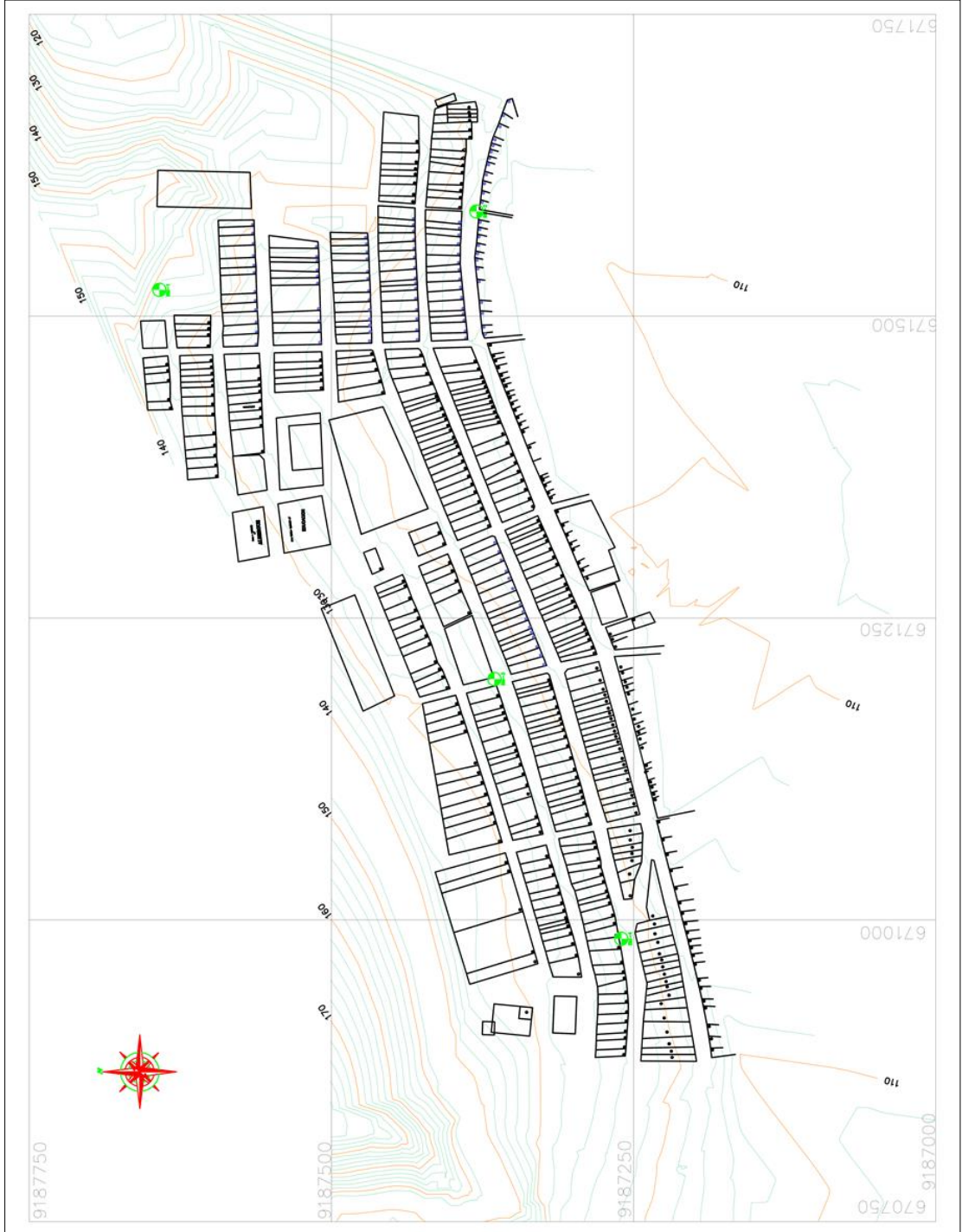
Figura 3.2. Ubicación del Centro Poblado “Campanita” dentro del Distrito de San José.



Figura 3.3. Plano de Lotización – Centro Poblado “Campanita”.



Figura 3.4. Plano Topográfico – Centro Poblado “Campanita”.



3.2. TÉCNICA DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

3.2.1. CÁLCULOS PRELIMINARES

3.2.1.1. POBLACIÓN DE DISEÑO

Considerando 5 habitantes por lote y con una tasa de crecimiento (r) de 1.20% anual; y que la población (P_o) crece con un modelo geométrico, la población de diseño (P_f) a 20 años (t_f) será:

$$P_f = P_o * (1 + r)^{(t_f - t_o)} \quad (3.1)$$

Dónde:

$$P_o = 2330 \text{ habitantes};$$

$$r = 0.012$$

$$t_o = 2014$$

$$t_f = 2034$$

$$P_f = 2958 \text{ habitantes}$$

3.2.1.2. PARÁMETROS DE CONSUMO

DOTACIÓN

Se considera una dotación (D) promedio diaria anual de 150 lt/hab/día.

VARIACIÓN DE CONSUMO

Se considera:

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

Coefficiente máximo anual de la demanda horaria (K2) : 2.5

DEMANDA CONTRA INCENDIO

No se considera caudal contra incendio.

CÁLCULO DE CAUDAL MÁXIMO DIARIO

El caudal máximo diario se calcula según la siguiente formula:

$$Q_{max_d} = K_1 \times Q_{prom} \quad (3.2)$$

$$Q_{max_d} = K_1 \times Dotacion \times P_f \quad (3.3)$$

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.

$$Q_{max_h} = K_2 \times Q_{prom} \quad (3.4)$$

$$Q_{max_h} = K_2 \times Dotacion \times P_f \quad (3.5)$$

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.

3.2.2. CÁLCULO DE CAUDALES DE DISEÑO PARA AGUA POTABLE

En las siguientes tablas se aprecia el resumen de cálculos:

Tabla 3.1. Cálculo del Caudal para fines de uso en Vivienda.

Nº Viviendas	466	viviendas
Densidad Poblacional	5	habitantes/vivienda
Poblacion Actual 2013	2330	habitantes
Tasa de Crecimiento	1.20%	-
Poblacion 2033	2958	habitantes
Dotación	150	lt/hab/dia
Q_m	5.135	lt/seg
k_1	1.30	-
$Q_{m\acute{a}x-diaro}$	6.68	lt/seg
k_2	2.50	-
$Q_{m\acute{a}x-horario}$	12.84	lt/seg
Q_{d1}	12.84	lt/seg
$q_{unitario}$	0.0276	lt/seg/vivienda

Tabla 3.2. Cálculo del Caudal para otros fines.

Otras Contribuciones	143373.78	l/dia
Q_m	1.659	lt/seg
k_1	1.30	-
Q_{md}	2.16	lt/seg
k_2	2.500	-
Q_{mh}	4.15	lt/seg
		-
Q_{d2}	4.15	lt/seg
$Q_{dise\acute{n}o\ agua} (Q_{d1}+Q_{d2})$	16.987	lt/seg

Tabla 3.3. Detalle del Cálculo del Caudal para otros fines.

LOCAL	Área (m ²)	Dotación (Lt/día/m ²)	lt/seg	Qm	Qmd	Qmh
RECREACIÒN PÙBLICA						
Losa Deportiva	2181.40	2.00	4362.80	0.050495	0.065644	0.126
Cancha de Fútbol	5794.40	2.00	11588.80	0.13413	0.174369	0.335
Parque 01	718.10	2.00	1436.20	0.016623	0.021609	0.042
Parque 02	203.80	2.00	407.60	0.004718	0.006133	0.012
Área Deportiva	617.40	2.00	1234.80	0.014292	0.018579	0.036
COMERCIO						
Comercio 01	229.10	6.00	1374.60	0.01591	0.020683	0.040
Comercio 02	616.60	6.00	3699.60	0.042819	0.055665	0.107
Comercio 03	218.70	6.00	1312.20	0.015188	0.019744	0.038
Comercio 04	1237.00	6.00	7422.00	0.085903	0.111674	0.215
Comercio 05	341.50	6.00	2049.00	0.023715	0.03083	0.059
Comercio 06	726.10	6.00	4356.60	0.050424	0.065551	0.126
Comercio 07	1121.80	6.00	6730.80	0.077903	0.101274	0.195
Parque Infantil	1351.10	6.00	8106.60	0.093826	0.121974	0.235
EDUCACIÒN						
Educación 01	1556.00	30.00	46680.00	0.540278	0.702361	1.351
Educación 02	556.20	30.00	16686.00	0.193125	0.251063	0.483
Educación 03	534.10	30.00	16023.00	0.185451	0.241087	0.464
OTROS FINES						
Otros Fines	251.00	6.00	1506.00	0.017431	0.02266	0.044
Vaso de Leche	179.43	6.00	1076.58	0.01246	0.016199	0.031
SPC	154.10	6.00	924.60	0.010701	0.013912	0.027
Albergue	1066.00	6.00	6396.00	0.074028	0.096236	0.185

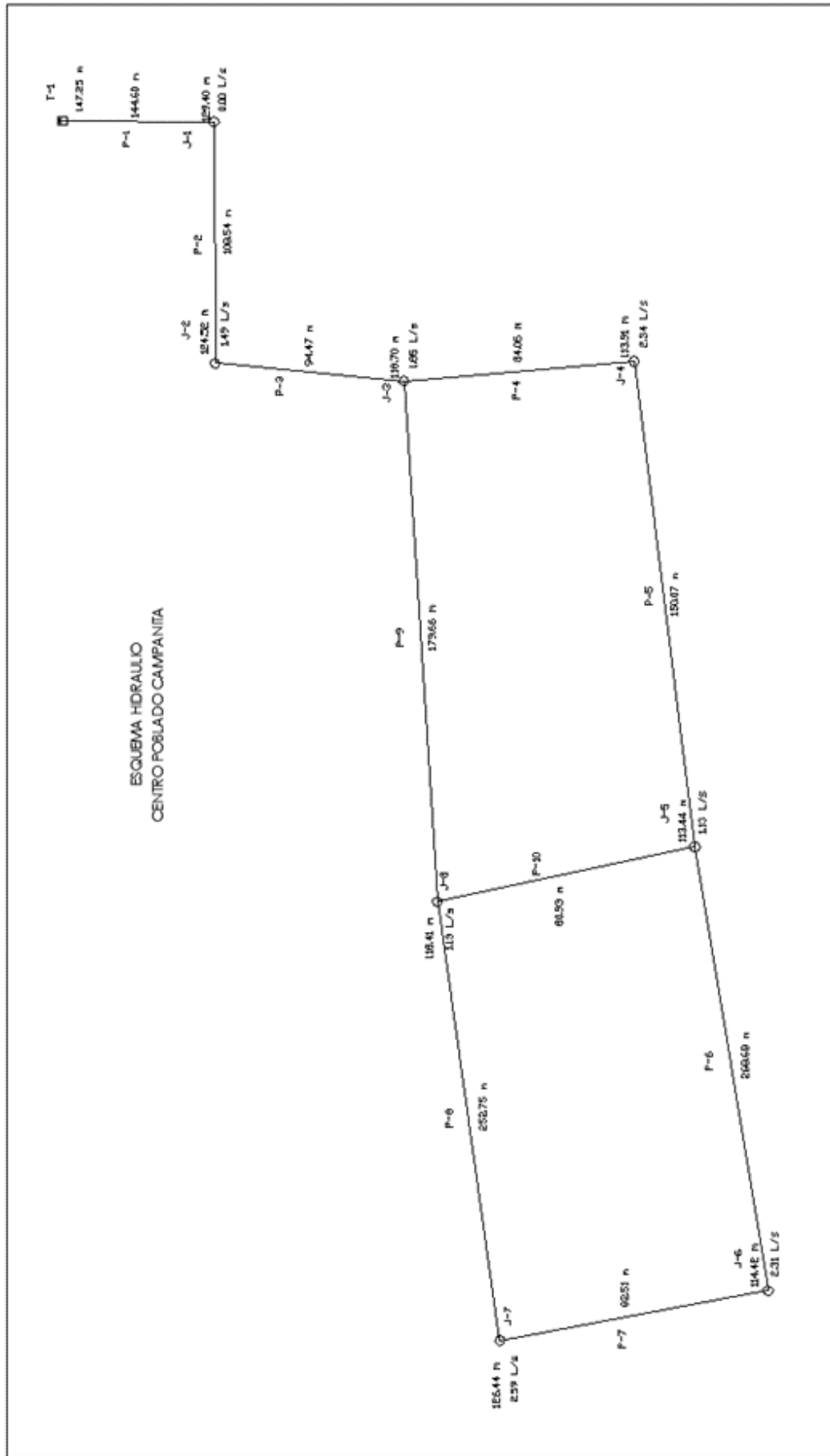
3.2.3. PLANTEAMIENTO DEL ESQUEMA HIDRÁULICO

El esquema hidráulico del sistema de distribución de agua potable está compuesto por redes de tuberías (material PVC: rugosidad absoluta $K_s = 0.0015$ mm) presurizadas cerradas que conforman un modelo tanque de nivel fijo (T), nudos (J) 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.

El esquema hidráulico considerado se aprecia la figura 3.5.

Figura 3.5. Plano del Esquema Hidráulico.



Las características tuberías (P) se detallan a continuación:

Tabla 3.4. Características de la Tuberías.

Tuberías	Longitud (m)	Ks (mm)
P-1	144.60	0.0015
P-2	108.54	0.0015
P-3	94.47	0.0015
P-4	84.06	0.0015
P-5	150.07	0.0015
P-6	268.68	0.0015
P-7	82.51	0.0015
P-8	252.75	0.0015
P-9	179.66	0.0015
P-10	80.93	0.0015

Las características de nudos (J) se detallan a continuación:

Tabla 3.5. Características de los nudos.

Nudo	Cota (msnm)	Demanda (l/s)
R-1	147.25	-
J-1	129.40	-
J-2	124.52	1.49
J-3	118.70	1.85
J-4	113.91	2.34
J-5	113.44	1.13
J-6	114.42	2.31
J-7	126.44	2.59
J-8	118.41	1.13

La temperatura considerada para cálculos hidráulicos es de 4°C, por lo tanto viscosidad cinemática del agua a esa temperatura será $\nu = 1.5656 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

3.2.4. COSTOS DE TUBERÍAS

Para el diseño óptimo es necesario contar con el costo de las tuberías en sus diferentes diámetros que oferta el mercado. La tubería empleada para los cálculos hidráulicos es de PVC (Policloruro de vinilo) para agua: NTP ISO – 4422 C-10.

En la tabla 3.6 y Figura 3.6 se aprecian el resumen del costo total según diámetro nominal.

Tabla 3.6. Costo según Diámetro Nominal.

Diámetro nominal (plg)	Diámetro interno (mm)	Costo (S/. / m)
2"	57.00	82.78
2 ½"	67.80	86.87
3"	81.40	94.61
4"	99.40	107.84
5"	126.60	131.25
6"	144.60	158.82

Figura 3.6. Costo por metro lineal versus Diámetro.

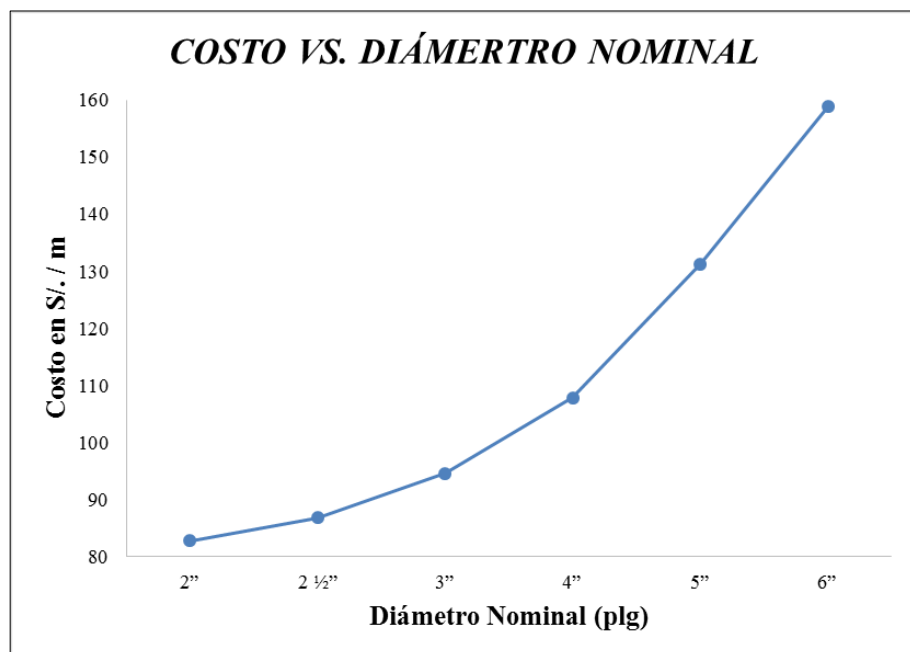


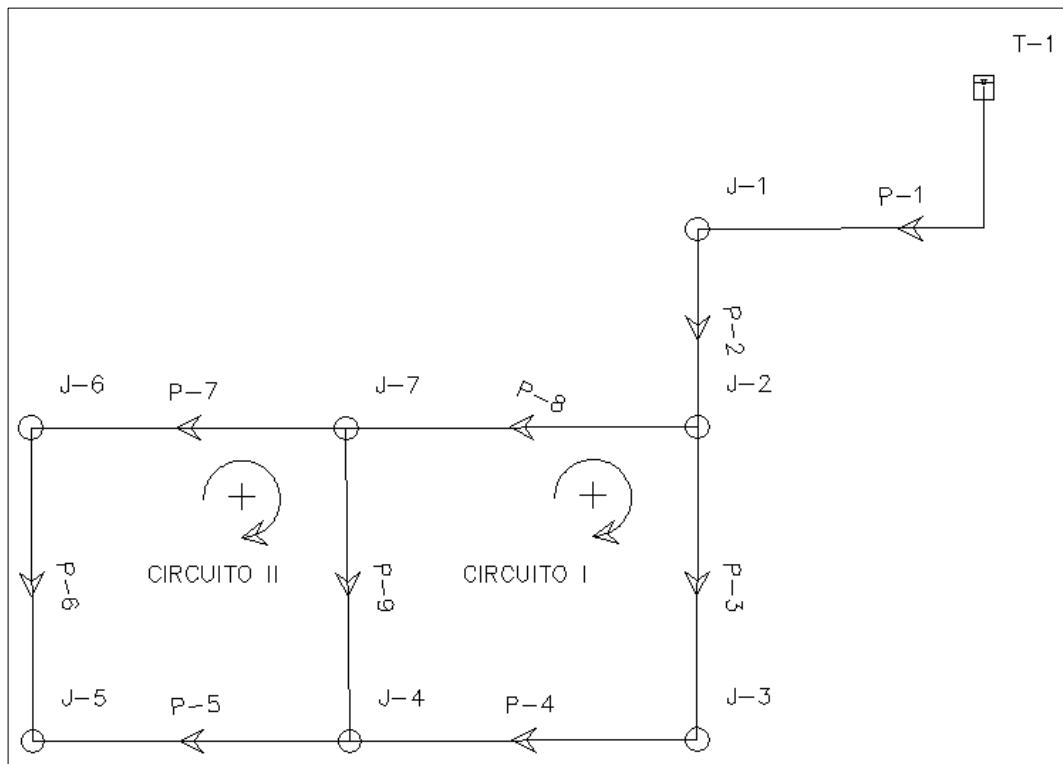
Tabla 3.7. Detalle de Costo Total elabora al 31 de Julio de 2014.

Partida.	Unidad	Presupuesto según diámetro nominal					
		2"	2 ½"	3"	4"	5 "	6 "
Trazo y replanteo de niveles. En fondo zanja.	m	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12
Excavación de zanja T/Normal para tubería.	m	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00
Refine y nivelación de zanja.	m	2.22	2.22	2.22	2.22	2.22	2.22
Cama de arena	m	4.24	4.24	4.24	4.24	4.24	4.24
Relleno compactado de zanja con material propio.	m	4.87	4.87	4.87	4.87	4.87	4.87
Suministro e instalación de tubería	m	33.88	36.90	42.60	52.35	68.65	88.96
Prueba hidráulica y desinfección de tubería	m	1.67	1.67	1.67	1.67	2.62	2.63
Costo directo	m	61.00	64.02	69.72	79.47	96.72	117.04
Gastos Generales (10%)	m	6.10	6.40	6.97	7.95	9.67	11.70
Utilidad (5%)	m	3.05	3.20	3.49	3.97	4.84	5.85
Sub total	m	70.15	73.62	80.18	91.39	111.23	134.59
IGV	m	12.63	13.25	14.43	16.45	20.02	24.23
Total presupuesto.	m	82.78	86.87	94.61	107.84	131.25	158.82

3.2.5. CALCULOS HIDRÁULICOS

En la figura 3.7, se muestra el esquema hidráulico inicial adoptado para el procedimiento de cálculo.

Figura 3.7. Condiciones Iniciales adoptadas.



3.2.5.1. MÉTODOS DE HARDY – CROSS CON CORRECCIÓN DE CAUDALES

El cálculo hidráulico correspondiente al método de Hardy – Cross (siguiendo la metodología mencionada en el apartado 1.2.2.1) se expresa en las tablas 3.8 – 3.17.

Tabla 3.8a. MÉTODO DE HARDY CROSS - PRIMERA ITERACIÓN

CIRCUITO	TRAMO		D (m)	L (m)	K _s (m)	Q (m ³ /seg)	$\frac{K_s}{D}$	V (m/s)	Re	f	α_{ij}	$\alpha_{ij} Q_{ij} ^{N-1}$	$\alpha_{ij} Q_{ij} ^{N-1} Q_{ij}$	ΔQ (m ³ /seg)		Q (m ³ /seg)
	i	j														
I	2	3	0.068	84.06	1.50E-06	0.00475000	2.21E-05	1.316	56976.17	0.0203	98267.73	466.771710	2.217166	-0.00041501	0.00433499	
	3	4	0.057	150.07	1.50E-06	0.00241000	2.63E-05	0.944	34385.20	0.0227	468321.08	1128.653797	2.720056	-0.00041501	0.00199499	
	2	7	0.081	179.66	1.50E-06	-0.00475000	1.84E-05	0.913	47456.81	0.0211	87593.53	416.069249	-1.976329	-0.00041501	-0.00516501	
	7	4	0.057	80.93	1.50E-06	-0.00181000	2.63E-05	0.709	25824.57	0.0243	270234.27	489.124024	-0.885314	-0.00041501	-0.00105546	
											2500.618780	2.075578				

Tabla 3.8b. MÉTODO DE HARDY CROSS - PRIMERA ITERACIÓN

CIRCUITO	TRAMO		D (m)	L (m)	K _s (m)	Q (m ³ /seg)	$\frac{K_s}{D}$	V (m/s)	Re	f	α_{ij}	$\alpha_{ij} Q_{ij} ^{N-1}$	$\alpha_{ij} Q_{ij} ^{N-1} Q_{ij}$	ΔQ (m ³ /seg)		Q (m ³ /seg)
	i	j														
II	7	4	0.057	80.93	1.50E-06	0.00181000	2.63E-05	0.709	25824.57	0.02432	270234.27	489.124024	0.885314	-0.0011696	0.00105546	
	4	5	0.057	268.68	1.50E-06	0.00309000	2.63E-05	1.211	44087.24	0.02147	792234.81	2448.005550	7.564337	-0.0011696	0.00192045	
	5	6	0.057	82.51	1.50E-06	0.00078000	2.63E-05	0.306	11128.82	0.03013	341435.12	266.319391	0.207729	-0.0011696	-0.0003896	
	7	6	0.081	252.75	1.50E-06	-0.00181000	1.84E-05	0.348	18083.54	0.02653	155020.98	280.587980	-0.507864	-0.0011696	-0.0029796	
											3484.036946	8.149517				

Tabla 3.9a. MÉTODO DE HARDY CROSS - SEGUNDA ITERACIÓN

CIRCUITO	TRAMO		D (m)	L (m)	K _s (m)	Q (m ³ /seg)	$\frac{K_s}{D}$	V (m/s)	Re	f	α_{ij}	$\alpha_{ij} Q_{ij} ^{N-1}$	$\alpha_{ij} Q_{ij} ^{N-1} Q_{ij}$	ΔQ (m ³ /seg)		Q (m ³ /seg)
	i	j														
I	2	3	0.068	84.06	1.50E-06	0.00433499	2.21E-05	1.201	51998.09	0.02068	100256.6	434.611094	1.884034	-0.00027375	0.00406124	
	3	4	0.057	150.07	1.50E-06	0.00199499	2.63E-05	0.782	28463.91	0.02376	489569.76	976.683381	1.948475	-0.00027375	0.00172124	
	2	7	0.081	179.66	1.50E-06	-0.00516501	1.84E-05	0.993	51603.16	0.0207	85976.472	444.069583	-2.293625	-0.00027375	-0.00543876	
	7	4	0.057	80.93	1.50E-06	-0.00105546	2.63E-05	0.414	15059.03	0.02782	309176.24	326.323788	-0.344422	-0.00027375	-0.00088128	
											2181.689845	1.194461				

Tabla 3.9b. MÉTODO DE HARDY CROSS - SEGUNDA ITERACIÓN

CIRCUITO	TRAMO		D (m)	L (m)	K _s (m)	Q (m ³ /seg)	$\frac{K_s}{D}$	V (m/s)	Re	f	α_{ij}	$\alpha_{ij} Q_{ij} ^{N-1}$	$\alpha_{ij} Q_{ij} ^{N-1} Q_{ij}$	ΔQ (m ³ /seg)		Q (m ³ /seg)
	i	j														
II	7	4	0.057	80.93	1.50E-06	0.00105546	2.63E-05	0.414	15059.03	0.0278	309176.24	326.323788	0.344422	-0.00044793	0.00027375	
	4	5	0.057	268.68	1.50E-06	0.00192045	2.63E-05	0.753	27400.42	0.0240	884498.01	1698.633481	3.262139	-0.00044793	0.00147252	
	5	6	0.057	82.51	1.50E-06	-0.00038955	2.63E-05	0.153	5558.00	0.0367	415781.35	161.967965	-0.063095	-0.00044793	-0.00083748	
	7	6	0.081	252.75	1.50E-06	-0.00297955	1.84E-05	0.573	29768.41	0.0235	137202.17	408.800844	-1.218043	-0.00044793	-0.00342748	
											2595.726077	2.325424				

Tabla 3.10a. MÉTODO DE HARDY CROSS - TERCERA ITERACIÓN

CIRCUITO	TRAMO		D (m)	L (m)	K _s (m)	Q (m ³ /seg)	K _S /D	V (m/s)	Re	f	α _{ij}	α _{ij} Q _{ij} ^{N-1}	α _{ij} Q _{ij} ^{N-1} Q _{ij}	ΔQ (m ³ /seg)	Q (m ³ /seg)
	i	j													
I	2	3	0.068	84.06	1.50E-06	0.00406124	2.21E-05	1.125	48714.51	0.02098	101714.80	413.088270	1.677651	-0.00010183	0.00395941
	3	4	0.057	150.07	1.50E-06	0.00172124	2.63E-05	0.675	24558.17	0.02461	507223.92	873.054325	1.502736	-0.00010183	0.00161941
	2	7	0.081	179.66	1.50E-06	-0.00543876	1.84E-05	1.045	54338.14	0.02046	85002.65	462.308968	-2.514387	-0.00010183	-0.00554059
	7	4	0.057	80.93	1.50E-06	-0.00088128	2.63E-05	0.345	12573.79	0.02917	324136.49	285.653548	-0.251739	-0.00010183	-0.00087878
												2034.105111	0.414260		

Tabla 3.10b. MÉTODO DE HARDY CROSS - TERCERA ITERACIÓN

CIRCUITO	TRAMO		D (m)	L (m)	K _s (m)	Q (m ³ /seg)	K _S /D	V (m/s)	Re	f	α _{ij}	α _{ij} Q _{ij} ^{N-1}	α _{ij} Q _{ij} ^{N-1} Q _{ij}	ΔQ (m ³ /seg)	Q (m ³ /seg)
	i	j													
II	7	4	0.057	80.93	1.50E-06	0.00088128	2.63E-05	0.345	12573.79	0.02917	324136.49	285.653548	0.251739	-0.00010433	0.00087878
	4	5	0.057	268.68	1.50E-06	0.00147252	2.63E-05	0.577	21009.44	0.02557	943494.90	1389.311273	2.045783	-0.00010433	0.00136819
	5	6	0.057	82.51	1.50E-06	-0.00083748	2.63E-05	0.328	11948.98	0.02956	334978.77	280.539383	-0.234947	-0.00010433	-0.00094181
	7	6	0.081	252.75	1.50E-06	-0.00342748	1.84E-05	0.659	34243.67	0.02272	132758.42	455.027377	-1.559599	-0.00010433	-0.00353181
												2410.531581	0.502976		

Tabla 3.11a. MÉTODO DE HARDY CROSS - CUARTA ITERACIÓN

CIRCUITO	TRAMO		D (m)	L (m)	K _s (m)	Q (m ³ /seg)	K _S /D	V (m/s)	Re	f	α _{ij}	α _{ij} Q _{ij} ^{N-1}	α _{ij} Q _{ij} ^{N-1} Q _{ij}	ΔQ (m ³ /seg)	Q (m ³ /seg)
	i	j													
I	2	3	0.068	84.06	1.50E-06	0.00395941	2.21E-05	1.097	47493.07	0.0211	102291.51	405.014203	1.603618	-0.00002619	0.00393322
	3	4	0.057	150.07	1.50E-06	0.00161941	2.63E-05	0.635	23105.31	0.0250	514806.96	833.684447	1.350078	-0.00002619	0.00159322
	2	7	0.081	179.66	1.50E-06	-0.00554059	1.84E-05	1.065	55355.50	0.0204	84657.08	469.050030	-2.598813	-0.00002619	-0.00556678
	7	4	0.057	80.93	1.50E-06	-0.00087878	2.63E-05	0.344	12538.12	0.0292	324380.91	285.057922	-0.250502	-0.00002619	-0.00088035
												1992.806601	0.104381		

Tabla 3.11b. MÉTODO DE HARDY CROSS - CUARTA ITERACIÓN

CIRCUITO	TRAMO		D (m)	L (m)	K _s (m)	Q (m ³ /seg)	K _S /D	V (m/s)	Re	f	α _{ij}	α _{ij} Q _{ij} ^{N-1}	α _{ij} Q _{ij} ^{N-1} Q _{ij}	ΔQ (m ³ /seg)	Q (m ³ /seg)
	i	j													
II	7	4	0.057	80.93	1.50E-06	0.00087878	2.63E-05	0.344	12538.12	0.0292	324380.91	285.057922	0.250502	-0.00002619	0.00088035
	4	5	0.057	268.68	1.50E-06	0.00136819	2.63E-05	0.536	19520.90	0.0260	960892.39	1314.680533	1.798729	-0.00002619	0.00134357
	5	6	0.057	82.51	1.50E-06	-0.00094181	2.63E-05	0.369	13437.52	0.0287	324718.15	305.823755	-0.288029	-0.00002619	-0.00096643
	7	6	0.081	252.75	1.50E-06	-0.00353181	1.84E-05	0.679	35286.01	0.0226	131835.88	465.619683	-1.644482	-0.00002619	-0.00355643
												2371.181893	0.116720		

Tabla 3.12a. MÉTODO DE HARDY CROSS - QUINTA ITERACIÓN

CIRCUITO	TRAMO		D (m)	L (m)	K _s (m)	Q (m ³ /seg)	K _s /D	V (m/s)	Re	f	α _{ij}	α _{ij} Q _{ij} ^{N-1}	α _{ij} Q _{ij} ^{N-1} Q _{ij}	ΔQ (m ³ /seg)	Q (m ³ /seg)
	i	j													
I	2	3	0.068	84.06	1.50E-06	0.00393322	2.21E-05	1.089	47178.93	0.02113	102443.08	402.931393	1.584819	-0.00000625	0.00392697
	3	4	0.057	150.07	1.50E-06	0.00159322	2.63E-05	0.624	22731.64	0.02508	516864.02	823.479242	1.311985	-0.00000625	0.00158697
	2	7	0.081	179.66	1.50E-06	-0.00556678	1.84E-05	1.070	55617.16	0.02036	84569.58	470.780076	-2.620728	-0.00000625	-0.00557303
	7	4	0.057	80.93	1.50E-06	-0.00088035	2.63E-05	0.345	12560.62	0.02917	324226.60	285.433723	-0.251282	-0.00000625	-0.00088073
												1982.624434	0.024794		

Tabla 3.12b. MÉTODO DE HARDY CROSS - QUINTA ITERACIÓN

CIRCUITO	TRAMO		D (m)	L (m)	K _s (m)	Q (m ³ /seg)	K _s /D	V (m/s)	Re	f	α _{ij}	α _{ij} Q _{ij} ^{N-1}	α _{ij} Q _{ij} ^{N-1} Q _{ij}	ΔQ (m ³ /seg)	Q (m ³ /seg)
	i	j													
II	7	4	0.057	80.93	1.50E-06	0.00088035	2.63E-05	0.345	12560.62	0.02917	324226.6	285.433723	0.251282	-0.00000587	0.00088073
	4	5	0.057	268.68	1.50E-06	0.00134357	2.63E-05	0.527	19169.74	0.02616	965265.88	1296.906892	1.742491	-0.00000587	0.00133770
	5	6	0.057	82.51	1.50E-06	-0.00096643	2.63E-05	0.379	13788.68	0.02847	322527.75	311.698952	-0.301234	-0.00000587	-0.00097230
	7	6	0.081	252.75	1.50E-06	-0.00355643	1.84E-05	0.683	35531.91	0.02252	131623.63	468.109612	-1.664797	-0.00000587	-0.00356230
												2362.149179	0.027743		

Tabla 3.13a. MÉTODO DE HARDY CROSS - SEXTA ITERACIÓN

CIRCUITO	TRAMO		D (m)	L (m)	K _s (m)	Q (m ³ /seg)	K _s /D	V (m/s)	Re	f	α _{ij}	α _{ij} Q _{ij} ^{N-1}	α _{ij} Q _{ij} ^{N-1} Q _{ij}	ΔQ (m ³ /seg)	Q (m ³ /seg)
	i	j													
I	2	3	0.068	84.06	1.50E-06	0.00392697	2.21E-05	1.088	47103.93	0.02114	102479.47	402.433741	1.580345	-0.00000148	0.00392549
	3	4	0.057	150.07	1.50E-06	0.00158697	2.63E-05	0.622	22642.43	0.0251	517362.04	821.037760	1.302962	-0.00000148	0.00158549
	2	7	0.081	179.66	1.50E-06	-0.00557303	1.84E-05	1.071	55679.63	0.02035	84548.77	471.192903	-2.625972	-0.00000148	-0.00557451
	7	4	0.057	80.93	1.50E-06	-0.00088073	2.63E-05	0.345	12566.05	0.02917	324189.45	285.524314	-0.251471	-0.00000148	-0.00088082
												1980.188718	0.005864		

Tabla 3.13b. MÉTODO DE HARDY CROSS - SEXTA ITERACIÓN

CIRCUITO	TRAMO		D (m)	L (m)	K _s (m)	Q (m ³ /seg)	K _s /D	V (m/s)	Re	f	α _{ij}	α _{ij} Q _{ij} ^{N-1}	α _{ij} Q _{ij} ^{N-1} Q _{ij}	ΔQ (m ³ /seg)	Q (m ³ /seg)
	i	j													
II	7	4	0.057	80.93	1.50E-06	0.00088073	2.63E-05	0.345	12566.05	0.02917	324189.45	285.524314	0.251471	-0.00000139	0.00088082
	4	5	0.057	268.68	1.50E-06	0.00133770	2.63E-05	0.524	19085.96	0.02619	966325.79	1292.656280	1.729189	-0.00000139	0.00133631
	5	6	0.057	82.51	1.50E-06	-0.00097230	2.63E-05	0.381	13872.47	0.02842	322016.64	313.096021	-0.304423	-0.00000139	-0.00097369
	7	6	0.081	252.75	1.50E-06	-0.00356230	1.84E-05	0.685	35590.58	0.02252	131573.29	468.703210	-1.669660	-0.00000139	-0.00356369
												2359.979825	0.006577		

Tabla 3.14a. MÉTODO DE HARDY CROSS - SÉPTIMA ITERACIÓN

CIRCUITO	TRAMO		D (m)	L (m)	K _s (m)	Q (m ³ /seg)	K _S /D	V (m/s)	Re	f	α _{ij}	α _{ij} Q _{ij} ^{N-1}	α _{ij} Q _{ij} ^{N-1} Q _{ij}	ΔQ (m ³ /seg)	Q (m ³ /seg)
	i	j													
I	2	3	0.068	84.06	1.50E-06	0.00392549	2.21E-05	1.087	47086.17	0.02114	102488.1	402.315879	1.579286	-0.00000035	0.00392514
	3	4	0.057	150.07	1.50E-06	0.00158549	2.63E-05	0.621	22621.30	0.02511	517480.37	820.459352	1.300829	-0.00000035	0.00158514
	2	7	0.081	179.66	1.50E-06	-0.00557451	1.84E-05	1.071	55694.42	0.02035	84543.852	471.290645	-2.627215	-0.00000035	-0.00557486
	7	4	0.057	80.93	1.50E-06	-0.00088082	2.63E-05	0.345	12567.29	0.02917	324180.94	285.545069	-0.251514	-0.00000035	-0.00088084
												1979.610944	0.001387		

Tabla 3.14b. MÉTODO DE HARDY CROSS - SÉPTIMA ITERACIÓN

CIRCUITO	TRAMO		D (m)	L (m)	K _s (m)	Q (m ³ /seg)	K _S /D	V (m/s)	Re	f	α _{ij}	α _{ij} Q _{ij} ^{N-1}	α _{ij} Q _{ij} ^{N-1} Q _{ij}	ΔQ (m ³ /seg)	Q (m ³ /seg)
	i	j													
II	7	4	0.057	80.93	1.50E-06	0.00088082	2.63E-05	0.345	12567.29	0.02917	324180.94	285.545069	0.251514	-0.00000033	0.00088084
	4	5	0.057	268.68	1.50E-06	0.00133631	2.63E-05	0.524	19066.08	0.0262	966578.25	1291.647090	1.726039	-0.00000033	0.00133598
	5	6	0.057	82.51	1.50E-06	-0.00097369	2.63E-05	0.382	13892.35	0.02841	321895.99	313.427267	-0.305181	-0.00000033	-0.00097402
	7	6	0.081	252.75	1.50E-06	-0.00353639	1.84E-05	0.685	35604.51	0.02251	131561.36	468.844037	-1.670815	-0.00000033	-0.003536402
												2359.463463	0.001557		

Tabla 3.15a. MÉTODO DE HARDY CROSS - OCTAVA ITERACIÓN

CIRCUITO	TRAMO		D (m)	L (m)	K _s (m)	Q (m ³ /seg)	K _S /D	V (m/s)	Re	f	α _{ij}	α _{ij} Q _{ij} ^{N-1}	α _{ij} Q _{ij} ^{N-1} Q _{ij}	ΔQ (m ³ /seg)	Q (m ³ /seg)
	i	j													
I	2	3	0.068	84.06	1.50E-06	0.00392514	2.21E-05	1.087	47081.97	0.02114	102490.14	402.287993	1.579036	-0.00000008	0.00392506
	3	4	0.057	150.07	1.50E-06	0.00158514	2.63E-05	0.621	22616.31	0.02511	517508.38	820.322492	1.300325	-0.00000008	0.00158506
	2	7	0.081	179.66	1.50E-06	-0.00557486	1.84E-05	1.071	55697.92	0.02035	84542.69	471.313768	-2.627509	-0.00000008	-0.00557494
	7	4	0.057	80.93	1.50E-06	-0.00088084	2.63E-05	0.345	12567.58	0.02917	324178.95	285.549934	-0.251524	-0.00000008	-0.00088085
												1979.474188	0.000328		

Tabla 3.15b. MÉTODO DE HARDY CROSS - OCTAVA ITERACIÓN

CIRCUITO	TRAMO		D (m)	L (m)	K _s (m)	Q (m ³ /seg)	K _S /D	V (m/s)	Re	f	α _{ij}	α _{ij} Q _{ij} ^{N-1}	α _{ij} Q _{ij} ^{N-1} Q _{ij}	ΔQ (m ³ /seg)	Q (m ³ /seg)
	i	j													
II	7	4	0.057	80.93	1.50E-06	0.00088084	2.63E-05	0.345	12567.58	0.02917	324178.95	285.549934	0.251524	-0.00000008	0.00088085
	4	5	0.057	268.68	1.50E-06	0.00133598	2.63E-05	0.524	19061.37	0.0262	966638.06	1291.408161	1.725294	-0.00000008	0.00133590
	5	6	0.057	82.51	1.50E-06	-0.00097402	2.63E-05	0.382	13897.05	0.02841	321867.46	313.505666	-0.305361	-0.00000008	-0.00097410
	7	6	0.081	252.75	1.50E-06	-0.003536402	1.84E-05	0.685	35607.80	0.02251	131558.53	468.877372	-1.671089	-0.00000008	-0.003536410
												2359.341133	0.000368		

Tabla 3.16a. MÉTODO DE HARDY CROSS - NOVENA ITERACIÓN

CIRCUITO	TRAMO		D (m)	L (m)	K _s (m)	Q (m ³ /seg)	K _S /D	V (m/s)	Re	f	α _{ij}	α _{ij} Q _{ij} ^{N-1}	α _{ij} Q _{ij} ^{N-1} Q _{ij}	ΔQ (m ³ /seg)	Q (m ³ /seg)
	i	j													
I	2	3	0.068	84.06	1.50E-06	0.00392506	2.21E-05	1.087	47080.97	0.02114	102490.62	402.281397	1.578977	-0.00000002	0.00392504
	3	4	0.057	150.07	1.50E-06	0.00158506	2.63E-05	0.621	22615.12	0.02511	517515.01	820.290118	1.300206	-0.00000002	0.00158504
	2	7	0.081	179.66	1.50E-06	-0.00557494	1.84E-05	1.071	55698.75	0.02035	84542.412	471.319238	-2.627579	-0.00000002	-0.00557496
	7	4	0.057	80.93	1.50E-06	-0.00088085	2.63E-05	0.345	12567.65	0.02917	324178.48	285.551082	-0.251526	0.00000002	-0.00088085
												1979.441835	0.000078		

Tabla 3.16b. MÉTODO DE HARDY CROSS - NOVENA ITERACIÓN

CIRCUITO	TRAMO		D (m)	L (m)	K _s (m)	Q (m ³ /seg)	K _S /D	V (m/s)	Re	f	α _{ij}	α _{ij} Q _{ij} ^{N-1}	α _{ij} Q _{ij} ^{N-1} Q _{ij}	ΔQ (m ³ /seg)	Q (m ³ /seg)
	i	j													
II	7	4	0.057	80.93	1.50E-06	0.00088085	2.63E-05	0.345	12567.65	0.02917	324178.48	285.551082	0.251526	-0.00000002	0.00088085
	4	5	0.057	268.68	1.50E-06	0.00133590	2.63E-05	0.524	19060.26	0.0262	966652.22	1291.351634	1.725118	-0.00000002	0.00133588
	5	6	0.057	82.51	1.50E-06	-0.00097410	2.63E-05	0.382	13898.17	0.02841	321860.72	313.524212	-0.305404	-0.00000002	-0.00097412
	7	6	0.081	252.75	1.50E-06	-0.00356410	1.84E-05	0.685	35608.58	0.02251	131557.86	468.885258	-1.671153	-0.00000002	-0.00356412
												2359.312187	0.000087		

Tabla 3.17a. MÉTODO DE HARDY CROSS - DÉCIMA ITERACIÓN

CIRCUITO	TRAMO		D (m)	L (m)	K _s (m)	Q (m ³ /seg)	K _S /D	V (m/s)	Re	f	α _{ij}	α _{ij} Q _{ij} ^{N-1}	α _{ij} Q _{ij} ^{N-1} Q _{ij}	ΔQ (m ³ /seg)	Q (m ³ /seg)
	i	j													
I	2	3	0.068	84.06	1.50E-06	0.00392504	2.21E-05	1.087	47080.74	0.02114	102490.74	402.279837	1.578963	0.00000000	0.00392503
	3	4	0.057	150.07	1.50E-06	0.00158504	2.63E-05	0.621	22614.84	0.02511	517516.58	820.282460	1.300177	0.00000000	0.00158503
	2	7	0.081	179.66	1.50E-06	-0.00557496	1.84E-05	1.071	55698.94	0.02035	84542.35	471.320532	-2.627595	0.00000000	-0.00557497
	7	4	0.057	80.93	1.50E-06	-0.00088085	2.63E-05	0.345	12567.67	0.02917	324178.37	285.551354	-0.251527	0.00000000	-0.00088085
												1979.434182	0.000018		

Tabla 3.17b. MÉTODO DE HARDY CROSS - DÉCIMA ITERACIÓN

CIRCUITO	TRAMO		D (m)	L (m)	K _s (m)	Q (m ³ /seg)	K _S /D	V (m/s)	Re	f	α _{ij}	α _{ij} Q _{ij} ^{N-1}	α _{ij} Q _{ij} ^{N-1} Q _{ij}	ΔQ (m ³ /seg)	Q (m ³ /seg)
	i	j													
II	7	4	0.057	80.93	1.50E-06	0.00088085	2.63E-05	0.345	12567.67	0.02917	324178.37	285.551354	0.251527	0.00000000	0.00088085
	4	5	0.057	268.68	1.50E-06	0.00133588	2.63E-05	0.524	19059.99	0.0262	966655.56	1291.338263	1.725076	0.00000000	0.00133588
	5	6	0.057	82.51	1.50E-06	-0.00097412	2.63E-05	0.382	13898.43	0.02841	321859.12	313.528599	-0.305414	0.00000000	-0.00097412
	7	6	0.081	252.75	1.50E-06	-0.00356412	1.84E-05	0.685	35608.77	0.02251	131557.71	468.887124	-1.671169	0.00000000	-0.00356412
												2359.305340	0.000021		

3.2.5.2. MÉTODO DE CORNISH CON CORRECCIÓN DE CARGAS DE PRESIÓN

El cálculo hidráulico correspondiente al método de Cornish (siguiendo la metodología mencionada en el apartado 1.2.2.2) se expresa en las tablas 3.18 – 3.38.

Tabla 3.18. MÉTODO DE CORNISH - PRIMERA ITERACIÓN

MÉTODO DE CORNISH - PRIMERA ITERACIÓN																
NUDO	Q_i (m ³ /seg)	i	j	L_{ij} (m)	D_{ij} (mm)	H_i	H_j	Δh_{fij}	σ	V_{ij} (m/s)	Q_{ij} (m ³ /seg)	$\frac{Q_{ij}}{hf_{ij}}$	ΔH_i	ΔH_j	H_i	H_j
J3	2.34000000	2	3	84.06	67.80	143.3813	140.0000	-3.3813	0.231318	1.661	-5.99769957	0.001774	0.4803	1.1762	143.3813	141.1762
		4	3	150.07	57.00	138.0000	140.0000	2.0000	0.122083	0.792	2.02039671	0.001010	0.4803	1.1762	138.4803	141.1762
											-3.97730286	0.002784				
J4	1.13000000	3	4	150.07	57.00	141.1762	138.0000	-3.1762	0.153849	1.028	-2.62387081	0.000826	1.1762	0.4803	142.3524	138.4803
		5	4	268.68	57.00	135.0000	138.0000	3.0000	0.111745	0.716	1.82766517	0.000609	0.6147	0.4803	135.6147	138.4803
		7	4	80.93	57.00	138.5000	138.0000	-0.5000	0.083122	0.512	-1.30553621	0.002611	0.3626	0.4803	138.8626	138.4803
											-2.10174185	0.004046				
J5	2.31000000	4	5	268.68	57.00	138.4803	135.0000	-3.4803	0.120359	0.779	-1.98811461	0.000571	0.4803	0.6147	138.9606	135.6147
		6	5	82.51	57.00	135.5000	135.0000	-0.5000	0.082323	0.506	-1.29122679	0.002582	0.8971	0.6147	136.3971	135.6147
											-3.27934140	0.003154				
J6	2.59000000	7	6	252.75	81.40	138.5000	135.5000	-3.0000	0.137682	0.950	-4.94243892	0.001647	0.3626	0.8971	138.8626	136.3971
		5	6	82.51	57.00	135.6147	135.5000	-0.1147	0.039435	0.217	-0.55458477	0.004834	0.6147	0.8971	136.2295	136.3971
											-5.49702369	0.006481				
J7	1.13000000	2	7	179.66	81.40	143.3813	138.5000	-4.8813	0.208306	1.511	-7.86080834	0.001610	0.4803	0.3626	143.3813	138.8626
		4	7	80.93	57.00	138.4803	138.5000	0.0197	0.016499	0.078	0.20025661	0.010166	0.4803	0.3626	138.9606	138.8626
		6	7	252.75	81.40	136.3971	138.5000	2.1029	0.115273	0.778	4.04666111	0.001924	0.8971	0.3626	137.2941	138.8626
											-3.61389062	0.013700				

Tabla 3.19. MÉTODO DE CORNISH - SEGUNDA ITERACIÓN

MÉTODO DE CORNISH - SEGUNDA ITERACIÓN																
NUDO	Q_i (m ³ /seg)	i	j	L_{ij} (m)	D_{ij} (mm)	H_i	H_j	Δh_{fij}	σ	V_{ij} (m/s)	Q_{ij} (m ³ /seg)	$\frac{Q_{ij}}{hf_{ij}}$	ΔH_i	ΔH_j	H_i	H_j
J3	2.34000000	2	3	84.06	67.80	143.3813	141.1762	-2.2050	0.186800	1.308	-4.720856	0.002141	-0.0074	-0.0074	143.3813	141.1689
		4	3	150.07	57.00	138.4803	141.1762	2.6959	0.141740	0.937	2.391989	0.000887	0.2692	-0.0074	138.7495	141.1689
												-2.328867	0.003028			
J4	1.13000000	3	4	150.07	57.00	141.1689	138.4803	-2.6886	0.141547	0.936	-2.388303	0.000888	-0.0074	0.2692	141.1615	138.7495
		5	4	268.68	57.00	135.6147	138.4803	2.8656	0.109213	0.698	1.780760	0.000621	0.9018	0.2692	136.5165	138.7495
		7	4	80.93	57.00	138.8626	138.4803	-0.3823	0.072684	0.439	-1.120142	0.002930	0.5108	0.2692	139.3734	138.7495
											-1.727685	0.004440				
J5	2.31000000	4	5	268.68	57.00	138.7495	135.6147	-3.1348	0.114229	0.734	-1.873780	0.000598	0.2692	0.9018	139.0188	136.5165
		6	5	82.51	57.00	136.3971	135.6147	-0.7823	0.102974	0.653	-1.665755	0.002129	0.7342	0.9018	137.1312	136.5165
												-3.539535	0.002727			
J6	2.59000000	7	6	252.75	81.40	138.8626	136.3971	-2.4655	0.124817	0.850	-4.426000	0.001795	0.5108	0.7342	139.3734	137.1312
		5	6	82.51	57.00	136.5165	136.3971	-0.1194	0.040234	0.222	-0.567616	0.004753	0.9018	0.7342	137.4183	137.1312
												-4.993616	0.006548			
J7	1.13000000	2	7	179.66	81.40	143.3813	138.8626	-4.5187	0.200420	1.447	-7.528961	0.001666		0.5108	143.3813	139.3734
		4	7	80.93	57.00	138.7495	138.8626	0.1131	0.039527	0.218	0.556082	0.004918	0.2692	0.5108	139.0188	139.3734
		6	7	252.75	81.40	137.1312	138.8626	1.7314	0.104595	0.697	3.626338	0.002095	0.7342	0.5108	137.8654	139.3734
											-3.346541	0.008679				

Tabla 3.20. MÉTODO DE CORNISH - TERCERA ITERACIÓN

MÉTODO DE CORNISH - TERCERA ITERACIÓN																
NUDO	Q_i (m ³ /seg)	i	j	L_{ij} (m)	D_{ij} (mm)	H_i	H_j	Δh_{fij}	σ	V_{ij} (m/s)	Q_{ij} (m ³ /seg)	$\frac{Q_{ij}}{hf_{ij}}$	ΔH_i	ΔH_j	H_i	H_j
J3	2.34000000	2	3	84.06	67.80	143.3813	141.1689	-2.2124	0.187112	1.310	-4.72967897	0.002138	0.0910	0.0910	143.3813	141.2599
		4	3	150.07	57.00	138.7495	141.1689	2.4193	0.134272	0.882	2.25007978	0.000930	0.5540	0.0910	139.3035	141.2599
											-2.47959919	0.003068				
J4	1.13000000	3	4	150.07	57.00	141.2599	138.7495	-2.5103	0.136775	0.900	-2.29752973	0.000915	0.0910	0.5540	141.3509	139.3035
		5	4	268.68	57.00	136.5165	138.7495	2.2330	0.096409	0.606	1.54562061	0.000692	0.5986	0.5540	137.1151	139.3035
		7	4	80.93	57.00	139.3734	138.7495	-0.6238	0.092847	0.580	-1.48083936	0.002374	0.3155	0.5540	139.6889	139.3035
											-2.23274848	0.003981				
J5	2.31000000	4	5	268.68	57.00	139.3035	136.5165	-2.7870	0.107706	0.687	-1.75290848	0.000629	0.5540	0.5986	139.8575	137.1151
		6	5	82.51	57.00	137.1312	136.5165	-0.6148	0.091282	0.569	-1.45246633	0.002363	0.2240	0.5986	137.3552	137.1151
											-3.20537481	0.002992				
J6	2.59000000	7	6	252.75	81.40	139.3734	137.1312	-2.2421	0.119027	0.806	-4.19547870	0.001871	0.3155	0.2240	139.6889	137.3552
		5	6	82.51	57.00	137.1151	137.1312	0.0162	0.014803	0.069	0.17611585	0.010894	0.5986	0.2240	137.7137	137.3552
											-4.01936285	0.012765				
J7	1.13000000	2	7	179.66	81.40	143.3813	139.3734	-4.0079	0.188753	1.353	-7.04051396	0.001757	0.3155	0.3155	143.3813	139.6889
		4	7	80.93	57.00	139.3035	139.3734	0.0699	0.031069	0.165	0.42056956	0.006021	0.5540	0.3155	139.8575	139.6889
		6	7	252.75	81.40	137.3552	139.3734	2.0182	0.112927	0.760	3.95389535	0.001959	0.2240	0.3155	137.5792	139.6889
											-2.66604905	0.009737				

Tabla 3.21. MÉTODO DE CORNISH - CUARTA ITERACIÓN

NUDO															
Q_i (m ³ /seg)	i	j	L_{ij} (m)	D_{ij} (mm)	H_i	H_j	Δh_{fij}	σ	V_{ij} (m/s)	Q_{ij} (m ³ /seg)	$\frac{Q_{ij}}{hf_{ij}}$	ΔH_i	ΔH_j	H_i	H_j
J3	2	3	84.06	67.80	143.3813	141.2599	-2.1214	0.183223	1.280	-4.61953755	0.002178	0.1778	0.1778	143.3813	141.4377
	4	3	150.07	57.00	139.3035	141.2599	1.9563	0.120743	0.782	1.99530908	0.001020	0.2449	0.1778	139.5484	141.4377
										-2.62422847	0.003198				
J4	3	4	150.07	57.00	141.4377	139.3035	-2.1341	0.126110	0.821	-2.09600179	0.000982	0.1778	0.2449	141.6154	139.5484
	5	4	268.68	57.00	137.1151	139.3035	2.1884	0.095442	0.599	1.52799484	0.000698	0.0770	0.2449	137.1921	139.5484
	7	4	80.93	57.00	139.6889	139.3035	-0.3854	0.072974	0.441	-1.12526126	0.002920	0.2507	0.2449	139.9396	139.5484
										-1.69326820	0.004600				
J5	4	5	268.68	57.00	139.5484	137.1151	-2.4333	0.100640	0.636	-1.62292974	0.000667	0.2449	0.0770	139.7933	137.1921
	6	5	82.51	57.00	137.3552	137.1151	-0.2401	0.057049	0.333	-0.84877096	0.003535	0.3403	0.0770	137.6955	137.1921
										-2.47170069	0.004202				
J6	7	6	252.75	81.40	139.6889	137.3552	-2.3337	0.121433	0.825	-4.29113797	0.001839	0.2507	0.3403	139.9396	137.6955
	5	6	82.51	57.00	137.1921	137.3552	0.1632	0.047025	0.266	0.67960299	0.004165	0.0770	0.3403	137.2690	137.6955
										-3.61153498	0.006004				
J7	2	7	179.66	81.40	143.3813	139.6889	-3.6924	0.181171	1.292	-6.72475873	0.001821	0.2507	0.2507	143.3813	139.9396
	4	7	80.93	57.00	139.5484	139.6889	0.1405	0.044060	0.247	0.63042632	0.004487	0.2449	0.2507	139.7933	139.9396
	6	7	252.75	81.40	137.6955	139.6889	1.9934	0.112232	0.755	3.92647640	0.001970	0.3403	0.2507	138.0357	139.9396
										-2.16785601	0.008278				

Tabla 3.22. MÉTODO DE CORNISH - QUINTA ITERACIÓN

NUDO															
Q_i (m ³ /seg)	i	j	L_{ij} (m)	D_{ij} (mm)	H_i	H_j	Δh_{fij}	σ	V_{ij} (m/s)	Q_{ij} (m ³ /seg)	$\frac{Q_{ij}}{hf_{ij}}$	ΔH_i	ΔH_j	H_i	H_j
J3	2	3	84.06	67.80	143.3813	141.4377	-1.9436	0.175377	1.218	-4.39810401	0.002263	0.0618	0.0618	143.3813	141.4994
	4	3	150.07	57.00	139.5484	141.4377	1.8892	0.118654	0.767	1.95625755	0.001035	0.1756	0.0618	139.7240	141.4994
										-2.44184646	0.003298				
J4	3	4	150.07	57.00	141.4994	139.5484	-1.9510	0.120578	0.781	-1.99221970	0.001021	0.0618	0.1756	141.5612	139.7240
	5	4	268.68	57.00	137.1921	139.5484	2.3564	0.099035	0.624	1.59356423	0.000676	0.4001	0.1756	137.5921	139.7240
	7	4	80.93	57.00	139.9396	139.5484	-0.3912	0.073527	0.445	-1.13499471	0.002901	0.1765	0.1756	140.1161	139.7240
										-1.53365018	0.004599				
J5	4	5	268.68	57.00	139.7240	137.1921	-2.5319	0.102658	0.651	-1.65995124	0.000656	0.1756	0.4001	139.8995	137.5921
	6	5	82.51	57.00	137.6955	137.1921	-0.5034	0.082604	0.508	-1.29626216	0.002575	0.3137	0.4001	138.0092	137.5921
										-2.95621340	0.003230				
J6	7	6	252.75	81.40	139.9396	137.6955	-2.2442	0.119081	0.807	-4.19761500	0.001870	0.1765	0.3137	140.1161	138.0092
	5	6	82.51	57.00	137.5921	137.6955	0.1034	0.037428	0.205	0.52205330	0.005051	0.4001	0.3137	137.9922	138.0092
										-3.67556170	0.006922				
J7	2	7	179.66	81.40	143.3813	139.9396	-3.4416	0.174911	1.242	-6.46511806	0.001879	0.1765	0.1765	143.3813	140.1161
	4	7	80.93	57.00	139.7240	139.9396	0.2157	0.054591	0.316	0.80690772	0.003741	0.1756	0.1765	139.8995	140.1161
	6	7	252.75	81.40	138.0092	139.9396	1.9305	0.110446	0.741	3.85607620	0.001997	0.3137	0.1765	138.3228	140.1161
										-1.80213414	0.007617				

Tabla 3.23. MÉTODO DE CORNISH - SEXTA ITERACIÓN

NUDO															
Q_i (m ³ /seg)	i	j	L_{ij} (m)	D_{ij} (mm)	H_i	H_j	Δh_{fij}	σ	V_{ij} (m/s)	Q_{ij} (m ³ /seg)	$\frac{Q_{ij}}{hf_{ij}}$	ΔH_i	ΔH_j	H_i	H_j
J3	2	3	84.06	67.80	143.3813	141.4994	-1.8818	0.172569	1.196	-4.31908405	0.002295	0.0539	0.0539	143.3813	141.5533
	4	3	150.07	57.00	139.7240	141.4994	1.7754	0.115025	0.740	1.88859979	0.001064	0.1813	0.0539	139.9053	141.5533
										-2.43048426	0.003359				
J4	3	4	150.07	57.00	141.5533	139.7240	-1.8293	0.116758	0.753	-1.92086398	0.001050	0.0539	0.1813	141.6072	139.9053
	5	4	268.68	57.00	137.5921	139.7240	2.1318	0.094199	0.590	1.50539654	0.000706	0.2483	0.1813	137.8404	139.9053
	7	4	80.93	57.00	140.1161	139.7240	-0.3921	0.073613	0.445	-1.13651506	0.002898	0.1510	0.1813	140.2671	139.9053
										-1.55198250	0.004654				
J5	4	5	268.68	57.00	139.9053	137.5921	-2.3132	0.098124	0.618	-1.57690095	0.000682	0.1813	0.2483	140.0866	137.8404
	6	5	82.51	57.00	138.0092	137.5921	-0.4170	0.075183	0.456	-1.16424141	0.002792	0.2548	0.2483	138.2639	137.8404
										-2.74114236	0.003473				
J6	7	6	252.75	81.40	140.1161	138.0092	-2.1070	0.115384	0.778	-4.05102047	0.001923	0.1510	0.2548	140.2671	138.2639
	5	6	82.51	57.00	137.8404	138.0092	0.1688	0.047829	0.272	0.69301204	0.004106	0.2483	0.2548	138.0886	138.2639
										-3.35800843	0.006029				
J7	2	7	179.66	81.40	143.3813	140.1161	-3.2652	0.170368	1.206	-6.27727088	0.001923	0.1510	0.1510	143.3813	140.2671
	4	7	80.93	57.00	139.9053	140.1161	0.2108	0.053974	0.312	0.79642501	0.003778	0.1813	0.1510	140.0866	140.2671
	6	7	252.75	81.40	138.2639	140.1161	1.8522	0.108182	0.724	3.76704249	0.002034	0.2548	0.1510	138.5187	140.2671
										-1.71380338	0.007734				

Tabla 3.24. MÉTODO DE CORNISH - SÉPTIMA ITERACIÓN

NUDO															
Q_i (m ³ /seg)	i	j	L_{ij} (m)	D_{ij} (mm)	H_i	H_j	Δh_{fij}	σ	V_{ij} (m/s)	Q_{ij} (m ³ /seg)	$\frac{Q_{ij}}{hf_{ij}}$	ΔH_i	ΔH_j	H_i	H_j
J3	2	3	84.06	67.80	143.3813	141.5533	-1.8280	0.170080	1.177	-4.24919470	0.002325	0.0577	0.0577	143.3813	141.6109
	4	3	150.07	57.00	139.9053	141.5533	1.6480	0.110820	0.710	1.81050948	0.001099	0.1347	0.0577	140.0400	141.6109
										-2.43868522	0.003423				
J4	3	4	150.07	57.00	141.6109	139.9053	-1.7057	0.112742	0.723	-1.84615639	0.001082	0.0577	0.1347	141.6686	140.0400
	5	4	268.68	57.00	137.8404	139.9053	2.0649	0.092709	0.579	1.47833298	0.000716	0.2289	0.1347	138.0692	140.0400
	7	4	80.93	57.00	140.2671	139.9053	-0.3618	0.070706	0.425	-1.08536868	0.003000	0.1161	0.1347	140.3832	140.0400
										-1.45319208	0.004798				
J5	4	5	268.68	57.00	140.0400	137.8404	-2.1996	0.095685	0.601	-1.53242914	0.000697	0.1347	0.2289	140.1747	138.0692
	6	5	82.51	57.00	138.2639	137.8404	-0.4236	0.075769	0.460	-1.17462167	0.002773	0.2041	0.2289	138.4680	138.0692
										-2.70705080	0.003470				
J6	7	6	252.75	81.40	140.2671	138.2639	-2.0031	0.112505	0.757	-3.93725705	0.001966	0.1161	0.2041	140.3832	138.4680
	5	6	82.51	57.00	138.0692	138.2639	0.1947	0.051372	0.295	0.75243416	0.003864	0.2289	0.2041	138.2981	138.4680
										-3.18482289	0.005830				
J7	2	7	179.66	81.40	143.3813	140.2671	-3.1142	0.166383	1.175	-6.11293893	0.001963	0.1161	0.1161	143.3813	140.3832
	4	7	80.93	57.00	140.0400	140.2671	0.2271	0.056016	0.326	0.83114970	0.003660	0.1347	0.1161	140.1747	140.3832
	6	7	252.75	81.40	138.4680	140.2671	1.7991	0.106621	0.712	3.70573072	0.002060	0.2041	0.1161	138.6720	140.3832
										-1.57605851	0.007683				

Tabla 3.25. MÉTODO DE CORNISH - OCTAVA ITERACIÓN

NUDO															
Q_i (m ³ /seg)	i	j	L_{ij} (m)	D_{ij} (mm)	H_i	H_j	Δh_{fij}	σ	V_{ij} (m/s)	Q_{ij} (m ³ /seg)	$\frac{Q_{ij}}{hf_{ij}}$	ΔH_i	ΔH_j	H_i	H_j
J3	2	3	84.06	67.80	143.3813	141.6109	-1.7703	0.167377	1.156	-4.17337691	0.002357	0.0410	0.0410	143.3813	141.6520
	4	3	150.07	57.00	140.0400	141.6109	1.5709	0.108198	0.691	1.76200038	0.001122	0.1106	0.0410	140.1506	141.6520
										-2.41137653	0.003479				
J4	3	4	150.07	57.00	141.6520	140.0400	-1.6120	0.109602	0.701	-1.78796037	0.001109	0.0410	0.1106	141.6930	140.1506
	5	4	268.68	57.00	138.0692	140.0400	1.9708	0.090571	0.564	1.43959837	0.000730	0.1741	0.1106	138.2433	140.1506
	7	4	80.93	57.00	140.3832	140.0400	-0.3432	0.068865	0.413	-1.05311195	0.003069	0.0907	0.1106	140.4739	140.1506
										-1.40147395	0.004908				
J5	4	5	268.68	57.00	140.1506	138.0692	-2.0814	0.093078	0.582	-1.48502934	0.000713	0.1106	0.1741	140.2612	138.2433
	6	5	82.51	57.00	138.4680	138.0692	-0.3988	0.073518	0.445	-1.13483672	0.002846	0.1531	0.1741	138.6211	138.2433
										-2.61986607	0.003559				
J6	7	6	252.75	81.40	140.3832	138.4680	-1.9152	0.110008	0.738	-3.83882622	0.002004	0.0907	0.1531	140.4739	138.6211
	5	6	82.51	57.00	138.2433	138.4680	0.2247	0.055181	0.320	0.81692323	0.003636	0.1741	0.1531	138.4175	138.6211
										-3.02190299	0.005641				
J7	2	7	179.66	81.40	143.3813	140.3832	-2.9981	0.163251	1.150	-5.98410686	0.001996	0.0907	0.0907	143.3813	140.4739
	4	7	80.93	57.00	140.1506	140.3832	0.2326	0.056690	0.330	0.84264265	0.003623	0.1106	0.0907	140.2612	140.4739
	6	7	252.75	81.40	138.6211	140.3832	1.7621	0.105518	0.704	3.66250212	0.002079	0.1531	0.0907	138.7743	140.4739
										-1.47896209	0.007698				

Tabla 3.26. MÉTODO DE CORNISH - NOVENA ITERACIÓN

NUDO															
Q_i (m ³ /seg)	i	j	L_{ij} (m)	D_{ij} (mm)	H_i	H_j	Δh_{fij}	σ	V_{ij} (m/s)	Q_{ij} (m ³ /seg)	$\frac{Q_{ij}}{hf_{ij}}$	ΔH_i	ΔH_j	H_i	H_j
J3	2	3	84.06	67.80	143.3813	141.6520	-1.7293	0.165426	1.141	-4.11874811	0.002382	0.0349	0.0349	143.3813	141.6869
	4	3	150.07	57.00	140.1506	141.6520	1.5014	0.105775	0.673	1.71728032	0.001144	0.0854	0.0349	140.2360	141.6869
										-2.40146779	0.003526				
J4	3	4	150.07	57.00	141.6869	140.1506	-1.5362	0.106996	0.682	-1.73980094	0.001133	0.0349	0.0854	141.7217	140.2360
	5	4	268.68	57.00	138.2433	140.1506	1.9073	0.089100	0.554	1.41301437	0.000741	0.1313	0.0854	138.3747	140.2360
	7	4	80.93	57.00	140.4739	140.1506	-0.3232	0.066833	0.399	-1.01763434	0.003148	0.0685	0.0854	140.5423	140.2360
										-1.34442092	0.005022				
J5	4	5	268.68	57.00	140.2360	138.2433	-1.9927	0.091073	0.568	-1.44868205	0.000727	0.0854	0.1313	140.3214	138.3747
	6	5	82.51	57.00	138.6211	138.2433	-0.3778	0.071558	0.431	-1.10032893	0.002913	0.1144	0.1313	138.7355	138.3747
										-2.54901098	0.003640				
J6	7	6	252.75	81.40	140.4739	138.6211	-1.8527	0.108199	0.724	-3.76768256	0.002034	0.0685	0.1144	140.5423	138.7355
	5	6	82.51	57.00	138.3747	138.6211	0.2464	0.057796	0.338	0.86153016	0.003496	0.1313	0.1144	138.5060	138.7355
										-2.90615240	0.005529				
J7	2	7	179.66	81.40	143.3813	140.4739	-2.9074	0.160764	1.130	-5.88195350	0.002023	0.0685	0.0685	143.3813	140.5423
	4	7	80.93	57.00	140.2360	140.4739	0.2378	0.057329	0.334	0.85354693	0.003589	0.0854	0.0685	140.3214	140.5423
	6	7	252.75	81.40	138.7355	140.4739	1.7384	0.104807	0.698	3.63463089	0.002091	0.1144	0.0685	138.8498	140.5423
										-1.39377567	0.007703				

Tabla 3.27. MÉTODO DE CORNISH - DÉCIMA ITERACIÓN

NUDO															
Q_i (m ³ /seg)	i	j	L_{ij} (m)	D_{ij} (mm)	H_i	H_j	Δh_{fij}	σ	V_{ij} (m/s)	Q_{ij} (m ³ /seg)	$\frac{Q_{ij}}{hf_{ij}}$	ΔH_i	ΔH_j	H_i	H_j
J3	2	3	84.06	67.80	143.3813	141.6869	-1.6944	0.163749	1.128	-4.07186829	0.002403	0.0267	0.0267	143.3813	141.7136
	4	3	150.07	57.00	140.2360	141.6869	1.4508	0.103980	0.660	1.68423212	0.001161	0.0645	0.0267	140.3005	141.7136
										-2.38763616	0.003564				
J4	3	4	150.07	57.00	141.7136	140.2360	-1.4776	0.104933	0.667	-1.70177803	0.001152	0.0267	0.0645	141.7403	140.3005
	5	4	268.68	57.00	138.3747	140.2360	1.8613	0.088020	0.546	1.39353598	0.000749	0.0985	0.0645	138.4731	140.3005
	7	4	80.93	57.00	140.5423	140.2360	-0.3063	0.065062	0.387	-0.98681078	0.003221	0.0511	0.0645	140.5934	140.3005
										-1.29505283	0.005122				
J5	4	5	268.68	57.00	140.3005	138.3747	-1.9258	0.089531	0.557	-1.42080359	0.000738	0.0645	0.0985	140.3649	138.4731
	6	5	82.51	57.00	138.7355	138.3747	-0.3608	0.069930	0.420	-1.07176710	0.002971	0.0849	0.0985	138.8204	138.4731
										-2.49257069	0.003708				
J6	7	6	252.75	81.40	140.5423	138.7355	-1.8069	0.106851	0.714	-3.71476933	0.002056	0.0511	0.0849	140.5934	138.8204
	5	6	82.51	57.00	138.4731	138.7355	0.2623	0.059629	0.350	0.89297016	0.003404	0.0985	0.0849	138.5716	138.8204
										-2.82179917	0.005460				
J7	2	7	179.66	81.40	143.3813	140.5423	-2.8389	0.158859	1.115	-5.80384051	0.002044	0.0511	0.0511	143.3813	140.5934
	4	7	80.93	57.00	140.3005	140.5423	0.2419	0.057813	0.338	0.86183608	0.003563	0.0645	0.0511	140.3649	140.5934
	6	7	252.75	81.40	138.8204	140.5423	1.7220	0.104310	0.695	3.61520990	0.002099	0.0849	0.0511	138.9053	140.5934
										-1.32679453	0.007707				

Tabla 3.28. MÉTODO DE CORNISH - DÉCIMO PRIMERA ITERACIÓN																
NUDO	Q_i (m ³ /seg)	i	j	L_{ij} (m)	D_{ij} (mm)	H_i	H_j	Δh_{fij}	σ	V_{ij} (m/s)	Q_{ij} (m ³ /seg)	$\frac{Q_{ij}}{hf_{ij}}$	ΔH_i	ΔH_j	H_i	H_j
J3	2.34000000	2	3	84.06	67.80	143.3813	141.7136	-1.6677	0.162452	1.118	-4.035637	0.002420	0.0203	0.0203	143.3813	141.7338
		4	3	150.07	57.00	140.3005	141.7136	1.4131	0.102619	0.650	1.659231	0.001174	0.0483	0.0203	140.3487	141.7338
													-2.376406	0.003594		
J4	1.13000000	3	4	150.07	57.00	141.7338	140.3005	-1.4334	0.103352	0.656	-1.672695	0.001167	0.0203	0.0483	141.7541	140.3487
		5	4	268.68	57.00	138.4731	140.3005	1.8273	0.087212	0.540	1.378978	0.000755	0.0734	0.0483	138.5465	140.3487
		7	4	80.93	57.00	140.5934	140.3005	-0.2929	0.063625	0.377	-0.961888	0.003284	0.0379	0.0483	140.6313	140.3487
											-1.255606	0.005205				
J5	2.31000000	4	5	268.68	57.00	140.3487	138.4731	-1.8756	0.088356	0.548	-1.399599	0.000746	0.0483	0.0734	140.3970	138.5465
		6	5	82.51	57.00	138.8204	138.4731	-0.3472	0.068604	0.411	-1.048550	0.003020	0.0628	0.0734	138.8832	138.5465
													-2.448149	0.003766		
J6	2.59000000	7	6	252.75	81.40	140.5934	138.8204	-1.7730	0.105846	0.706	-3.675344	0.002073	0.0379	0.0628	140.6313	138.8832
		5	6	82.51	57.00	138.5465	138.8204	0.2739	0.060927	0.359	0.915290	0.003342	0.0734	0.0628	138.6199	138.8832
													-2.760054	0.005415		
J7	1.13000000	2	7	179.66	81.40	143.3813	140.5934	-2.7878	0.157424	1.104	-5.745046	0.002061	0.0379	0.0379	143.3813	140.6313
		4	7	80.93	57.00	140.3487	140.5934	0.2447	0.058148	0.340	0.867561	0.003546	0.0483	0.0379	140.3970	140.6313
		6	7	252.75	81.40	138.8832	140.5934	1.7102	0.103954	0.692	3.601274	0.002106	0.0628	0.0379	138.9460	140.6313
											-1.276211	0.007712				

Tabla 3.29. MÉTODO DE CORNISH - DÉCIMO SEGUNDA ITERACIÓN																
NUDO	Q_i (m ³ /seg)	i	j	L_{ij} (m)	D_{ij} (mm)	H_i	H_j	Δh_{fij}	σ	V_{ij} (m/s)	Q_{ij} (m ³ /seg)	$\frac{Q_{ij}}{hf_{ij}}$	ΔH_i	ΔH_j	H_i	H_j
													ΔH_i	ΔH_j	H_i	H_j
J3	2.34000000	2	3	84.06	67.80	143.3813	141.7338	-1.6474	0.161463	1.110	-4.00800608	0.002433	0.0152	0.0152	143.3813	141.7491
		4	3	150.07	57.00	140.3487	141.7338	1.3851	0.101597	0.643	1.64047796	0.001184	0.0360	0.0152	140.3847	141.7491
											-2.36752812	0.003617				
J4	1.13000000	3	4	150.07	57.00	141.7491	140.3487	-1.4003	0.102154	0.647	-1.65069097	0.001179	0.0152	0.0360	141.7643	140.3847
		5	4	268.68	57.00	138.5465	140.3487	1.8022	0.086611	0.536	1.36815530	0.000759	0.0545	0.0360	138.6010	140.3847
		7	4	80.93	57.00	140.6313	140.3487	-0.2826	0.062491	0.369	-0.94227692	0.003334	0.0281	0.0360	140.6594	140.3847
											-1.22481258	0.005272				
J5	2.31000000	4	5	268.68	57.00	140.3847	138.5465	-1.8382	0.087471	0.542	-1.38363835	0.000753	0.0360	0.0545	140.4207	138.6010
		6	5	82.51	57.00	138.8832	138.5465	-0.3367	0.067553	0.404	-1.03018746	0.003060	0.0464	0.0545	138.9296	138.6010
											-2.41382580	0.003813				
J6	2.59000000	7	6	252.75	81.40	140.6313	138.8832	-1.7481	0.105100	0.701	-3.64613061	0.002086	0.0281	0.0464	140.6594	138.9296
		5	6	82.51	57.00	138.6010	138.8832	0.2822	0.061848	0.365	0.93117180	0.003299	0.0545	0.0464	138.6554	138.9296
											-2.71495881	0.005385				
J7	1.13000000	2	7	179.66	81.40	143.3813	140.6313	-2.7499	0.156350	1.096	-5.70108187	0.002073	0.0281	0.0281	143.3813	140.6594
		4	7	80.93	57.00	140.3847	140.6313	0.2466	0.058379	0.342	0.87152245	0.003534	0.0360	0.0281	140.4207	140.6594
		6	7	252.75	81.40	138.9296	140.6313	1.7017	0.103696	0.690	3.59116916	0.002110	0.0464	0.0281	138.9760	140.6594
											-1.23839027	0.007717				

Tabla 3.30. MÉTODO DE CORNISH - DÉCIMO TERCERA ITERACIÓN																
NUDO	Q_i (m ³ /seg)	i	j	L_{ij} (m)	D_{ij} (mm)	H_i	H_j	Δh_{fij}	σ	V_{ij} (m/s)	Q_{ij} (m ³ /seg)	$\frac{Q_{ij}}{hf_{ij}}$	ΔH_i	ΔH_j	H_i	H_j
J3	2.34000000	2	3	84.06	67.80	143.3813	141.7491	-1.6322	0.160715	1.104	-3.98714754	0.002443	0.0114	0.0114	143.3813	141.7604
		4	3	150.07	57.00	140.3847	141.7491	1.3644	0.100833	0.637	1.62647707	0.001192	0.0267	0.0114	140.4114	141.7604
											-2.36067047	0.003635				
J4	1.13000000	3	4	150.07	57.00	141.7604	140.3847	-1.3757	0.101253	0.640	-1.63416402	0.001188	0.0114	0.0267	141.7718	140.4114
		5	4	268.68	57.00	138.6010	140.3847	1.7837	0.086165	0.533	1.36013892	0.000763	0.0404	0.0267	138.6414	140.4114
		7	4	80.93	57.00	140.6594	140.3847	-0.2747	0.061614	0.363	-0.92713604	0.003375	0.0208	0.0267	140.6802	140.4114
											-1.20116114	0.005325				
J5	2.31000000	4	5	268.68	57.00	140.4114	138.6010	-1.8104	0.086808	0.538	-1.37170895	0.000758	0.0267	0.0404	140.4382	138.6414
		6	5	82.51	57.00	138.9296	138.6010	-0.3286	0.066740	0.398	-1.01600656	0.003092	0.0343	0.0404	138.9639	138.6414
											-2.38771551	0.003849				
J6	2.59000000	7	6	252.75	81.40	140.6594	138.9296	-1.7298	0.104548	0.696	-3.62451535	0.002095	0.0208	0.0343	140.6802	138.9639
		5	6	82.51	57.00	138.6414	138.9296	0.2882	0.062505	0.369	0.94252154	0.003270	0.0404	0.0343	138.6817	138.9639
											-2.68199381	0.005365				
J7	1.13000000	2	7	179.66	81.40	143.3813	140.6594	-2.7218	0.155549	1.089	-5.66833623	0.002083	0.0208	0.0208	143.3813	140.6802
		4	7	80.93	57.00	140.4114	140.6594	0.2480	0.058540	0.343	0.87428551	0.003525	0.0267	0.0208	140.4382	140.6802
		6	7	252.75	81.40	138.9639	140.6594	1.6955	0.103507	0.689	3.58377355	0.002114	0.0343	0.0208	138.9982	140.6802
											-1.21027717	0.007722				

Tabla 3.31. MÉTODO DE CORNISH - DÉCIMO CUARTA ITERACIÓN

Tabla 3.31. MÉTODO DE CORNISH - DÉCIMO CUARTA ITERACIÓN																
NUDO	Q_i (m ³ /seg)	i	j	L_{ij} (m)	D_{ij} (mm)	H_i	H_j	Δh_{rij}	σ	V_{ij} (m/s)	Q_{ij} (m ³ /seg)	$\frac{Q_{ij}}{hf_{ij}}$	ΔH_i	ΔH_j	H_i	H_j
J3	2.34000000	2	3	84.06	67.80	143.3813	141.7604	-1.6208	0.160154	1.100	-3.97150460	0.002450	0.0085	0.0085	143.3813	141.7689
		4	3	150.07	57.00	140.4114	141.7604	1.3490	0.100265	0.633	1.61605532	0.001198	0.0198	0.0085	140.4313	141.7689
		-2.35544928 0.003648														
J4	1.13000000	3	4	150.07	57.00	141.7689	140.4114	-1.3575	0.100579	0.636	-1.62181084	0.001195	0.0085	0.0198	141.7774	140.4313
		5	4	268.68	57.00	138.6414	140.4114	1.7701	0.085835	0.531	1.35419937	0.000765	0.0299	0.0198	138.6713	140.4313
		7	4	80.93	57.00	140.6802	140.4114	-0.2688	0.060945	0.359	-0.91560393	0.003406	0.0154	0.0198	140.6956	140.4313
-1.18321540 0.005366																
J5	2.31000000	4	5	268.68	57.00	140.4313	138.6414	-1.7899	0.086614	0.534	-1.36282164	0.000761	0.0198	0.0299	140.4511	138.6713
		6	5	82.51	57.00	138.9639	138.6414	-0.3225	0.066119	0.394	-1.00519513	0.003116	0.0254	0.0299	138.9893	138.6713
		-2.36801677 0.003878														
J6	2.59000000	7	6	252.75	81.40	140.6802	138.9639	-1.7163	0.104139	0.693	-3.60851964	0.002102	0.0154	0.0254	140.6956	138.9893
		5	6	82.51	57.00	138.6713	138.9639	0.2926	0.062977	0.373	0.95068496	0.003249	0.0299	0.0254	138.7012	138.9893
		-2.65783468 0.005351														
J7	1.13000000	2	7	179.66	81.40	143.3813	140.6802	-2.7010	0.154954	1.085	-5.64400041	0.002090	0.0154	0.0154	143.3813	140.6956
		4	7	80.93	57.00	140.4313	140.6802	0.2490	0.058654	0.343	0.87622414	0.003520	0.0198	0.0154	140.4511	140.6956
		6	7	252.75	81.40	138.9893	140.6802	1.6910	0.103367	0.688	3.57832939	0.002116	0.0254	0.0154	139.0146	140.6956
-1.18944688 0.007725																

Tabla 3.32. MÉTODO DE CORNISH - DÉCIMO QUINTA ITERACIÓN

Tabla 3.32. MÉTODO DE CORNISH - DÉCIMO QUINTA ITERACIÓN																
NUDO	Q_i (m ³ /seg)	i	j	L_{ij} (m)	D_{ij} (mm)	H_i	H_j	Δh_{fij}	σ	V_{ij} (m/s)	Q_{ij} (m ³ /seg)	$\frac{Q_{ij}}{hf_{ij}}$	ΔH_i	ΔH_j	H_i	H_j
J3	2.34000000	2	3	84.06	67.80	143.3813	141.7689	-1.6124	0.159735	1.097	-3.95982387	0.002456	0.0063	0.0063	143.3813	141.7752
		4	3	150.07	57.00	140.4313	141.7689	1.3376	0.099841	0.630	1.60830749	0.001202	0.0147	0.0063	140.4460	141.7752
											-2.35151638	0.003658				
J4	1.13000000	3	4	150.07	57.00	141.7752	140.4313	-1.3439	0.100076	0.632	-1.61260355	0.001200	0.0063	0.0147	141.7815	140.4460
		5	4	268.68	57.00	138.6713	140.4313	1.7600	0.085590	0.529	1.34979746	0.000767	0.0222	0.0147	138.6935	140.4460
		7	4	80.93	57.00	140.6956	140.4313	-0.2643	0.060439	0.355	-0.90689471	0.003431	0.0114	0.0147	140.7070	140.4460
											-1.16970079	0.005398				
J5	2.31000000	4	5	268.68	57.00	140.4460	138.6713	-1.7747	0.085947	0.531	-1.35621269	0.000764	0.0147	0.0222	140.4607	138.6935
		6	5	82.51	57.00	138.9893	138.6713	-0.3180	0.065649	0.391	-0.99701816	0.003136	0.0188	0.0222	139.0080	138.6935
											-2.35323085	0.003900				
J6	2.59000000	7	6	252.75	81.40	140.6956	138.9893	-1.7064	0.103837	0.691	-3.59668023	0.002108	0.0114	0.0188	140.7070	139.0080
		5	6	82.51	57.00	138.6935	138.9893	0.2958	0.063319	0.375	0.95659262	0.003234	0.0222	0.0188	138.7156	139.0080
											-2.64008761	0.005342				
J7	1.13000000	2	7	179.66	81.40	143.3813	140.6956	-2.6857	0.154512	1.081	-5.62593399	0.002095	0.0114	0.0114	143.3813	140.7070
		4	7	80.93	57.00	140.4460	140.6956	0.2496	0.058734	0.344	0.87759548	0.003515	0.0147	0.0114	140.4607	140.7070
		6	7	252.75	81.40	139.0080	140.6956	1.6876	0.103264	0.687	3.57430945	0.002118	0.0188	0.0114	139.0268	140.7070
											-1.17402906	0.007728				

Tabla 3.33. MÉTODO DE CORNISH - DÉCIMO SEXTA ITERACIÓN

MÉTODO DE CORNISH - DÉCIMO SEXTA ITERACIÓN																	
NUDO	Q_i (m ³ /seg)	i	j	L_{ij} (m)	D_{ij} (mm)	H_i	H_j	Δh_{fij}	σ	V_{ij} (m/s)	Q_{ij} (m ³ /seg)	$\frac{Q_{ij}}{hf_{ij}}$	ΔH_i	ΔH_j	H_i	H_j	
J3	2.34000000	2	3	84.06	67.80	143.3813	141.7752	-1.6061	0.159423	1.094	-3.95112279	0.002460	0.0047	0.0047	143.3813	141.7799	
		4	3	150.07	57.00	140.4460	141.7752	1.3292	0.099527	0.628	1.60255195	0.001206	0.0109	0.0047	140.4569	141.7799	
												-2.34857084	0.003666				
J4	1.13000000	3	4	150.07	57.00	141.7799	140.4460	-1.3339	0.099702	0.629	-1.60575240	0.001204	0.0047	0.0109	141.7846	140.4569	
		5	4	268.68	57.00	138.6935	140.4460	1.7525	0.085408	0.528	1.34653506	0.000768	0.0164	0.0109	138.7099	140.4569	
		7	4	80.93	57.00	140.7070	140.4460	-0.2610	0.060059	0.353	-0.90035282	0.003449	0.0084	0.0109	140.7154	140.4569	
												-1.15957015	0.005421				
J5	2.31000000	4	5	268.68	57.00	140.4569	138.6935	-1.7634	0.085674	0.530	-1.35130340	0.000766	0.0109	0.0164	140.4678	138.7099	
		6	5	82.51	57.00	139.0080	138.6935	-0.3146	0.065295	0.388	-0.99086873	0.003150	0.0139	0.0164	139.0219	138.7099	
												-2.34217212	0.003916				
J6	2.59000000	7	6	252.75	81.40	140.7070	139.0080	-1.6990	0.103613	0.689	-3.58791469	0.002112	0.0084	0.0139	140.7154	139.0219	
		5	6	82.51	57.00	138.7099	139.0080	0.2981	0.063567	0.377	0.96089040	0.003223	0.0164	0.0139	138.7263	139.0219	
												-2.62702429	0.005335				
J7	1.13000000	2	7	179.66	81.40	143.3813	140.7070	-2.6743	0.154183	1.078	-5.61252856	0.002099	0.0084	0.0084	143.3813	140.7154	
		4	7	80.93	57.00	140.4569	140.7070	0.2501	0.058791	0.344	0.87857430	0.003513	0.0109	0.0084	140.4678	140.7154	
		6	7	252.75	81.40	139.0219	140.7070	1.6851	0.103188	0.686	3.57133596	0.002119	0.0139	0.0084	139.0358	140.7154	
												-1.16261831	0.007731				

Tabla 3.34. MÉTODO DE CORNISH - DÉCIMO SÉPTIMA ITERACIÓN

NUDO															
Q_i (m ³ /seg)	i	j	L_{ij} (m)	D_{ij} (mm)	H_i	H_j	Δh_{fij}	σ	V_{ij} (m/s)	Q_{ij} (m ³ /seg)	$\frac{Q_{ij}}{hf_{ij}}$	ΔH_i	ΔH_j	H_i	H_j
J3	2	3	84.06	67.80	143.3813	141.7799	-1.6014	0.159191	1.093	-3.94465058	0.002463	0.0035	0.0035	143.3813	141.7833
	4	3	150.07	57.00	140.4569	141.7799	1.3230	0.099293	0.626	1.59827854	0.001208	0.0081	0.0035	140.4650	141.7833
										-2.34637204	0.003671				
J4	3	4	150.07	57.00	141.7833	140.4569	-1.3265	0.099423	0.627	-1.60065970	0.001207	0.0035	0.0081	141.7868	140.4650
	5	4	268.68	57.00	138.7099	140.4569	1.7470	0.085274	0.527	1.34411689	0.000769	0.0122	0.0081	138.7221	140.4650
	7	4	80.93	57.00	140.7154	140.4569	-0.2586	0.059774	0.351	-0.89545686	0.003463	0.0063	0.0081	140.7217	140.4650
										-1.15199967	0.005439				
J5	4	5	268.68	57.00	140.4650	138.7099	-1.7551	0.085471	0.528	-1.34765887	0.000768	0.0081	0.0122	140.4731	138.7221
	6	5	82.51	57.00	139.0219	138.7099	-0.3120	0.065030	0.387	-0.98626234	0.003161	0.0103	0.0122	139.0322	138.7221
										-2.33392121	0.003929				
J6	7	6	252.75	81.40	140.7154	139.0219	-1.6936	0.103446	0.688	-3.58142260	0.002115	0.0063	0.0103	140.7217	139.0322
	5	6	82.51	57.00	138.7221	139.0219	0.2998	0.063748	0.378	0.96403078	0.003215	0.0122	0.0103	138.7342	139.0322
										-2.61739182	0.005330				
J7	2	7	179.66	81.40	143.3813	140.7154	-2.6658	0.153940	1.077	-5.60258394	0.002102	0.0063	0.0063	143.3813	140.7217
	4	7	80.93	57.00	140.4650	140.7154	0.2505	0.058832	0.345	0.87927859	0.003510	0.0081	0.0063	140.4731	140.7217
	6	7	252.75	81.40	139.0322	140.7154	1.6833	0.103132	0.686	3.56913414	0.002120	0.0103	0.0063	139.0424	140.7217
										-1.15417121	0.007732				

Tabla 3.35. MÉTODO DE CORNISH - DÉCIMO OCTAVA ITERACIÓN

NUDO															
Q_i (m ³ /seg)	i	j	L_{ij} (m)	D_{ij} (mm)	H_i	H_j	Δh_{fij}	σ	V_{ij} (m/s)	Q_{ij} (m ³ /seg)	$\frac{Q_{ij}}{hf_{ij}}$	ΔH_i	ΔH_j	H_i	H_j
J3	2	3	84.06	67.80	143.3813	141.7833	-1.5979	0.159018	1.091	-3.939841	0.002466	0.0026	0.0026	143.3813	141.7859
	4	3	150.07	57.00	140.4650	141.7833	1.3184	0.099120	0.625	1.595107	0.001210	0.0060	0.0026	140.4710	141.7859
										-2.344734	0.003676				
J4	3	4	150.07	57.00	141.7859	140.4650	-1.3210	0.099217	0.626	-1.596877	0.001209	0.0026	0.0060	141.7885	140.4710
	5	4	268.68	57.00	138.7221	140.4650	1.7429	0.085174	0.526	1.342324	0.000770	0.0090	0.0060	138.7311	140.4710
	7	4	80.93	57.00	140.7217	140.4650	-0.2567	0.059561	0.349	-0.891802	0.003474	0.0046	0.0060	140.7263	140.4710
										-1.146354	0.005453				
J5	4	5	268.68	57.00	140.4710	138.7221	-1.7489	0.085320	0.527	-1.344954	0.000769	0.0060	0.0090	140.4770	138.7311
	6	5	82.51	57.00	139.0322	138.7221	-0.3101	0.064832	0.385	-0.982821	0.003169	0.0076	0.0090	139.0398	138.7311
										-2.327775	0.003938				
J6	7	6	252.75	81.40	140.7217	139.0322	-1.6895	0.103323	0.687	-3.576613	0.002117	0.0046	0.0076	140.7263	139.0398
	5	6	82.51	57.00	138.7311	139.0322	0.3011	0.063881	0.379	0.966334	0.003210	0.0090	0.0076	138.7401	139.0398
										-2.610279	0.005327				
J7	2	7	179.66	81.40	143.3813	140.7217	-2.6596	0.153759	1.075	-5.595207	0.002104	0.0046	0.0046	143.3813	140.7263
	4	7	80.93	57.00	140.4710	140.7217	0.2507	0.058861	0.345	0.879789	0.003509	0.0060	0.0046	140.4770	140.7263
	6	7	252.75	81.40	139.0398	140.7217	1.6819	0.103090	0.686	3.567503	0.002121	0.0076	0.0046	139.0474	140.7263
										-1.147916	0.007734				

Tabla 3.36. MÉTODO DE CORNISH - DÉCIMO NOVENA ITERACIÓN

NUDO															
Q_i (m ³ /seg)	i	j	L_{ij} (m)	D_{ij} (mm)	H_i	H_j	Δh_{fij}	σ	V_{ij} (m/s)	Q_{ij} (m ³ /seg)	$\frac{Q_{ij}}{hf_{ij}}$	ΔH_i	ΔH_j	H_i	H_j
J3	2	3	84.06	67.80	143.3813	141.7859	-1.5953	0.158890	1.090	-3.93626816	0.002467	0.0019	0.0019	143.3813	141.7878
	4	3	150.07	57.00	140.4710	141.7859	1.3150	0.098991	0.624	1.59275250	0.001211	0.0044	0.0019	140.4754	141.7878
										-2.34351566	0.003679				
J4	3	4	150.07	57.00	141.7878	140.4710	-1.3169	0.099063	0.625	-1.59406753	0.001210	0.0019	0.0044	141.7897	140.4754
	5	4	268.68	57.00	138.7311	140.4710	1.7399	0.085100	0.526	1.34099496	0.000771	0.0067	0.0044	138.7378	140.4754
	7	4	80.93	57.00	140.7263	140.4710	-0.2554	0.059403	0.348	-0.88907835	0.003482	0.0034	0.0044	140.7298	140.4754
										-1.14215092	0.005463				
J5	4	5	268.68	57.00	140.4754	138.7311	-1.7443	0.085209	0.526	-1.34294720	0.000770	0.0044	0.0067	140.4799	138.7378
	6	5	82.51	57.00	139.0398	138.7311	-0.3087	0.064684	0.384	-0.98025536	0.003176	0.0056	0.0067	139.0454	138.7378
										-2.32320257	0.003945				
J6	7	6	252.75	81.40	140.7263	139.0398	-1.6865	0.103232	0.687	-3.57304796	0.002119	0.0034	0.0056	140.7298	139.0454
	5	6	82.51	57.00	138.7378	139.0398	0.3020	0.063979	0.379	0.96802701	0.003205	0.0067	0.0056	138.7445	139.0454
										-2.60502095	0.005324				
J7	2	7	179.66	81.40	143.3813	140.7263	-2.6549	0.153625	1.074	-5.58973572	0.002105	0.0034	0.0034	143.3813	140.7298
	4	7	80.93	57.00	140.4754	140.7263	0.2509	0.058883	0.345	0.88016032	0.003508	0.0044	0.0034	140.4799	140.7298
	6	7	252.75	81.40	139.0454	140.7263	1.6809	0.103059	0.685	3.56629327	0.002122	0.0056	0.0034	139.0511	140.7298
										-1.14328213	0.007735				

Tabla 3.37. MÉTODO DE CORNISH - DUODÉCIMA ITERACIÓN

MÉTODO DE CORNISH - DUODÉCIMA ITERACIÓN																
NUDO	Q_i (m ³ /seg)	i	j	L_{ij} (m)	D_{ij} (mm)	H_i	H_j	Δh_{fij}	σ	V_{ij} (m/s)	Q_{ij} (m ³ /seg)	$\frac{Q_{ij}}{hf_{ij}}$	ΔH_i	ΔH_j	H_i	H_j
J3	2.34000000	2	3	84.06	67.80	143.3813	141.7878	-1.5934	0.158795	1.090	-3.93361572	0.002469	0.0014	0.0014	143.3813	141.7893
		4	3	150.07	57.00	140.4754	141.7878	1.3124	0.098895	0.623	1.59100569	0.001212	0.0033	0.0014	140.4787	141.7893
											-2.34261002	0.003681				
J4	1.13000000	3	4	150.07	57.00	141.7893	140.4754	-1.3138	0.098949	0.624	-1.59198227	0.001212	0.0014	0.0033	141.7907	140.4787
		5	4	268.68	57.00	138.7378	140.4754	1.7376	0.085045	0.525	1.34000927	0.000771	0.0050	0.0033	138.7427	140.4787
		7	4	80.93	57.00	140.7298	140.4754	-0.2543	0.059285	0.348	-0.88705120	0.003488	0.0025	0.0033	140.7323	140.4787
											-1.13902420	0.005470				
J5	2.31000000	4	5	268.68	57.00	140.4787	138.7378	-1.7409	0.085126	0.526	-1.34145819	0.000771	0.0033	0.0050	140.4820	138.7427
		6	5	82.51	57.00	139.0454	138.7378	-0.3076	0.064574	0.383	-0.97834486	0.003180	0.0042	0.0050	139.0496	138.7427
											-2.31980305	0.003951				
J6	2.59000000	7	6	252.75	81.40	140.7298	139.0454	-1.6843	0.103165	0.686	-3.57040551	0.002120	0.0025	0.0042	140.7323	139.0496
		5	6	82.51	57.00	138.7427	139.0454	0.3027	0.064051	0.380	0.96927494	0.003202	0.0050	0.0042	138.7477	139.0496
											-2.60113057	0.005322				
J7	1.13000000	2	7	179.66	81.40	143.3813	140.7298	-2.6515	0.153526	1.073	-5.58567710	0.002107	0.0025	0.0025	143.3813	140.7323
		4	7	80.93	57.00	140.4787	140.7298	0.2510	0.058899	0.345	0.88043213	0.003507	0.0033	0.0025	140.4820	140.7323
		6	7	252.75	81.40	139.0496	140.7298	1.6802	0.103036	0.685	3.56539656	0.002122	0.0042	0.0025	139.0538	140.7323
											-1.13984841	0.007736				

Tabla 3.38. MÉTODO DE CORNISH - DUODÉCIMA PRIMERA ITERACIÓN

NUDO															
Q_i (m ³ /seg)	i	j	L_{ij} (m)	D_{ij} (mm)	H_i	H_j	Δh_{fij}	σ	V_{ij} (m/s)	Q_{ij} (m ³ /seg)	$\frac{Q_{ij}}{hf_{ij}}$	ΔH_i	ΔH_j	H_i	H_j
J3	2	3	84.06	67.80	143.3813	141.7893	-1.5920	0.158724	1.089	-3.93164686	0.002470	0.0011	0.0011	143.3813	141.7903
	4	3	150.07	57.00	140.4787	141.7893	1.3105	0.098825	0.623	1.58970958	0.001213	0.0024	0.0011	140.4812	141.7903
										-2.34193728	0.003683				
J4	3	4	150.07	57.00	141.7903	140.4787	-1.3116	0.098864	0.623	-1.59043461	0.001213	0.0011	0.0024	141.7914	140.4812
	5	4	268.68	57.00	138.7427	140.4787	1.7360	0.085004	0.525	1.33927826	0.000771	0.0037	0.0024	138.7464	140.4812
	7	4	80.93	57.00	140.7323	140.4787	-0.2536	0.059197	0.347	-0.88554375	0.003492	0.0019	0.0024	140.7342	140.4812
										-1.13670011	0.005476				
J5	4	5	268.68	57.00	140.4812	138.7427	-1.7384	0.085064	0.525	-1.34035348	0.000771	0.0024	0.0037	140.4836	138.7464
	6	5	82.51	57.00	139.0496	138.7427	-0.3069	0.064492	0.383	-0.97692370	0.003184	0.0031	0.0037	139.0527	138.7464
										-2.31727719	0.003955				
J6	7	6	252.75	81.40	140.7323	139.0496	-1.6827	0.103114	0.686	-3.56844633	0.002121	0.0019	0.0031	140.7342	139.0527
	5	6	82.51	57.00	138.7464	139.0496	0.3032	0.064104	0.380	0.97019612	0.003200	0.0037	0.0031	138.7501	139.0527
										-2.59825021	0.005321				
J7	2	7	179.66	81.40	143.3813	140.7323	-2.6490	0.153452	1.073	-5.58266652	0.002107	0.0019	0.0019	143.3813	140.7342
	4	7	80.93	57.00	140.4812	140.7323	0.2511	0.058911	0.345	0.88063165	0.003506	0.0024	0.0019	140.4836	140.7342
	6	7	252.75	81.40	139.0527	140.7323	1.6796	0.103019	0.685	3.56473156	0.002122	0.0031	0.0019	139.0558	140.7342
										-1.13730330	0.007736				

3.2.5.3. MÉTODO DE NEWTON – RAPHSON

El cálculo hidráulico correspondiente al método de Newton – Raphson (siguiendo la metodología mencionada en el apartado 1.2.2.3) se expresa en las tablas 3.39 – 3.45.

Tabla 3.39. MÉTODO DE NEWTON-RAPHSON - PRIMERA ITERACIÓN

Tubería	D (mm)	L (m)	Q (m ³ /s)	$\frac{K_s}{D}$	$\frac{ Q }{Q}$	A (m ²)	V (m/s)	Re	f	α	$\alpha Q^2 \frac{ Q }{Q}$	$2\alpha Q $
P3	67.80	84.06	0.00475000	2.21E-05	1.00000000	0.003610	1.316	56976.17	0.0203	98226.0275	2.216225	933.147262
P4	57.00	150.07	0.00241000	2.63E-05	1.00000000	0.002552	0.944	34385.20	0.0227	468161.3932	2.719128	2256.537915
P5	57.00	268.68	0.00309000	2.63E-05	1.00000000	0.002552	1.211	44087.24	0.0215	791907.6863	7.561214	4893.989501
P6	57.00	82.51	0.00078000	2.63E-05	1.00000000	0.002552	0.306	11128.82	0.0301	341386.0574	0.207699	532.562250
P7	81.40	252.75	0.00181000	1.84E-05	1.00000000	0.005204	0.348	18083.54	0.0265	154998.3408	0.507790	561.093994
P8	81.40	179.66	0.00475000	1.84E-05	1.00000000	0.005204	0.913	47456.81	0.0211	87566.5750	1.975721	831.882463
P9	57.00	80.93	0.00181000	2.63E-05	1.00000000	0.002552	0.709	25824.57	0.0243	270160.3426	0.885072	977.980440

PRIMERA ITERACIÓN (CÁLCULO MATRICIAL)

1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	Q3	[Z] ⁻¹ [f]
-1.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	Q4	4.0881
0.0000	-1.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	Q5	1.7481
0.0000	0.0000	-1.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	x	0.0000	0.0000	0.0000	Q6	1.8276
0.0000	0.0000	0.0000	-1.0000	-1.0000	0.0000	0.0000		0.0000	=	0.0000	Q7	-0.4824
933.1473	2256.5379	0.0000	0.0000	0.0000	-831.8825	-977.9804		0.0000	0.0000	2.0746	Q8	3.0724
0.0000	0.0000	4893.9895	532.5622	-561.0940	0.0000	977.9804		0.0000	8.1462	0.0000	Q9	5.4119
												1.2095

Tabla 3.40. MÉTODO DE NEWTON-RAPHSON - SEGUNDA ITERACIÓN

Tubería	D (mm)	L (m)	Q (m³/s)	$\frac{K_s}{D}$	$\frac{ Q }{Q}$	A (m²)	V (m/s)	Re	f	α	$\alpha Q^2 \frac{ Q }{Q}$	$2\alpha Q $
P3	67.80	84.06	0.00408810	2.21E-05	1.00000000	0.003610	1.132	49036.74	0.0209	101527.5226	1.696789	830.110273
P4	57.00	150.07	0.00174810	2.63E-05	1.00000000	0.002552	0.685	24941.46	0.0245	505191.0029	1.543798	1766.253474
P5	57.00	268.68	0.00182758	2.63E-05	1.00000000	0.002552	0.716	26075.45	0.0243	894821.1374	2.988760	3270.722086
P6	57.00	82.51	-0.00048242	2.63E-05	-1.00000000	0.002552	-0.189	6882.97	0.0345	390427.8152	-0.090862	376.697032
P7	81.40	252.75	0.00307242	1.84E-05	1.00000000	0.005204	0.590	30696.22	0.0233	136179.0521	1.285495	836.797321
P8	81.40	179.66	0.00541190	1.84E-05	1.00000000	0.005204	1.040	54069.74	0.0205	85066.3001	2.491474	920.739830
P9	57.00	80.93	0.00120948	2.63E-05	1.00000000	0.002552	0.474	17256.51	0.0269	298505.3820	0.436666	722.072362

SEGUNDA ITERACIÓN (CÁLCULO MATRICIAL)

1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	Q3	3.9317
-1.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	Q4	1.5917
0.0000	-1.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-1.0000		0.0000	0.0000	0.0000	Q5	1.3421
0.0000	0.0000	-1.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	x	0.0000	0.0000	0.0000	Q6	-0.9679
0.0000	0.0000	0.0000	-1.0000	-1.0000	0.0000	0.0000		0.0000	0.0000	0.0000	Q7	3.5579
830.1103	1766.2535	0.0000	0.0000	0.0000	-920.7398	-722.0724		0.3124	0.0000	0.0000	Q8	5.5683
0.0000	0.0000	3270.7221	-376.6970	-836.7973	0.0000	722.0724		2.0491	0.0000	0.0000	Q9	0.8804

$[Z] \times [Q_{i+1}] = [f]$ $[Q_{i+1}] = [Z]^{-1} [f]$

Tabla 3.41. MÉTODO DE NEWTON-RAPHSON - TERCERA ITERACIÓN

Tubería	D (mm)	L (m)	Q (m ³ /s)	$\frac{K_s}{D}$	$\frac{ Q }{Q}$	A (m ²)	V (m/s)	Re	f	a	$\alpha Q^2 \frac{ Q }{Q}$	$2\alpha Q $
P3	67.80	84.06	0.00393170	2.21E-05	1.00000000	0.003610	1.089	47160.65	0.0211	102414.3727	1.583147	805.324853
P4	57.00	150.07	0.00159170	2.63E-05	1.00000000	0.002552	0.624	22709.90	0.0251	516857.0148	1.309459	1645.360980
P5	57.00	268.68	0.00134206	2.63E-05	1.00000000	0.002552	0.526	19148.08	0.0262	965329.4214	1.738669	2591.052530
P6	57.00	82.51	-0.00096794	2.63E-05	-1.00000000	0.002552	-0.379	13810.35	0.0284	322340.5577	-0.302006	624.015135
P7	81.40	252.75	0.00355794	1.84E-05	1.00000000	0.005204	0.684	35547.09	0.0225	131578.2290	1.665644	936.295907
P8	81.40	179.66	0.00556830	1.84E-05	1.00000000	0.005204	1.070	55632.38	0.0204	84535.0784	2.621093	941.433623
P9	57.00	80.93	0.00088036	2.63E-05	1.00000000	0.002552	0.345	12560.69	0.0292	324175.0180	0.251245	570.779956

TERCERA ITERACIÓN (CÁLCULO MATRICIAL)

1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	Q3	0.0000	[Q _{t+1}]	=	[Z] ⁻¹ [f]
-1.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	Q4	0.0000	Q3	Q4	3.9255
0.0000	-1.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-1.0000	0.0000	Q5	0.0000	Q4	Q5	1.5855
0.0000	0.0000	-1.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	Q6	=	Q5	Q6	1.3346
0.0000	0.0000	0.0000	-1.0000	-1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	Q7	0.0000	Q6	Q7	-0.9754
805.3249	1645.3610	0.0000	0.0000	0.0000	-941.4336	-570.7800	0.0000	Q8	0.0000	Q7	Q8	3.5654
0.0000	0.0000	2591.0525	-624.0151	-936.2959	0.0000	570.7800	0.0000	Q9	0.0223	Q8	Q9	5.5745
									0.0223			0.8791

Tabla 3.42. MÉTODO DE NEWTON-RAPHSON - CUARTA ITERACIÓN

Tubería	D (mm)	L (m)	Q (m ³ /s)	$\frac{K_s}{D}$	$\frac{ Q }{Q}$	A (m ²)	V (m/s)	Re	f	a	$\alpha Q^2 \frac{ Q }{Q}$	$2\alpha Q $
P3	67.80	84.06	0.00392551	2.21E-05	1.00000000	0.003610	1.087	47086.48	0.0211	102450.4116	1.578727	804.341173
P4	57.00	150.07	0.00158551	2.63E-05	1.00000000	0.002552	0.621	22621.67	0.0251	517350.4407	1.300545	1640.533355
P5	57.00	268.68	0.00133463	2.63E-05	1.00000000	0.002552	0.523	19042.14	0.0262	966673.2700	1.721878	2580.305263
P6	57.00	82.51	-0.00097537	2.63E-05	-1.00000000	0.002552	-0.382	13916.28	0.0284	321696.2730	-0.306044	627.544799
P7	81.40	252.75	0.00356537	1.84E-05	1.00000000	0.005204	0.685	35621.26	0.0225	131514.5928	1.671794	937.795964
P8	81.40	179.66	0.00557449	1.84E-05	1.00000000	0.005204	1.071	55694.16	0.0203	84514.4885	2.626278	942.249565
P9	57.00	80.93	0.00087912	2.63E-05	1.00000000	0.002552	0.345	12542.99	0.0292	324296.4046	0.250631	570.188923

CUARTA ITERACIÓN (CÁLCULO MATRICIAL)

1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	3.9251
-1.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.5851
0.0000	-1.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.3361
0.0000	0.0000	-1.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	x	0.0000	=	0.0000	=	-0.9739
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	3.5639
804.3412	1640.5334	0.0000	0.0000	0.0000	-942.2496	-570.1889		0.0024	0.0024	0.0024	0.0024	5.5749
0.0000	0.0000	2580.3053	-627.5448	-937.7960	0.0000	570.1889		-0.0053	-0.0053	-0.0053	-0.0053	0.8810

Tabla 3.43. MÉTODO DE NEWTON-RAPHSON - QUINTA ITERACIÓN

Tubería	D (mm)	L (m)	Q (m ³ /s)	$\frac{K_s}{D}$	$\frac{ Q }{Q}$	A (m ²)	V (m/s)	Re	f	a	$\alpha Q^2 \frac{ Q }{Q}$	$2\alpha Q $
P3	67.80	84.06	0.00392513	2.21E-05	1.00000000	0.003610	1.087	47081.87	0.0211	102452.6526	1.578452	804.280065
P4	57.00	150.07	0.00158513	2.63E-05	1.00000000	0.002552	0.621	22616.19	0.0251	517381.1757	1.299992	1640.233377
P5	57.00	268.68	0.00133611	2.63E-05	1.00000000	0.002552	0.524	19063.21	0.0262	966405.2413	1.725211	2582.443188
P6	57.00	82.51	-0.00097389	2.63E-05	-1.00000000	0.002552	-0.382	13895.22	0.0284	321823.8326	-0.305239	626.843432
P7	81.40	252.75	0.00356389	1.84E-05	1.00000000	0.005204	0.685	35606.51	0.0225	131527.2317	1.670570	937.497746
P8	81.40	179.66	0.00557487	1.84E-05	1.00000000	0.005204	1.071	55698.00	0.0203	84513.2107	2.626600	942.300239
P9	57.00	80.93	0.00088098	2.63E-05	1.00000000	0.002552	0.345	12569.53	0.0292	324114.4932	0.251552	571.075023

QUINTA ITERACIÓN (CÁLCULO MATRICIAL)

1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	3.9250
-1.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.5850
0.0000	-1.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.3358
0.0000	0.0000	-1.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	x	0.0000	=	0.0000	=	-0.9742
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	3.5642
804.2801	1640.2334	0.0000	0.0000	0.0000	-942.3002	-571.0750	0.0000	0.0000	0.0003	0.0003	0.0003	5.5750
0.0000	0.0000	2582.4432	-626.8434	-937.4977	0.0000	571.0750	0.0000	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.8808

Tabla 3.44. MÉTODO DE NEWTON-RAPHSON - SEXTA ITERACIÓN

Tubería	D (mm)	L (m)	Q (m ³ /s)	$\frac{K_s}{D}$	$\frac{ Q }{Q}$	A (m ²)	V (m/s)	Re	f	a	$\alpha Q^2 \frac{ Q }{Q}$	$2\alpha Q $
P3	67.80	84.06	0.00392501	2.21E-05	1.00000000	0.003610	1.087	47080.48	0.0211	102453.3304	1.578369	804.261582
P4	57.00	150.07	0.00158501	2.63E-05	1.00000000	0.002552	0.621	22614.53	0.0251	517390.4739	1.299825	1640.142641
P5	57.00	268.68	0.00133581	2.63E-05	1.00000000	0.002552	0.523	19059.00	0.0262	966458.6805	1.724546	2582.016709
P6	57.00	82.51	-0.00097419	2.63E-05	-1.00000000	0.002552	-0.382	13899.42	0.0284	321798.3628	-0.305399	626.983373
P7	81.40	252.75	0.00356419	1.84E-05	1.00000000	0.005204	0.685	35609.46	0.0225	131524.7096	1.670815	937.557243
P8	81.40	179.66	0.00557499	1.84E-05	1.00000000	0.005204	1.071	55699.16	0.0203	84512.8242	2.626698	942.315566
P9	57.00	80.93	0.00088080	2.63E-05	1.00000000	0.002552	0.345	12566.99	0.0292	324131.9089	0.251464	570.990093

SEXTA ITERACIÓN (CÁLCULO MATRICIAL)

1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	3.9250
-1.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.5850
0.0000	-1.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.3359
0.0000	0.0000	-1.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	x	0.0000	=	0.0000	=	-0.9741
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	3.5641
804.2616	1640.1426	0.0000	0.0000	0.0000	-942.3156	-570.9901		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	5.5750
0.0000	0.0000	2582.0167	-626.9834	-937.5572	0.0000	570.9901		0.0000	-0.0002	0.0000	0.0000	0.8809

Tabla 3.45. MÉTODO DE NEWTON-RAPHSON - SÉPTIMA ITERACIÓN

Tubería	D (mm)	L (m)	Q (m ³ /s)	$\frac{K_s}{D}$	$\frac{ Q }{Q}$	A (m ²)	V (m/s)	Re	f	a	$\alpha Q^2 \frac{ Q }{Q}$	$2\alpha Q $
P3	67.80	84.06	0.00392501	2.21E-05	1.00000000	0.003610	1.087	47080.48	0.0211	102453.3284	1.578369	804.261638
P4	57.00	150.07	0.00158501	2.63E-05	1.00000000	0.002552	0.621	22614.54	0.0251	517390.4460	1.299825	1640.142913
P5	57.00	268.68	0.00133587	2.63E-05	1.00000000	0.002552	0.524	19059.85	0.0262	966447.9766	1.724679	2582.102124
P6	57.00	82.51	-0.00097413	2.63E-05	-1.00000000	0.002552	-0.382	13898.58	0.0284	321803.4629	-0.305367	626.955347
P7	81.40	252.75	0.00356413	1.84E-05	1.00000000	0.005204	0.685	35608.87	0.0225	131525.2147	1.670766	937.545327
P8	81.40	179.66	0.00557499	1.84E-05	1.00000000	0.005204	1.071	55699.16	0.0203	84512.8254	2.626698	942.315520
P9	57.00	80.93	0.00088086	2.63E-05	1.00000000	0.002552	0.345	12567.83	0.0292	324126.1824	0.251493	571.018017

SÉPTIMA ITERACIÓN (CÁLCULO MATRICIAL)

1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	3.9250
-1.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.5850
0.0000	-1.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.3359
0.0000	0.0000	-1.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	x	0.0000	=	0.0000	=	-0.9741
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	3.5641
804.2616	1640.1429	0.0000	0.0000	0.0000	-942.3155	-571.0180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	5.5750
0.0000	0.0000	2582.1021	-626.9553	-937.5453	0.0000	571.0180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.8808

3.2.5.4. MÉTODO DE LA TEORÍA LINEAL

El cálculo hidráulico correspondiente al método de la Teoría Lineal (siguiendo la metodología mencionada en el apartado 1.2.2.4) se expresa en las tablas 3.46 – 3.52.

Tabla 3.46. MÉTODO DE LA TEORÍA LINEAL - PRIMERA ITERACIÓN

Tubería	D (mm)	L (m)	Q (lps)	$\frac{K_S}{D}$	A (m ²)	V (m/s)	Re	f	α	$\alpha Q $
P3	67.80	84.06	4.75000000	2.21E-05	0.003610	1.316	56976.17	0.0203	98226.0275	466.573631
P4	57.00	150.07	2.41000000	2.63E-05	0.002552	0.944	34385.20	0.0227	468161.3932	1128.268958
P5	57.00	268.68	3.09000000	2.63E-05	0.002552	1.211	44087.24	0.0215	791907.6863	2446.994751
P6	57.00	82.51	0.78000000	2.63E-05	0.002552	0.306	111128.82	0.0301	341386.0574	266.281125
P7	81.40	252.75	1.81000000	1.84E-05	0.005204	0.348	18083.54	0.0265	154998.3408	280.546997
P8	81.40	179.66	4.75000000	1.84E-05	0.005204	0.913	47456.81	0.0211	87566.5750	415.941231
P9	57.00	80.93	1.81000000	2.63E-05	0.002552	0.709	25824.57	0.0243	270160.3426	488.990220

PRIMERA ITERACIÓN (CÁLCULO MATRICIAL)

$$[A] \times [Q] = [q] \quad [Q] = [A]^{-1} [q]$$

1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	9.5000	Q3	3.4262
-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.3400	Q4	1.0862
0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	-1.00	-1.00	-1.1300	Q5	0.5652
0.00	0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	-2.3100	Q6	-1.7448
0.00	0.00	0.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	-2.5900	Q7	4.3348
466.57	1128.27	0.00	0.00	-415.94	-488.99	-488.99	0.0000	Q8	6.0738
0.00	0.00	2446.99	266.28	0.00	488.99	488.99	0.0000	Q9	0.6090

Tabla 3.47. MÉTODO DE LA TEORÍA LINEAL - SEGUNDA ITERACIÓN

Tubería	D (mm)	L (m)	Q (lps)	$\frac{K_s}{D}$	A (m ²)	V (m/s)	Re	f	a	alQl
P3	67.80	84.06	4.08810464	2.21E-05	0.003610	1.132	49036.74	0.0209	101527.5226	415.055136
P4	57.00	150.07	1.74810464	2.63E-05	0.002552	0.685	24941.46	0.0245	505191.0029	883.126737
P5	57.00	268.68	1.82758428	2.63E-05	0.002552	0.716	26075.45	0.0243	894821.1374	1635.361043
P6	57.00	82.51	-0.48241572	2.63E-05	0.002552	-0.189	6882.97	0.0345	390427.8152	188.348516
P7	81.40	252.75	3.07241572	1.84E-05	0.005204	0.590	30696.22	0.0233	136179.0521	418.398660
P8	81.40	179.66	5.41189536	1.84E-05	0.005204	1.040	54069.74	0.0205	85066.3001	460.369915
P9	57.00	80.93	1.20947964	2.63E-05	0.002552	0.474	17256.51	0.0269	298505.3820	361.036181

SEGUNDA ITERACIÓN (CÁLCULO MATRICIAL)

$$[A] \cdot x \cdot [Q] = [q] \quad [Q] = [A]^{-1} [q]$$

1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	9.5000	Q3	3.7998
-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.3400	Q4	1.4598
0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	0.00	-1.00	-1.1300	Q5	1.0004
0.00	0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.3100	Q6	-1.3096
0.00	0.00	0.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.5900	Q7	3.8996
415.06	883.13	0.00	0.00	0.00	-460.37	-361.04	0.00	0.00	0.0000	Q8	5.7002
0.00	0.00	1635.36	188.35	-418.40	0.00	361.04	0.00	0.0000	0.0000	Q9	0.6706

Tabla 3.48. MÉTODO DE LA TEORÍA LINEAL - TERCERA ITERACIÓN

Tubería	D (mm)	L (m)	Q		$\frac{K_s}{D}$	A (m ²)	V (m/s)	Re	f	a	a Q
			Q (lps)								
P3	67.80	84.06	3.94395559		2.21E-05	0.003610	1.092	47307.68	0.0211	102343.1643	403.636895
P4	57.00	150.07	1.60395559		2.63E-05	0.002552	0.629	22884.78	0.0250	515886.7318	827.459408
P5	57.00	268.68	1.41401614		2.63E-05	0.002552	0.554	20174.78	0.0258	952816.1005	1347.297343
P6	57.00	82.51	-0.89598386		2.63E-05	0.002552	-0.351	12783.64	0.0290	328965.9963	294.748224
P7	81.40	252.75	3.48598386		1.84E-05	0.005204	0.670	34828.14	0.0226	132204.4914	460.862723
P8	81.40	179.66	5.55604441		1.84E-05	0.005204	1.068	55509.92	0.0204	84575.9813	469.907908
P9	57.00	80.93	0.94006055		2.63E-05	0.002552	0.368	13412.52	0.0287	318603.2450	299.506341

TERCERA ITERACIÓN (CÁLCULO MATRICIAL)

$$[A] \quad \begin{matrix} \times \\ \times \end{matrix} \quad \begin{matrix} [Q] \\ [Q] \end{matrix} = \quad \begin{matrix} [q] \\ [q] \end{matrix} = \quad \begin{matrix} [A]^{-1} [q] \\ [A]^{-1} [q] \end{matrix}$$

1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.5000	Q3	3.9103
-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.3400	Q4	1.5703
0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	0.00	-1.00	-1.1300	Q5	1.2783
0.00	0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.3100	Q6	-1.0317
0.00	0.00	0.00	-1.00	-1.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.5900	Q7	3.6217
403.64	827.46	0.00	0.00	0.00	-469.91	-299.51	-299.51	-299.51	-299.51	0.0000	Q8	5.5897
0.00	0.00	1347.30	294.75	-460.86	0.00	299.51	299.51	299.51	299.51	0.0000	Q9	0.8380

Tabla 3.49. MÉTODO DE LA TEORÍA LINEAL - CUARTA ITERACIÓN

Tubería	D (mm)	L (m)	Q (lps)		$\frac{K_s}{D}$	A (m ²)	V (m/s)	Re	f	a	a Q
			Q	Q							
P3	67.80	84.06	3.92710867	3.92710867	2.21E-05	0.003610	1.088	47105.60	0.0211	102441.1141	402.297388
P4	57.00	150.07	1.58710867	1.58710867	2.63E-05	0.002552	0.622	22644.42	0.0251	517222.9914	820.889096
P5	57.00	268.68	1.34614773	1.34614773	2.63E-05	0.002552	0.528	19206.45	0.0261	964593.2325	1298.484987
P6	57.00	82.51	-0.96385227	-0.96385227	2.63E-05	0.002552	-0.378	13751.97	0.0285	322698.5772	311.033757
P7	81.40	252.75	3.55385227	3.55385227	1.84E-05	0.005204	0.683	35506.21	0.0225	131613.3753	467.734493
P8	81.40	179.66	5.57289133	5.57289133	1.84E-05	0.005204	1.071	55678.24	0.0203	84519.7933	471.019623
P9	57.00	80.93	0.88903905	0.88903905	2.63E-05	0.002552	0.348	12684.56	0.0291	323332.3797	287.455113

CUARTA ITERACIÓN (CÁLCULO MATRICIAL)

1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	9.5000	Q3	3.9234
-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.3400	Q4	1.5834
0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	0.00	-1.00	-1.1300	Q5	1.3282
0.00	0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.3100	Q6	-0.9818
0.00	0.00	0.00	-1.00	-1.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.5900	Q7	3.5718
402.30	820.89	0.00	0.00	0.00	0.00	-471.02	-287.46	0.00	0.00	0.0000	Q8	5.5766
0.00	0.00	1298.48	311.03	-467.73	0.00	0.00	287.46	0.00	0.0000	0.0000	Q9	0.8748

$[A] \times [Q] = [q]$

$[Q] = [A]^{-1} [q]$

Tabla 3.50. MÉTODO DE LA TEORÍA LINEAL - QUINTA ITERACIÓN

Tubería	D (mm)	L (m)	Q (lps)		$\frac{K_s}{D}$	A (m ²)	V (m/s)	Re	f	a	a Q
			Q	Q							
P3	67.80	84.06	3.92524763	3.92524763	2.21E-05	0.003610	1.087	47083.28	0.0211	102451.9692	402.149349
P4	57.00	150.07	1.58524763	1.58524763	2.63E-05	0.002552	0.621	22617.86	0.0251	517371.8029	820.162424
P5	57.00	268.68	1.33715476	1.33715476	2.63E-05	0.002552	0.524	19078.14	0.0262	966215.4089	1291.979534
P6	57.00	82.51	-0.97284524	-0.97284524	2.63E-05	0.002552	-0.381	13880.28	0.0284	321914.4595	313.172949
P7	81.40	252.75	3.56284524	3.56284524	1.84E-05	0.005204	0.685	35596.05	0.0225	131536.1992	468.643121
P8	81.40	179.66	5.57475237	5.57475237	1.84E-05	0.005204	1.071	55696.83	0.0203	84513.6003	471.142394
P9	57.00	80.93	0.88190713	0.88190713	2.63E-05	0.002552	0.346	12582.80	0.0292	324023.7738	285.758877

QUINTA ITERACIÓN (CÁLCULO MATRICIAL)

$$[A] \cdot x \cdot [Q] = [q] \quad [Q] = [A]^{-1} [q]$$

1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	9.5000	Q3	3.9248
-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.3400	Q4	1.5848
0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	-1.00	0.00	-1.1300	Q5	1.3349
0.00	0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	-2.3100	Q6	-0.9751
0.00	0.00	0.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	-2.5900	Q7	3.5651
402.15	820.16	0.00	0.00	-471.14	-285.76	0.00	0.0000	Q8	5.5752
0.00	0.00	1291.98	313.17	-468.64	285.76	0.00	0.0000	Q9	0.8801

Tabla 3.51. MÉTODO DE LA TEORÍA LINEAL - SEXTA ITERACIÓN

Tubería	D (mm)	L (m)	Q		$\frac{K_s}{D}$	A (m ²)	V (m/s)	Re	f	a	a Q
			(lps)								
P3	67.80	84.06	3.92503853		2.21E-05	0.003610	1.087	47080.77	0.0211	102453.1893	402.132715
P4	57.00	150.07	1.58503853		2.63E-05	0.002552	0.621	22614.88	0.0251	517388.5380	820.080766
P5	57.00	268.68	1.33602379		2.63E-05	0.002552	0.524	19062.01	0.0262	966420.4847	1291.160762
P6	57.00	82.51	-0.97397621		2.63E-05	0.002552	-0.382	13896.42	0.0284	321816.5655	313.441678
P7	81.40	252.75	3.56397621		1.84E-05	0.005204	0.685	35607.35	0.0225	131526.5122	468.757360
P8	81.40	179.66	5.57496147		1.84E-05	0.005204	1.071	55698.92	0.0203	84512.9047	471.156188
P9	57.00	80.93	0.88098527		2.63E-05	0.002552	0.345	12569.65	0.0292	324113.7154	285.539408

SEXTA ITERACIÓN (CÁLCULO MATRICIAL)

$$[A] \times [Q] = [q] \quad [Q] = [A]^{-1} [q]$$

1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.5000	Q3	3.9250
-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.3400	Q4	1.5850
0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	0.00	-1.00	-1.1300	Q5	1.3357
0.00	0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.3100	Q6	-0.9743
0.00	0.00	0.00	-1.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.5900	Q7	3.5643
402.13	820.08	0.00	0.00	0.00	-471.16	-285.54	-285.54	0.00	0.00	0.0000	Q8	5.5750
0.00	0.00	1291.16	313.44	-468.76	0.00	285.54	0.00	0.00	0.0000	0.0000	Q9	0.8807

Tabla 3.52. MÉTODO DE LA TEORÍA LINEAL - SÉPTIMA ITERACIÓN

Tubería	D (mm)	L (m)	Q (lps)	$\frac{K_s}{D}$	A (m ²)	V (m/s)	Re	f	a	a Q
P3	67.80	84.06	3.92501502	2.21E-05	0.003610	1.087	47080.49	0.0211	102453.3265	402.130845
P4	57.00	150.07	1.58501502	2.63E-05	0.002552	0.621	22614.54	0.0251	517390.4195	820.071586
P5	57.00	268.68	1.33588260	2.63E-05	0.002552	0.524	19059.99	0.0262	966446.1039	1291.058534
P6	57.00	82.51	-0.97411740	2.63E-05	0.002552	-0.382	13898.43	0.0284	321804.3553	313.475222
P7	81.40	252.75	3.56411740	1.84E-05	0.005204	0.685	35608.76	0.0225	131525.3031	468.771621
P8	81.40	179.66	5.57498498	1.84E-05	0.005204	1.071	55699.15	0.0203	84512.8265	471.157738
P9	57.00	80.93	0.88086758	2.63E-05	0.002552	0.345	12567.97	0.0292	324125.2070	285.511387

SÉPTIMA ITERACIÓN (CÁLCULO MATRICIAL)

1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	9.5000	Q3	3.9250
-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.3400	-2.3400	Q4	1.5850
0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	0.00	-1.1300	-1.1300	Q5	1.3358
0.00	0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.3100	-2.3100	Q6	-0.9742
0.00	0.00	0.00	-1.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	-2.5900	-2.5900	Q7	3.5642
402.13	820.07	0.00	0.00	0.00	-471.16	-285.51	0.00	0.0000	0.0000	Q8	5.5750
0.00	0.00	1291.06	313.48	-468.77	0.00	285.51	0.00	0.0000	0.0000	Q9	0.8808

3.2.5.5. MÉTODO DEL GRADIENTE

El cálculo hidráulico correspondiente al método del Gradiente (siguiendo la metodología mencionada en el apartado 1.2.2.5) se expresa en las tablas 3.53 – 3.59.

Tabla 3.53a. DATOS - PRIMERA ITERACIÓN

#	Tubería		L (m)	D (m)	K _s (m)	Q (m ³ /seg)
	De	A				
3	2	a 3	84.06	0.0678	1.50E-06	0.00475
4	3	a 4	150.07	0.0570	1.50E-06	0.00241
5	4	a 5	268.68	0.0570	1.50E-06	0.00309
6	5	a 6	82.51	0.0570	1.50E-06	0.00078
7	7	a 6	252.75	0.0814	1.50E-06	0.00181
8	2	a 7	179.66	0.0814	1.50E-06	0.00475
9	7	a 4	80.93	0.0570	1.50E-06	0.00181

ENSAMBLAJE DE MATRICES INICIALES

MATRIZ DE CONECTIVIDAD [A12]_{7x5} NTxNN

	J3	J4	J5	J6	J7
P3	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	-1.00	1.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	1.00	-1.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
P9	0.00	1.00	0.00	0.00	-1.00

MATRIZ TRANSPUESTA [A21]_{5x7} NNxNT

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
J3	1.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
J4	0.00	1.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	1.00
J5	0.00	0.00	1.00	-1.00	0.00	0.00	0.00
J6	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00
J7	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	1.00	-1.00

MATRIZ TOPOLOGICA [A10]_{7x1} NTx1 VECTOR DE CAUDALES [Q_i]_{7x1} NTx1

	Q
P3	-1.00
P4	0.00
P5	0.00
P6	0.00
P7	0.00
P8	-1.00
P9	0.00

P3	0.00475
P4	0.00241
P5	0.00309
P6	0.00078
P7	0.00181
P8	0.00475
P9	0.00181

VECTOR DE CARGAS DE PRESION FIJAS (m H₂O) [H_o]_{1x6} 1xNN+1

	J2	J3	J4	J5	J6	J7
1	143.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

VECTOR DE CONSUMO EN CADA NUDO (m³/s) [q]_{5x1} NNx1

	q
J3	0.00234
J4	0.00113
J5	0.00231
J6	0.00259
J7	0.00113

MATRIZ DIAGONAL [N]_{7x7} NTxNT

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P3	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00
P9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00

MATRIZ IDENTIDAD [I]_{7x7} NTxNT

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P3	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
P9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00

Tabla 3.53b. MÉTODO DEL GRADIENTE - PRIMERA ITERACIÓN

#	Tubería		L (m)	D (m)	K _s (m)	Q (m ³ /seg)	V (m/s)	Re	$\frac{K_s}{D}$	f	h _f (m)	α
	De	A										
3	2	a	3	84.06	1.50E-06	0.004750	1.316	5.70E+04	2.21E-05	0.02026	2.216982	98259.58
4	3	a	4	150.07	1.50E-06	0.002410	0.944	3.44E+04	2.63E-05	0.02272	2.720057	468321.3
5	4	a	5	268.68	1.50E-06	0.003090	1.211	4.41E+04	2.63E-05	0.02146	7.563797	792178.2
6	5	a	6	82.51	1.50E-06	0.000780	0.306	1.11E+04	2.63E-05	0.03013	0.20777	341502.7
7	7	a	6	252.75	1.50E-06	0.001810	0.348	1.81E+04	1.84E-05	0.02652	0.507964	155051.3
8	2	a	7	179.66	1.50E-06	0.004750	0.913	4.75E+04	1.84E-05	0.02108	1.976396	87596.49
9	7	a	4	80.93	1.50E-06	0.001810	0.709	2.58E+04	2.63E-05	0.02431	0.885375	270252.6

CÁLCULO MATRICIAL - PRIMERA ITERACIÓN

MATRIZ DIAGONAL [A11]_{7x7} NTxNT

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P3	466.733	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	0.00	1128.654	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	0.00	2447.831	0.00	0.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	0.00	266.372	0.00	0.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	0.00	280.643	0.00	0.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	416.083	0.00
P9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	489.157

MATRIZ DIAGONAL [A11]'_{7x7} NTxNT

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P3	466.733	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	0.00	1128.654	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	0.00	2447.831	0.00	0.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	0.00	266.372	0.00	0.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	0.00	280.643	0.00	0.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	416.083	0.00
P9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	489.157

CALCULO DE H+1

$$[N] \times [A11]' = [A]$$

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P3	933.466	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	0.00	2257.309	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	0.00	4895.661	0.00	0.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	0.00	532.744	0.00	0.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	0.00	561.286	0.00	0.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	832.167	0.00
P9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	978.315

$$([N] \times [A11])^{-1} = [A]^{-1}$$

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P3	0.00107	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	0.00	0.00044	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	0.00	0.00020	0.00	0.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	0.00	0.00188	0.00	0.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00178	0.00	0.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00120	0.00
P9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00102

$$[A21] \times ([N] \times [A11])^{-1} = [B]$$

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
J3	0.00107	-0.00044	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
J4	0.00	0.00044	-0.00020	0.00	0.00	0.00	0.00102
J5	0.00	0.00	0.00020	-0.00188	0.00	0.00	0.00
J6	0.00	0.00	0.00	0.00188	0.00178	0.00	0.00
J7	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.00178	0.00120	-0.00102

$$[A21] \times ([N] \times [A11])^{-1} \times [A12]$$

	J3	J4	J5	J6	J7
J3	0.00151	-0.00044	0.00	0.00	0.00
J4	-0.00044	0.00167	-0.00020	0.00	-0.00102
J5	0.00	-0.00020	0.00208	-0.00188	0.00
J6	0.00	0.00	-0.00188	0.00366	-0.00178
J7	0.00	-0.00102	0.00	-0.00178	0.00401

$$-([A21] \times ([N] \times [A11])^{-1} \times [A12])^{-1} = [C]$$

	J3	J4	J5	J6	J7
J3	-754.32	-321.10	-189.19	-174.83	-159.71
J4	-321.10	-1097.59	-646.68	-597.61	-545.91
J5	-189.19	-646.68	-1554.64	-1120.70	-663.51
J6	-174.83	-597.61	-1120.70	-1177.62	-676.31
J7	-159.71	-545.91	-663.51	-676.31	-689.79

$$[A11] \times [Q_i]$$

P3	2.21698
P4	2.72006
P5	7.56380
P6	0.20777
P7	0.50796
P8	1.97640
P9	0.88537

$$[A10] \times [H_o] = [D]$$

P3	-143.38
P4	0.00
P5	0.00
P6	0.00
P7	0.00
P8	-143.38
P9	0.00

$$([A11] \times [Q_i]) + ([A10] \times [H_o]) = [E]$$

P3	-141.163
P4	2.72006
P5	7.56380
P6	0.20777
P7	0.50796
P8	-141.404
P9	0.88537

$$[B] \times [E]$$

J3	-0.15243
J4	0.00057
J5	0.00116
J6	0.00130
J7	-0.17173

$$[A21] \times [Q_i]$$

J3	0.00234
J4	0.00113
J5	0.00231
J6	0.00259
J7	0.00113

$$([B] \times [E]) - ([A21] \times [Q_i]) - [q] = [F]$$

J3	-0.15243
J4	0.00057
J5	0.00116
J6	0.00130
J7	-0.17173

$$[H_{i+1}] = [C] \times [E]$$

	LGH
J3	141.781
J4	140.555
J5	139.171
J6	139.636
J7	140.853

$$[Z]$$

J	Z
J3	113.910
J4	113.440
J5	114.420
J6	126.440
J7	118.410

$$[H_{i+1}] - [Z]$$

J	ρ/γ
J3	27.87088
J4	27.11492
J5	24.75148
J6	13.19626
J7	22.44280

$$[A12] \times [H_{i+1}] = [G]$$

P3	141.781
P4	-1.22595
P5	-1.38344
P6	0.46477
P7	-1.21654
P8	140.853
P9	-0.29788

$$[G] + [D]$$

P3	-1.59912
P4	-1.22595
P5	-1.38344
P6	0.46477
P7	-1.21654
P8	-2.52720
P9	-0.29788

$$[\Delta Q] = [A]^{-1} + [G]$$

P3	-0.00171
P4	-0.00054
P5	-0.00028
P6	0.00087
P7	-0.00217
P8	-0.00304
P9	-0.00030

$$[A11] \times [A]^{-1}$$

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P3	0.50000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	0.00	0.50000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	0.00	0.50000	0.00	0.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	0.00	0.50000	0.00	0.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50000	0.00	0.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50000	0.00
P9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50000

$$[I] - ([A11] \times [A]^{-1})$$

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P3	0.50000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	0.00	0.50000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	0.00	0.50000	0.00	0.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	0.00	0.50000	0.00	0.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50000	0.00	0.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50000	0.00
P9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50000

$$([I] - ([A11] \times [A]^{-1})) \times [Q_i]$$

$$[Q] = (([I] - ([A11] \times [A]^{-1})) \times [Q_i]) - [\Delta Q]$$

P3	0.00238
P4	0.00121
P5	0.00155
P6	0.00039
P7	0.00091
P8	0.00238
P9	0.00091

$$Q_{i+1}$$

P3	0.00409
P4	0.00175
P5	0.00183
P6	-0.0005
P7	0.00307
P8	0.00541
P9	0.00121

Tabla 3.54a. DATOS - SEGUNDA ITERACIÓN

#	Tubería		L (m)	D (m)	K _s (m)	Q (m ³ /seg)
	De	A				
3	2	a 3	84.06	0.0678	1.50E-06	0.00409
4	3	a 4	150.07	0.0570	1.50E-06	0.00175
5	4	a 5	268.68	0.0570	1.50E-06	0.00183
6	6	a 5	82.51	0.0570	1.50E-06	-0.00048
7	7	a 6	252.75	0.0814	1.50E-06	0.00307
8	2	a 7	179.66	0.0814	1.50E-06	0.00541
9	7	a 4	80.93	0.0570	1.50E-06	0.00121

ENSAMBLAJE DE MATRICES INICIALES

MATRIZ DE CONECTIVIDAD [A12]_{7x5} NTxNN

	J3	J4	J5	J6	J7
P3	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	1.00	-1.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	1.00	-1.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
P9	0.00	1.00	0.00	0.00	-1.00

MATRIZ TRANSPUESTA [A21]_{5x7} NNxNT

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
J3	1.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
J4	0.00	1.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	1.00
J5	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
J6	0.00	0.00	0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00
J7	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	1.00	-1.00

MATRIZ TOPOLOGICA [A10]_{7x1} NTx1 VECTOR DE CAUDALES [Q_i]_{7x1} NTx1

	Q
P3	-1.00
P4	0.00
P5	0.00
P6	0.00
P7	0.00
P8	-1.00
P9	0.00

P3	0.00409
P4	0.00175
P5	0.00183
P6	-0.00048
P7	0.00307
P8	0.00541
P9	0.00121

VECTOR DE CARGAS DE PRESION FIJAS (m H₂O) [H_o]_{1x6} 1xNN+1

	J2	J3	J4	J5	J6	J7
	143.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

VECTOR DE CONSUMO EN CADA NUDO (m³/s) [q]_{5x1} NNx1

	q
J3	0.00234
J4	0.00113
J5	0.00231
J6	0.00259
J7	0.00113

MATRIZ DIAGONAL [N]_{7x7} NTxNT

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P3	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00
P9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00

MATRIZ IDENTIDAD [I]_{7x7} NTxNT

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P3	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
P9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00

Tabla 3.54b. MÉTODO DEL GRADIENTE - SEGUNDA ITERACIÓN

#	Tubería		L (m)	D (m)	K _s (m)	Q (m ³ /seg)	V (m/s)	Re	$\frac{K_s}{D}$	f	h _f (m)	α
	De	A										
3	2	a 3	84.06	0.068	1.50E-06	0.004088	1.132	4.90E+04	2.21E-05	0.02094	1.697368	101562.2
4	3	a 4	150.07	0.057	1.50E-06	0.001748	0.685	2.49E+04	2.63E-05	0.02451	1.544325	505363.6
5	4	a 5	268.68	0.057	1.50E-06	0.001828	0.716	2.61E+04	2.63E-05	0.02425	2.989781	895126.8
6	6	a 5	82.51	0.057	1.50E-06	-0.00048	0.189	6.88E+03	2.63E-05	0.03446	0.090893	390561.2
7	7	a 6	252.75	0.081	1.50E-06	0.003072	0.590	3.07E+04	1.84E-05	0.02330	1.285934	136225.6
8	2	a 7	179.66	0.081	1.50E-06	0.005412	1.040	5.41E+04	1.84E-05	0.02048	2.492325	85095.36
9	7	a 4	80.93	0.057	1.50E-06	0.001209	0.474	1.73E+04	2.63E-05	0.02686	0.436815	298607.4

CÁLCULO MATRICIAL - SEGUNDA ITERACIÓN

MATRIZ DIAGONAL [A11]_{7x7} NTxNT

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P3	415.197	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	0.00	883.428	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	0.00	1635.920	0.00	0.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	0.00	-188.413	0.00	0.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	0.00	418.542	0.00	0.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	460.527	0.00
P9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	361.160

MATRIZ DIAGONAL [A11]'_{7x7} NTxNT

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P3	415.197	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	0.00	883.428	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	0.00	1635.920	0.00	0.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	0.00	-188.413	0.00	0.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	0.00	418.542	0.00	0.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	460.527	0.00
P9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	361.160

CALCULO DE H+1

$$[N] \times [A11]' = [A]$$

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P3	830.394	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	0.00	1766.857	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	0.00	3271.839	0.00	0.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	0.00	-376.826	0.00	0.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	0.00	837.083	0.00	0.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	921.054	0.00
P9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	722.319

$$([N] \times [A11])^{-1} = [A]^{-1}$$

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P3	0.00120	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	0.00	0.00057	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	0.00	0.00031	0.00	0.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	0.00	-0.00265	0.00	0.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00119	0.00	0.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00109	0.00
P9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00138

$$[A21] \times ([N] \times [A11])^{-1} = [B]$$

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
J3	0.00120	-0.00057	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
J4	0.00	0.00057	-0.00031	0.00	0.00	0.00	0.00138
J5	0.00	0.00	0.00031	-0.00265	0.00	0.00	0.00
J6	0.00	0.00	0.00	0.00265	0.00119	0.00	0.00
J7	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.00119	0.00109	-0.00138

$$[A21] \times ([N] \times [A11])^{-1} \times [A12]$$

	J3	J4	J5	J6	J7
J3	0.00177	-0.00057	0.00	0.00	0.00
J4	-0.00057	0.00226	-0.00031	0.00	-0.00138
J5	0.00	-0.00031	-0.00235	0.00265	0.00
J6	0.00	0.00	0.00265	-0.00146	-0.00119
J7	0.00	-0.00138	0.00	-0.00119	0.00366

$$-([A21] \times ([N] \times [A11])^{-1} \times [A12])^{-1} = [C]$$

	J3	J4	J5	J6	J7
J3	-663.17	-307.36	-200.51	-212.82	-185.48
J4	-307.36	-961.33	-627.15	-665.64	-580.14
J5	-200.51	-627.15	-1093.33	-1416.46	-698.65
J6	-212.82	-665.64	-1416.46	-1329.99	-685.00
J7	-185.48	-580.14	-698.65	-685.00	-715.32

$$[A11] \times [Q_i]$$

P3	1.69737
P4	1.54433
P5	2.98978
P6	0.09089
P7	1.28593
P8	2.49232
P9	0.43682

$$[A10] \times [H_o] = [D]$$

P3	-143.38
P4	0.00
P5	0.00
P6	0.00
P7	0.00
P8	-143.38
P9	0.00

$$([A11] \times [Q_i]) + ([A10] \times [H_o]) = [E]$$

P3	-141.683
P4	1.544
P5	2.990
P6	0.091
P7	1.286
P8	-140.888
P9	0.437

$$[B] \times [E]$$

J3	-0.17150
J4	0.00057
J5	0.00067
J6	0.00178
J7	-0.15510

$$[A21] \times [Q_i]$$

J3	0.00234
J4	0.00113
J5	0.00135
J6	0.00355
J7	0.00113

$$([B] \times [E]) - (([A21] \times [Q_i]) - [q]) = [F]$$

J3	-0.17150
J4	0.00056
J5	0.00164
J6	0.00081
J7	-0.15510

$$[H_{i+1}] = [C] \times [E]$$

	LGH
J3	141.824
J4	140.582
J5	139.455
J6	138.968
J7	140.730

$$[Z]$$

	Z
J3	113.910
J4	113.440
J5	114.420
J6	126.440
J7	118.410

$$[H_{i+1}] - [Z]$$

	J	ρ/γ
J3	27.91438	
J4	27.14167	
J5	25.03509	
J6	12.52782	
J7	22.32045	

$$[A12] \times [H_{i+1}] = [G]$$

P3	141.824
P4	-1.243
P5	-1.127
P6	0.487
P7	-1.763
P8	140.730
P9	-0.149

$$[G] + [D]$$

P3	-1.55562
P4	-1.24272
P5	-1.12657
P6	0.48727
P7	-1.76263
P8	-2.64955
P9	-0.14878

$$[\Delta Q] = [A]^{-1} + [G]$$

P3	-0.00187
P4	-0.00070
P5	-0.00034
P6	-0.00129
P7	-0.00211
P8	-0.00288
P9	-0.00021

$$[A11] \times [A]^{-1}$$

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P3	0.50000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	0.00	0.50000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	0.00	0.50000	0.00	0.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	0.00	0.50000	0.00	0.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50000	0.00	0.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50000	0.00
P9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50000

$$[I] - ([A11] \times [A]^{-1})$$

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P3	0.50000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	0.00	0.50000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	0.00	0.50000	0.00	0.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	0.00	0.50000	0.00	0.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50000	0.00	0.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50000	0.00
P9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50000

$$([I] - ([A11] \times [A]^{-1})) \times [Q_i]$$

$$[Q] = (([I] - ([A11] \times [A]^{-1})) \times [Q_i]) - [\Delta Q]$$

P3	0.00204
P4	0.00087
P5	0.00091
P6	-0.00024
P7	0.00154
P8	0.00271
P9	0.00060

$$Q_{i+1}$$

P3	0.00392
P4	0.00158
P5	0.00126
P6	0.00105
P7	0.00364
P8	0.00558
P9	0.00081

Tabla 3.55a. DATOS - TERCERA ITERACIÓN

#	Tubería		L (m)	D (m)	K _s (m)	Q (m ³ /seg)
	De	A				
3	2	a 3	84.06	0.0678	1.50E-06	0.00392
4	3	a 4	150.07	0.0570	1.50E-06	0.00158
5	4	a 5	268.68	0.0570	1.50E-06	0.00126
6	6	a 5	82.51	0.0570	1.50E-06	0.00105
7	7	a 6	252.75	0.0814	1.50E-06	0.00364
8	2	a 7	179.66	0.0814	1.50E-06	0.00558
9	7	a 4	80.93	0.0570	1.50E-06	0.00081

ENSAMBLAJE DE MATRICES INICIALES

MATRIZ DE CONECTIVIDAD [A12]_{7x5} NTxNN

	J3	J4	J5	J6	J7
P3	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	1.00	-1.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	1.00	-1.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
P9	0.00	1.00	0.00	0.00	-1.00

MATRIZ TRANSPUESTA [A21]_{5x7} NNxNT

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
J3	1.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
J4	0.00	1.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	1.00
J5	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
J6	0.00	0.00	0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00
J7	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	1.00	-1.00

MATRIZ TOPOLOGICA [A10]_{7x1} NTx1 VECTOR DE CAUDALES [Q_i]_{7x1} NTx1

	Q
P3	-1.00
P4	0.00
P5	0.00
P6	0.00
P7	0.00
P8	-1.00
P9	0.00

P3	0.00392
P4	0.00158
P5	0.00126
P6	0.00105
P7	0.00364
P8	0.00558
P9	0.00081

VECTOR DE CARGAS DE PRESION FIJAS (m H₂O) [H_o]_{1x6} 1xNN+1

	J2	J3	J4	J5	J6	J7
	143.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

VECTOR DE CONSUMO EN CADA NUDO (m³/s) [q]_{5x1} NNx1

	q
J3	0.00234
J4	0.00113
J5	0.00231
J6	0.00259
J7	0.00113

MATRIZ DIAGONAL [N]_{7x7} NTxNT

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P3	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00
P9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00

MATRIZ IDENTIDAD [I]_{7x7} NTxNT

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P3	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
P9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00

Tabla 3.55b. MÉTODO DEL GRADIENTE - TERCERA ITERACIÓN

#	Tubería		L (m)	D (m)	K _s (m)	Q (m ³ /seg)	V (m/s)	Re	$\frac{K_s}{D}$	f	h _f (m)	α
	De	A										
3	2	a	3	84.06	1.5E-06	0.003917	1.085047	4.70E+04	2.21E-05	0.021142	1.573472	102532.8
4	3	a	4	150.07	1.5E-06	0.001577	0.618162	2.25E+04	2.63E-05	0.025136	1.289329	518178.9
5	4	a	5	268.68	1.5E-06	0.001258	0.493039	1.80E+04	2.63E-05	0.026592	1.553558	981489.3
6	6	a	5	82.51	1.5E-06	0.001052	0.412219	1.50E+04	2.63E-05	0.027839	0.349132	315540.4
7	7	a	6	252.75	1.5E-06	0.003642	0.699822	3.64E+04	1.84E-05	0.022395	1.736351	130913.8
8	2	a	7	179.66	1.5E-06	0.005583	1.072748	5.58E+04	1.84E-05	0.02034	2.633988	84516.38
9	7	a	4	80.93	1.5E-06	0.000811	0.317709	1.16E+04	2.63E-05	0.029818	0.217881	331498.5

CÁLCULO MATRICIAL - TERCERA ITERACIÓN

MATRIZ DIAGONAL [A11]_{7x7} NTxNT

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P3	401.662	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	0.00	817.376	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	0.00	1234.828	0.00	0.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	0.00	331.912	0.00	0.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	0.00	476.773	0.00	0.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	471.821	0.00
P9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	268.751

MATRIZ DIAGONAL [A11]'_{7x7} NTxNT

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P3	401.662	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	0.00	817.376	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	0.00	1234.828	0.00	0.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	0.00	331.912	0.00	0.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	0.00	476.773	0.00	0.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	471.821	0.00
P9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	268.751

CALCULO DE H+1

$$[N] \times [A11]' = [A]$$

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P3	803.324	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	0.00	1634.751	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	0.00	2469.656	0.00	0.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	0.00	663.823	0.00	0.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	0.00	953.546	0.00	0.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	943.642	0.00
P9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	537.502

$$([N] \times [A11])^{-1} = [A]^{-1}$$

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P3	0.001245	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	0.00	0.000612	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	0.00	0.000405	0.00	0.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	0.00	0.001506	0.00	0.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.001049	0.00	0.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.001060	0.00
P9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.001860

$$[A21] \times ([N] \times [A11])^{-1} = [B]$$

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
J3	0.001245	-0.00061	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
J4	0.00	0.000612	-0.00040	0.00	0.00	0.00	0.001860
J5	0.00	0.00	0.000405	0.001506	0.00	0.00	0.00
J6	0.00	0.00	0.00	-0.00151	0.001049	0.00	0.00
J7	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.00105	0.001060	-0.00186

$$[A21] \times ([N] \times [A11])^{-1} \times [A12]$$

	J3	J4	J5	J6	J7
J3	0.00186	-0.00061	0.00	0.00	0.00
J4	-0.00061	0.00288	-0.00040	0.00	-0.00186
J5	0.00	-0.00040	0.00191	-0.00151	0.00
J6	0.00	0.00	-0.00151	0.00256	-0.00105
J7	0.00	-0.00186	0.00	-0.00105	0.00397

$$-([A21] \times ([N] \times [A11])^{-1} \times [A12])^{-1} = [C]$$

	J3	J4	J5	J6	J7
J3	-636.00	-295.50	-235.71	-219.64	-196.55
J4	-295.50	-896.83	-715.37	-666.59	-596.53
J5	-235.71	-715.37	-1663.32	-1254.30	-666.76
J6	-219.64	-666.59	-1254.30	-1412.27	-685.64
J7	-196.55	-596.53	-666.76	-685.64	-712.76

$$[A11] \times [Q_i]$$

P3	1.57347
P4	1.28933
P5	1.55356
P6	0.34913
P7	1.73635
P8	2.63399
P9	0.21788

$$[A10] \times [H_o] = [D]$$

P3	-143.38
P4	0.00
P5	0.00
P6	0.00
P7	0.00
P8	-143.38
P9	0.00

$$([A11] \times [Q_i]) + ([A10] \times [H_o]) = [E]$$

P3	-141.807
P4	1.289
P5	1.554
P6	0.349
P7	1.736
P8	-140.746
P9	0.218

$$[B] \times [E]$$

J3	-0.17731
J4	0.00057
J5	0.00116
J6	0.00129
J7	-0.15138

$$[A21] \times [Q_i]$$

J3	0.00234
J4	0.00113
J5	0.00231
J6	0.00259
J7	0.00113

$$([B] \times [E]) - (([A21] \times [Q_i]) - [q]) = [F]$$

J3	-0.17731
J4	0.00056
J5	0.00115
J6	0.00130
J7	-0.15138

$$[H_{i+1}] = [C] \times [E]$$

	LGH
J3	141.801
J4	140.501
J5	138.778
J6	139.081
J7	140.752

$$[Z]$$

	Z
J3	113.910
J4	113.440
J5	114.420
J6	126.440
J7	118.410

$$[H_{i+1}] - [Z]$$

	ρ/γ
J3	27.89120
J4	27.06104
J5	24.35786
J6	12.64141
J7	22.34227

$$[A12] \times [H_{i+1}] = [G]$$

P3	141.801
P4	-1.300
P5	-1.723
P6	-0.304
P7	-1.671
P8	140.752
P9	-0.251

$$[G] + [D]$$

P3	-1.57880
P4	-1.30017
P5	-1.72317
P6	-0.30354
P7	-1.67086
P8	-2.62773
P9	-0.25123

$$[\Delta Q] = [A]^{-1} + [G]$$

P3	-0.00197
P4	-0.00080
P5	-0.00070
P6	-0.00046
P7	-0.00175
P8	-0.00278
P9	-0.00047

$$[A11] \times [A]^{-1}$$

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P3	0.50000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	0.00	0.50000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	0.00	0.50000	0.00	0.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	0.00	0.50000	0.00	0.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50000	0.00	0.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50000	0.00
P9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50000

$$[I] - ([A11] \times [A]^{-1})$$

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P3	0.50000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	0.00	0.50000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	0.00	0.50000	0.00	0.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	0.00	0.50000	0.00	0.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50000	0.00	0.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50000	0.00
P9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50000

$$([I] - ([A11] \times [A]^{-1})) \times [Q_i]$$

$$[Q] = (([I] - ([A11] \times [A]^{-1})) \times [Q_i]) - [\Delta Q]$$

P3	0.00196
P4	0.00079
P5	0.00063
P6	0.00053
P7	0.00182
P8	0.00279
P9	0.00041

$$Q_{i+1}$$

P3	0.00392
P4	0.00158
P5	0.00133
P6	0.00098
P7	0.00357
P8	0.00558
P9	0.00087

Tabla 3.56a. DATOS - CUARTA ITERACIÓN

#	Tubería		L (m)	D (m)	K _s (m)	Q (m ³ /seg)
	De	A				
3	2	a 3	84.06	0.0678	1.50E-06	0.00392
4	3	a 4	150.07	0.0570	1.50E-06	0.00158
5	4	a 5	268.68	0.0570	1.50E-06	0.00133
6	6	a 5	82.51	0.0570	1.50E-06	0.00098
7	7	a 6	252.75	0.0814	1.50E-06	0.00357
8	2	a 7	179.66	0.0814	1.50E-06	0.00558
9	7	a 4	80.93	0.0570	1.50E-06	0.00087

ENSAMBLAJE DE MATRICES INICIALES

MATRIZ DE CONECTIVIDAD [A12]_{7x5} NTxNN

	J3	J4	J5	J6	J7
P3	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	1.00	-1.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	1.00	-1.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
P9	0.00	1.00	0.00	0.00	-1.00

MATRIZ TRANSPUESTA [A21]_{5x7} NNxNT

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
J3	1.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
J4	0.00	1.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	1.00
J5	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
J6	0.00	0.00	0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00
J7	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	1.00	-1.00

MATRIZ TOPOLOGICA [A10]_{7x1} NTx1 VECTOR DE CAUDALES [Q_i]_{7x1} NTx1

	Q
P3	-1.00
P4	0.00
P5	0.00
P6	0.00
P7	0.00
P8	-1.00
P9	0.00

P3	0.00392
P4	0.00158
P5	0.00133
P6	0.00098
P7	0.00357
P8	0.00558
P9	0.00087

VECTOR DE CARGAS DE PRESION FIJAS (m H₂O) [H_o]_{1x6} 1xNN+1

	J2	J3	J4	J5	J6	J7	
	143.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

VECTOR DE CONSUMO EN CADA NUDO (m³/s) [q]_{5x1} NNx1

	q
J3	0.00234
J4	0.00113
J5	0.00231
J6	0.00259
J7	0.00113

MATRIZ DIAGONAL [N]_{7x7} NTxNT

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P3	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00
P9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00

MATRIZ IDENTIDAD [I]_{7x7} NTxNT

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P3	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
P9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00

Tabla 3.56b. MÉTODO DEL GRADIENTE - CUARTA ITERACIÓN

#	Tubería		L (m)	D (m)	K _s (m)	Q (m ³ /seg)	V (m/s)	Re	$\frac{K_s}{D}$	f	h _f (m)	α
	De	A										
3	2	a	3	84.06	1.50E-06	0.003924	1.086884	4.71E+04	2.21E-05	0.021134	1.578205	102494.1
4	3	a	4	150.07	1.50E-06	0.001584	0.620760	2.26E+04	2.63E-05	0.025110	1.298853	517646.0
5	4	a	5	268.68	1.50E-06	0.001327	0.519953	1.89E+04	2.63E-05	0.026239	1.704818	968433.5
6	6	a	5	82.51	1.50E-06	0.000983	0.385305	1.40E+04	2.63E-05	0.028332	0.310437	321133.4
7	7	a	6	252.75	1.50E-06	0.003573	0.686624	3.57E+04	1.84E-05	0.022494	1.678869	131492.5
8	2	a	7	179.66	1.50E-06	0.005576	1.071474	5.57E+04	1.84E-05	0.020345	2.628421	84538.42
9	7	a	4	80.93	1.50E-06	0.000873	0.342025	1.25E+04	2.63E-05	0.029236	0.247584	325032.6

CÁLCULO MATRICIAL - CUARTA ITERACIÓN

MATRIZ DIAGONAL [A11]_{7x7} NTxNT

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P3	402.190	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	0.00	819.967	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	0.00	1284.913	0.00	0.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	0.00	315.740	0.00	0.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	0.00	469.850	0.00	0.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	471.384	0.00
P9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	283.677

MATRIZ DIAGONAL [A11]'_{7x7} NTxNT

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P3	402.190	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	0.00	819.967	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	0.00	1284.913	0.00	0.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	0.00	315.740	0.00	0.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	0.00	469.850	0.00	0.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	471.384	0.00
P9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	283.677

CALCULO DE H+1

$$[N] \times [A11]' = [A]$$

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P3	804.380	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	0.00	1639.934	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	0.00	2569.827	0.00	0.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	0.00	631.479	0.00	0.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	0.00	939.699	0.00	0.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	942.767	0.00
P9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	567.354

$$([N] \times [A11])^{-1} = [A]^{-1}$$

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P3	0.001243	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	0.00	0.000610	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	0.00	0.000389	0.00	0.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	0.00	0.001584	0.00	0.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.001064	0.00	0.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.001061	0.00
P9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.001763

$$[A21] \times ([N] \times [A11])^{-1} = [B]$$

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
J3	0.001243	-0.00061	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
J4	0.00	0.000610	-0.00039	0.00	0.00	0.00	0.001763
J5	0.00	0.00	0.000389	0.001584	0.00	0.00	0.00
J6	0.00	0.00	0.00	-0.00158	0.001064	0.00	0.00
J7	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.00106	0.001061	-0.00176

$$[A21] \times ([N] \times [A11])^{-1} \times [A12]$$

	J3	J4	J5	J6	J7
J3	0.00185	-0.00061	0.00	0.00	0.00
J4	-0.00061	0.00276	-0.00039	0.00	-0.00176
J5	0.00	-0.00039	0.00197	-0.00158	0.00
J6	0.00	0.00	-0.00158	0.00265	-0.00106
J7	0.00	-0.00176	0.00	-0.00106	0.00389

$$-([A21] \times ([N] \times [A11])^{-1} \times [A12])^{-1} = [C]$$

	J3	J4	J5	J6	J7
J3	-637.88	-298.43	-234.33	-218.58	-195.14
J4	-298.43	-906.86	-712.08	-664.22	-592.99
J5	-234.33	-712.08	-1659.84	-1261.25	-668.12
J6	-218.58	-664.22	-1261.25	-1407.96	-686.58
J7	-195.14	-592.99	-668.12	-686.58	-714.05

$$[A11] \times [Q_i]$$

P3	1.57821
P4	1.29885
P5	1.70482
P6	0.31044
P7	1.67887
P8	2.62842
P9	0.24758

$$[A10] \times [H_o] = [D]$$

P3	-143.38
P4	0.00
P5	0.00
P6	0.00
P7	0.00
P8	-143.38
P9	0.00

$$([A11] \times [Q_i]) + ([A10] \times [H_o]) = [E]$$

P3	-141.802
P4	1.299
P5	1.705
P6	0.310
P7	1.679
P8	-140.752
P9	0.248

$$[B] \times [E]$$

J3	-0.17708
J4	0.00056
J5	0.00116
J6	0.00129
J7	-0.15152

$$[A21] \times [Q_i]$$

J3	0.00234
J4	0.00113
J5	0.00231
J6	0.00259
J7	0.00113

$$([B] \times [E]) - (([A21] \times [Q_i]) - [q]) = [F]$$

J3	-0.17708
J4	0.00057
J5	0.00115
J6	0.00130
J7	-0.15152

$$[H_{i+1}] = [C] \times [E]$$

	LGH
J3	141.801
J4	140.501
J5	138.776
J6	139.081
J7	140.752

$$[Z]$$

	Z
J3	113.910
J4	113.440
J5	114.420
J6	126.440
J7	118.410

$$[H_{i+1}] - [Z]$$

	ρ/γ
J3	27.891
J4	27.061
J5	24.356
J6	12.641
J7	22.342

$$[A12] \times [H_{i+1}] = [G]$$

P3	141.801
P4	-1.300
P5	-1.725
P6	-0.305
P7	-1.671
P8	140.752
P9	-0.252

$$[G] + [D]$$

P3	-1.57891
P4	-1.30028
P5	-1.72523
P6	-0.30542
P7	-1.67140
P8	-2.62760
P9	-0.25159

$$[\Delta Q] = [A]^{-1} + [G]$$

P3	-0.00196
P4	-0.00079
P5	-0.00067
P6	-0.00048
P7	-0.00178
P8	-0.00279
P9	-0.00044

$$[A11] \times [A]^{-1}$$

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P3	0.50000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	0.00	0.50000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	0.00	0.50000	0.00	0.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	0.00	0.50000	0.00	0.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50000	0.00	0.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50000	0.00
P9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50000

$$[I] - ([A11] \times [A]^{-1})$$

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P3	0.50000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	0.00	0.50000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	0.00	0.50000	0.00	0.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	0.00	0.50000	0.00	0.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50000	0.00	0.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50000	0.00
P9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50000

$$([I] - ([A11] \times [A]^{-1})) \times [Q_i]$$

$$[Q] = (([I] - ([A11] \times [A]^{-1})) \times [Q_i]) - [\Delta Q]$$

P3	0.00196
P4	0.00079
P5	0.00066
P6	0.00049
P7	0.00179
P8	0.00279
P9	0.00044

$$Q_{i+1}$$

P3	0.00392
P4	0.00158
P5	0.00133
P6	0.00098
P7	0.00357
P8	0.00558
P9	0.00088

Tabla 3.57a. DATOS - QUINTA ITERACIÓN

#	Tubería		L (m)	D (m)	K _s (m)	Q (m ³ /seg)
	De	A				
3	2	a 3	84.06	0.0678	1.50E-06	0.00392
4	3	a 4	150.07	0.0570	1.50E-06	0.00158
5	4	a 5	268.68	0.0570	1.50E-06	0.00133
6	6	a 5	82.51	0.0570	1.50E-06	0.00098
7	7	a 6	252.75	0.0814	1.50E-06	0.00357
8	2	a 7	179.66	0.0814	1.50E-06	0.00558
9	7	a 4	80.93	0.0570	1.50E-06	0.00088

ENSAMBLAJE DE MATRICES INICIALES

MATRIZ DE CONECTIVIDAD [A12]_{7x5} NTxNN

	J3	J4	J5	J6	J7
P3	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	1.00	-1.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	1.00	-1.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
P9	0.00	1.00	0.00	0.00	-1.00

MATRIZ TRANSPUESTA [A21]_{5x7} NNxNT

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
J3	1.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
J4	0.00	1.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	1.00
J5	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
J6	0.00	0.00	0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00
J7	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	1.00	-1.00

MATRIZ TOPOLOGICA [A10]_{7x1} NTx1 VECTOR DE CAUDALES [Q_i]_{7x1} NTx1

	Q
P3	-1.00
P4	0.00
P5	0.00
P6	0.00
P7	0.00
P8	-1.00
P9	0.00

P3	0.00392
P4	0.00158
P5	0.00133
P6	0.00098
P7	0.00357
P8	0.00558
P9	0.00088

VECTOR DE CARGAS DE PRESION FIJAS (m H₂O) [H_o]_{1x6} 1xNN+1

	J2	J3	J4	J5	J6	J7
	143.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

VECTOR DE CONSUMO EN CADA NUDO (m³/s) [q]_{5x1} NNx1

	q
J3	0.00234
J4	0.00113
J5	0.00231
J6	0.00259
J7	0.00113

MATRIZ DIAGONAL [N]_{7x7} NTxNT

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P3	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00
P9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00

MATRIZ IDENTIDAD [I]_{7x7} NTxNT

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P3	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
P9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00

Tabla 3.57b. MÉTODO DEL GRADIENTE - QUINTA ITERACIÓN

#	Tubería		L (m)	D (m)	K _s (m)	Q (m ³ /seg)	V (m/s)	Re	$\frac{K_s}{D}$	f	h _f (m)	α
	De	A										
3	2	a	3	84.06	1.50E-06	0.003925	1.087126	4.71E+04	2.21E-05	0.021133	1.578829	102489.0
4	3	a	4	150.07	1.50E-06	0.001585	0.621102	2.26E+04	2.63E-05	0.025106	1.300109	517576.1
5	4	a	5	268.68	1.50E-06	0.001335	0.523066	1.90E+04	2.63E-05	0.026199	1.722709	966984.0
6	6	a	5	82.51	1.50E-06	0.000975	0.382192	1.39E+04	2.63E-05	0.028393	0.306090	321815.4
7	7	a	6	252.75	1.50E-06	0.003565	0.685098	3.56E+04	1.84E-05	0.022505	1.672276	131560.4
8	2	a	7	179.66	1.50E-06	0.005575	1.071306	5.57E+04	1.84E-05	0.020346	2.627688	84541.33
9	7	a	4	80.93	1.50E-06	0.000880	0.344796	1.26E+04	2.63E-05	0.029174	0.251072	324336.9

CÁLCULO MATRICIAL - QUINTA ITERACIÓN

MATRIZ DIAGONAL [A11]_{7x7} NTxNT

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P3	402.259	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	0.00	820.308	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	0.00	1290.671	0.00	0.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	0.00	313.854	0.00	0.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	0.00	469.047	0.00	0.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	471.326	0.00
P9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	285.363

MATRIZ DIAGONAL [A11]'_{7x7} NTxNT

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P3	402.259	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	0.00	820.308	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	0.00	1290.671	0.00	0.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	0.00	313.854	0.00	0.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	0.00	469.047	0.00	0.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	471.326	0.00
P9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	285.363

CALCULO DE H+1

$$[N] \times [A11]' = [A]$$

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P3	804.519	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	0.00	1640.616	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	0.00	2581.342	0.00	0.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	0.00	627.708	0.00	0.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	0.00	938.095	0.00	0.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	942.652	0.00
P9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	570.726

$$([N] \times [A11])^{-1} = [A]^{-1}$$

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P3	0.001243	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	0.00	0.000610	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	0.00	0.000387	0.00	0.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	0.00	0.001593	0.00	0.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.001066	0.00	0.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.001061	0.00
P9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.001752

$$[A21] \times ([N] \times [A11])^{-1} = [B]$$

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
J3	0.001243	-0.00061	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
J4	0.00	0.000610	-0.00039	0.00	0.00	0.00	0.001752
J5	0.00	0.00	0.000387	0.001593	0.00	0.00	0.00
J6	0.00	0.00	0.00	-0.00159	0.001066	0.00	0.00
J7	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.00107	0.001061	-0.00175

$$[A21] \times ([N] \times [A11])^{-1} \times [A12]$$

	J3	J4	J5	J6	J7
J3	0.001853	-0.00061	0.00	0.00	0.00
J4	-0.00061	0.002749	-0.00039	0.00	-0.00175
J5	0.00	-0.00039	0.001980	-0.00159	0.00
J6	0.00	0.00	-0.00159	0.002659	-0.00107
J7	0.00	-0.00175	0.00	-0.00107	0.003879

$$-([A21] \times ([N] \times [A11])^{-1} \times [A12])^{-1} = [C]$$

	J3	J4	J5	J6	J7
J3	-638.11	-298.75	-234.16	-218.46	-194.98
J4	-298.75	-907.99	-711.68	-663.94	-592.60
J5	-234.16	-711.68	-1659.28	-1262.01	-668.28
J6	-218.46	-663.94	-1262.01	-1407.44	-686.69
J7	-194.98	-592.60	-668.28	-686.69	-714.19

$$[A11] \times [Q_i]$$

P3	1.57883
P4	1.30011
P5	1.72271
P6	0.30609
P7	1.67228
P8	2.62769
P9	0.25107

$$[A10] \times [H_o] = [D]$$

P3	-143.38
P4	0.00
P5	0.00
P6	0.00
P7	0.00
P8	-143.38
P9	0.00

$$([A11] \times [Q_i]) + ([A10] \times [H_o]) = [E]$$

P3	-141.801
P4	1.300
P5	1.723
P6	0.306
P7	1.672
P8	-140.752
P9	0.251

$$[B] \times [E]$$

J3	-0.17705
J4	0.00056
J5	0.00116
J6	0.00130
J7	-0.15154

$$[A21] \times [Q_i]$$

J3	0.00234
J4	0.00113
J5	0.00231
J6	0.00259
J7	0.00113

$$([B] \times [E]) - (([A21] \times [Q_i]) - [q]) = [F]$$

J3	-0.17705
J4	0.00057
J5	0.00115
J6	0.00130
J7	-0.15154

$$[H_{i+1}] = [C] \times [E]$$

	LGH
J3	141.801
J4	140.501
J5	138.776
J6	139.081
J7	140.752

$$[Z]$$

	Z
J3	113.910
J4	113.440
J5	114.420
J6	126.440
J7	118.410

$$[H_{i+1}] - [Z]$$

	ρ/γ
J3	27.891
J4	27.061
J5	24.356
J6	12.641
J7	22.342

$$[A12] \times [H_{i+1}] = [G]$$

P3	141.801
P4	-1.300
P5	-1.725
P6	-0.305
P7	-1.671
P8	140.752
P9	-0.252

$$[G] + [D]$$

P3	-1.57891
P4	-1.30027
P5	-1.72525
P6	-0.30547
P7	-1.67135
P8	-2.62760
P9	-0.25158

$$[\Delta Q] = [A]^{-1} + [G]$$

P3	-0.00196
P4	-0.00079
P5	-0.00067
P6	-0.00049
P7	-0.00178
P8	-0.00279
P9	-0.00044

$$[A11] \times [A]^{-1}$$

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P3	0.50000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	0.00	0.50000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	0.00	0.50000	0.00	0.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	0.00	0.50000	0.00	0.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50000	0.00	0.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50000	0.00
P9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50000

$$[I] - ([A11] \times [A]^{-1})$$

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P3	0.50000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	0.00	0.50000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	0.00	0.50000	0.00	0.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	0.00	0.50000	0.00	0.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50000	0.00	0.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50000	0.00
P9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50000

$$([I] - ([A11] \times [A]^{-1})) \times [Q_i]$$

$$[Q] = (([I] - ([A11] \times [A]^{-1})) \times [Q_i]) - [\Delta Q]$$

P3	0.00196
P4	0.00079
P5	0.00067
P6	0.00049
P7	0.00178
P8	0.00279
P9	0.00044

$$Q_{i+1}$$

P3	0.00393
P4	0.00159
P5	0.00134
P6	0.00097
P7	0.00356
P8	0.00557
P9	0.00088

Tabla 3.58a. DATOS - SEXTA ITERACIÓN							
#	Tubería		L (m)	D (m)	K _s (m)	Q (m ³ /seg)	
	De	A					
3	2	a 3	84.06	0.0678	1.50E-06	0.00393	
4	3	a 4	150.07	0.0570	1.50E-06	0.00159	
5	4	a 5	268.68	0.0570	1.50E-06	0.00134	
6	6	a 5	82.51	0.0570	1.50E-06	0.00097	
7	7	a 6	252.75	0.0814	1.50E-06	0.00356	
8	2	a 7	179.66	0.0814	1.50E-06	0.00557	
9	7	a 4	80.93	0.0570	1.50E-06	0.00088	

ENSAMBLAJE DE MATRICES INICIALES

MATRIZ DE CONECTIVIDAD [A12]_{7x5} NTxNN

	J3	J4	J5	J6	J7
P3	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	1.00	-1.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	1.00	-1.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
P9	0.00	1.00	0.00	0.00	-1.00

MATRIZ TRANSPUESTA [A21]_{5x7} NNxNT

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
J3	1.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
J4	0.00	1.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	1.00
J5	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
J6	0.00	0.00	0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00
J7	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	1.00	-1.00

MATRIZ TOPOLOGICA [A10]_{7x1} NTx1 VECTOR DE CAUDALES [Q_i]_{7x1} NTx1

	Q
P3	-1.00
P4	0.00
P5	0.00
P6	0.00
P7	0.00
P8	-1.00
P9	0.00

P3	0.00393
P4	0.00159
P5	0.00134
P6	0.00097
P7	0.00356
P8	0.00557
P9	0.00088

VECTOR DE CARGAS DE PRESION FIJAS (m H₂O) [H_o]_{1x6} 1xNN+1

	J2	J3	J4	J5	J6	J7
	143.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

VECTOR DE CONSUMO EN CADA NUDO (m³/s) [q]_{5x1} NNx1

	q
J3	0.00234
J4	0.00113
J5	0.00231
J6	0.00259
J7	0.00113

MATRIZ DIAGONAL [N]_{7x7} NTxNT

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P3	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00
P9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00

MATRIZ IDENTIDAD [I]_{7x7} NTxNT

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P3	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
P9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00

Tabla 3.58b. MÉTODO DEL GRADIENTE - SEXTA ITERACIÓN

#	Tubería		L (m)	D (m)	K _s (m)	Q (m ³ /seg)	V (m/s)	Re	$\frac{K_s}{D}$	f	h _f (m)	α
	De	A										
3	2	a	3	84.06	1.50E-06	0.003925	1.087152	4.71E+04	2.21E-05	0.021133	1.578898	102488.4
4	3	a	4	150.07	1.50E-06	0.001585	0.621140	2.26E+04	2.63E-05	0.025106	1.300249	517568.3
5	4	a	5	268.68	1.50E-06	0.001336	0.523452	1.91E+04	2.63E-05	0.026194	1.724930	966805.3
6	6	a	5	82.51	1.50E-06	0.000974	0.381806	1.39E+04	2.63E-05	0.028400	0.305553	321900.4
7	7	a	6	252.75	1.50E-06	0.003564	0.684909	3.56E+04	1.84E-05	0.022507	1.671461	131568.9
8	2	a	7	179.66	1.50E-06	0.005575	1.071288	5.57E+04	1.84E-05	0.020346	2.627607	84541.65
9	7	a	4	80.93	1.50E-06	0.000881	0.345143	1.26E+04	2.63E-05	0.029166	0.251511	324250.2

CÁLCULO MATRICIAL - SEXTA ITERACIÓN

MATRIZ DIAGONAL [A11]_{7x7} NTxNT

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P3	402.267	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	0.00	820.346	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	0.00	1291.383	0.00	0.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	0.00	313.620	0.00	0.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	0.00	468.948	0.00	0.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	471.320	0.00
P9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	285.574

MATRIZ DIAGONAL [A11]'_{7x7} NTxNT

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P3	402.267	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	0.00	820.346	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	0.00	1291.383	0.00	0.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	0.00	313.620	0.00	0.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	0.00	468.948	0.00	0.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	471.320	0.00
P9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	285.574

CALCULO DE H+1

$$[N] \times [A11]' = [A]$$

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P3	804.534	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	0.00	1640.692	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	0.00	2582.767	0.00	0.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	0.00	627.241	0.00	0.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	0.00	937.896	0.00	0.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	942.639	0.00
P9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	571.148

$$([N] \times [A11])^{-1} = [A]^{-1}$$

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P3	0.001243	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	0.00	0.000609	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	0.00	0.000387	0.00	0.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	0.00	0.001594	0.00	0.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.001066	0.00	0.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.001061	0.00
P9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.001751

$$[A21] \times ([N] \times [A11])^{-1} = [B]$$

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
J3	0.001243	-0.00061	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
J4	0.00	0.000609	-0.00039	0.00	0.00	0.00	0.001751
J5	0.00	0.00	0.000387	0.001594	0.00	0.00	0.00
J6	0.00	0.00	0.00	-0.00159	0.001066	0.00	0.00
J7	0.00	0.00	0.00	0.000000	-0.00107	0.001061	-0.00175

$$[A21] \times ([N] \times [A11])^{-1} \times [A12]$$

	J3	J4	J5	J6	J7
J3	0.001852	-0.00061	0.00	0.00	0.00
J4	-0.00061	0.002748	-0.00039	0.00	-0.00175
J5	0.00	-0.00039	0.001981	-0.00159	0.00
J6	0.00	0.00	-0.00159	0.002661	-0.00107
J7	0.00	-0.00175	0.00	-0.00107	0.003878

$$-([A21] \times ([N] \times [A11])^{-1} \times [A12])^{-1} = [C]$$

	J3	J4	J5	J6	J7
J3	-638.13	-298.80	-234.14	-218.44	-194.96
J4	-298.80	-908.13	-711.63	-663.91	-592.55
J5	-234.14	-711.63	-1659.21	-1262.10	-668.30
J6	-218.44	-663.91	-1262.10	-1407.37	-686.70
J7	-194.96	-592.55	-668.30	-686.70	-714.21

$$[A11] \times [Q_i]$$

P3	1.57890
P4	1.30025
P5	1.72493
P6	0.30555
P7	1.67146
P8	2.62761
P9	0.25151

$$[A10] \times [H_o] = [D]$$

P3	-143.38
P4	0.00
P5	0.00
P6	0.00
P7	0.00
P8	-143.38
P9	0.00

$$([A11] \times [Q_i]) + ([A10] \times [H_o]) = [E]$$

P3	-141.801
P4	1.300
P5	1.725
P6	0.306
P7	1.671
P8	-140.752
P9	0.252

$$[B] \times [E]$$

J3	-0.17704
J4	0.00057
J5	0.00116
J6	0.00130
J7	-0.15154

$$[A21] \times [Q_i]$$

J3	0.00234
J4	0.00113
J5	0.00231
J6	0.00259
J7	0.00113

$$([B] \times [E]) - (([A21] \times [Q_i]) - [q]) = [F]$$

J3	-0.17704
J4	0.00056
J5	0.00115
J6	0.00129
J7	-0.15154

$$[H_{i+1}] = [C] \times [E]$$

	LGH
J3	141.801
J4	140.501
J5	138.776
J6	139.081
J7	140.752

$$[Z]$$

	Z
J3	113.910
J4	113.440
J5	114.420
J6	126.440
J7	118.410

$$[H_{i+1}] - [Z]$$

	ρ/γ
J3	27.891
J4	27.061
J5	24.356
J6	12.641
J7	22.342

$$[A12] \times [H_{i+1}] = [G]$$

P3	141.801
P4	-1.300
P5	-1.725
P6	-0.305
P7	-1.671
P8	140.752
P9	-0.252

$$[G] + [D]$$

P3	-1.57891
P4	-1.30027
P5	-1.72525
P6	-0.30548
P7	-1.67135
P8	-2.62760
P9	-0.25158

$$[\Delta Q] = [A]^{-1} + [G]$$

P3	-0.00196
P4	-0.00079
P5	-0.00067
P6	-0.00049
P7	-0.00178
P8	-0.00279
P9	-0.00044

$$[A11] \times [A]^{-1}$$

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P3	0.50000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	0.00	0.50000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	0.00	0.50000	0.00	0.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	0.00	0.50000	0.00	0.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50000	0.00	0.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50000	0.00
P9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50000

$$[I] - ([A11] \times [A]^{-1})$$

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P3	0.50000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	0.00	0.50000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	0.00	0.50000	0.00	0.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	0.00	0.50000	0.00	0.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50000	0.00	0.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50000	0.00
P9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50000

$$([I] - ([A11] \times [A]^{-1})) \times [Q_i]$$

$$[Q] = (([I] - ([A11] \times [A]^{-1})) \times [Q_i]) - [\Delta Q]$$

P3	0.00196
P4	0.00079
P5	0.00067
P6	0.00049
P7	0.00178
P8	0.00279
P9	0.00044

$$Q_{i+1}$$

P3	0.00393
P4	0.00159
P5	0.00134
P6	0.00097
P7	0.00356
P8	0.00557
P9	0.00088

Tabla 3.59a. DATOS - SÉPTIMA ITERACIÓN

#	Tubería		L (m)	D (m)	K _s (m)	Q (m ³ /seg)
	De	A				
3	2	a 3	84.06	0.0678	1.50E-06	0.00393
4	3	a 4	150.07	0.0570	1.50E-06	0.00159
5	4	a 5	268.68	0.0570	1.50E-06	0.00134
6	6	a 5	82.51	0.0570	1.50E-06	0.00097
7	7	a 6	252.75	0.0814	1.50E-06	0.00356
8	2	a 7	179.66	0.0814	1.50E-06	0.00557
9	7	a 4	80.93	0.0570	1.50E-06	0.00088

ENSAMBLAJE DE MATRICES INICIALES

MATRIZ DE CONECTIVIDAD [A12]_{7x5} NTxNN

	J3	J4	J5	J6	J7
P3	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	1.00	-1.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	1.00	-1.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
P9	0.00	1.00	0.00	0.00	-1.00

MATRIZ TRANSPUESTA [A21]_{5x7} NNxNT

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
J3	1.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
J4	0.00	1.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	1.00
J5	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
J6	0.00	0.00	0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00
J7	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	1.00	-1.00

MATRIZ TOPOLOGICA [A10]_{7x1} NTx1 VECTOR DE CAUDALES [Q_i]_{7x1} NTx1

	Q
P3	-1.00
P4	0.00
P5	0.00
P6	0.00
P7	0.00
P8	-1.00
P9	0.00

P3	0.00393
P4	0.00159
P5	0.00134
P6	0.00097
P7	0.00356
P8	0.00557
P9	0.00088

VECTOR DE CARGAS DE PRESION FIJAS (m H₂O) [H_o]_{1x6} 1xNN+1

	J2	J3	J4	J5	J6	J7
	143.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

VECTOR DE CONSUMO EN CADA NUDO (m³/s) [q]_{5x1} NNx1

	q
J3	0.00234
J4	0.00113
J5	0.00231
J6	0.00259
J7	0.00113

MATRIZ DIAGONAL [N]_{7x7} NTxNT

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P3	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00
P9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00

MATRIZ IDENTIDAD [I]_{7x7} NTxNT

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P3	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
P9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00

Tabla 3.59b. MÉTODO DEL GRADIENTE - SÉPTIMA ITERACIÓN

#	Tubería		L (m)	D (m)	K _s (m)	Q (m ³ /seg)	V (m/s)	Re	$\frac{K_s}{D}$	f	h _f (m)	α
	De	A										
3	2	a	3	84.06	1.5E-06	0.003925	1.087155	4.71E+04	2.21E-05	0.021133	1.578906	102488.3
4	3	a	4	150.07	1.5E-06	0.001585	0.621144	2.26E+04	2.63E-05	0.025106	1.300264	517567.5
5	4	a	5	268.68	1.5E-06	0.001336	0.5235	1.91E+04	2.63E-05	0.026194	1.725207	966783.1
6	6	a	5	82.51	1.5E-06	0.000974	0.381758	1.39E+04	2.63E-05	0.028401	0.305486	321911
7	7	a	6	252.75	1.5E-06	0.003564	0.684885	3.56E+04	1.84E-05	0.022507	1.671359	131569.9
8	2	a	7	179.66	1.5E-06	0.005575	1.071286	5.57E+04	1.84E-05	0.020346	2.627598	84541.68
9	7	a	4	80.93	1.5E-06	0.000881	0.345187	1.26E+04	2.63E-05	0.029165	0.251567	324239.2

CÁLCULO MATRICIAL - SÉPTIMA ITERACIÓN

MATRIZ DIAGONAL [A11]_{7x7} NTxNT

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P3	402.2679	0	0	0	0	0	0
P4	0	820.3501	0	0	0	0	0
P5	0	0	1291.472	0	0	0	0
P6	0	0	0	313.5912	0	0	0
P7	0	0	0	0	468.9356	0	0
P8	0	0	0	0	0	471.319	0
P9	0	0	0	0	0	0	285.601

MATRIZ DIAGONAL [A11]'_{7x7} NTxNT

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P3	402.268	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	0.00	820.350	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	0.00	1291.472	0.00	0.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	0.00	313.591	0.00	0.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	0.00	468.936	0.00	0.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	471.319	0.00
P9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	285.601

CÁLCULO DE H+1

$$[N] \times [A11]' = [A]$$

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P3	804.536	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	0.00	1640.700	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	0.00	2582.945	0.00	0.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	0.00	627.182	0.00	0.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	0.00	937.871	0.00	0.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	942.638	0.00
P9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	571.202

$$([N] \times [A11])^{-1} = [A]^{-1}$$

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P3	0.001243	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	0.00	0.000609	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	0.00	0.000387	0.00	0.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	0.00	0.001594	0.00	0.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.001066	0.00	0.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.001061	0.00
P9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.001751

$$[A21] \times ([N] \times [A11])^{-1} = [B]$$

	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
J3	0.001243	-0.00061	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
J4	0.00	0.000609	-0.00039	0.00	0.00	0.00	0.001751
J5	0.00	0.00	0.000387	0.001594	0.00	0.00	0.00
J6	0.00	0.00	0.00	-0.00159	0.001066	0.00	0.00
J7	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.00107	0.001061	-0.00175

$$[A21] \times ([N] \times [A11])^{-1} \times [A12]$$

	J3	J4	J5	J6	J7
J3	0.001852	-0.00061	0.00	0.00	0.00
J4	-0.00061	0.002747	-0.00039	0.00	-0.00175
J5	0.00	-0.00039	0.001982	-0.00159	0.00
J6	0.00	0.00	-0.00159	0.002661	-0.00107
J7	0.00	-0.00175	0.00	-0.00107	0.003878

$$-([A21] \times ([N] \times [A11])^{-1} \times [A12])^{-1} = [C]$$

	J3	J4	J5	J6	J7
J3	-638.14	-298.80	-234.14	-218.44	-194.96
J4	-298.80	-908.15	-711.62	-663.91	-592.55
J5	-234.14	-711.62	-1659.20	-1262.11	-668.31
J6	-218.44	-663.91	-1262.11	-1407.36	-686.70
J7	-194.96	-592.55	-668.31	-686.70	-714.21

$$[A11] \times [Q_i]$$

P3	1.57891
P4	1.30026
P5	1.72521
P6	0.30549
P7	1.67136
P8	2.62760
P9	0.25157

$$[A10] \times [H_o] = [D]$$

P3	-143.38
P4	0.00
P5	0.00
P6	0.00
P7	0.00
P8	-143.38
P9	0.00

$$([A11] \times [Q_i]) + ([A10] \times [H_o]) = [E]$$

P3	-141.801
P4	1.300
P5	1.725
P6	0.305
P7	1.671
P8	-140.752
P9	0.252

$$[B] \times [E]$$

J3	-0.17704
J4	0.00056
J5	0.00115
J6	0.00130
J7	-0.15154

$$[A21] \times [Q_i]$$

J3	0.00234
J4	0.00113
J5	0.00231
J6	0.00259
J7	0.00113

$$([B] \times [E]) - ([A21] \times [Q_i]) - [q] = [F]$$

J3	-0.17704
J4	0.00057
J5	0.00116
J6	0.00130
J7	-0.15154

$$[H_{i+1}] = [C] \times [E]$$

	LGH
J3	141.801
J4	140.501
J5	138.776
J6	139.081
J7	140.752

$$[Z]$$

	Z
J3	113.910
J4	113.440
J5	114.420
J6	126.440
J7	118.410

$$[H_{i+1}] - [Z]$$

	ρ/γ
J3	27.891
J4	27.061
J5	24.356
J6	12.641
J7	22.342

$$[A12] \times [H_{i+1}] = [G]$$

P3	141.801
P4	-1.300
P5	-1.725
P6	-0.305
P7	-1.671
P8	140.752
P9	-0.252

$$[G] + [D]$$

P3	-1.57891
P4	-1.30027
P5	-1.72525
P6	-0.30548
P7	-1.67134
P8	-2.62760
P9	-0.25158

$$[\Delta Q] = [A]^{-1} + [G]$$

P3	-0.00196
P4	-0.00079
P5	-0.00067
P6	-0.00049
P7	-0.00178
P8	-0.00279
P9	-0.00044

	$[A_{11}] \times [A]^{-1}$						
	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P3	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00
P9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50

	$[I] - ([A_{11}] \times [A]^{-1})$						
	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
P3	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P5	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00
P6	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00
P7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00
P8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00
P9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50

$$([I] - ([A_{11}] \times [A]^{-1})) \times [Q_i]$$

$$[Q] = (([I] - ([A_{11}] \times [A]^{-1})) \times [Q_i]) - [\Delta Q]$$

		Q_{i+1}
P3	0.00196	3 0.00393
P4	0.00079	4 0.00159
P5	0.00067	5 0.00134
P6	0.00049	6 0.00097
P7	0.00178	7 0.00356
P8	0.00279	8 0.00557
P9	0.00044	9 0.00088

3.2.6. RESULTADOS

3.2.6.1. MÉTODOS DE HARDY – CROSS CON CORRECCIÓN DE CAUDALES

El cálculo hidráulico efectuado con el método de Hardy – Cross, presento los resultados que se resumen en las tablas 3.60 – 3.62 y su representación gráfica en las figuras 3.8 -3.10.

Tabla 3.60. MÉTODO DE HARDY CROSS - PRINCIPIO DE CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA

Iteración	Circuito 1	Circuito 2
1	2.075578	8.149517
2	1.194461	2.325424
3	0.414260	0.502976
4	0.104381	0.116720
5	0.024794	0.027743
6	0.005864	0.006577
7	0.001387	0.001557
8	0.000328	0.000368
9	0.000078	0.000087
10	0.000018	0.000021

Figura 3.8. MÉTODO DE HARDY CROSS - PRINCIPIO DE CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA

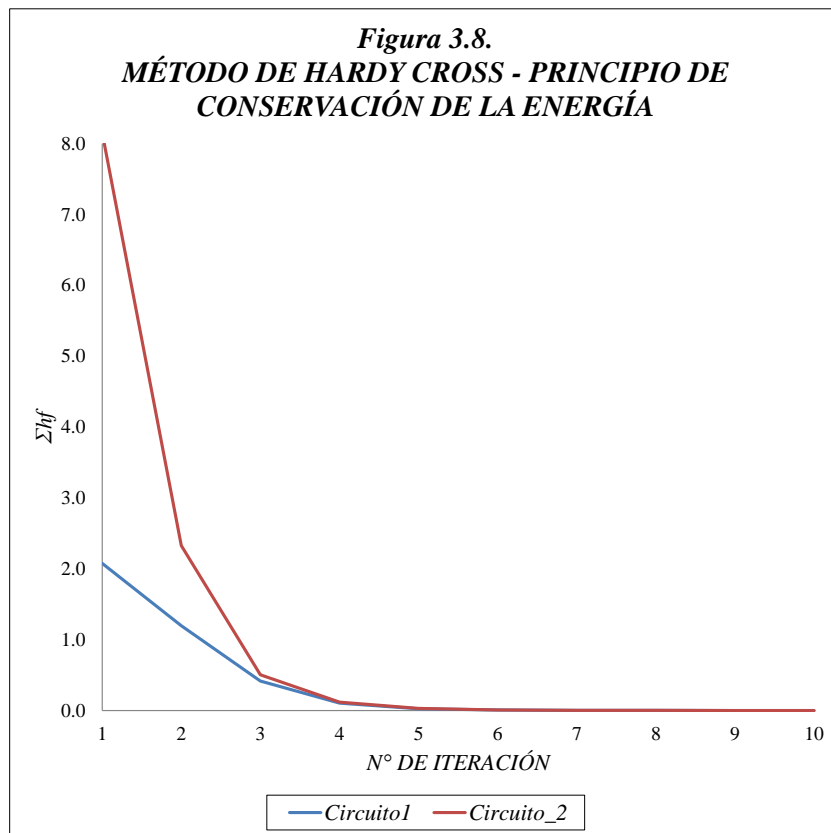


Tabla 3.61. MÉTODO DE HARDY CROSS - RESUMEN DE CAUDAL EN TUBERÍAS (lps)

TUBERÍA	N° de Iteraciones										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P3	4.7500	4.3350	4.0612	3.9594	3.9332	3.9270	3.9255	3.9251	3.9251	3.9250	3.9250
P4	2.4100	1.9950	1.7212	1.6194	1.5932	1.5870	1.5855	1.5851	1.5851	1.5850	1.5850
P7	-4.7500	-5.1650	-5.4388	-5.5406	-5.5668	-5.5730	-5.5745	-5.5749	-5.5749	-5.5750	-5.5750
P9	-1.8100	-1.0555	-0.8813	-0.8788	-0.8804	-0.8807	-0.8808	-0.8808	-0.8808	-0.8808	-0.8808
P5	3.0900	1.9204	1.4725	1.3682	1.3436	1.3377	1.3363	1.3360	1.3359	1.3359	1.3359
P6	0.7800	-0.3896	-0.8375	-0.9418	-0.9664	-0.9723	-0.9737	-0.9740	-0.9741	-0.9741	-0.9741
P8	-1.8100	-2.9796	-3.4275	-3.5318	-3.5564	-3.5623	-3.5637	-3.5640	-3.5641	-3.5641	-3.5641

Tabla 3.62. MÉTODO DE HARDY CROSS - RESUMEN DE CARGAS DE PRESIÓN (m H₂O)

Nudo	N° de Iteraciones										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
J3		27.2541	27.5872	27.7936	27.8676	27.8864	27.8909	27.8920	27.8922	27.8923	27.8923
J4		26.0418	26.7060	26.9680	27.0398	27.0569	27.0609	27.0618	27.0621	27.0621	27.0621
J5		18.5353	23.0611	24.1494	24.3132	24.3468	24.3546	24.3565	24.3569	24.3570	24.3571
J6		10.3823	12.2669	12.6158	12.6396	12.6419	12.6423	12.6425	12.6425	12.6425	12.6425
J7		22.9949	22.6776	22.4569	22.3725	22.3505	22.3453	22.3440	22.3438	22.3437	22.3437

Figura 3.9.
MÉTODO DE HARDY CROSS - CAUDAL EN
TUBERÍAS (lps)

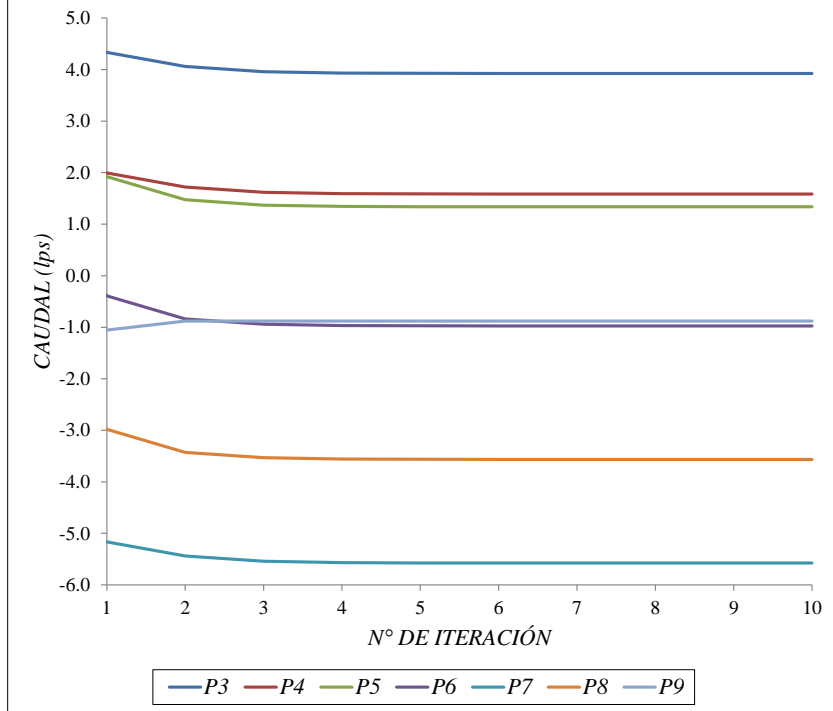
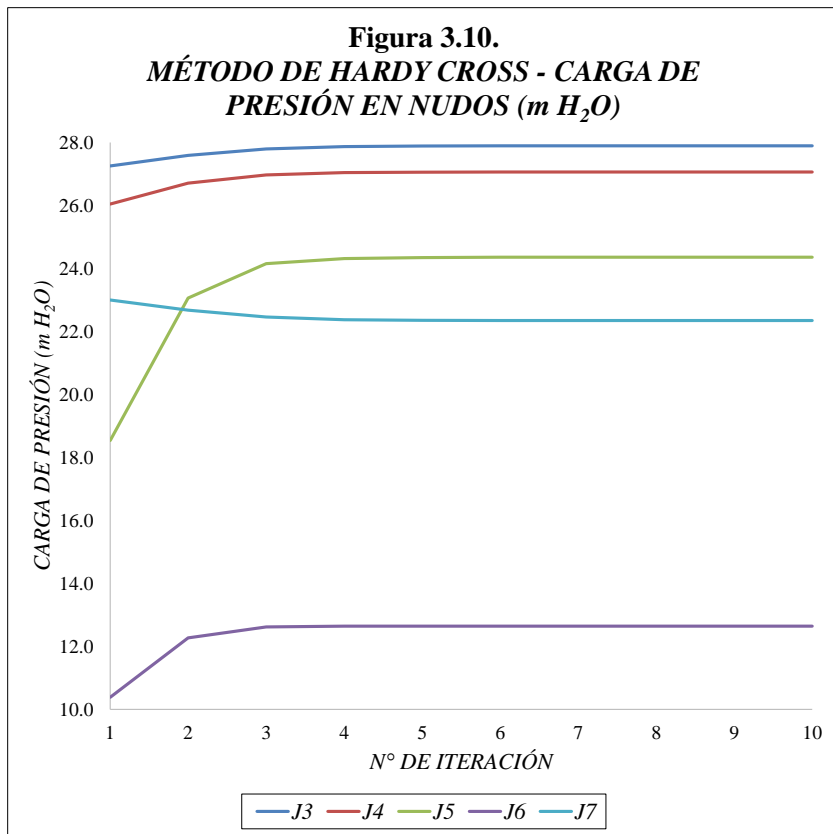


Figura 3.10.
MÉTODO DE HARDY CROSS - CARGA DE
PRESIÓN EN NUDOS (m H₂O)



3.2.6.2. MÉTODO DE CORNISH CON CORRECCIÓN DE CARGAS DE PRESIÓN

El cálculo hidráulico efectuado con el método de Cornish, presento los resultados que se resumen en las tablas 3.63 – 3.65 y su representación gráfica en las figuras 3.11 -3.13.

N° de Iteración	Nudos				
	J3	J4	J5	J6	J7
1	2.34 m ³ /s	1.13 m ³ /s	2.31 m ³ /s	2.59 m ³ /s	1.13 m ³ /s
2	-1.6373	-0.9717	-0.9693	-2.9070	-2.4839
3	0.0111	-0.5977	-1.2295	-2.4036	-2.2165
4	-0.1396	-1.1027	-0.8954	-1.4294	-1.5360
5	-0.2842	-0.5633	-0.1617	-1.0215	-1.0379
6	-0.1018	-0.4037	-0.6462	-1.0856	-0.6721
7	-0.0905	-0.4220	-0.4311	-0.7680	-0.5838
8	-0.0987	-0.3232	-0.3971	-0.5948	-0.4461
9	-0.0714	-0.2715	-0.3099	-0.4319	-0.3490
10	-0.0615	-0.2144	-0.2390	-0.3162	-0.2638
11	-0.0476	-0.1651	-0.1826	-0.2318	-0.1968
12	-0.0364	-0.1256	-0.1381	-0.1701	-0.1462
13	-0.0275	-0.0948	-0.1038	-0.1250	-0.1084
14	-0.0207	-0.0712	-0.0777	-0.0920	-0.0803
15	-0.0154	-0.0532	-0.0580	-0.0678	-0.0594
16	-0.0115	-0.0397	-0.0432	-0.0501	-0.0440
17	-0.0086	-0.0296	-0.0322	-0.0370	-0.0326
18	-0.0064	-0.0220	-0.0239	-0.0274	-0.0242
19	-0.0047	-0.0164	-0.0178	-0.0203	-0.0179
20	-0.0035	-0.0122	-0.0132	-0.0150	-0.0133
21	-0.0026	-0.0090	-0.0098	-0.0111	-0.0098
21	-0.0019	-0.0067	-0.0073	-0.0083	-0.0073

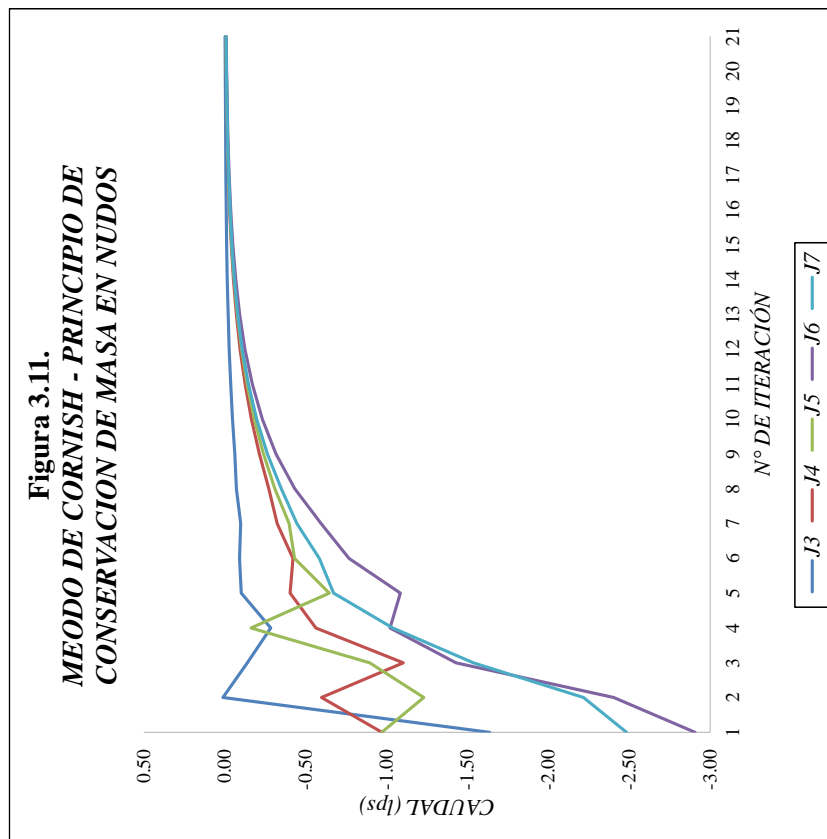


Tabla 3.64a. MÉTODO DE CORNISH - RESUMEN DE CAUDAL EN TUBERÍAS (Ips)

Tubería	N° de iteraciones										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P3	-	-5.9977	-4.7209	-4.7297	-4.6195	-4.3981	-4.3191	-4.2492	-4.1734	-4.1187	-4.0719
P4	-	2.0204	2.3920	2.2501	1.9953	1.9563	1.8886	1.8105	1.7620	1.7173	1.6842
P5	-	1.8277	1.7808	1.5456	1.5280	1.5936	1.5054	1.4783	1.4396	1.4130	1.3935
P6	-	-0.5546	-0.5676	0.1761	0.6796	0.5221	0.6930	0.7524	0.8169	0.8615	0.8930
P7	-	-7.8608	-7.5290	-7.0405	-6.7248	-6.4651	-6.2773	-6.1129	-5.9841	-5.8820	-5.8038
P8	-	4.0467	3.6263	3.9539	3.9265	3.8561	3.7670	3.7057	3.6625	3.6346	3.6152
P9	-	-1.3055	-1.1201	-1.4808	-1.1253	-1.1350	-1.1365	-1.0854	-1.0531	-1.0176	-0.9868

Tabla 3.64b. MÉTODO DE CORNISH - RESUMEN DE CAUDAL EN TUBERÍAS (Ips)

Tubería	N° de iteraciones										
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
P3	-4.0356	-4.0080	-3.9871	-3.9715	-3.9598	-3.9511	-3.9447	-3.9398	-3.9363	-3.9336	-3.9316
P4	1.6592	1.6405	1.6265	1.6161	1.6083	1.6026	1.5983	1.5951	1.5928	1.5910	1.5897
P5	1.3790	1.3682	1.3601	1.3542	1.3498	1.3465	1.3441	1.3423	1.3410	1.3400	1.3393
P6	0.9153	0.9312	0.9425	0.9507	0.9566	0.9609	0.9640	0.9663	0.9680	0.9693	0.9702
P7	-5.7450	-5.7011	-5.6683	-5.6440	-5.6259	-5.6125	-5.6026	-5.5952	-5.5897	-5.5857	-5.5827
P8	3.6013	3.5912	3.5838	3.5783	3.5743	3.5713	3.5691	3.5675	3.5663	3.5654	3.5647
P9	-0.9619	-0.9423	-0.9271	-0.9156	-0.9069	-0.9004	-0.8955	-0.8918	-0.8891	-0.8871	-0.8855

Tabla 3.65a. MÉTODO DE CORNISH - RESUMEN DE CARGAS DE PRESIÓN (m H₂O)

J	N° de iteraciones										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
J3	-	27.2662	27.2589	27.3499	27.5277	27.5894	27.6433	27.7009	27.7420	27.7769	27.8036
J4	-	25.0403	25.3095	25.8635	26.1084	26.2840	26.4653	26.6000	26.7106	26.7960	26.8605
J5	-	21.1947	22.0965	22.6951	22.7721	23.1721	23.4204	23.6492	23.8233	23.9547	24.0531
J6	-	9.9571	10.6912	10.9152	11.2555	11.5692	11.8239	12.0280	12.1811	12.2955	12.3804
J7	-	20.4526	20.9634	21.2789	21.5296	21.7061	21.8571	21.9732	22.0639	22.1323	22.1834

Tabla 3.65b. MÉTODO DE CORNISH - RESUMEN DE CARGAS DE PRESIÓN (m H₂O)

J	N° de iteraciones										
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
J3	27.8238	27.8391	27.8504	27.8589	27.8652	27.8699	27.8733	27.8759	27.8778	27.8793	27.8803
J4	26.9087	26.9447	26.9714	26.9913	27.0060	27.0169	27.0250	27.0310	27.0354	27.0387	27.0412
J5	24.1265	24.1810	24.2214	24.2513	24.2735	24.2899	24.3021	24.3111	24.3178	24.3227	24.3264
J6	12.4432	12.4896	12.5239	12.5493	12.5680	12.5819	12.5922	12.5998	12.6054	12.6096	12.6127
J7	22.2213	22.2494	22.2702	22.2856	22.2970	22.3054	22.3117	22.3163	22.3198	22.3223	22.3242

Figura 3.12.
MÉTODO DE CORNISH - CAUDAL EN
TUBERÍAS (lps)

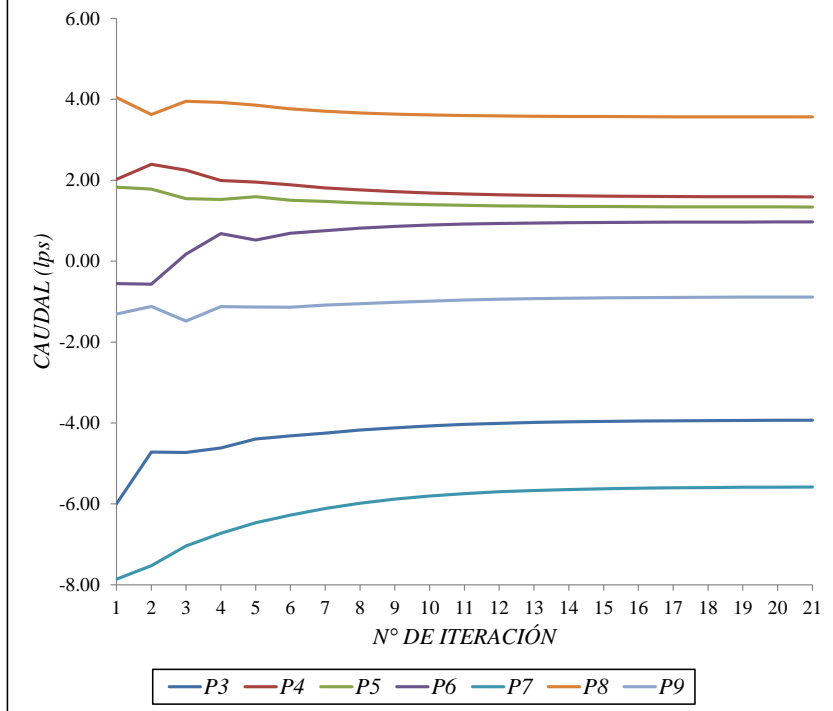
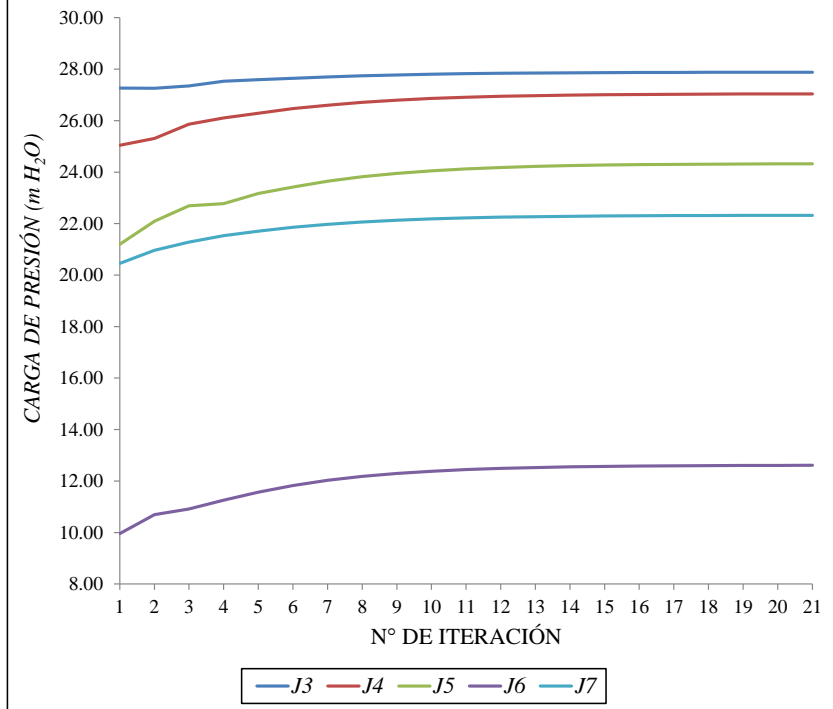


Figura 3.13.
MÉTODO DE CORNISH - CARGA DE PRESIÓN
EN NUDOS (m H₂O)



3.2.6.3. MÉTODO DE NEWTON – RAPHSON

El cálculo hidráulico efectuado con el método de Newton – Raphson, presento los resultados que se resumen en las tablas 3.66 – 3.68 y su representación gráfica en las figuras 3.14 -3.16.

Tabla 3.66. MÉTODO DE NEWTON RAPHSON - PRINCIPIO DE CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA

Iteracion	Circuito 1	Circuito 2
1	2.074560	8.146195
2	0.312447	2.049069
3	0.020268	0.022264
4	0.002362	-0.005328
5	0.000292	0.000954
6	0.000032	-0.000204
7	0.000004	0.000039

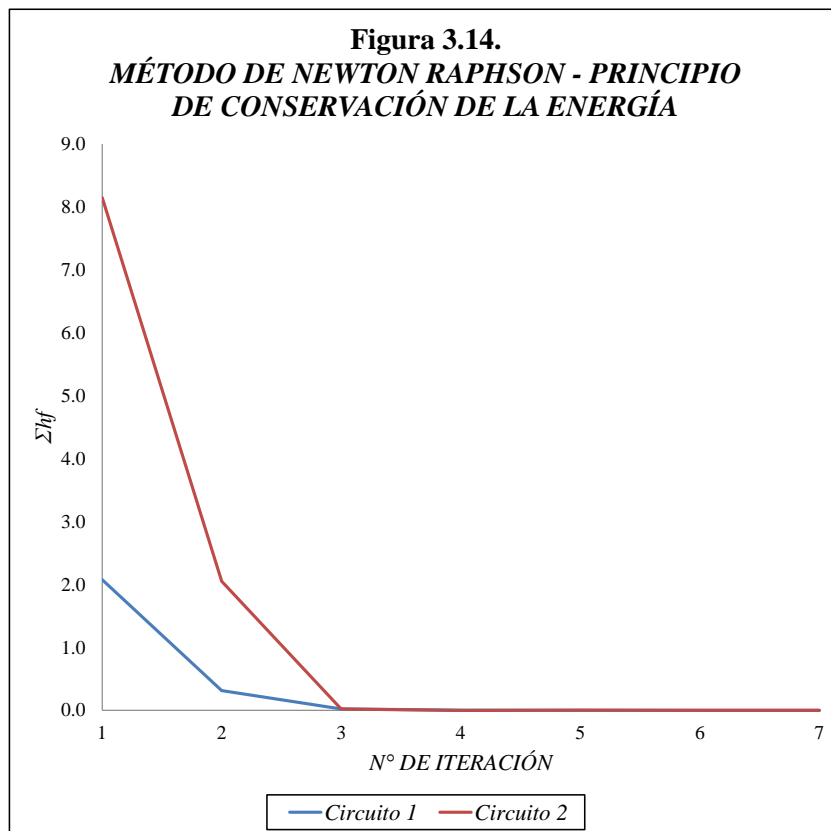
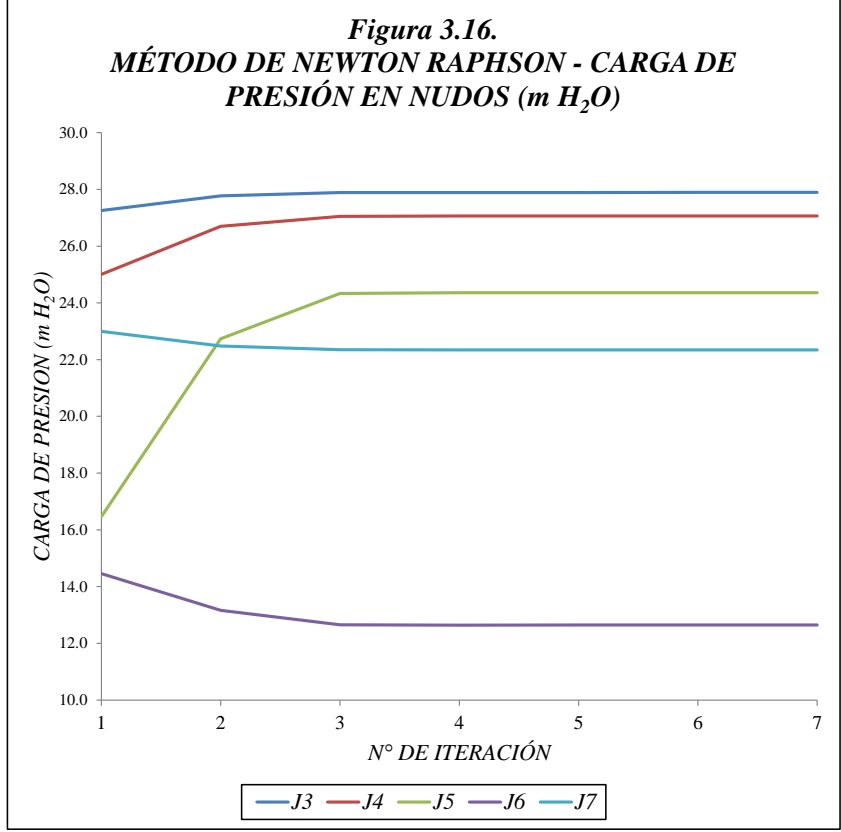
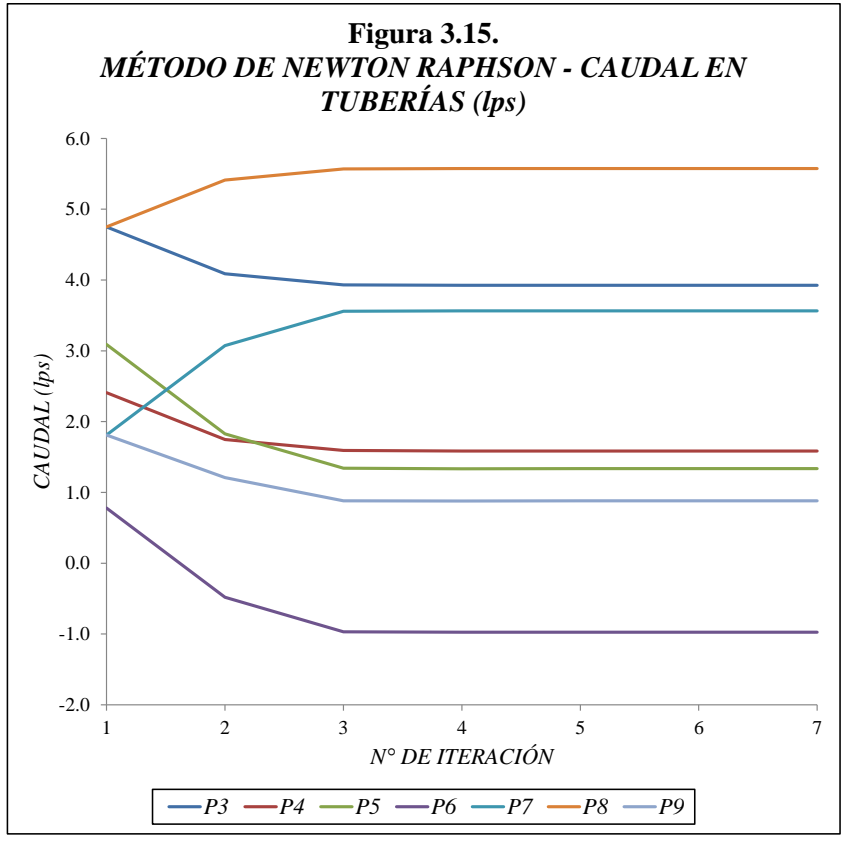


Tabla 3.67. MÉTODO DE NEWTON RAPHSON - RESUMEN DE CAUDAL EN TUBERÍAS

Tubería	N° de Iteraciones							
	0	1	2	3	4	5	6	7
P3	-	4.7500	4.0881	3.9317	3.9255	3.9251	3.9250	3.9250
P4	-	2.4100	1.7481	1.5917	1.5855	1.5851	1.5850	1.5850
P5	-	3.0900	1.8276	1.3421	1.3346	1.3361	1.3358	1.3359
P6	-	0.7800	-0.4824	-0.9679	-0.9754	-0.9739	-0.9742	-0.9741
P7	-	1.8100	3.0724	3.5579	3.5654	3.5639	3.5642	3.5641
P8	-	4.7500	5.4119	5.5683	5.5745	5.5749	5.5750	5.5750
P9	-	1.8100	1.2095	0.8804	0.8791	0.8810	0.8808	0.8809

Tabla 3.68. MÉTODO DE NEWTON RAPHSON - RESUMEN DE CARGA DE PRESIÓN EN NUDOS (m H₂O)

Nudo	N° de Iteraciones							
	0	1	2	3	4	5	6	7
J3	-	27.2550	27.7745	27.8881	27.8925	27.8928	27.8929	27.8929
J4	-	25.0059	26.7007	27.0487	27.0620	27.0628	27.0631	27.0631
J5	-	16.4647	22.7319	24.3300	24.3601	24.3576	24.3585	24.3584
J6	-	14.4578	13.1643	12.6545	12.6432	12.6441	12.6438	12.6438
J7	-	22.9955	22.4798	22.3502	22.3450	22.3447	22.3446	22.3446



3.2.6.4. MÉTODO DE LA TEORÍA LINEAL

El cálculo hidráulico efectuado con el método de la Teoría Lineal, presento los resultados que se resumen en las tablas 3.69 – 3.71 y su representación gráfica en las figuras 3.17 -3.19.

Tabla 3.69. MÉTODO DE LA TEORÍA LINEAL - PRINCIPIO DE CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA

Iteracion	Circuito 1	Circuito 2
1	2.074560	-3.598734
2	0.312447	-1.710484
3	0.026751	-0.303629
4	0.002206	-0.041231
5	0.000181	-0.005214
6	0.000012	-0.000653
7	0.000000	-0.000082

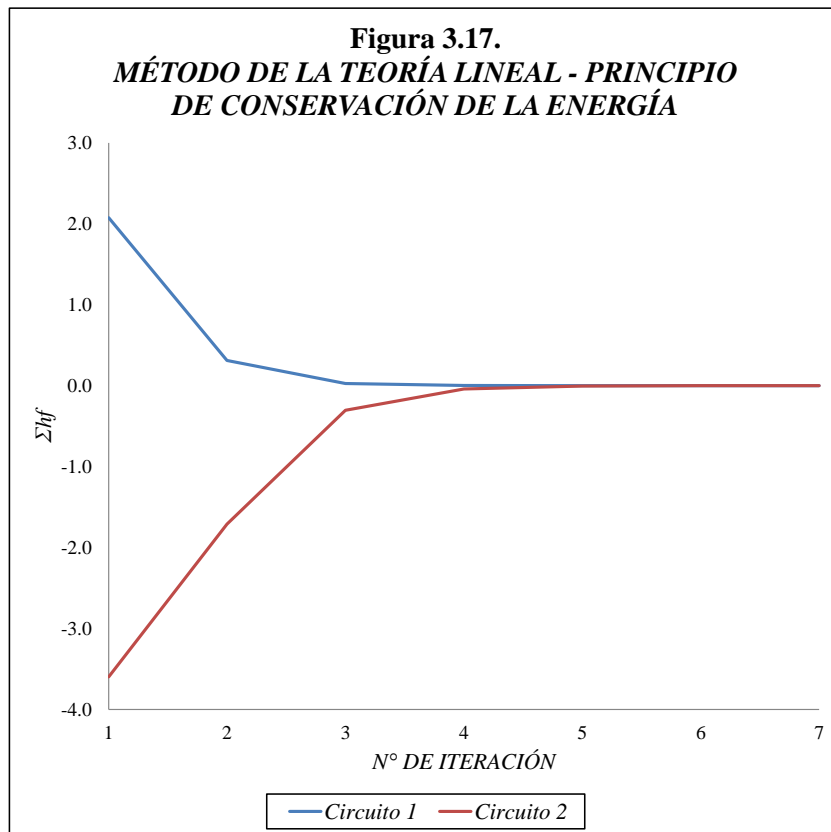
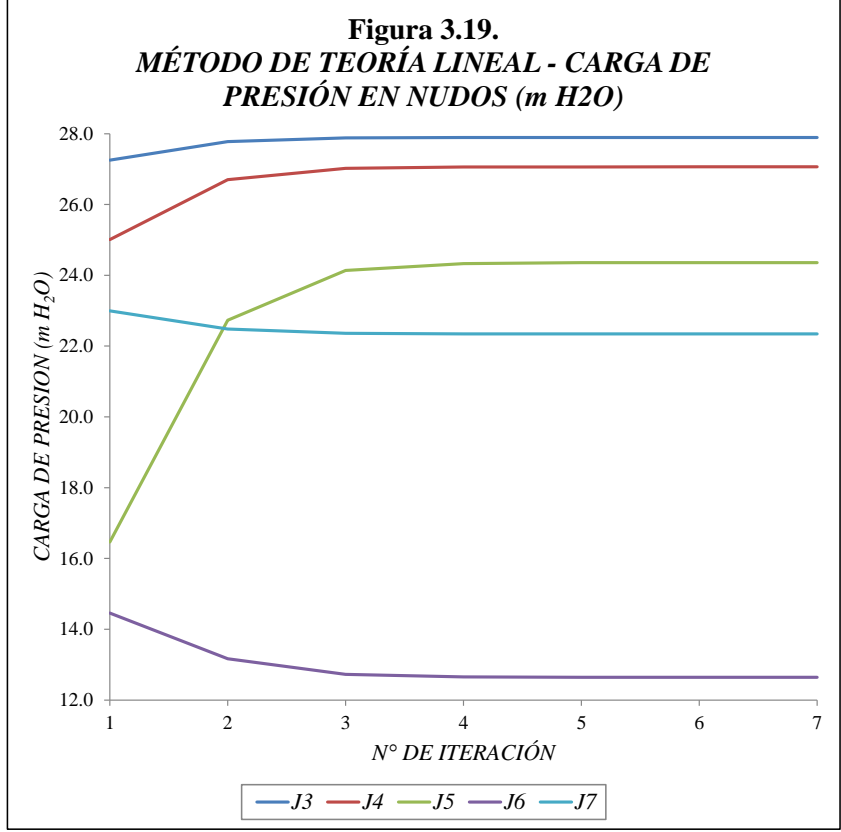
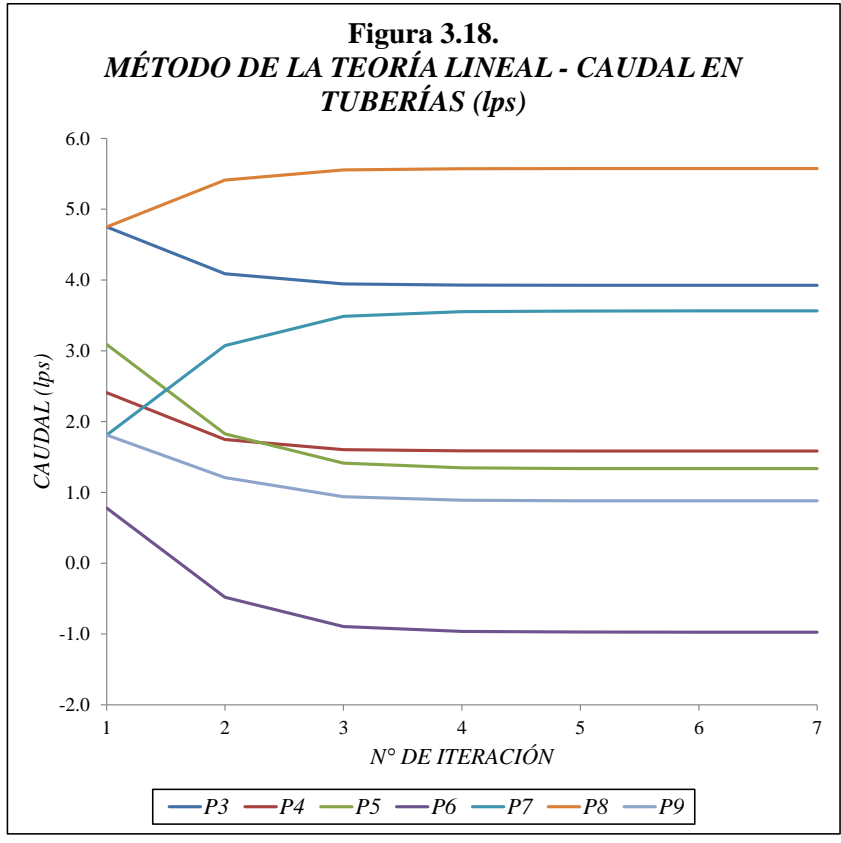


Tabla 3.70. MÉTODO DE LA TEORÍA LINEAL - RESUMEN DE CAUDAL EN TUBERÍAS (lps)

Tubería	Nro de Iteraciones							
	0	1	2	3	4	5	6	7
P3	-	4.7500	4.0881	3.9440	3.9271	3.9252	3.9250	3.9250
P4	-	2.4100	1.7481	1.6040	1.5871	1.5852	1.5850	1.5850
P5	-	3.0900	1.8276	1.4140	1.3461	1.3372	1.3360	1.3359
P6	-	0.7800	-0.4824	-0.8960	-0.9639	-0.9728	-0.9740	-0.9741
P7	-	1.8100	3.0724	3.4860	3.5539	3.5628	3.5640	3.5641
P8	-	4.7500	5.4119	5.5560	5.5729	5.5748	5.5750	5.5750
P9	-	1.8100	1.2095	0.9401	0.8890	0.8819	0.8810	0.8809

Tabla 3.71. MÉTODO DE LA TEORÍA LINEAL - RESUMEN DE CARGA DE PRESIÓN EN NUDOS (m H₂O)

J	Nro de Iteraciones							
	0	1	2	3	4	5	6	7
J3	-	27.2550	27.7745	27.8793	27.8914	27.8927	27.8929	27.8929
J4	-	25.0059	26.7007	27.0221	27.0586	27.0626	27.0630	27.0631
J5	-	16.4647	22.7319	24.1370	24.3306	24.3550	24.3580	24.3584
J6	-	14.4578	13.1643	12.7239	12.6541	12.6451	12.6439	12.6438
J7	-	22.9955	22.4798	22.3604	22.3463	22.3448	22.3446	22.3446



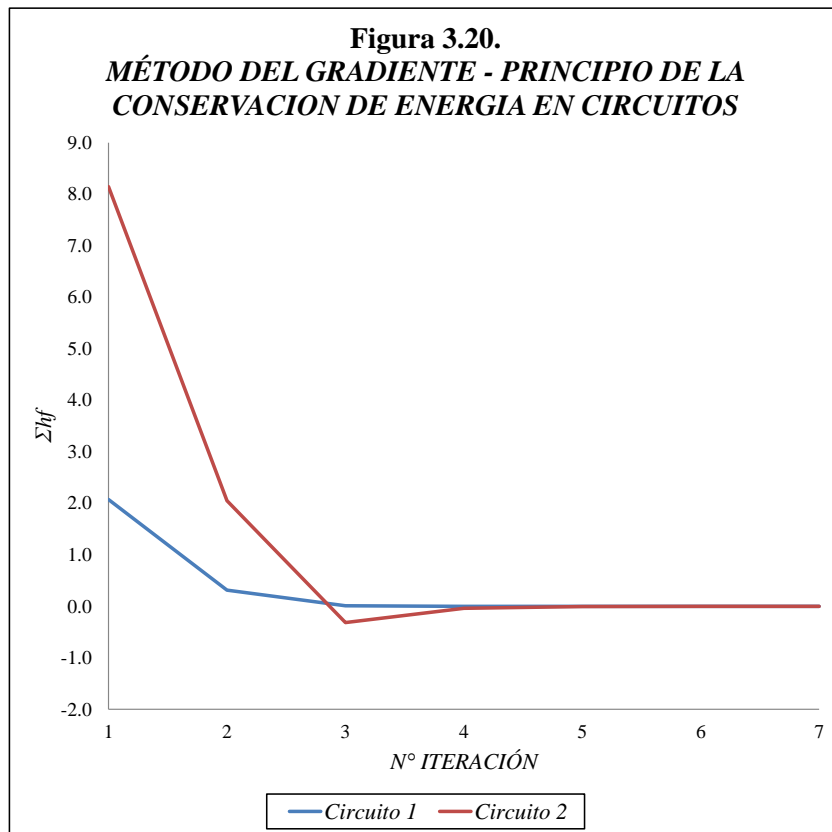
3.2.6.5. MÉTODO DEL GRADIENTE

El cálculo hidráulico efectuado con el método del gradiente, presento los resultados que se resumen en las tablas 3.72 – 3.74 y su representación gráfica en las figuras 3.20 -3.22.

Tabla 3.72. MÉTODO DEL GRADIENTE - PRINCIPIO DE CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA

Iteracion	Circuito 1	Circuito 2
1	2.075268466	8.148978072
2	0.312553796	2.049769106
3	0.010931914	-0.314044143
4	0.001053556	-0.036904255
5	0.00017817	-0.004584155
6	2.88165E-05	-0.000572834
7	4.39474E-06	-7.16402E-05

Figura 3.20. MÉTODO DEL GRADIENTE - PRINCIPIO DE LA CONSERVACION DE ENERGIA EN CIRCUITOS

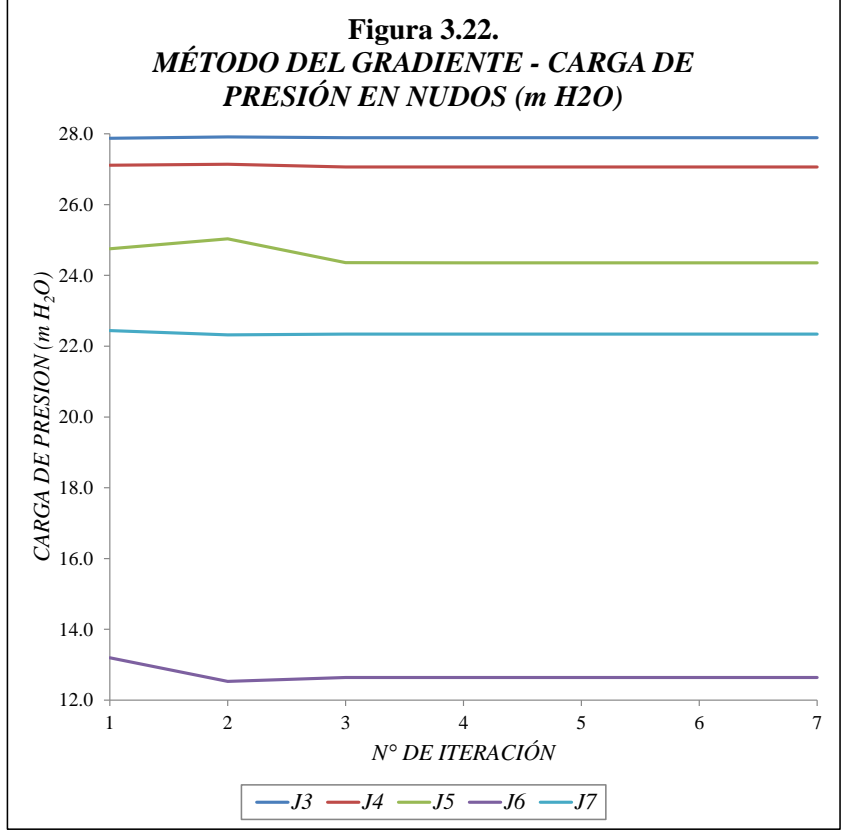
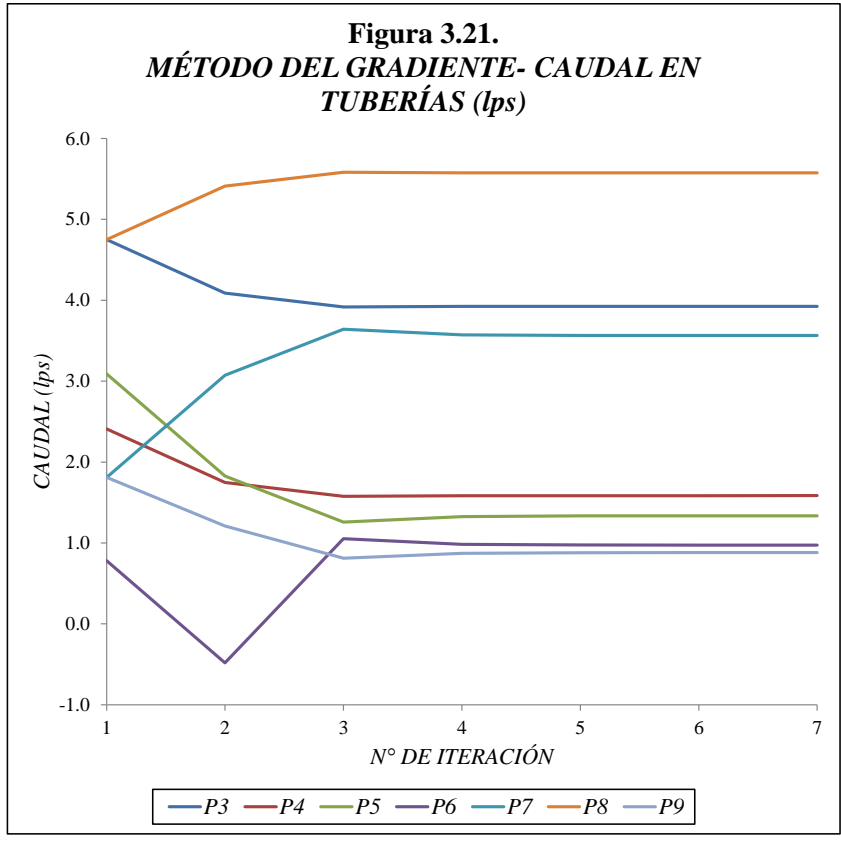


**Tabla 3.73. MÉTODO DEL GRADIENTE - RESUMEN DE CARGA DE CAUDAL
EN TUBERÍAS (lps)**

Tubería	Nro de Iteraciones							
	0	1	2	3	4	5	6	7
P3	-	4.7500	4.0881	3.9174	3.9240	3.9249	3.9250	3.9250
P4	-	2.4100	1.7481	1.5774	1.5840	1.5849	1.5850	1.5850
P5	-	3.0900	1.8276	1.2581	1.3268	1.3347	1.3357	1.3358
P6	-	0.7800	-0.4824	1.0519	0.9832	0.9753	0.9743	0.9742
P7	-	1.8100	3.0724	3.6419	3.5732	3.5653	3.5643	3.5642
P8	-	4.7500	5.4119	5.5826	5.5760	5.5751	5.5750	5.5750
P9	-	1.8100	1.2095	0.8107	0.8728	0.8798	0.8807	0.8808

**Tabla 3.74. MÉTODO DEL GRADIENTE - RESUMEN DE CARGA DE PRESIÓN
EN NUDOS (m H₂O)**

NUDO	Nro de Iteraciones							
	0	1	2	3	4	5	6	7
J3	-	27.8709	27.9144	27.8912	27.8911	27.8911	27.8911	27.8911
J4	-	27.1149	27.1417	27.0610	27.0608	27.0608	27.0608	27.0608
J5	-	24.7515	25.0351	24.3579	24.3556	24.3556	24.3556	24.3556
J6	-	13.1963	12.5278	12.6414	12.6410	12.6410	12.6411	12.6411
J7	-	22.4428	22.3204	22.3423	22.3424	22.3424	22.3424	22.3424



3.2.7. OPTIMIZACIÓN DE LA RED – TEORÍA LINEAL

El Cálculo Hidráulico (Por el método de Teoría Lineal) se muestra desde la Tabla 3.75 hasta la Tabla 3.144.

**Tabla 3.75a. ITERACIÓN 1: OPCIÓN INICIAL
CÁLCULOS HIDRÁULICOS: TEORÍA LINEAL**

CAUDALES INICIALES										
Tubería	D (mm)	L (m)	Q (lps)	$\frac{K_s}{D}$	A (m ²)	V (m/s)	Re	f	α	$\alpha Q $
P1	57.00	253.14	12.84000000	2.63E-05	0.002552	5.032	183197.47	0.016	557189.4983	7154.313159
P2	57.00	94.47	11.35000000	2.63E-05	0.002552	4.448	161938.57	0.016	212794.2416	2415.214642
P3	57.00	84.06	4.75000000	2.63E-05	0.002552	1.861	67771.65	0.020	225522.0627	1071.229798
P4	57.00	150.07	2.41000000	2.63E-05	0.002552	0.944	34385.20	0.023	468161.3932	1128.268958
P5	57.00	268.68	3.09000000	2.63E-05	0.002552	1.211	44087.24	0.021	791907.6863	2446.994751
P6	57.00	82.51	0.78000000	2.63E-05	0.002552	0.306	11128.82	0.030	341386.0574	266.281125
P7	57.00	252.75	1.81000000	2.63E-05	0.002552	0.709	25824.57	0.024	843729.4772	1527.150354
P8	57.00	179.66	4.75000000	2.63E-05	0.002552	1.861	67771.65	0.020	482004.4467	2289.521122
P9	57.00	80.93	1.81000000	2.63E-05	0.002552	0.709	25824.57	0.024	270160.3426	488.990220

[A]	x	[Q]	=	[q]	[Q]	=	[A] ⁻¹ [q]
		Q1			Q1		12.8400
		Q2			Q2		11.3500
1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	Q3		5.4286
-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	Q4		3.0886
0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	Q5		1.9148
0.00	0.00	-1.00	1.00	0.00	Q6	=	-0.3952
0.00	0.00	0.00	-1.00	0.00	Q7		2.9852
1071.23	1128.27	0.00	0.00	-2289.52	Q8		4.0714
0.00	0.00	2446.99	266.28	-1527.15	Q9		-0.0438

**Tabla 3.75b. ITEARCIÓN 1: OPCIÓN INICIAL
CÁLCULOS HIDRÁULICOS: TEORÍA LINEAL**

CAUDALES FINALES										
Tubería	D (mm)	L (m)	Q (lps)	$\frac{K_s}{D}$	A (m ²)	V (m/s)	Re	f	α	$\alpha Q $
P1	57.00	253.14	12.84000000	2.63E-05	0.002552	5.032	183197.47	0.016	557189.4983	7154.313159
P2	57.00	94.47	11.35000000	2.63E-05	0.002552	4.448	161938.57	0.016	212794.2416	2415.214642
P3	57.00	84.06	5.15184729	2.63E-05	0.002552	2.019	73505.09	0.019	221680.9267	1142.066282
P4	57.00	150.07	2.81184729	2.63E-05	0.002552	1.102	40118.64	0.022	451856.1107	1270.550383
P5	57.00	268.68	2.38295670	2.63E-05	0.002552	0.934	33999.35	0.023	840380.0116	2002.589176
P6	57.00	82.51	0.07295670	2.63E-05	0.002552	0.029	1040.93	0.065	740014.0432	53.988980
P7	57.00	252.75	2.51704330	2.63E-05	0.002552	0.986	35912.46	0.022	780590.6014	1964.780346
P8	57.00	179.66	4.34815271	2.63E-05	0.002552	1.704	62038.21	0.020	491204.1202	2135.830524
P9	57.00	80.93	0.70110940	2.63E-05	0.002552	0.275	10003.23	0.031	344700.7854	241.672961

1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	9.5000	Q1	12.8400
-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.3400	Q2	11.3500
0.00	-1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	0.00	-1.1300	Q3	5.1518
0.00	0.00	-1.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.3100	Q4	2.8118
0.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	-2.5900	Q5	2.3830
1142.07	1270.55	0.00	0.00	0.00	0.00	-2135.83	-241.67	0.00	0.0000	Q6	0.0730
0.00	0.00	2002.59	53.99	-1964.78	0.00	241.67	241.67	0.00	0.0000	Q7	2.5170
										Q8	4.3482
										Q9	0.7011

**Tabla 3.76. ITERACIÓN 1: OPCIÓN INICIAL
COSTO DE LA OPCIÓN INICIAL**

Tubería	D (mm)	L (m)	Re	C _j	Costo	
					S./m	S/
P1	57.00	253.14	183197.5	1.00	82.78	20954.93
P2	57.00	94.47	161938.6	0.88	82.78	7820.23
P3	57.00	84.06	73505.09	0.40	82.78	6958.49
P4	57.00	150.07	40118.64	0.22	82.78	12422.79
P5	57.00	268.68	33999.35	0.19	82.78	22241.33
P6	57.00	82.51	1040.93	0.01	82.78	6830.18
P7	57.00	252.75	35912.46	0.20	82.78	20922.65
P8	57.00	179.66	62038.21	0.34	82.78	14872.25
P9	57.00	80.93	10003.23	0.05	82.78	6699.39
			183197.47		Total	119722.23

**Tabla 3.77. ITERACIÓN 1: OPCIÓN INICIAL
CÁLCULO DE LA CARGA DE PRESIÓN EN NUDOS**

Nudo	Cota		Carga de Presión P/γ (m H ₂ O)
	Z _T (msnm)	Z _P (msnm)	
R-1	147.25	147.25	
J1	124.52	55.39	-69.13
J2	118.70	27.98	-90.72
J3	113.91	22.09	-91.82
J4	113.44	18.52	-94.92
J5	114.42	13.75	-100.67
J6	126.44	13.74	-112.70
J7	118.41	18.69	-99.72

P/γ_{min} -112.70

P/γ_{max} -69.13

**Tabla 3.78. ITERACIÓN 1:
OPCIÓN INICIAL**

<i>JERARQUIZACIÓN</i>		
Opción n_i	Tubería	C_j
1	P1	1.00
2	P2	0.88
3	P3	0.40
4	P8	0.34
5	P4	0.22
6	P7	0.20
7	P5	0.19
8	P9	0.05
9	P6	0.01

Tabla 3.79. ITERACIÓN 1: OPCIÓN INICIAL

<i>BENEFICIO COSTO POR OPCIONES</i>					
Opción n_i	C_i	P_{\min}	ΔC	ΔP	$\Delta P/\Delta C$
0	119722.23	-112.70			
1	120757.57	-60.61	1035.342600	52.081552	0.05030369
2	120108.61	-97.16	386.382300	15.532781	0.04020055
3	120066.04	-110.96	343.805400	1.736517	0.00505087
4	120457.04	-109.19	734.809400	3.510237	0.00477707
5	120336.02	-111.61	613.786300	1.090000	0.00177586
6	120755.98	-110.84	1033.747500	1.856145	0.00179555
7	120821.13	-111.04	1098.901200	1.652315	0.00150361
8	120053.23	-112.69	331.003700	0.001569	0.00000474
9	120059.70	-112.70	337.465900	0.001065	0.00000316

**Tabla 3.80a. ITERACIÓN 2: OPCIÓN INICIAL
CÁLCULOS HIDRÁULICOS: TEORÍA LINEAL**

CAUDALES INICIALES										
Tubería	D (mm)	L (m)	Q (lps)	$\frac{K_s}{D}$	A (m ²)	V (m/s)	Re	f	α	$\alpha Q $
P1	67.80	253.14	12.84000000	2.21E-05	0.003610	3.556	154015.57	0.0165	241286.4112	3098.117520
P2	57.00	94.47	11.35000000	2.63E-05	0.002552	4.448	161938.57	0.0164	212794.2416	2415.214642
P3	57.00	84.06	4.75000000	2.63E-05	0.002552	1.861	67771.65	0.0195	225522.0627	1071.229798
P4	57.00	150.07	2.41000000	2.63E-05	0.002552	0.944	34385.20	0.0227	468161.3932	1128.268958
P5	57.00	268.68	3.09000000	2.63E-05	0.002552	1.211	44087.24	0.0215	791907.6863	2446.994751
P6	57.00	82.51	0.78000000	2.63E-05	0.002552	0.306	11128.82	0.0301	341386.0574	266.281125
P7	57.00	252.75	1.81000000	2.63E-05	0.002552	0.709	25824.57	0.0243	843729.4772	1527.150354
P8	57.00	179.66	4.75000000	2.63E-05	0.002552	1.861	67771.65	0.0195	482004.4467	2289.521122
P9	57.00	80.93	1.81000000	2.63E-05	0.002552	0.709	25824.57	0.0243	270160.3426	488.990220

[A]	x	[Q]	=	[q]	[Q]	=	[A] ⁻¹ [q]
		Q1			Q1		12.8400
		Q2			Q2		11.3500
		Q3			Q3		5.4286
		Q4			Q4		3.0886
		Q5			Q5		1.9148
		Q6	=		Q6	=	-0.3952
		Q7			Q7		2.9852
		Q8			Q8		4.0714
		Q9			Q9		-0.0438
1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	9.5000	
-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.3400	
0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	-1.00	-1.1300	
0.00	0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	-2.3100	
0.00	0.00	0.00	-1.00	0.00	0.00	-2.5900	
1071.23	1128.27	0.00	0.00	-2289.52	-488.99	0.0000	
0.00	0.00	2446.99	266.28	-1527.15	488.99	0.0000	

**Tabla 3.80b. ITERACIÓN 2: OPCIÓN INICIAL
CÁLCULOS HIDRÁULICOS: TEORÍA LINEAL**

CAUDALES FINALES										
Tubería	D (mm)	L (m)	Q (lps)	$\frac{K_s}{D}$	A (m ²)	V (m/s)	Re	f	α	$\alpha Q $
P1	67.80	253.14	12.84000000	2.21E-05	0.003610	3.556	154015.57	0.0165	241286.4112	3098.117520
P2	57.00	94.47	11.35000000	2.63E-05	0.002552	4.448	161938.57	0.0164	212794.2416	2415.214642
P3	57.00	84.06	5.15184729	2.63E-05	0.002552	2.019	73505.09	0.0192	221680.9267	1142.066282
P4	57.00	150.07	2.81184729	2.63E-05	0.002552	1.102	40118.64	0.0219	451856.1107	1270.550383
P5	57.00	268.68	2.38295670	2.63E-05	0.002552	0.934	33999.35	0.0228	840380.0116	2002.589176
P6	57.00	82.51	0.07295670	2.63E-05	0.002552	0.029	1040.93	0.0653	740014.0432	53.988980
P7	57.00	252.75	2.51704330	2.63E-05	0.002552	0.986	35912.46	0.0225	780590.6014	1964.780346
P8	57.00	179.66	4.34815271	2.63E-05	0.002552	1.704	62038.21	0.0199	491204.1202	2135.830524
P9	57.00	80.93	0.70110940	2.63E-05	0.002552	0.275	10003.23	0.0310	344700.7854	241.672961

[A]	x	[Q]	=	[q]	[Q]	=	[A] ⁻¹ [q]
1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	12.8400
-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.3500
0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	-1.00	0.00	5.1518
0.00	0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	2.8118
0.00	0.00	0.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	2.3830
1142.07	1270.55	0.00	0.00	-2135.83	-241.67	-241.67	0.0730
0.00	0.00	2002.59	53.99	-1964.78	0.00	241.67	2.5170
							4.3482
							0.7011

**Tabla 3.81. ITERACIÓN 2: OPCIÓN INICIAL
COSTO DE LA OPCIÓN INICIAL**

Tubería	D (mm)	L (m)	Re	C _j	Costo	
					S./m	S/
P1	67.80	253.14	154015.57	0.95	86.87	21990.27
P2	57.00	94.47	161938.57	1.00	82.78	7820.23
P3	57.00	84.06	73505.09	0.45	82.78	6958.49
P4	57.00	150.07	40118.64	0.25	82.78	12422.79
P5	57.00	268.68	33999.35	0.21	82.78	22241.33
P6	57.00	82.51	1040.93	0.01	82.78	6830.18
P7	57.00	252.75	35912.46	0.22	82.78	20922.65
P8	57.00	179.66	62038.21	0.38	82.78	14872.25
P9	57.00	80.93	10003.23	0.06	82.78	6699.39
			161938.57		Total	120757.57

**Tabla 3.82. ITERACIÓN 2: OPCIÓN INICIAL
CÁLCULO DE LA CARGA DE PRESIÓN EN NUDOS**

Nudo	Cota		Carga de Presión P/γ (m H ₂ O)
	Z _T (msnm)	Z _P (msnm)	
R-1	147.25	147.25	
J1	124.52	107.47	-17.05
J2	118.70	80.06	-38.64
J3	113.91	74.17	-39.74
J4	113.44	70.60	-42.84
J5	114.42	65.83	-48.59
J6	126.44	65.83	-60.61
J7	118.41	70.77	-47.64

P/γ_{min} -60.61

P/γ_{max} -17.05

**Tabla 3.83. ITERACIÓN 2:
OPCIÓN INICIAL**

<i>JERARQUIZACIÓN</i>		
Opción n_i	Tubería	C_j
1	P1	1.00
2	P2	0.95
3	P3	0.45
4	P8	0.38
5	P4	0.25
6	P7	0.22
7	P5	0.21
8	P9	0.06
9	P6	0.01

Tabla 3.84. ITERACIÓN 2: OPCIÓN INICIAL

<i>BENEFICIO COSTO POR OPCIONES</i>					
Opción n_i	C_i	P_{\min}	ΔC	ΔP	$\Delta P/\Delta C$
0	120757.57	-60.61			
1	121143.96	-45.08	386.382300	15.532781	0.04020055
2	122716.88	-37.33	1959.303600	23.281344	0.01188246
3	121101.38	-58.88	343.805400	1.736517	0.00505087
4	121492.38	-57.10	734.809400	3.510237	0.00477707
5	121371.36	-59.52	613.786300	1.090000	0.00177586
6	121791.32	-58.76	1033.747500	1.856145	0.00179555
7	121856.47	-58.96	1098.901200	1.652315	0.00150361
8	121088.58	-60.61	331.003700	0.001569	0.00000474
9	121095.04	-60.61	337.465900	0.001065	0.00000316

**Tabla 3.85a. ITERACIÓN 3: OPCIÓN INICIAL
CÁLCULOS HIDRÁULICOS: TEORÍA LINEAL**

CAUDALES INICIALES										
Tubería	D (mm)	L (m)	Q (lps)	$\frac{K_s}{D}$	A (m ²)	V (m/s)	Re	f	α	$\alpha Q $
P1	67.80	253.14	12.84000000	2.21E-05	0.003610	3.556	154015.57	0.017	241286.4112	3098.117520
P2	67.80	94.47	11.35000000	2.21E-05	0.003610	3.144	136143.05	0.017	92219.1789	1046.687680
P3	57.00	84.06	4.75000000	2.63E-05	0.002552	1.861	67771.65	0.020	225522.0627	1071.229798
P4	57.00	150.07	2.41000000	2.63E-05	0.002552	0.944	34385.20	0.023	468161.3932	1128.268958
P5	57.00	268.68	3.09000000	2.63E-05	0.002552	1.211	44087.24	0.021	791907.6863	2446.994751
P6	57.00	82.51	0.78000000	2.63E-05	0.002552	0.306	11128.82	0.030	341386.0574	266.281125
P7	57.00	252.75	1.81000000	2.63E-05	0.002552	0.709	25824.57	0.024	843729.4772	1527.150354
P8	57.00	179.66	4.75000000	2.63E-05	0.002552	1.861	67771.65	0.020	482004.4467	2289.521122
P9	57.00	80.93	1.81000000	2.63E-05	0.002552	0.709	25824.57	0.024	270160.3426	488.990220

[A]	x	[Q]	=	[q]	[Q]	=	[A] ⁻¹ [q]
		Q1			Q1		12.8400
		Q2			Q2		11.3500
1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	Q3		5.4286
-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	Q4		3.0886
0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	Q5		1.9148
0.00	0.00	-1.00	1.00	0.00	Q6	=	-0.3952
0.00	0.00	0.00	-1.00	0.00	Q7		2.9852
1071.23	1128.27	0.00	0.00	-2289.52	Q8		4.0714
0.00	0.00	2446.99	266.28	-1527.15	Q9		-0.0438

**Tabla 3.85b. ITERACIÓN 3: OPCIÓN INICIAL
CÁLCULOS HIDRÁULICOS: TEORÍA LINEAL**

CAUDALES FINALES										
Tubería	D (mm)	L (m)	Q (lps)	$\frac{K_s}{D}$	A (m ²)	V (m/s)	Re	f	α	$\alpha Q $
P1	67.80	253.14	12.84000000	2.21E-05	0.003610	3.556	154015.57	0.017	241286.4112	3098.117520
P2	67.80	94.47	11.35000000	2.21E-05	0.003610	3.144	136143.05	0.017	92219.1789	1046.687680
P3	57.00	84.06	5.15184729	2.63E-05	0.002552	2.019	73505.09	0.019	221680.9267	1142.066282
P4	57.00	150.07	2.81184729	2.63E-05	0.002552	1.102	40118.64	0.022	451856.1107	1270.550383
P5	57.00	268.68	2.38295670	2.63E-05	0.002552	0.934	33999.35	0.023	840380.0116	2002.589176
P6	57.00	82.51	0.07295670	2.63E-05	0.002552	0.029	1040.93	0.065	740014.0432	53.988980
P7	57.00	252.75	2.51704330	2.63E-05	0.002552	0.986	35912.46	0.022	780590.6014	1964.780346
P8	57.00	179.66	4.34815271	2.63E-05	0.002552	1.704	62038.21	0.020	491204.1202	2135.830524
P9	57.00	80.93	0.70110940	2.63E-05	0.002552	0.275	10003.23	0.031	344700.7854	241.672961

1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	9.5000	Q1	12.8400
-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.3400	Q2	11.3500
0.00	-1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	0.00	-1.1300	Q3	5.1518
0.00	0.00	-1.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.3100	Q4	2.8118
0.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	-2.5900	Q5	2.3830
1142.07	1270.55	0.00	0.00	0.00	-2135.83	-241.67	0.00	0.0000	0.0000	Q6	0.0730
0.00	0.00	2002.59	53.99	-1964.78	0.00	241.67	0.00	0.0000	0.0000	Q7	2.5170
										Q8	4.3482
										Q9	0.7011

**Tabla 3.86. ITERACIÓN 3: OPCIÓN INICIAL
COSTO DE LA OPCIÓN INICIAL**

Tubería	D (mm)	L (m)	Re	C _j	Costo	
					S./m	S/
P1	67.80	253.14	154015.57	1.00	86.87	21990.27
P2	67.80	94.47	136143.05	0.88	86.87	8206.61
P3	57.00	84.06	73505.09	0.48	82.78	6958.49
P4	57.00	150.07	40118.64	0.26	82.78	12422.79
P5	57.00	268.68	33999.35	0.22	82.78	22241.33
P6	57.00	82.51	1040.93	0.01	82.78	6830.18
P7	57.00	252.75	35912.46	0.23	82.78	20922.65
P8	57.00	179.66	62038.21	0.40	82.78	14872.25
P9	57.00	80.93	10003.23	0.06	82.78	6699.39
			154015.57		Total	121143.96

**Tabla 3.87. ITERACIÓN 3: OPCIÓN INICIAL
CÁLCULO DE LA CARGA DE PRESIÓN EN NUDOS**

Nudo	Cota		Carga de Presión P/γ (m H ₂ O)
	Z _T (msnm)	Z _P (msnm)	
R-1	147.25	147.25	
J1	124.52	107.47	-17.05
J2	118.70	95.59	-23.11
J3	113.91	89.71	-24.20
J4	113.44	86.13	-27.31
J5	114.42	81.36	-33.06
J6	126.44	81.36	-45.08
J7	118.41	86.30	-32.11

P/γ_{min} -45.08

P/γ_{max} -17.05

**Tabla 3.88. ITERACIÓN 3:
OPCIÓN INICIAL**

<i>JERARQUIZACIÓN</i>		
Opción n_i	Tubería	C_j
1	P1	1.00
2	P2	0.88
3	P3	0.48
4	P8	0.40
5	P4	0.26
6	P7	0.23
7	P5	0.22
8	P9	0.06
9	P6	0.01

Tabla 3.89. ITERACIÓN 3: OPCIÓN INICIAL

<i>BENEFICIO COSTO POR OPCIONES</i>					
Opción n_i	C_i	P_{\min}	ΔC	ΔP	$\Delta P/\Delta C$
0	121143.96	-45.08			
1	123103.26	-21.80	1959.303600	23.281344	0.01188246
2	121875.15	-38.13	731.197800	6.949176	0.00950383
3	121487.76	-43.35	343.805400	1.736517	0.00505087
4	121878.76	-41.57	734.809400	3.510237	0.00477707
5	121757.74	-43.99	613.786300	1.090000	0.00177586
6	122177.70	-43.23	1033.747500	1.856145	0.00179555
7	122242.86	-43.43	1098.901200	1.652315	0.00150361
8	121474.96	-45.08	331.003700	0.001569	0.00000474
9	121481.42	-45.08	337.465900	0.001065	0.00000316

**Tabla 3.90a. ITERACIÓN 4: OPCIÓN INICIAL
CÁLCULOS HIDRÁULICOS: TEORÍA LINEAL**

CAUDALES INICIALES										
Tubería	D (mm)	L (m)	Q (lps)	$\frac{K_s}{D}$	A (m ²)	V (m/s)	Re	f	α	$\alpha Q $
P1	81.40	253.14	12.84000000	1.84E-05	0.005204	2.467	128283.24	0.017	100072.3291	1284.928706
P2	67.80	94.47	11.35000000	2.21E-05	0.003610	3.144	136143.05	0.017	92219.1789	1046.687680
P3	57.00	84.06	4.75000000	2.63E-05	0.002552	1.861	67771.65	0.020	225522.0627	1071.229798
P4	57.00	150.07	2.41000000	2.63E-05	0.002552	0.944	34385.20	0.023	468161.3932	1128.268958
P5	57.00	268.68	3.09000000	2.63E-05	0.002552	1.211	44087.24	0.021	791907.6863	2446.994751
P6	57.00	82.51	0.78000000	2.63E-05	0.002552	0.306	11128.82	0.030	341386.0574	266.281125
P7	57.00	252.75	1.81000000	2.63E-05	0.002552	0.709	25824.57	0.024	843729.4772	1527.150354
P8	57.00	179.66	4.75000000	2.63E-05	0.002552	1.861	67771.65	0.020	482004.4467	2289.521122
P9	57.00	80.93	1.81000000	2.63E-05	0.002552	0.709	25824.57	0.024	270160.3426	488.990220

[A]	x	[Q]	=	[q]	[Q]	=	[A] ⁻¹ [q]
		Q1			Q1		12.8400
		Q2			Q2		11.3500
		Q3		9.5000	Q3		5.4286
		Q4		-2.3400	Q4		3.0886
		Q5		-1.1300	Q5		1.9148
	x	Q6	=	-2.3100	Q6	=	-0.3952
		Q7		-2.5900	Q7		2.9852
1071.23		Q8		0.0000	Q8		4.0714
0.00		Q9		0.0000	Q9		-0.0438

**Tabla 3.90b. ITERACIÓN 4: OPCIÓN INICIAL
CÁLCULOS HIDRÁULICOS: TEORÍA LINEAL**

CAUDALES FINALES										
Tubería	D (mm)	L (m)	Q (lps)	$\frac{K_s}{D}$	A (m ²)	V (m/s)	Re	f	a	alQl
P1	81.40	253.14	12.84000000	1.84E-05	0.005204	2.467	128283.24	0.017	100072.3291	1284.928706
P2	67.80	94.47	11.35000000	2.21E-05	0.003610	3.144	136143.05	0.017	92219.1789	1046.687680
P3	57.00	84.06	5.15184729	2.63E-05	0.002552	2.019	73505.09	0.019	221680.9267	1142.066282
P4	57.00	150.07	2.81184729	2.63E-05	0.002552	1.102	40118.64	0.022	451856.1107	1270.550383
P5	57.00	268.68	2.38295670	2.63E-05	0.002552	0.934	33999.35	0.023	840380.0116	2002.589176
P6	57.00	82.51	0.07295670	2.63E-05	0.002552	0.029	1040.93	0.065	740014.0432	53.988980
P7	57.00	252.75	2.51704330	2.63E-05	0.002552	0.986	35912.46	0.022	780590.6014	1964.780346
P8	57.00	179.66	4.34815271	2.63E-05	0.002552	1.704	62038.21	0.020	491204.1202	2135.830524
P9	57.00	80.93	0.70110940	2.63E-05	0.002552	0.275	10003.23	0.031	344700.7854	241.672961

	[A]	x	[Q]	=	[q]	[Q]	=	[A] ⁻¹ [q]
1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	Q1	Q1	12.8400
-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Q2	Q2	11.3500
0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	Q3	Q3	5.1518
0.00	0.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	Q4	Q4	2.8118
0.00	0.00	0.00	-1.00	0.00	0.00	Q5	Q5	2.3830
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Q6	Q6	0.0730
0.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	0.00	Q7	Q7	2.5170
1142.07	1270.55	0.00	0.00	0.00	-2135.83	Q8	Q8	4.3482
0.00	0.00	2002.59	53.99	-1964.78	0.00	Q9	Q9	0.7011

**Tabla 3.91. ITERACIÓN 4: OPCIÓN INICIAL
COSTO DE LA OPCIÓN INICIAL**

Tubería	D (mm)	L (m)	Re	C _j	Costo	
					S./m	S/
P1	81.40	253.14	128283.24	0.94	94.61	23949.58
P2	67.80	94.47	136143.05	1.00	86.87	8206.61
P3	57.00	84.06	73505.09	0.54	82.78	6958.49
P4	57.00	150.07	40118.64	0.29	82.78	12422.79
P5	57.00	268.68	33999.35	0.25	82.78	22241.33
P6	57.00	82.51	1040.93	0.01	82.78	6830.18
P7	57.00	252.75	35912.46	0.26	82.78	20922.65
P8	57.00	179.66	62038.21	0.46	82.78	14872.25
P9	57.00	80.93	10003.23	0.07	82.78	6699.39
			136143.05		Total	123103.26

**Tabla 3.92. ITERACIÓN 4: OPCIÓN INICIAL
CÁLCULO DE LA CARGA DE PRESIÓN EN NUDOS**

Nudo	Cota		Carga de Presión P/γ (m H ₂ O)
	Z _T (msnm)	Z _P (msnm)	
R-1	147.25	147.25	
J1	124.52	130.75	6.23
J2	118.70	118.87	0.17
J3	113.91	112.99	-0.92
J4	113.44	109.42	-4.02
J5	114.42	104.64	-9.78
J6	126.44	104.64	-21.80
J7	118.41	109.58	-8.83

P/γ_{min} -21.80

P/γ_{max} 6.23

**Tabla 3.93. ITERACIÓN 4:
OPCIÓN INICIAL**

<i>JERARQUIZACIÓN</i>		
Opción n_i	Tubería	C_j
1	P2	1.00
2	P1	0.94
3	P3	0.54
4	P8	0.46
5	P4	0.29
6	P7	0.26
7	P5	0.25
8	P9	0.07
9	P6	0.01

Tabla 3.94. ITERACIÓN 4: OPCIÓN INICIAL

<i>BENEFICIO COSTO POR OPCIONES</i>					
Opción n_i	C_i	P_{\min}	ΔC	ΔP	$\Delta P/\Delta C$
0	123103.26	-21.80			
1	123834.46	-14.85	731.197800	6.949176	0.00950383
2	126452.30	-11.62	3349.042200	10.181722	0.00304019
3	123447.06	-20.06	343.805400	1.736517	0.00505087
4	123838.07	-18.29	734.809400	3.510237	0.00477707
5	123717.05	-20.71	613.786300	1.090000	0.00177586
6	124137.01	-19.94	1033.747500	1.856145	0.00179555
7	124202.16	-20.15	1098.901200	1.652315	0.00150361
8	123434.26	-21.80	331.003700	0.001569	0.00000474
9	123440.73	-21.80	337.465900	0.001065	0.00000316

**Tabla 3.95a. ITERACIÓN 5: OPCIÓN INICIAL
CÁLCULOS HIDRÁULICOS: TEORÍA LINEAL**

CAUDALES INICIALES										
Tubería	D (mm)	L (m)	Q (lps)	$\frac{K_s}{D}$	A (m ²)	V (m/s)	Re	f	α	$\alpha Q $
P1	81.40	253.14	12.84000000	1.84E-05	0.005204	2.467	128283.24	0.017	100072.3291	1284.928706
P2	81.40	94.47	11.35000000	1.84E-05	0.005204	2.181	113396.79	0.018	38275.3706	434.425457
P3	57.00	84.06	4.75000000	2.63E-05	0.002552	1.861	67771.65	0.020	225522.0627	1071.229798
P4	57.00	150.07	2.41000000	2.63E-05	0.002552	0.944	34385.20	0.023	468161.3932	1128.268958
P5	57.00	268.68	3.09000000	2.63E-05	0.002552	1.211	44087.24	0.021	791907.6863	2446.994751
P6	57.00	82.51	0.78000000	2.63E-05	0.002552	0.306	11128.82	0.030	341386.0574	266.281125
P7	57.00	252.75	1.81000000	2.63E-05	0.002552	0.709	25824.57	0.024	843729.4772	1527.150354
P8	57.00	179.66	4.75000000	2.63E-05	0.002552	1.861	67771.65	0.020	482004.4467	2289.521122
P9	57.00	80.93	1.81000000	2.63E-05	0.002552	0.709	25824.57	0.024	270160.3426	488.990220

[A]	x	[Q]	=	[q]	[Q]	=	[A] ⁻¹ [q]
		Q1			Q1		12.8400
		Q2			Q2		11.3500
1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	Q3	9.5000	5.4286
-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	Q4	-2.3400	3.0886
0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	Q5	-1.1300	1.9148
0.00	0.00	-1.00	1.00	0.00	Q6	-2.3100	-0.3952
0.00	0.00	0.00	-1.00	0.00	Q7	-2.5900	2.9852
1071.23	1128.27	0.00	0.00	-2289.52	Q8	0.0000	4.0714
0.00	0.00	2446.99	266.28	-1527.15	Q9	0.0000	-0.0438

**Tabla 3.95b. ITERACIÓN 5: OPCIÓN INICIAL
CÁLCULOS HIDRÁULICOS: TEORÍA LINEAL**

CAUDALES FINALES										
Tubería	D (mm)	L (m)	Q (lps)	$\frac{K_s}{D}$	A (m ²)	V (m/s)	Re	f	α	$\alpha Q $
P1	81.40	253.14	12.84000000	1.84E-05	0.005204	2.467	128283.24	0.017	100072.3291	1284.928706
P2	81.40	94.47	11.35000000	1.84E-05	0.005204	2.181	113396.79	0.018	38275.3706	434.425457
P3	57.00	84.06	5.15184729	2.63E-05	0.002552	2.019	73505.09	0.019	221680.9267	1142.066282
P4	57.00	150.07	2.81184729	2.63E-05	0.002552	1.102	40118.64	0.022	451856.1107	1270.550383
P5	57.00	268.68	2.38295670	2.63E-05	0.002552	0.934	33999.35	0.023	840380.0116	2002.589176
P6	57.00	82.51	0.07295670	2.63E-05	0.002552	0.029	1040.93	0.065	740014.0432	53.988980
P7	57.00	252.75	2.51704330	2.63E-05	0.002552	0.986	35912.46	0.022	780590.6014	1964.780346
P8	57.00	179.66	4.34815271	2.63E-05	0.002552	1.704	62038.21	0.020	491204.1202	2135.830524
P9	57.00	80.93	0.70110940	2.63E-05	0.002552	0.275	10003.23	0.031	344700.7854	241.672961

[A]	x	[Q]	=	[q]	[Q]	=	[A] ⁻¹ [q]
		Q1			Q1		12.8400
		Q2			Q2		11.3500
1.00		Q3		9.5000	Q3		5.1518
-1.00		Q4		-2.3400	Q4		2.8118
0.00		Q5		-1.1300	Q5		2.3830
0.00	x	Q6	=	-2.3100	Q6	=	0.0730
0.00		Q7		-2.5900	Q7		2.5170
1142.07		Q8		0.0000	Q8		4.3482
0.00		Q9		0.0000	Q9		0.7011

**Tabla 3.96. ITERACIÓN 5: OPCIÓN INICIAL
COSTO DE LA OPCIÓN INICIAL**

Tubería	D (mm)	L (m)	Re	C _j	Costo	
					S./m	S/
P1	81.40	253.14	128283.24	1.00	94.61	23949.58
P2	81.40	94.47	113396.79	0.88	94.61	8937.81
P3	57.00	84.06	73505.09	0.57	82.78	6958.49
P4	57.00	150.07	40118.64	0.31	82.78	12422.79
P5	57.00	268.68	33999.35	0.27	82.78	22241.33
P6	57.00	82.51	1040.93	0.01	82.78	6830.18
P7	57.00	252.75	35912.46	0.28	82.78	20922.65
P8	57.00	179.66	62038.21	0.48	82.78	14872.25
P9	57.00	80.93	10003.23	0.08	82.78	6699.39
			128283.24		Total	123834.46

**Tabla 3.97. ITERACIÓN 5: OPCIÓN INICIAL
CÁLCULO DE LA CARGA DE PRESIÓN EN NUDOS**

Nudo	Cota		Carga de Presión P/γ (m H ₂ O)
	Z _T (msnm)	Z _P (msnm)	
R-1	147.25	147.25	0.88
J1	124.52	130.75	6.23
J2	118.70	125.82	7.12
J3	113.91	119.94	6.03
J4	113.44	116.36	2.92
J5	114.42	111.59	-2.83
J6	126.44	111.59	-14.85
J7	118.41	116.53	-1.88

P/γ_{min} -14.85

P/γ_{max} 7.12

**Tabla 3.98. ITERACIÓN 5:
OPCIÓN INICIAL**

<i>JERARQUIZACIÓN</i>		
Opción n_i	Tubería	C_j
1	P1	1.00
2	P2	0.88
3	P3	0.57
4	P8	0.48
5	P4	0.31
6	P7	0.28
7	P5	0.27
8	P9	0.08
9	P6	0.01

Tabla 3.99. ITERACIÓN 5: OPCIÓN INICIAL

<i>BENEFICIO COSTO POR OPCIONES</i>					
Opción n_i	C_i	P_{\min}	ΔC	ΔP	$\Delta P/\Delta C$
0	123834.46	-14.85			
1	127183.50	-4.67	3349.042200	10.181722	0.00304019
2	125084.30	-11.81	1249.838100	3.041511	0.00243352
3	124178.26	-13.12	343.805400	1.736517	0.00505087
4	125959.83	-11.34	2125.377800	3.510237	0.00165158
5	124448.24	-13.76	613.786300	1.090000	0.00177586
6	124868.20	-13.00	1033.747500	1.856145	0.00179555
7	124933.36	-13.20	1098.901200	1.652315	0.00150361
8	124165.46	-14.85	331.003700	0.001569	0.00000474
9	124171.92	-14.85	337.465900	0.001065	0.00000316

**Tabla 3.100a. ITERACIÓN 6: OPCIÓN INICIAL
CÁLCULOS HIDRÁULICOS: TEORÍA LINEAL**

CAUDALES INICIALES										
Tubería	D (mm)	L (m)	Q (lps)	$\frac{K_s}{D}$	A (m ²)	V (m/s)	Re	f	α	$\alpha Q $
P1	81.40	253.14	12.84000000	1.84E-05	0.005204	2.467	128283.24	0.017	100072.3291	1284.928706
P2	81.40	94.47	11.35000000	1.84E-05	0.005204	2.181	113396.79	0.018	38275.3706	434.425457
P3	67.80	84.06	4.75000000	2.21E-05	0.003610	1.316	56976.17	0.020	98226.0275	466.573631
P4	57.00	150.07	2.41000000	2.63E-05	0.002552	0.944	34385.20	0.023	468161.3932	1128.268958
P5	57.00	268.68	3.09000000	2.63E-05	0.002552	1.211	44087.24	0.021	791907.6863	2446.994751
P6	57.00	82.51	0.78000000	2.63E-05	0.002552	0.306	11128.82	0.030	341386.0574	266.281125
P7	57.00	252.75	1.81000000	2.63E-05	0.002552	0.709	25824.57	0.024	843729.4772	1527.150354
P8	57.00	179.66	4.75000000	2.63E-05	0.002552	1.861	67771.65	0.020	482004.4467	2289.521122
P9	57.00	80.93	1.81000000	2.63E-05	0.002552	0.709	25824.57	0.024	270160.3426	488.990220

1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	9.5000	Q1	12.8400
-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.3400	Q2	11.3500
0.00	-1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	0.00	-1.1300	Q3	6.1880
0.00	0.00	-1.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.3100	Q4	3.8480
0.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	-2.5900	Q5	1.9933
466.57	1128.27	0.00	0.00	0.00	0.00	-2289.52	-488.99	0.00	0.0000	Q6	-0.3167
0.00	0.00	2446.99	266.28	-1527.15	0.00	488.99	0.00	0.00	0.0000	Q7	2.9067
									0.0000	Q8	3.3120
									0.0000	Q9	-0.7246

**Tabla 3.100b. ITERACIÓN 6: OPCIÓN INICIAL
CÁLCULOS HIDRÁULICOS: TEORÍA LINEAL**

CAUDALES FINALES										
Tubería	D (mm)	L (m)	Q (lps)	$\frac{K_s}{D}$	A (m ²)	V (m/s)	Re	f	α	$\alpha Q $
P1	81.40	253.14	12.84000000	1.84E-05	0.005204	2.467	128283.24	0.017	100072.3291	1284.928706
P2	81.40	94.47	11.35000000	1.84E-05	0.005204	2.181	113396.79	0.018	38275.3706	434.425457
P3	67.80	84.06	5.60913880	2.21E-05	0.003610	1.554	67281.52	0.020	94762.3652	531.535260
P4	57.00	150.07	3.26913880	2.63E-05	0.002552	1.281	46643.14	0.021	436767.4063	1427.853276
P5	57.00	268.68	2.40230677	2.63E-05	0.002552	0.941	34275.43	0.023	838802.0891	2015.059939
P6	57.00	82.51	0.09230677	2.63E-05	0.002552	0.036	1317.01	0.060	675112.1628	62.317424
P7	57.00	252.75	2.49769323	2.63E-05	0.002552	0.979	35636.38	0.023	781983.2935	1953.154377
P8	57.00	179.66	3.89086120	2.63E-05	0.002552	1.525	55513.70	0.020	503174.6638	1957.782775
P9	57.00	80.93	0.26316797	2.63E-05	0.002552	0.103	3754.81	0.041	460118.1271	121.088353

[A]	x	[Q]	=	[q]	[Q]	=	[A] ⁻¹ [q]
1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	Q1	Q1	12.8400
-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	Q2	Q2	11.3500
0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	Q3	Q3	5.6091
0.00	0.00	-1.00	0.00	0.00	Q4	Q4	3.2691
0.00	0.00	0.00	-1.00	0.00	Q5	Q5	2.4023
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Q6	Q6	0.0923
0.00	0.00	0.00	-1.00	0.00	Q7	Q7	2.4977
531.54	1427.85	0.00	0.00	-1957.78	Q8	Q8	3.8909
0.00	0.00	2015.06	62.32	-1953.15	Q9	Q9	0.2632

**Tabla 3.101. ITERACIÓN 6: OPCIÓN INICIAL
COSTO DE LA OPCIÓN INICIAL**

Tubería	D (mm)	L (m)	Re	C _j	Costo	
					S./m	S/
P1	81.40	253.14	128283.24	1.00	94.61	23949.58
P2	81.40	94.47	113396.79	0.88	94.61	8937.81
P3	67.80	84.06	67281.52	0.52	86.87	7302.29
P4	57.00	150.07	46643.14	0.36	82.78	12422.79
P5	57.00	268.68	34275.43	0.27	82.78	22241.33
P6	57.00	82.51	1317.01	0.01	82.78	6830.18
P7	57.00	252.75	35636.38	0.28	82.78	20922.65
P8	57.00	179.66	55513.70	0.43	82.78	14872.25
P9	57.00	80.93	3754.81	0.03	82.78	6699.39
			128283.24		Total	124178.26

**Tabla 3.102. ITERACIÓN 6: OPCIÓN INICIAL
CÁLCULO DE LA CARGA DE PRESIÓN EN NUDOS**

Nudo	Cota		Carga de Presión P/γ (m H ₂ O)
	Z _T (msnm)	Z _P (msnm)	
R-1	147.25	147.25	0.36
J1	124.52	130.75	6.23
J2	118.70	125.82	7.12
J3	113.91	122.84	8.93
J4	113.44	118.17	4.73
J5	114.42	113.33	-1.09
J6	126.44	113.32	-13.12
J7	118.41	118.20	-0.21

P/γ_{min} -13.12

P/γ_{max} 8.93

**Tabla 3.103. ITERACIÓN 6:
OPCIÓN INICIAL**

<i>JERARQUIZACIÓN</i>		
Opción n_i	Tubería	C_j
1	P1	1.00
2	P2	0.88
3	P3	0.52
4	P8	0.43
5	P4	0.36
6	P7	0.28
7	P5	0.27
8	P9	0.03
9	P6	0.01

Tabla 3.104. ITERACIÓN 6: OPCIÓN INICIAL

<i>BENEFICIO COSTO POR OPCIONES</i>					
Opción n_i	C_i	P_{\min}	ΔC	ΔP	$\Delta P/\Delta C$
0	124178.26	-13.12			
1	127527.30	-2.93	3349.042200	10.181722	0.00304019
2	125428.10	-10.07	1249.838100	3.041511	0.00243352
3	124828.89	-12.20	650.624400	0.918594	0.00141186
4	124913.07	-10.33	734.809400	2.784087	0.00378886
5	124792.05	-11.52	613.786300	1.590680	0.00259159
6	125212.01	-11.27	1033.747500	1.845999	0.00178573
7	125277.16	-11.44	1098.901200	1.677220	0.00152627
8	124509.27	-13.12	331.003700	-0.000260	-0.00000079
9	124515.73	-13.11	337.465900	0.001552	0.00000460

**Tabla 3.105a. ITERACIÓN 7: OPCIÓN INICIAL
CÁLCULOS HIDRÁULICOS: TEORÍA LINEAL**

CAUDALES INICIALES										
Tubería	D (mm)	L (m)	Q (lps)	$\frac{K_s}{D}$	A (m ²)	V (m/s)	Re	f	α	$\alpha Q $
P1	81.40	253.14	12.84000000	1.84E-05	0.005204	2.467	128283.24	0.017	100072.3291	1284.928706
P2	81.40	94.47	11.35000000	1.84E-05	0.005204	2.181	113396.79	0.018	38275.3706	434.425457
P3	67.80	84.06	4.75000000	2.21E-05	0.003610	1.316	56976.17	0.020	98226.0275	466.573631
P4	57.00	150.07	2.41000000	2.63E-05	0.002552	0.944	34385.20	0.023	468161.3932	1128.268958
P5	57.00	268.68	3.09000000	2.63E-05	0.002552	1.211	44087.24	0.021	791907.6863	2446.994751
P6	57.00	82.51	0.78000000	2.63E-05	0.002552	0.306	11128.82	0.030	341386.0574	266.281125
P7	57.00	252.75	1.81000000	2.63E-05	0.002552	0.709	25824.57	0.024	843729.4772	1527.150354
P8	67.80	179.66	4.75000000	2.21E-05	0.003610	1.316	56976.17	0.020	209936.8083	997.199840
P9	57.00	80.93	1.81000000	2.63E-05	0.002552	0.709	25824.57	0.024	270160.3426	488.990220

1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	9.5000	Q1	12.8400
-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.3400	Q2	11.3500
0.00	-1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	0.00	-1.1300	Q3	4.7756
0.00	0.00	-1.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.3100	Q4	2.4356
0.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	-2.5900	Q5	1.8473
466.57	1128.27	0.00	0.00	0.00	0.00	-997.20	-488.99	x	0.0000	Q6	-0.4627
0.00	0.00	2446.99	266.28	-1527.15	0.00	488.99	488.99		0.0000	Q7	3.0527
									0.0000	Q8	4.7244
									0.0000	Q9	0.5417

**Tabla 3.105b. ITERACIÓN 7: OPCIÓN INICIAL
CÁLCULOS HIDRÁULICOS: TEORÍA LINEAL**

CAUDALES FINALES										
Tubería	D (mm)	L (m)	Q (lps)	$\frac{K_s}{D}$	A (m ²)	V (m/s)	Re	f	α	$\alpha Q $
P1	81.40	253.14	12.84000000	1.84E-05	0.005204	2.467	128283.24	0.017	100072.3291	1284.928706
P2	81.40	94.47	11.35000000	1.84E-05	0.005204	2.181	113396.79	0.018	38275.3706	434.425457
P3	67.80	84.06	4.78070720	2.21E-05	0.003610	1.324	57344.50	0.020	98088.0618	468.930303
P4	57.00	150.07	2.44070720	2.63E-05	0.002552	0.956	34823.32	0.023	466788.3782	1139.293757
P5	57.00	268.68	2.35887254	2.63E-05	0.002552	0.924	33655.72	0.023	842368.5313	1987.039995
P6	57.00	82.51	0.04887254	2.63E-05	0.002552	0.019	697.30	0.077	874304.5427	42.729481
P7	57.00	252.75	2.54112746	2.63E-05	0.002552	0.996	36256.08	0.022	778877.3871	1979.226718
P8	67.80	179.66	4.71929280	2.21E-05	0.003610	1.307	56607.83	0.020	210234.2551	992.157006
P9	57.00	80.93	1.04816533	2.63E-05	0.002552	0.411	14954.93	0.028	309676.2728	324.591934

1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	9.5000	Q1	12.8400
-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.3400	Q2	11.3500
0.00	-1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	0.00	-1.1300	Q3	4.7807
0.00	0.00	-1.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.3100	Q4	2.4407
0.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	-2.5900	Q5	2.3589
468.93	1139.29	0.00	0.00	0.00	0.00	-992.16	-324.59	0.0000	0.0000	Q6	0.0489
0.00	0.00	1987.04	42.73	-1979.23	0.00	324.59	0.0000	0.0000	0.0000	Q7	2.5411
										Q8	4.7193
										Q9	1.0482

**Tabla 3.106. ITERACIÓN 7: OPCIÓN INICIAL
COSTO DE LA OPCIÓN INICIAL**

Tubería	D (mm)	L (m)	Re	C _j	Costo	
					S./m	S/
P1	81.40	253.14	128283.24	1.00	94.61	23949.58
P2	81.40	94.47	113396.79	0.88	94.61	8937.81
P3	67.80	84.06	57344.50	0.45	86.87	7302.29
P4	57.00	150.07	34823.32	0.27	82.78	12422.79
P5	57.00	268.68	33655.72	0.26	82.78	22241.33
P6	57.00	82.51	697.30	0.01	82.78	6830.18
P7	57.00	252.75	36256.08	0.28	82.78	20922.65
P8	67.80	179.66	56607.83	0.44	86.87	15607.06
P9	57.00	80.93	14954.93	0.12	82.78	6699.39
			128283.24		Total	124913.07

**Tabla 3.107. ITERACIÓN 7: OPCIÓN INICIAL
CÁLCULO DE LA CARGA DE PRESIÓN EN NUDOS**

Nudo	Cota		Carga de Presión P/g (m H ₂ O)
	Z _T (msnm)	Z _P (msnm)	
R-1	147.25	147.25	
J1	124.52	130.75	6.23
J2	118.70	125.82	7.12
J3	113.91	123.58	9.67
J4	113.44	120.80	7.36
J5	114.42	116.11	1.69
J6	126.44	116.11	-10.33
J7	118.41	121.14	2.73

P/γ_{min} -10.33

P/γ_{max} 9.67

**Tabla 3.108. ITERACIÓN 7:
OPCIÓN INICIAL**

<i>JERARQUIZACIÓN</i>		
Opción n_i	Tubería	C_j
1	P1	1.00
2	P2	0.88
3	P3	0.45
4	P8	0.44
5	P7	0.28
6	P4	0.27
7	P5	0.26
8	P9	0.12
9	P6	0.01

Tabla 3.109. ITERACIÓN 7: OPCIÓN INICIAL

<i>BENEFICIO COSTO POR OPCIONES</i>					
Opción n_i	C_i	P_{\min}	ΔC	ΔP	$\Delta P/\Delta C$
0	124913.07	-10.33			
1	128262.11	-0.15	3349.042200	10.181722	0.00304019
2	126162.91	-7.29	1249.838100	3.041511	0.00243352
3	125563.70	-9.78	650.624400	0.549446	0.00084449
4	126303.64	-8.35	1390.568400	1.980637	0.00142434
5	126560.61	-8.44	1647.533800	1.890427	0.00114743
6	126560.61	-9.57	1647.533800	0.763779	0.00046359
7	126011.97	-8.72	1098.901200	1.609617	0.00146475
8	125244.08	-10.31	331.003700	0.018741	0.00005662
9	125250.54	-10.33	337.465900	0.000560	0.00000166

**Tabla 3.110a. ITERACIÓN 8: OPCIÓN INICIAL
CÁLCULOS HIDRÁULICOS: TEORÍA LINEAL**

CAUDALES INICIALES										
Tubería	D (mm)	L (m)	Q (lps)	$\frac{K_s}{D}$	A (m ²)	V (m/s)	Re	f	α	$\alpha Q $
P1	99.40	253.14	12.84000000	1.51E-05	0.007760	1.655	105052.88	0.018	38314.6190	491.959708
P2	81.40	94.47	11.35000000	1.84E-05	0.005204	2.181	113396.79	0.018	38275.3706	434.425457
P3	67.80	84.06	4.75000000	2.21E-05	0.003610	1.316	56976.17	0.020	98226.0275	466.573631
P4	57.00	150.07	2.41000000	2.63E-05	0.002552	0.944	34385.20	0.023	468161.3932	1128.268958
P5	57.00	268.68	3.09000000	2.63E-05	0.002552	1.211	44087.24	0.021	791907.6863	2446.994751
P6	57.00	82.51	0.78000000	2.63E-05	0.002552	0.306	11128.82	0.030	341386.0574	266.281125
P7	57.00	252.75	1.81000000	2.63E-05	0.002552	0.709	25824.57	0.024	843729.4772	1527.150354
P8	67.80	179.66	4.75000000	2.21E-05	0.003610	1.316	56976.17	0.020	209936.8083	997.199840
P9	57.00	80.93	1.81000000	2.63E-05	0.002552	0.709	25824.57	0.024	270160.3426	488.990220

	[A]	x	[Q]	=	[q]	[Q]	=	[A] ⁻¹ [q]
1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	Q1	Q1	12.8400
-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Q2	Q2	11.3500
0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	Q3	Q3	4.7756
0.00	0.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	Q4	Q4	2.4356
0.00	0.00	0.00	-1.00	0.00	0.00	Q5	Q5	1.8473
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Q6	Q6	-0.4627
466.57	1128.27	0.00	0.00	-1.00	0.00	Q7	Q7	3.0527
0.00	0.00	2446.99	266.28	0.00	-997.20	Q8	Q8	4.7244
				-1527.15	0.00	Q9	Q9	0.5417

**Tabla 3.110b. ITERACIÓN 8: OPCIÓN INICIAL
CÁLCULOS HIDRÁULICOS: TEORÍA LINEAL**

CAUDALES FINALES										
Tubería	D (mm)	L (m)	Q (lps)	$\frac{K_s}{D}$	A (m ²)	V (m/s)	Re	f	α	α/QI
P1	99.40	253.14	12.84000000	1.51E-05	0.007760	1.655	105052.88	0.018	38314.6190	491.959708
P2	81.40	94.47	11.35000000	1.84E-05	0.005204	2.181	113396.79	0.018	38275.3706	434.425457
P3	67.80	84.06	4.78070720	2.21E-05	0.003610	1.324	57344.50	0.020	98088.0618	468.930303
P4	57.00	150.07	2.44070720	2.63E-05	0.002552	0.956	34823.32	0.023	466788.3782	1139.293757
P5	57.00	268.68	2.35887254	2.63E-05	0.002552	0.924	33655.72	0.023	842368.5313	1987.039995
P6	57.00	82.51	0.04887254	2.63E-05	0.002552	0.019	697.30	0.077	874304.5427	42.729481
P7	57.00	252.75	2.54112746	2.63E-05	0.002552	0.996	36256.08	0.022	778877.3871	1979.226718
P8	67.80	179.66	4.71929280	2.21E-05	0.003610	1.307	56607.83	0.020	210234.2551	992.157006
P9	57.00	80.93	1.04816533	2.63E-05	0.002552	0.411	14954.93	0.028	309676.2728	324.591934

1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	9.5000	Q1	12.8400
-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.3400	Q2	11.3500
0.00	-1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	0.00	-1.1300	Q3	4.7807
0.00	0.00	-1.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.3100	Q4	2.4407
0.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	-2.5900	Q5	2.3589
468.93	1139.29	0.00	0.00	0.00	0.00	-992.16	-324.59	0.0000	0.0000	Q6	0.0489
0.00	0.00	1987.04	42.73	-1979.23	0.00	324.59	0.0000	0.0000	0.0000	Q7	2.5411
										Q8	4.7193
										Q9	1.0482

**Tabla 3.111. ITERACIÓN 8: OPCIÓN INICIAL
COSTO DE LA OPCIÓN INICIAL**

Tubería	D (mm)	L (m)	Re	C _j	Costo	
					S./m	S/
P1	99.40	253.14	105052.88	0.93	107.84	27298.62
P2	81.40	94.47	113396.79	1.00	94.61	8937.81
P3	67.80	84.06	57344.50	0.51	86.87	7302.29
P4	57.00	150.07	34823.32	0.31	82.78	12422.79
P5	57.00	268.68	33655.72	0.30	82.78	22241.33
P6	57.00	82.51	697.30	0.01	82.78	6830.18
P7	57.00	252.75	36256.08	0.32	82.78	20922.65
P8	67.80	179.66	56607.83	0.50	86.87	15607.06
P9	57.00	80.93	14954.93	0.13	82.78	6699.39
			113396.79		Total	128262.11

**Tabla 3.112. ITERACIÓN 8: OPCIÓN INICIAL
CÁLCULO DE LA CARGA DE PRESIÓN EN NUDOS**

Nudo	Cota		Carga de Presión P/γ (m H ₂ O)
	Z _T (msnm)	Z _P (msnm)	
R-1	147.25	147.25	
J1	124.52	140.93	16.41
J2	118.70	136.00	17.30
J3	113.91	133.76	19.85
J4	113.44	130.98	17.54
J5	114.42	126.29	11.87
J6	126.44	126.29	-0.15
J7	118.41	131.32	12.91

P/γ_{min} -0.15

P/γ_{max} 19.85

**Tabla 3.113. ITERACIÓN 8:
OPCIÓN INICIAL**

<i>JERARQUIZACIÓN</i>		
Opción n_i	Tubería	C_j
1	P2	1.00
2	P1	0.93
3	P3	0.51
4	P8	0.50
5	P7	0.32
6	P4	0.31
7	P5	0.30
8	P9	0.13
9	P6	0.01

Tabla 3.114. ITERACIÓN 8: OPCIÓN INICIAL

<i>BENEFICIO COSTO POR OPCIONES</i>					
Opción n_i	C_i	P_{\min}	ΔC	ΔP	$\Delta P/\Delta C$
0	128262.11	-0.15			
1	129511.95	2.89	1249.838100	3.041511	0.00243352
2	134188.12	4.19	5926.007400	4.337244	0.00073190
3	128912.74	0.40	650.624400	0.549446	0.00084449
4	129652.68	1.83	1390.568400	1.980637	0.00142434
5	129295.86	1.74	1033.747500	1.890427	0.00182871
6	128875.90	0.61	613.786300	0.763779	0.00124437
7	129361.02	1.46	1098.901200	1.609617	0.00146475
8	128593.12	-0.13	331.003700	0.018741	0.00005662
9	128599.58	-0.15	337.465900	0.000560	0.00000166

**Tabla 3.115a. ITERACIÓN 9: OPCIÓN INICIAL
CÁLCULOS HIDRÁULICOS: TEORÍA LINEAL**

CAUDALES INICIALES										
Tubería	D (mm)	L (m)	Q (lps)	$\frac{K_s}{D}$	A (m ²)	V (m/s)	Re	f	α	α/QI
P1	99.40	253.14	12.84000000	1.51E-05	0.007760	1.655	105052.88	0.018	38314.6190	491.959708
P2	99.40	94.47	11.35000000	1.51E-05	0.007760	1.463	92862.16	0.018	14665.2802	166.450930
P3	67.80	84.06	4.75000000	2.21E-05	0.003610	1.316	56976.17	0.020	98226.0275	466.573631
P4	57.00	150.07	2.41000000	2.63E-05	0.002552	0.944	34385.20	0.023	468161.3932	1128.268958
P5	57.00	268.68	3.09000000	2.63E-05	0.002552	1.211	44087.24	0.021	791907.6863	2446.994751
P6	57.00	82.51	0.78000000	2.63E-05	0.002552	0.306	11128.82	0.030	341386.0574	266.281125
P7	57.00	252.75	1.81000000	2.63E-05	0.002552	0.709	25824.57	0.024	843729.4772	1527.150354
P8	67.80	179.66	4.75000000	2.21E-05	0.003610	1.316	56976.17	0.020	209936.8083	997.199840
P9	57.00	80.93	1.81000000	2.63E-05	0.002552	0.709	25824.57	0.024	270160.3426	488.990220

	[A]	x	[Q]	=	[q]	[Q]	=	[A] ⁻¹ [q]
1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	Q1	12.8400
-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Q2	11.3500
0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Q3	4.7756
0.00	0.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Q4	2.4356
0.00	0.00	0.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	Q5	1.8473
0.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	0.00	0.00	Q6	-0.4627
466.57	1128.27	0.00	0.00	0.00	-997.20	-488.99	Q7	3.0527
0.00	0.00	2446.99	266.28	-1527.15	0.00	488.99	Q8	4.7244
							Q9	0.5417

**Tabla 3.115b. ITERACIÓN 9: OPCIÓN INICIAL
CÁLCULOS HIDRÁULICOS: TEORÍA LINEAL**

CAUDALES FINALES										
Tubería	D (mm)	L (m)	Q (lps)	$\frac{K_s}{D}$	A (m ²)	V (m/s)	Re	f	α	α/QI
P1	99.40	253.14	12.84000000	1.51E-05	0.007760	1.655	105052.88	0.018	38314.6190	491.959708
P2	99.40	94.47	11.35000000	1.51E-05	0.007760	1.463	92862.16	0.018	14665.2802	166.450930
P3	67.80	84.06	4.78070720	2.21E-05	0.003610	1.324	57344.50	0.020	98088.0618	468.930303
P4	57.00	150.07	2.44070720	2.63E-05	0.002552	0.956	34823.32	0.023	466788.3782	1139.293757
P5	57.00	268.68	2.35887254	2.63E-05	0.002552	0.924	33655.72	0.023	842368.5313	1987.039995
P6	57.00	82.51	0.04887254	2.63E-05	0.002552	0.019	697.30	0.077	874304.5427	42.729481
P7	57.00	252.75	2.54112746	2.63E-05	0.002552	0.996	36256.08	0.022	778877.3871	1979.226718
P8	67.80	179.66	4.71929280	2.21E-05	0.003610	1.307	56607.83	0.020	210234.2551	992.157006
P9	57.00	80.93	1.04816533	2.63E-05	0.002552	0.411	14954.93	0.028	309676.2728	324.591934

1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	9.5000	Q1	12.8400
-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.3400	Q2	11.3500
0.00	-1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	0.00	-1.1300	Q3	4.7807
0.00	0.00	-1.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.3100	Q4	2.4407
0.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	-2.5900	Q5	2.3589
468.93	1139.29	0.00	0.00	0.00	0.00	-992.16	-324.59	0.0000	0.0000	Q6	0.0489
0.00	0.00	1987.04	42.73	-1979.23	0.00	324.59	0.0000	0.0000	0.0000	Q7	2.5411
										Q8	4.7193
										Q9	1.0482

**Tabla 3.116. ITERACIÓN 9: OPCIÓN INICIAL
COSTO DE LA OPCIÓN INICIAL**

Tubería	D (mm)	L (m)	Re	C _j	Costo	
					S./m	S/
P1	99.40	253.14	105052.88	1.00	107.84	27298.62
P2	99.40	94.47	92862.16	0.88	107.84	10187.64
P3	67.80	84.06	57344.50	0.55	86.87	7302.29
P4	57.00	150.07	34823.32	0.33	82.78	12422.79
P5	57.00	268.68	33655.72	0.32	82.78	22241.33
P6	57.00	82.51	697.30	0.01	82.78	6830.18
P7	57.00	252.75	36256.08	0.35	82.78	20922.65
P8	67.80	179.66	56607.83	0.54	86.87	15607.06
P9	57.00	80.93	14954.93	0.14	82.78	6699.39
			105052.88		Total	129511.95

**Tabla 3.117. ITERACIÓN 9: OPCIÓN INICIAL
CÁLCULO DE LA CARGA DE PRESIÓN EN NUDOS**

Nudo	Cota		Carga de Presión P/γ (m H ₂ O)
	Z _T (msnm)	Z _P (msnm)	
R-1	147.25	147.25	
J1	124.52	140.93	16.41
J2	118.70	139.04	20.34
J3	113.91	136.80	22.89
J4	113.44	134.02	20.58
J5	114.42	129.33	14.91
J6	126.44	129.33	2.89
J7	118.41	134.36	15.95

P/γ_{min} 2.89
P/γ_{max} 22.89

**Tabla 3.118. ITERACIÓN 9:
OPCIÓN INICIAL**

<i>JERARQUIZACIÓN</i>		
Opción n_i	Tubería	C_j
1	P1	1.00
2	P2	0.88
3	P3	0.55
4	P8	0.54
5	P7	0.35
6	P4	0.33
7	P5	0.32
8	P9	0.14
9	P6	0.01

Tabla 3.119. ITERACIÓN 9: OPCIÓN INICIAL

<i>BENEFICIO COSTO POR OPCIONES</i>					
Opción n_i	C_i	P_{\min}	ΔC	ΔP	$\Delta P/\Delta C$
0	129511.95	2.89			
1	135437.96	7.23	5926.007400	4.337244	0.00073190
2	131723.49	4.19	2211.542700	1.296684	0.00058633
3	130162.58	3.44	650.624400	0.549446	0.00084449
4	130902.52	4.87	1390.568400	1.980637	0.00142434
5	130548.53	4.78	1036.581600	1.890427	0.00182371
6	130125.74	3.66	613.786300	0.763779	0.00124437
7	131644.60	4.78	2132.648700	1.890427	0.00088642
8	129842.96	2.91	331.003700	0.018741	0.00005662
9	129849.42	2.89	337.465900	0.000560	0.00000166

**Tabla 3.120a. ITERACIÓN 10: OPCIÓN INICIAL
CÁLCULOS HIDRÁULICOS: TEORÍA LINEAL**

CAUDALES INICIALES										
Tubería	D (mm)	L (m)	Q (lps)	$\frac{K_s}{D}$	A (m ²)	V (m/s)	Re	f	α	α/QI
P1	99.40	253.14	12.84000000	1.51E-05	0.007760	1.655	105052.9	0.018	38314.6190	491.959708
P2	99.40	94.47	11.35000000	1.51E-05	0.007760	1.463	92862.16	0.018	14665.2802	166.450930
P3	67.80	84.06	4.75000000	2.21E-05	0.003610	1.316	56976.17	0.020	98226.0275	466.573631
P4	57.00	150.07	2.41000000	2.63E-05	0.002552	0.944	34385.20	0.023	468161.3932	1128.268958
P5	57.00	268.68	3.09000000	2.63E-05	0.002552	1.211	44087.24	0.021	791907.6863	2446.994751
P6	57.00	82.51	0.78000000	2.63E-05	0.002552	0.306	11128.82	0.030	341386.0574	266.281125
P7	67.80	252.75	1.81000000	2.21E-05	0.003610	0.501	21710.92	0.025	369494.3198	668.784719
P8	67.80	179.66	4.75000000	2.21E-05	0.003610	1.316	56976.17	0.020	209936.8083	997.199840
P9	57.00	80.93	1.81000000	2.63E-05	0.002552	0.709	25824.57	0.024	270160.3426	488.990220

	[A]	x	[Q]	=	[q]	[Q]	=	[A] ⁻¹ [q]
1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	9.5000
-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.3400
0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	0.00	-1.1300
0.00	0.00	-1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	-2.3100
0.00	0.00	0.00	-1.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	-2.5900
466.57	1128.27	0.00	0.00	0.00	-997.20	-488.99	0.00	0.0000
0.00	0.00	2446.99	266.28	-668.78	0.00	488.99	0.00	0.0000
			Q1			Q1		12.8400
			Q2			Q2		11.3500
			Q3			Q3		4.6659
			Q4			Q4		2.3259
			Q5			Q5		1.1565
			Q6			Q6		-1.1535
			Q7			Q7		3.7435
			Q8			Q8		4.8341
			Q9			Q9		-0.0394

**Tabla 3.120b. ITERACIÓN 10: OPCIÓN INICIAL
CÁLCULOS HIDRÁULICOS: TEORÍA LINEAL**

CAUDALES FINALES										
Tubería	D (mm)	L (m)	Q (lps)	$\frac{K_s}{D}$	A (m ²)	V (m/s)	Re	f	α	$\alpha Q $
P1	99.40	253.14	12.84000000	1.51E-05	0.007760	1.655	105052.9	0.018	38314.6190	491.959708
P2	99.40	94.47	11.35000000	1.51E-05	0.007760	1.463	92862.16	0.018	14665.2802	166.450930
P3	67.80	84.06	4.73304386	2.21E-05	0.003610	1.311	56772.78	0.020	98302.7257	465.271112
P4	57.00	150.07	2.39304386	2.63E-05	0.002552	0.938	34143.27	0.023	468929.8057	1122.169590
P5	57.00	268.68	1.83878728	2.63E-05	0.002552	0.721	26235.29	0.024	893506.5471	1642.968475
P6	57.00	82.51	-0.47121272	2.63E-05	0.002552	-0.185	6723.13	0.035	393094.5651	185.231158
P7	67.80	252.75	3.06121272	2.21E-05	0.003610	0.848	36719.19	0.022	325944.1536	997.784388
P8	67.80	179.66	4.76695614	2.21E-05	0.003610	1.320	57179.55	0.020	209773.6678	999.981875
P9	57.00	80.93	0.57574343	2.63E-05	0.002552	0.226	8214.54	0.033	364096.4295	209.626126

1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	9.5000	Q1	Q1	12.8400
-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.3400	Q2	Q2	11.3500
0.00	-1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	0.00	-1.1300	Q3	Q3	4.7330
0.00	0.00	-1.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.3100	Q4	Q4	2.3930
0.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	-2.5900	Q5	Q5	1.8388
465.27	1122.17	0.00	0.00	0.00	0.00	-999.98	-209.63	0.00	0.0000	Q6	Q6	-0.4712
0.00	0.00	1642.97	185.23	-997.78	0.00	209.63	0.00	0.0000	0.0000	Q7	Q7	3.0612
									0.0000	Q8	Q8	4.7670
									0.0000	Q9	Q9	0.5757

**Tabla 3.121. ITERACIÓN 10: OPCIÓN INICIAL
COSTO DE LA OPCIÓN INICIAL**

Tubería	D (mm)	L (m)	Re	C _j	Costo	
					S./m	S/
P1	99.40	253.14	105052.88	1.00	107.84	27298.62
P2	99.40	94.47	92862.16	0.88	107.84	10187.64
P3	67.80	84.06	56772.78	0.54	86.87	7302.29
P4	57.00	150.07	34143.27	0.33	82.78	12422.79
P5	57.00	268.68	26235.29	0.25	82.78	22241.33
P6	57.00	82.51	6723.13	0.06	82.78	6830.18
P7	67.80	252.75	36719.19	0.35	86.87	21956.39
P8	67.80	179.66	57179.55	0.54	86.87	15607.06
P9	57.00	80.93	8214.54	0.08	82.78	6699.39
			105052.88		Total	130545.70

**Tabla 3.122. ITERACIÓN 10: OPCIÓN INICIAL
CÁLCULO DE LA CARGA DE PRESIÓN EN NUDOS**

Nudo	Cota		Carga de Presión P/γ (m H ₂ O)
	Z _T (msnm)	Z _P (msnm)	
R-1	147.25	147.25	
J1	124.52	140.93	16.41
J2	118.70	139.04	20.34
J3	113.91	136.84	22.93
J4	113.44	134.16	20.72
J5	114.42	131.14	16.72
J6	126.44	131.22	4.78
J7	118.41	134.28	15.87

P/γ_{min} 4.78

P/γ_{max} 22.93

**Tabla 3.123. ITERACIÓN 10:
OPCIÓN INICIAL**

<i>JERARQUIZACIÓN</i>		
Opción n_i	Tubería	C_j
1	P1	1.00
2	P2	0.88
3	P3	0.54
4	P8	0.54
5	P7	0.35
6	P4	0.33
7	P5	0.25
8	P9	0.08
9	P6	0.06

Tabla 3.124. ITERACIÓN 10: OPCIÓN INICIAL

<i>BENEFICIO COSTO POR OPCIONES</i>					
Opción n_i	C_i	P_{\min}	ΔC	ΔP	$\Delta P/\Delta C$
0	130545.70	4.78			
1	136471.71	9.12	5926.007400	4.337244	0.00073190
2	132757.24	6.08	2211.542700	1.296684	0.00058633
3	131936.27	6.86	1390.568400	2.076088	0.00149298
4	131196.32	5.31	650.624400	0.530340	0.00081512
5	132501.98	6.18	1956.285000	1.395608	0.00071340
6	131159.49	5.51	613.786300	0.729495	0.00118852
7	131644.60	5.63	1098.901200	0.847650	0.00077136
8	130876.70	4.78	331.003700	-0.002164	-0.00000654
9	130883.17	4.76	337.465900	-0.018024	-0.00005341

**Tabla 3.125a. ITERACIÓN 11: OPCIÓN INICIAL
CÁLCULOS HIDRÁULICOS: TEORÍA LINEAL**

CAUDALES INICIALES										
Tubería	D (mm)	L (m)	Q (lps)	$\frac{K_s}{D}$	A (m ²)	V (m/s)	Re	f	α	α/QI
1	99.40	253.14	12.84000000	1.51E-05	0.007760	1.655	105052.88	0.018	38314.6190	491.959708
2	99.40	94.47	11.35000000	1.51E-05	0.007760	1.463	92862.16	0.018	14665.2802	166.450930
3	67.80	84.06	4.75000000	2.21E-05	0.003610	1.316	56976.17	0.020	98226.0275	466.573631
4	57.00	150.07	2.41000000	2.63E-05	0.002552	0.944	34385.20	0.023	468161.3932	1128.268958
5	57.00	268.68	3.09000000	2.63E-05	0.002552	1.211	44087.24	0.021	791907.6863	2446.994751
6	57.00	82.51	0.78000000	2.63E-05	0.002552	0.306	11128.82	0.030	341386.0574	266.281125
7	67.80	252.75	1.81000000	2.21E-05	0.003610	0.501	21710.92	0.025	369494.3198	668.784719
8	81.40	179.66	4.75000000	1.84E-05	0.005204	0.913	47456.81	0.021	87566.5750	415.941231
9	57.00	80.93	1.81000000	2.63E-05	0.002552	0.709	25824.57	0.024	270160.3426	488.990220

[A]	x	[Q]	=	[q]	[Q]	=	[A] ⁻¹ [q]
		Q1			Q1		12.8400
		Q2			Q2		11.3500
		Q3			Q3		3.5134
		Q4			Q4		1.1734
		Q5			Q5		1.0109
		Q6	=		Q6	=	-1.2991
		Q7			Q7		3.8891
		Q8			Q8		5.9866
		Q9			Q9		0.9675
1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	-1.00	0.00	0.00
0.00	0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	-1.00	-1.00	0.00	0.00	0.00
466.57	1128.27	0.00	0.00	-415.94	-488.99	-488.99	-488.99
0.00	0.00	2446.99	266.28	-668.78	488.99	488.99	488.99

**Tabla 3.125b. ITERACIÓN 11: OPCIÓN INICIAL
CÁLCULOS HIDRÁULICOS: TEORÍA LINEAL**

CAUDALES FINALES										
Tubería	D (mm)	L (m)	Q (lps)	$\frac{K_s}{D}$	A (m ²)	V (m/s)	Re	f	α	α/QI
1	99.40	253.14	12.84000000	1.51E-05	0.007760	1.655	105052.88	0.018	38314.6190	491.959708
2	99.40	94.47	11.35000000	1.51E-05	0.007760	1.463	92862.16	0.018	14665.2802	166.450930
3	67.80	84.06	3.99415352	2.21E-05	0.003610	1.106	47909.80	0.021	102054.6253	407.621841
4	57.00	150.07	1.65415352	2.63E-05	0.002552	0.648	23600.99	0.025	512017.0215	846.954761
5	57.00	268.68	1.77039951	2.63E-05	0.002552	0.694	25259.56	0.024	901707.8284	1596.383097
6	57.00	82.51	-0.53960049	2.63E-05	0.002552	-0.211	7698.87	0.033	378082.0488	204.013259
7	67.80	252.75	3.12960049	2.21E-05	0.003610	0.867	37539.50	0.022	324289.2801	1014.895890
8	81.40	179.66	5.50584648	1.84E-05	0.005204	1.058	55008.40	0.020	84744.7685	466.591685
9	57.00	80.93	1.24624598	2.63E-05	0.002552	0.488	17781.08	0.027	296246.4010	369.195888

[A]	x	[Q]	=	[q]	[Q]	=	[A] ⁻¹ [q]
1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	12.8400
-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.3500
0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.9941
0.00	0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.6541
0.00	0.00	0.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	1.7704
407.62	846.95	0.00	0.00	-466.59	-369.20	-0.5396	3.1296
0.00	0.00	1596.38	204.01	-1014.90	369.20	0.0000	5.5059

**Tabla 3.126. ITERACIÓN 11: OPCIÓN INICIAL
COSTO DE LA OPCIÓN INICIAL**

Tuberia	D (mm)	L (m)	Re	C _j	Costo	
					S./m	S/
P1	99.40	253.14	105052.88	1.00	107.84	27298.62
P2	99.40	94.47	92862.16	0.88	107.84	10187.64
P3	67.80	84.06	47909.80	0.46	86.87	7302.29
P4	57.00	150.07	23600.99	0.22	82.78	12422.79
P5	57.00	268.68	25259.56	0.24	82.78	22241.33
P6	57.00	82.51	7698.87	0.07	82.78	6830.18
P7	67.80	252.75	37539.50	0.36	86.87	21956.39
P8	81.40	179.66	55008.40	0.52	94.61	16997.63
P9	57.00	80.93	17781.08	0.17	82.78	6699.39
			105052.88		Total	131936.27

**Tabla 3.127. ITERACIÓN 11: OPCIÓN INICIAL
CÁLCULO DE LA CARGA DE PRESIÓN EN NUDOS**

Nudo	Cota		Carga de Presion P/γ (m H ₂ O)
	Z _T (msnm)	Z _P (msnm)	
R-1	147.25	147.25	
J1	124.52	140.93	16.41
J2	118.70	139.04	20.34
J3	113.91	137.42	23.51
J4	113.44	136.01	22.57
J5	114.42	133.19	18.77
J6	126.44	133.30	6.86
J7	118.41	136.48	18.07

P/γ_{min} 6.86

P/γ_{max} 23.51

**Tabla 3.128. ITERACIÓN 11:
OPCIÓN INICIAL**

<i>JERARQUIZACIÓN</i>		
Opción n_i	Tubería	C_j
1	P1	1.00
2	P2	0.88
3	P8	0.52
4	P3	0.46
5	P7	0.36
6	P5	0.24
7	P4	0.22
8	P9	0.17
9	P6	0.07

Tabla 3.129. ITERACIÓN 11: OPCIÓN INICIAL

<i>BENEFICIO COSTO POR OPCIONES</i>					
Opción n_i	C_i	P_{\min}	ΔC	ΔP	$\Delta P/\Delta C$
0	131936.27	6.86			
1	137862.28	11.20	5926.007400	4.337244	0.00073190
2	134147.81	8.16	2211.542700	1.296684	0.00058633
3	134313.17	8.14	2376.901800	1.277858	0.00053761
4	132586.89	7.15	650.624400	0.293822	0.00045160
5	133892.55	8.31	1956.285000	1.447711	0.00074003
6	133035.17	7.62	1098.901200	0.765159	0.00069629
7	132550.05	7.14	613.786300	0.284531	0.00046357
8	132267.27	6.88	331.003700	0.018582	0.00005614
9	132273.73	6.84	337.465900	-0.022617	-0.00006702

**Tabla 3.130a. ITERACIÓN 12: OPCIÓN INICIAL
CÁLCULOS HIDRÁULICOS: TEORÍA LINEAL**

CAUDALES INICIALES										
Tubería	D (mm)	L (m)	Q (lps)	$\frac{K_s}{D}$	A (m ²)	V (m/s)	Re	f	α	$\alpha Q $
1	99.40	253.14	12.84000000	1.51E-05	0.007760	1.655	105052.88	0.018	38314.6190	491.959708
2	99.40	94.47	11.35000000	1.51E-05	0.007760	1.463	92862.16	0.018	14665.2802	166.450930
3	67.80	84.06	4.75000000	2.21E-05	0.003610	1.316	56976.17	0.020	98226.0275	466.573631
4	57.00	150.07	2.41000000	2.63E-05	0.002552	0.944	34385.20	0.023	468161.3932	1128.268958
5	57.00	268.68	3.09000000	2.63E-05	0.002552	1.211	44087.24	0.021	791907.6863	2446.994751
6	57.00	82.51	0.78000000	2.63E-05	0.002552	0.306	11128.82	0.030	341386.0574	266.281125
7	81.40	252.75	1.81000000	1.84E-05	0.005204	0.348	18083.54	0.027	154998.3408	280.546997
8	81.40	179.66	4.75000000	1.84E-05	0.005204	0.913	47456.81	0.021	87566.5750	415.941231
9	57.00	80.93	1.81000000	2.63E-05	0.002552	0.709	25824.57	0.024	270160.3426	488.990220

1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	9.5000	Q1	12.8400
-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.3400	Q2	11.3500
0.00	-1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	0.00	-1.1300	Q3	3.4262
0.00	0.00	-1.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.3100	Q4	1.0862
0.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	-2.5900	Q5	0.5652
466.57	1128.27	0.00	0.00	0.00	0.00	-415.94	-488.99	x	0.0000	Q6	-1.7448
0.00	0.00	2446.99	266.28	-280.55	0.00	0.00	488.99		0.0000	Q7	4.3348
									0.0000	Q8	6.0738
									0.0000	Q9	0.6090

**Tabla 3.130b. ITERACIÓN 12: OPCIÓN INICIAL
CÁLCULOS HIDRÁULICOS: TEORÍA LINEAL**

CAUDALES FINALES										
Tubería	D (mm)	L (m)	Q (lps)	$\frac{K_s}{D}$	A (m ²)	V (m/s)	Re	f	α	$\alpha Q $
1	99.40	253.14	12.84000000	1.51E-05	0.007760	1.655	105052.88	0.018	38314.6190	491.959708
2	99.40	94.47	11.35000000	1.51E-05	0.007760	1.463	92862.16	0.018	14665.2802	166.450930
3	67.80	84.06	3.92501502	2.21E-05	0.003610	1.087	47080.49	0.021	102453.3265	402.130845
4	57.00	150.07	1.58501502	2.63E-05	0.002552	0.621	22614.54	0.025	517390.4195	820.071586
5	57.00	268.68	1.33588260	2.63E-05	0.002552	0.524	19059.99	0.026	966446.1039	1291.058534
6	57.00	82.51	-0.97411740	2.63E-05	0.002552	-0.382	13898.43	0.028	321804.3553	313.475222
7	81.40	252.75	3.56411740	1.84E-05	0.005204	0.685	35608.76	0.023	131525.3031	468.771621
8	81.40	179.66	5.57498498	1.84E-05	0.005204	1.071	55699.15	0.020	84512.8265	471.157738
9	57.00	80.93	0.88086758	2.63E-05	0.002552	0.345	12567.97	0.029	324125.2070	285.511387

[A]	x	[Q]	=	[q]	[Q]	=	[A] ⁻¹ [q]
1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	12.8400
-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.3500
0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.9250
0.00	0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.5850
0.00	0.00	0.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	1.3358
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.9742
402.13	820.07	0.00	0.00	-471.16	-285.51	-285.51	3.5642
0.00	0.00	1291.06	313.48	-468.77	285.51	285.51	5.5750
							0.8808

**Tabla 3.131. ITERACIÓN 12: OPCIÓN INICIAL
COSTO DE LA OPCIÓN INICIAL**

Tubería	D (mm)	L (m)	Re	C _j	Costo	
					S./m	S/
P1	99.40	253.14	105052.88	1.00	107.84	27298.62
P2	99.40	94.47	92862.16	0.88	107.84	10187.64
P3	67.80	84.06	47080.49	0.45	86.87	7302.29
P4	57.00	150.07	22614.54	0.22	82.78	12422.79
P5	57.00	268.68	19059.99	0.18	82.78	22241.33
P6	57.00	82.51	13898.43	0.13	82.78	6830.18
P7	81.40	252.75	35608.76	0.34	94.61	23912.68
P8	81.40	179.66	55699.15	0.53	94.61	16997.63
P9	57.00	80.93	12567.97	0.12	82.78	6699.39
			105052.88		Total	133892.55

**Tabla 3.132. ITERACIÓN 12: OPCIÓN INICIAL
CÁLCULO DE LA CARGA DE PRESIÓN EN NUDOS**

Nudo	Cota		Carga de Presión P/γ (m H ₂ O)
	Z _T (msnm)	Z _P (msnm)	
R-1	147.25	147.25	
J1	124.52	140.93	16.41
J2	118.70	139.04	20.34
J3	113.91	137.47	23.56
J4	113.44	136.17	22.73
J5	114.42	134.44	20.02
J6	126.44	134.75	8.31
J7	118.41	136.42	18.01

P/γ_{min} 8.31
P/γ_{max} 23.56

**Tabla 3.133. ITERACIÓN 12:
OPCIÓN INICIAL**

<i>JERARQUIZACIÓN</i>		
Opción n_i	Tubería	C_j
1	P1	1.00
2	P2	0.88
3	P8	0.53
4	P3	0.45
5	P7	0.34
6	P4	0.22
7	P5	0.18
8	P6	0.13
9	P9	0.12

Tabla 3.134. ITERACIÓN 12: OPCIÓN INICIAL

<i>BENEFICIO COSTO POR OPCIONES</i>					
Opción n_i	C_i	P_{\min}	ΔC	ΔP	$\Delta P/\Delta C$
0	133892.55	8.31			
1	139818.56	12.64	5926.007400	4.337244	0.00073190
2	136104.10	9.60	2211.542700	1.296684	0.00058633
3	140475.30	10.38	6582.742400	2.077557	0.00031561
4	134543.18	8.58	650.624400	0.273137	0.00041981
5	137236.44	9.20	3343.882500	0.893316	0.00026715
6	134506.34	8.56	613.786300	0.253943	0.00041373
7	134991.45	8.62	1098.901200	0.318508	0.00028984
8	134230.02	8.26	337.465900	-0.043691	-0.00012947
9	134223.56	8.30	331.003700	-0.006940	-0.00002097

**Tabla 3.135a. ITERACIÓN 13: OPCIÓN INICIAL
CÁLCULOS HIDRÁULICOS: TEORÍA LINEAL**

CAUDALES INICIALES										
Tubería	D (mm)	L (m)	Q (lps)	$\frac{K_s}{D}$	A (m ²)	V (m/s)	Re	f	α	$\alpha Q $
1	126.60	253.14	12.84000000	1.18E-05	0.012588	1.020	82482.27	0.019	12006.8633	154.168125
2	99.40	94.47	11.35000000	1.51E-05	0.007760	1.463	92862.16	0.018	14665.2802	166.450930
3	67.80	84.06	4.75000000	2.21E-05	0.003610	1.316	56976.17	0.020	98226.0275	466.573631
4	57.00	150.07	2.41000000	2.63E-05	0.002552	0.944	34385.20	0.023	468161.3932	1128.268958
5	57.00	268.68	3.09000000	2.63E-05	0.002552	1.211	44087.24	0.021	791907.6863	2446.994751
6	57.00	82.51	0.78000000	2.63E-05	0.002552	0.306	11128.82	0.030	341386.0574	266.281125
7	81.40	252.75	1.81000000	1.84E-05	0.005204	0.348	18083.54	0.027	154998.3408	280.546997
8	81.40	179.66	4.75000000	1.84E-05	0.005204	0.913	47456.81	0.021	87566.5750	415.941231
9	57.00	80.93	1.81000000	2.63E-05	0.002552	0.709	25824.57	0.024	270160.3426	488.990220

[A]	x	[Q]	=	[q]	[Q]	=	[A] ¹ [q]
		Q1			Q1		12.8400
		Q2			Q2		11.3500
1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	9.5000	3.4262
-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.3400	1.0862
0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	-1.00	-1.1300	0.5652
0.00	0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	-2.3100	-1.7448
0.00	0.00	0.00	-1.00	0.00	0.00	-2.5900	4.3348
466.57	1128.27	0.00	0.00	-415.94	-488.99	0.0000	6.0738
0.00	0.00	2446.99	266.28	-280.55	488.99	0.0000	0.6090

**Tabla 3.135b. ITERACIÓN 13: OPCIÓN INICIAL
CÁLCULOS HIDRÁULICOS: TEORÍA LINEAL**

CAUDALES FINALES										
Tubería	D (mm)	L (m)	Q (lps)	$\frac{K_s}{D}$	A (m ²)	V (m/s)	Re	f	α	$\alpha Q $
1	126.60	253.14	12.84000000	1.18E-05	0.012588	1.020	82482.27	0.019	12006.8633	154.168125
2	99.40	94.47	11.35000000	1.51E-05	0.007760	1.463	92862.16	0.018	14665.2802	166.450930
3	67.80	84.06	3.92501502	2.21E-05	0.003610	1.087	47080.49	0.021	102453.3265	402.130845
4	57.00	150.07	1.58501502	2.63E-05	0.002552	0.621	22614.54	0.025	517390.4195	820.071586
5	57.00	268.68	1.33588260	2.63E-05	0.002552	0.524	19059.99	0.026	966446.1039	1291.058534
6	57.00	82.51	-0.97411740	2.63E-05	0.002552	-0.382	13898.43	0.028	321804.3553	313.475222
7	81.40	252.75	3.56411740	1.84E-05	0.005204	0.685	35608.76	0.023	131525.3031	468.771621
8	81.40	179.66	5.57498498	1.84E-05	0.005204	1.071	55699.15	0.020	84512.8265	471.157738
9	57.00	80.93	0.88086758	2.63E-05	0.002552	0.345	12567.97	0.029	324125.2070	285.511387

1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	9.5000	Q1	12.8400
-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.3400	Q2	11.3500
0.00	-1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	0.00	0.00	-1.1300	Q3	3.9250
0.00	0.00	0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	=	-2.3100	Q4	1.5850
0.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	=	-2.5900	Q5	1.3358
402.13	820.07	0.00	0.00	0.00	0.00	-471.16	-285.51	0.00	0.0000	0.0000	Q6	-0.9742
0.00	0.00	1291.06	313.48	-468.77	0.00	285.51	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	Q7	3.5642
											Q8	5.5750
											Q9	0.8808

**Tabla 3.136. ITERACIÓN 13: OPCIÓN INICIAL
COSTO DE LA OPCIÓN INICIAL**

Tuberia	D (mm)	L (m)	Re	C _j	Costo	
					S./m	S/
P1	126.60	253.14	82482.27	0.89	131.25	33224.63
P2	99.40	94.47	92862.16	1.00	107.84	10187.64
P3	67.80	84.06	47080.49	0.51	86.87	7302.29
P4	57.00	150.07	22614.54	0.24	82.78	12422.79
P5	57.00	268.68	19059.99	0.21	82.78	22241.33
P6	57.00	82.51	13898.43	0.15	82.78	6830.18
P7	81.40	252.75	35608.76	0.38	94.61	23912.68
P8	81.40	179.66	55699.15	0.60	94.61	16997.63
P9	57.00	80.93	12567.97	0.14	82.78	6699.39
			92862.16		Total	139818.56

**Tabla 3.137. ITERACIÓN 13: OPCIÓN INICIAL
CÁLCULO DE LA CARGA DE PRESIÓN EN NUDOS**

Nudo	Cota		Carga de Presion P/γ (m H ₂ O)
	Z _T (msnm)	Z _P (msnm)	
R-1	147.25	147.25	
J1	124.52	145.27	20.75
J2	118.70	143.38	24.68
J3	113.91	141.80	27.89
J4	113.44	140.50	27.06
J5	114.42	138.78	24.36
J6	126.44	139.08	12.64
J7	118.41	140.75	22.34

P/γ_{min} 12.64

P/γ_{max} 27.89

**Tabla 3.138. ITERACIÓN 13:
OPCIÓN INICIAL**

<i>JERARQUIZACIÓN</i>		
Opción n_i	Tubería	C_j
1	P2	1.00
2	P1	0.89
3	P8	0.60
4	P3	0.51
5	P7	0.38
6	P4	0.24
7	P5	0.21
8	P6	0.15
9	P9	0.14

Tabla 3.139. ITERACIÓN 13: OPCIÓN INICIAL

<i>BENEFICIO COSTO POR OPCIONES</i>					
Opción n_i	C_i	P_{\min}	ΔC	ΔP	$\Delta P/\Delta C$
0	139818.56	12.64			
1	142030.10	13.94	2211.542700	1.296684	0.00058633
2	146797.63	13.58	6979.069800	0.932470	0.00013361
3	142195.46	13.99	2376.901800	1.348776	0.00056745
4	140469.18	12.92	650.624400	0.273137	0.00041981
5	143162.44	13.54	3343.882500	0.893316	0.00026715
6	140432.35	12.90	613.786300	0.253943	0.00041373
7	140917.46	12.96	1098.901200	0.318508	0.00028984
8	140156.03	12.60	337.465900	-0.043691	-0.00012947
9	140149.56	12.64	331.003700	-0.006940	-0.00002097

**Tabla 3.140a. ITERACIÓN CON EL DIÁMETRO DE MAYOR COSTO
CÁLCULOS HIDRÁULICOS: TEORÍA LINEAL**

CAUDALES INICIALES										
Tubería	D (mm)	L (m)	Q (lps)	$\frac{K_s}{D}$	A (m ²)	V (m/s)	Re	f	α	$\alpha Q $
1	126.60	253.14	12.84000000	1.18E-05	0.012588	1.020	82482.27	0.019	12006.8633	154.168125
2	126.60	94.47	11.35000000	1.18E-05	0.012588	0.902	72910.73	0.019	4599.6177	52.205660
3	126.60	84.06	4.75000000	1.18E-05	0.012588	0.377	30513.30	0.023	4979.5614	23.652917
4	126.60	150.07	2.41000000	1.18E-05	0.012588	0.191	15481.49	0.028	10517.4758	25.347117
5	126.60	268.68	3.09000000	1.18E-05	0.012588	0.245	19849.71	0.026	17675.2889	54.616643
6	126.60	82.51	0.78000000	1.18E-05	0.012588	0.062	5010.61	0.038	7931.8345	6.186831
7	126.60	252.75	1.81000000	1.18E-05	0.012588	0.144	11627.17	0.030	19103.5444	34.577415
8	126.60	179.66	4.75000000	1.18E-05	0.012588	0.377	30513.30	0.023	10642.7314	50.552974
9	126.60	80.93	1.81000000	1.18E-05	0.012588	0.144	11627.17	0.030	6116.9133	11.071613

1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	9.5000	Q1	Q1	12.8400
-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.3400	Q2	Q2	11.3500
0.00	-1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	0.00	0.00	-1.1300	Q3	Q3	5.4177
0.00	0.00	-1.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	=	-2.3100	Q4	Q4	3.0777
0.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	=	-2.5900	Q5	Q5	1.9284
23.65	25.35	0.00	0.00	0.00	0.00	-50.55	-11.07	-11.07	0.0000	0.0000	Q6	Q6	-0.3816
0.00	0.00	54.62	6.19	-34.58	0.00	11.07	11.07	11.07	0.0000	0.0000	Q7	Q7	2.9716
											Q8	Q8	4.0823
											Q9	Q9	-0.0193

**Tabla 3.140b. ITERACIÓN CON EL DIÁMETRO DE MAYOR COSTO
CÁLCULOS HIDRÁULICOS: TEORÍA LINEAL**

CAUDALES FINALES										
Tubería	D (mm)	L (m)	Q (lps)	$\frac{K_s}{D}$	A (m ²)	V (m/s)	Re	f	α	$\alpha Q $
1	126.60	253.14	12.84000000	1.18E-05	0.012588	1.020	82482.27	0.019	12006.8633	154.168125
2	126.60	94.47	11.35000000	1.18E-05	0.012588	0.902	72910.73	0.019	4599.6177	52.205660
3	126.60	84.06	5.15102896	1.18E-05	0.012588	0.409	33089.45	0.023	4885.1738	25.163672
4	126.60	150.07	2.81102896	1.18E-05	0.012588	0.223	18057.64	0.027	10110.7686	28.421663
5	126.60	268.68	2.38099628	1.18E-05	0.012588	0.189	15295.17	0.028	18889.2630	44.975265
6	126.60	82.51	0.07099628	1.18E-05	0.012588	0.006	456.07	0.094	19625.1117	1.393310
7	126.60	252.75	2.51900372	1.18E-05	0.012588	0.200	16181.71	0.027	17512.6144	44.114341
8	126.60	179.66	4.34897104	1.18E-05	0.012588	0.345	27937.15	0.024	10869.0900	47.269358
9	126.60	80.93	0.69996732	1.18E-05	0.012588	0.056	4496.49	0.039	8042.2547	5.629315

[A]	x	[Q]	=	[q]	[Q]	=	[A] ⁻¹ [q]
1.00		Q1		Q1			12.8400
-1.00		Q2		Q2			11.3500
0.00		Q3		Q3			5.1510
0.00		Q4		Q4			2.8110
0.00		Q5		Q5			2.3810
0.00		Q6		Q6			0.0710
0.00		Q7		Q7			2.5190
25.16		Q8		Q8			4.3490
0.00		Q9		Q9			0.7000

Tabla 3.141. ITERACIÓN CON EL DIÁMETRO DE MAYOR COSTO

COSTO DE LA OPCIÓN INICIAL

Tubería	D (mm)	L (m)	Re	C _j	Costo	
					S././ m	S/
P1	126.60	253.14	82482.27	1.00	131.25	33224.63
P2	126.60	94.47	72910.73	0.88	131.25	12399.19
P3	126.60	84.06	33089.45	0.40	131.25	11032.88
P4	126.60	150.07	18057.64	0.22	131.25	19696.69
P5	126.60	268.68	15295.17	0.19	131.25	35264.25
P6	126.60	82.51	456.07	0.01	131.25	10829.44
P7	126.60	252.75	16181.71	0.20	131.25	33173.44
P8	126.60	179.66	27937.15	0.34	131.25	23580.38
P9	126.60	80.93	4496.49	0.05	131.25	10622.06
			82482.27		Total	189822.94

Tabla 3.142. ITERACIÓN CON EL DIÁMETRO DE MAYOR COSTO

CÁLCULO DE LA CARGA DE PRESIÓN EN NUDOS

Nudo	Cota		Carga de Presion P/γ (m H ₂ O)
	Z _T	Z _P	
	(msnm)	(msnm)	
R-1	147.25	147.25	20.75
J1	124.52	145.27	25.98
J2	118.70	144.68	30.64
J3	113.91	144.55	31.03
J4	113.44	144.47	29.94
J5	114.42	144.36	17.92
J6	126.44	144.36	26.06
J7	118.41	144.47	17.92

P/γ_{min} 17.92

P/γ_{max} 31.03

**Tabla 3.143. ITERACIÓN
CON EL DIÁMETRO DE
MAYOR COSTO**

<i>JERARQUIZACIÓN</i>		
Opción n_i	Tubería	C_j
1	P1	1.00
2	P2	0.88
3	P3	0.40
4	P8	0.34
5	P4	0.22
6	P7	0.20
7	P5	0.19
8	P9	0.05
9	P6	0.01

**Tabla 3.144. ITERACIÓN CON EL DIÁMETRO DE MAYOR
COSTO**

<i>BENEFICIO COSTO POR OPCIONES</i>					
Opción n_i	C_i	P_{\min}	ΔC	ΔP	$\Delta P/\Delta C$
0	189822.94	17.92			
1	142030.10	13.94	-47792.8345	-3.980839	0.00008329
2	146797.63	13.58	-43025.30740	-4.345052	0.00010099
3	142195.46	13.99	-47627.47540	-3.928746	0.00008249
4	140469.18	12.92	-49353.75280	-5.004385	0.00010140
5	143162.44	13.54	-46660.49470	-4.384206	0.00009396
6	140432.35	12.90	-49390.59090	-5.023580	0.00010171
7	140917.46	12.96	-48905.47600	-4.959015	0.00010140
8	140156.03	12.60	-49666.9113	-5.321213	0.00010714
9	140149.56	12.64	-49673.37350	-5.284462	0.00010638

3.2.8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.2.8.1. MÉTODOS DE HARDY – CROSS CON CORRECCIÓN DE CAUDALES

En la tabla 3.145 se observa valores relativos (con respecto a resultados arrojados por el software WaterCAD v8i) de carga de presión en nudos por iteraciones realizadas empleando para el cálculo hidráulico el método de Hardy – Cross.

En la gráfica 3.23 mostrada se observa la convergencia de carga de presión en nudos se produce en la cuarta iteración empleando para el cálculo hidráulico el método de Hardy – Cross.

En la tabla 3.146 se observa valores relativos (con respecto a resultados arrojados por el software WaterCAD v8i) de caudal en tuberías por iteraciones realizadas empleando para el cálculo hidráulico el método de Hardy – Cross.

En la gráfica 3.24 mostrada se observa la convergencia de caudal en tuberías se produce en la cuarta iteración empleando para el cálculo hidráulico el método de Hardy – Cross.

Tabla 3.145. MÉTODO DE HARDY CROSS - CAUDAL RELATIVO EN TUBERÍAS

Tubería	Nro de Iteraciones										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P3	1.2102	1.1044	1.0347	1.0088	1.0021	1.0005	1.0001	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
P4	1.5205	1.2586	1.0859	1.0217	1.0052	1.0012	1.0003	1.0001	1.0000	1.0000	1.0000
P7	0.8520	0.9265	0.9756	0.9938	0.9985	0.9997	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
P9	2.0548	1.1982	1.0005	0.9976	0.9994	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
P5	2.3131	1.4376	1.1023	1.0242	1.0058	1.0014	1.0003	1.0001	1.0000	1.0000	1.0000
P6	-0.8007	0.3999	0.8597	0.9668	0.9921	0.9981	0.9996	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000
P8	0.5078	0.8360	0.9617	0.9909	0.9978	0.9995	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

Tabla 3.146. MÉTODO DE HARDY CROSS - CARGAS DE PRESIONES RELATIVAS EN NUDOS

Nudo	Nro de Iteraciones										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
J3	-	0.9771	0.9891	0.9965	0.9991	0.9998	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
J4	-	0.9623	0.9868	0.9965	0.9992	0.9998	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
J5	-	0.7610	0.9468	0.9915	0.9982	0.9996	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
J6	-	0.8212	0.9703	0.9979	0.9998	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
J7	-	1.0291	1.0149	1.0051	1.0013	1.0003	1.0001	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

Figura 3.23.
MÉTODO DE HARDY CROSS - CAUDAL RELATIVO EN TUBERÍAS

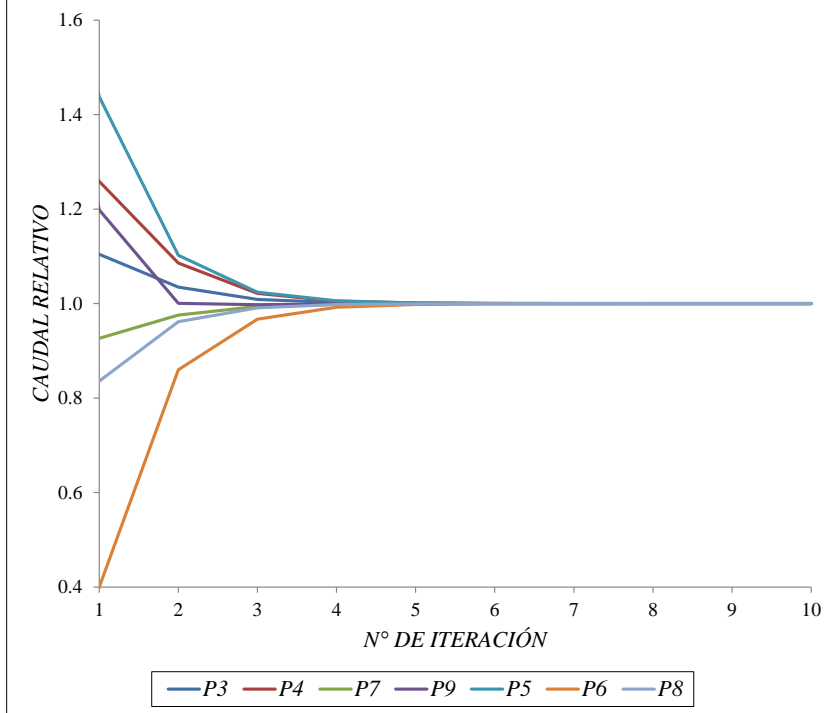
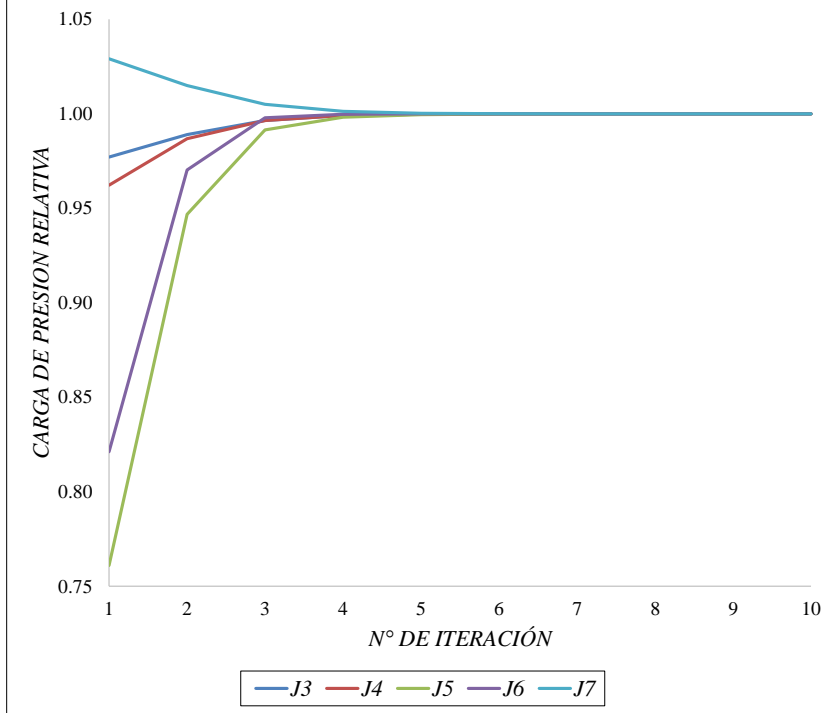


Figura 3.24.
MÉTODO DE HARDY CROSS - CARGA DE PRESIÓN RELATIVA EN NUDOS



3.2.8.2. MÉTODO DE CORNISH CON CORRECCIÓN DE CARGAS DE PRESIÓN

En la tabla 3.147. se observa valores relativos (con respecto a resultados arrojados por el software WaterCAD v8i) de carga de presión en nudos por iteraciones realizadas empleando para el cálculo hidráulico el método de Cornish.

En la gráfica 3.25. mostrada se observa la convergencia de carga de presión en nudos se produce en la quinceava iteración empleando para el cálculo hidráulico el método de Cornish.

En la tabla 3.148. se observa valores relativos (con respecto a resultados arrojados por el software WaterCAD v8i) de caudal en tuberías por iteraciones realizadas empleando para el cálculo hidráulico el método de Cornish.

En la gráfica 3.26 mostrada se observa la convergencia de caudal en tuberías se produce en la quinceava iteración empleando para el cálculo hidráulico el método de Cornish.

Tabla 3.147a. MÉTODO DE CORNISH - CAUDAL RELATIVO EN TUBERÍAS

Tubería	Nro de iteraciones										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P3	-	1.5255	1.2007	1.2030	1.1750	1.1186	1.0985	1.0808	1.0615	1.0476	1.0357
P4	-	1.2709	1.5047	1.4154	1.2551	1.2306	1.1880	1.1389	1.1084	1.0802	1.0595
P5	-	1.3647	1.3296	1.1541	1.1409	1.1899	1.1240	1.1038	1.0749	1.0551	1.0405
P6	-	-0.5716	-0.5851	0.1815	0.7005	0.5381	0.7143	0.7755	0.8420	0.8880	0.9204
P7	-	1.4081	1.3486	1.2611	1.2046	1.1581	1.1244	1.0950	1.0719	1.0536	1.0396
P8	-	1.1352	1.0173	1.1092	1.1015	1.0817	1.0568	1.0396	1.0274	1.0196	1.0142
P9	-	1.4743	1.2649	1.6722	1.2707	1.2817	1.2834	1.2257	1.1892	1.1492	1.1144

Tabla 3.147b. MÉTODO DE CORNISH - CAUDAL RELATIVO EN TUBERÍAS

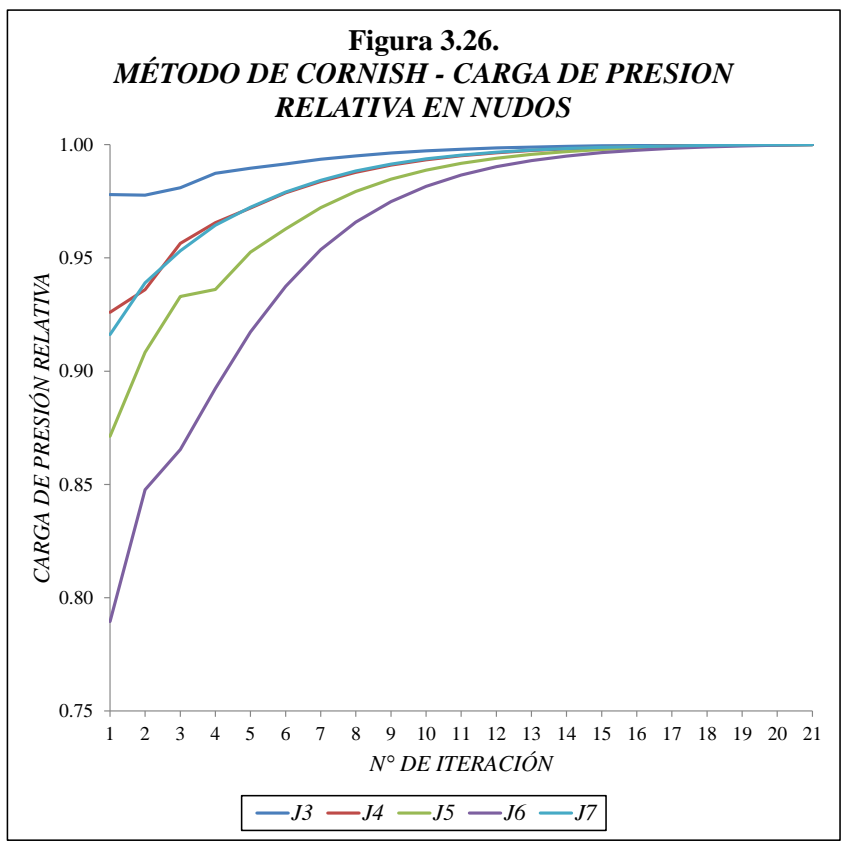
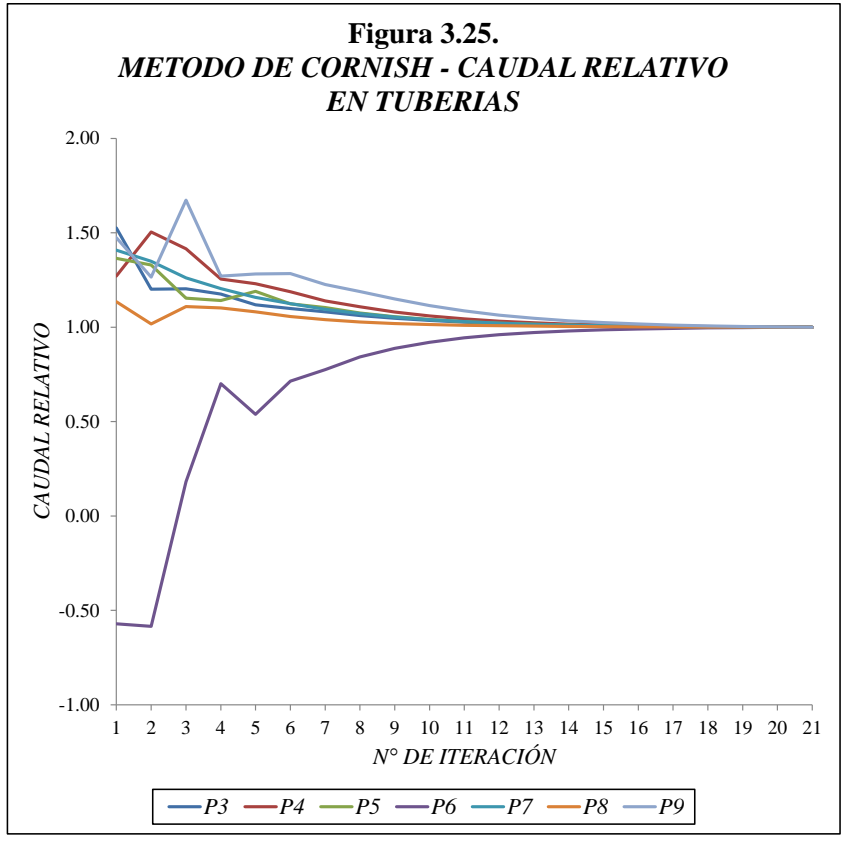
Tubería	Nro de iteraciones										
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
P3	1.0264	1.0194	1.0141	1.0101	1.0072	1.0050	1.0033	1.0021	1.0012	1.0005	1.0000
P4	1.0437	1.0319	1.0231	1.0166	1.0117	1.0081	1.0054	1.0034	1.0019	1.0008	1.0000
P5	1.0296	1.0216	1.0156	1.0111	1.0079	1.0054	1.0036	1.0023	1.0013	1.0005	1.0000
P6	0.9434	0.9598	0.9715	0.9799	0.9860	0.9904	0.9936	0.9960	0.9978	0.9991	1.0000
P7	1.0291	1.0212	1.0153	1.0110	1.0078	1.0053	1.0036	1.0022	1.0013	1.0005	1.0000
P8	1.0103	1.0074	1.0053	1.0038	1.0027	1.0019	1.0012	1.0008	1.0004	1.0002	1.0000
P9	1.0862	1.0641	1.0470	1.0339	1.0241	1.0167	1.0112	1.0071	1.0040	1.0017	1.0000

Tabla 3.148a. MÉTODO DE CORNISH - CARGA DE PRESIÓN RELATIVA EN NUDOS

Nudo	Nro de iteraciones										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
J3	-	0.9780	0.9777	0.9810	0.9874	0.9896	0.9915	0.9936	0.9950	0.9963	0.9972
J4	-	0.9260	0.9360	0.9565	0.9655	0.9720	0.9787	0.9837	0.9878	0.9909	0.9933
J5	-	0.8713	0.9083	0.9329	0.9361	0.9525	0.9628	0.9722	0.9793	0.9847	0.9888
J6	-	0.7894	0.8477	0.8654	0.8924	0.9173	0.9375	0.9536	0.9658	0.9748	0.9816
J7	-	0.9162	0.9390	0.9532	0.9644	0.9723	0.9791	0.9843	0.9883	0.9914	0.9937

Tabla 3.148b. MÉTODO DE CORNISH - CARGA DE PRESIÓN RELATIVA EN NUDOS

Nudo	Nro de iteraciones										
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
J3	0.9980	0.9985	0.9989	0.9992	0.9995	0.9996	0.9998	0.9998	0.9999	1.0000	1.0000
J4	0.9951	0.9964	0.9974	0.9982	0.9987	0.9991	0.9994	0.9996	0.9998	0.9999	1.0000
J5	0.9918	0.9940	0.9957	0.9969	0.9978	0.9985	0.9990	0.9994	0.9996	0.9998	1.0000
J6	0.9866	0.9902	0.9930	0.9950	0.9965	0.9976	0.9984	0.9990	0.9994	0.9998	1.0000
J7	0.9954	0.9967	0.9976	0.9983	0.9988	0.9992	0.9994	0.9996	0.9998	0.9999	1.0000



3.2.8.3. MÉTODO DE NEWTON – RAPHSON

En la tabla 3.149. se observa valores relativos (con respecto a resultados arrojados por el software WaterCAD v8i) de carga de presión en nudos por iteraciones realizadas empleando para el cálculo hidráulico el método de Newton – Raphson.

En la gráfica 3.27 mencionada se observa la convergencia de carga de presión en nudos se produce en la cuarta iteración empleando para el cálculo hidráulico el método de Newton – Raphson.

En la tabla 3.150. se observa valores relativos (con respecto a resultados arrojados por el software WaterCAD v8i) de caudal en tuberías por iteraciones realizadas empleando para el cálculo hidráulico el método de Newton – Raphson.

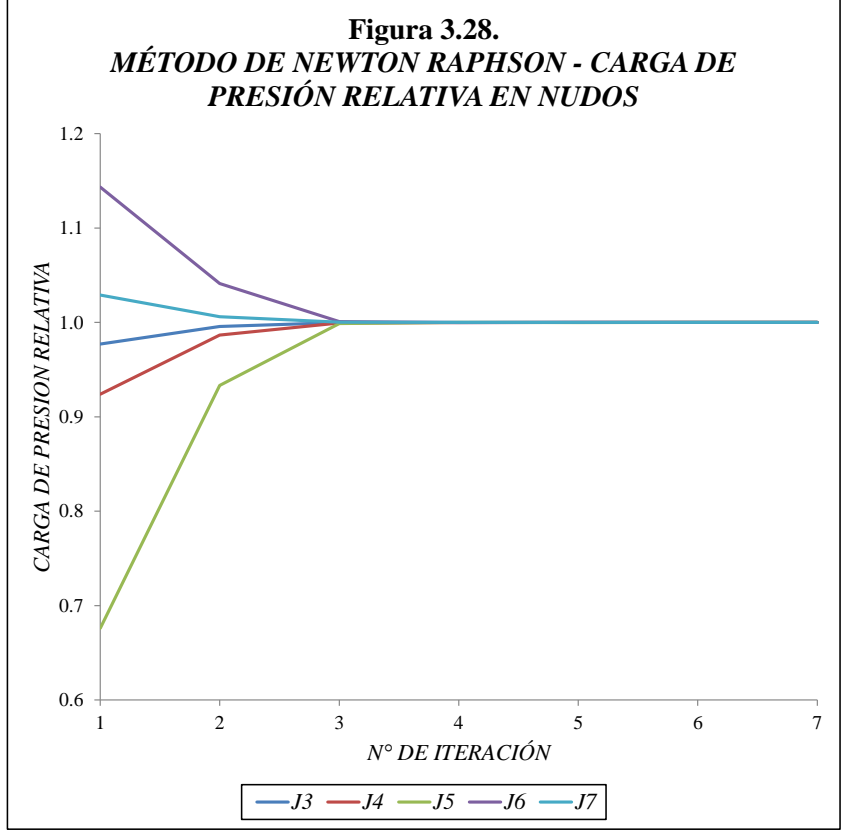
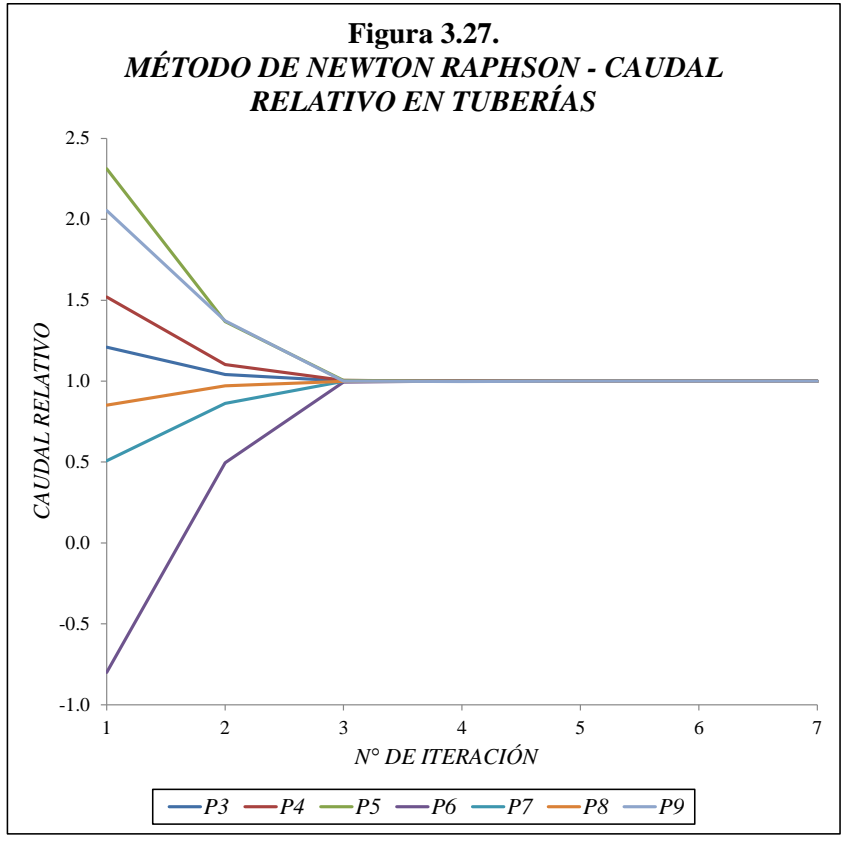
En la gráfica 3.28 mencionada se observa la convergencia de caudal en tuberías se produce en la cuarta iteración empleando para el cálculo hidráulico el método de Newton – Raphson.

Tabla 3.149. MÉTODO DE NEWTON RAPHSON - CAUDAL RELATIVO EN TUBERÍAS

Tubería	Nro de Iteraciones							
	0	1	2	3	4	5	6	7
P3	-	1.2102	1.0416	1.0017	1.0001	1.0000	1.0000	1.0000
P4	-	1.5205	1.1029	1.0042	1.0003	1.0001	1.0000	1.0000
P5	-	2.3131	1.3681	1.0046	0.9991	1.0002	1.0000	1.0000
P6	-	-0.8007	0.4952	0.9937	1.0013	0.9998	1.0001	1.0000
P7	-	0.5078	0.8620	0.9983	1.0003	0.9999	1.0000	1.0000
P8	-	0.8520	0.9707	0.9988	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000
P9	-	2.0548	1.3731	0.9994	0.9980	1.0001	0.9999	1.0000

Tabla 3.150. MÉTODO DE NEWTON RAPHSON - CARGA DE PRESIÓN RELATIVA EN NUDOS

Nudo	Nro de Iteraciones							
	0	1	2	3	4	5	6	7
J3	-	0.9771	0.9958	0.9998	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
J4	-	0.9240	0.9866	0.9995	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
J5	-	0.6759	0.9332	0.9988	1.0001	1.0000	1.0000	1.0000
J6	-	1.1435	1.0412	1.0008	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
J7	-	1.0291	1.0061	1.0003	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000



3.2.8.4. MÉTODO DE LA TEORÍA LINEAL

En la tabla 3.151 se observa valores relativos (con respecto a resultados arrojados por el software WaterCAD v8i) de carga de presión en nudos por iteraciones realizadas empleando para el cálculo hidráulico el método de la Teoría Lineal.

En la gráfica 3.29 mostrada se observa la convergencia de carga de presión en nudos se produce en la cuarta iteración empleando para el cálculo hidráulico el método de la Teoría Lineal.

En la tabla 3.152. se observa valores relativos (con respecto a resultados arrojados por el software WaterCAD v8i) de caudal en tuberías por iteraciones realizadas empleando para el cálculo hidráulico el método de la Teoría Lineal.

En la gráfica 3.30 mostrada se observa la convergencia de caudal en tuberías se produce en la cuarta iteración empleando para el cálculo hidráulico el método de la Teoría Lineal.

Tabla 3.151. MÉTODO DE LA TEORÍA LINEAL - CAUDAL RELATIVO EN TUBERÍAS

Tubería	Nro de Iteraciones							
	0	1	2	3	4	5	6	7
P3	-	1.2102	1.0416	1.0048	1.0005	1.0001	1.0000	1.0000
P4	-	1.5205	1.1029	1.0119	1.0013	1.0001	1.0000	1.0000
P5	-	2.3131	1.3681	1.0585	1.0077	1.0010	1.0001	1.0000
P6	-	-0.8007	0.4952	0.9198	0.9895	0.9987	0.9999	1.0000
P7	-	0.5078	0.8620	0.9781	0.9971	0.9996	1.0000	1.0000
P8	-	0.8520	0.9707	0.9966	0.9996	1.0000	1.0000	1.0000
P9	-	2.0548	1.3731	1.0672	1.0093	1.0012	1.0001	1.0000

Tabla 3.152. MÉTODO DE LA TEORÍA LINEAL - CARGA DE PRESIÓN RELATIVA EN NUDOS

Nudo	Nro de Iteraciones							
	0	1	2	3	4	5	6	7
J3		0.977132	0.995755	0.999514	0.999946	0.999994	0.999999	1.000000
J4		0.923987	0.986609	0.998487	0.999833	0.999981	0.999998	1.000000
J5		0.675936	0.933228	0.990913	0.998860	0.999861	0.999985	1.000000
J6		1.143465	1.041165	1.006332	1.000811	1.000099	1.000011	1.000000
J7		1.029134	1.006052	1.000710	1.000079	1.000009	1.000001	1.000000

Figura 3.29.
MÉTODO DE LA TEORÍA LINEAL - CAUDAL RELATIVO EN TUBERÍAS

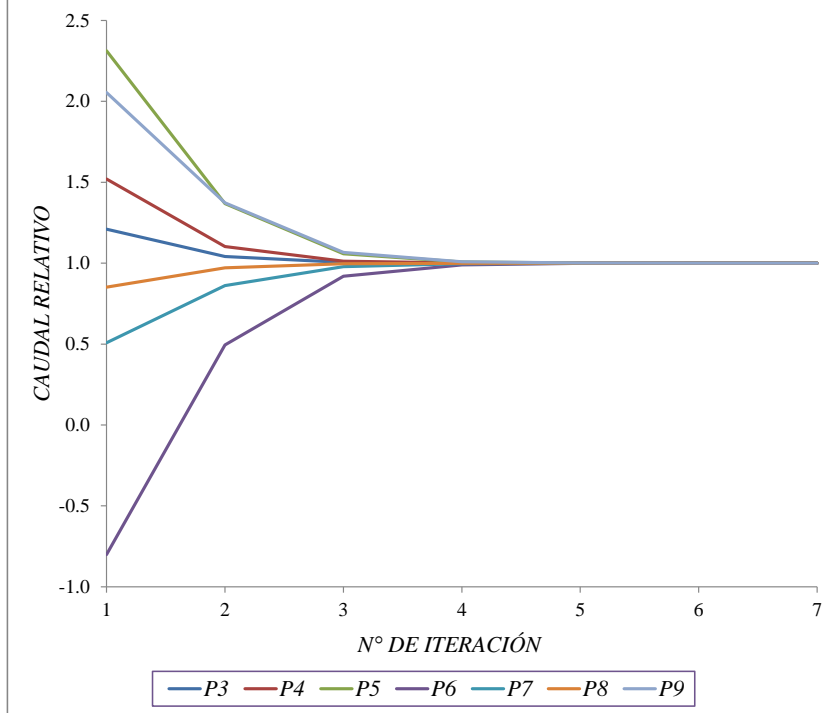
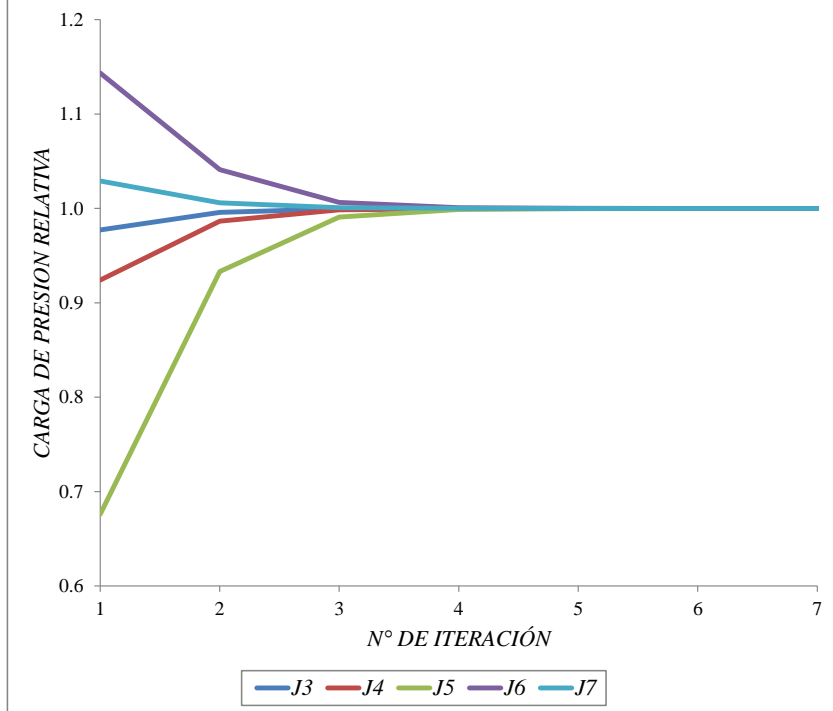


Figura 3.30.
METODO DE TEORIA LINEAL - CARGA DE PRESION RELATIVA EN NUDOS



3.2.8.5. MÉTODO DEL GRADIENTE

En la tabla 3.153. se observa valores relativos (con respecto a resultados arrojados por el software WaterCAD v8i) de carga de presión en nudos por iteraciones realizadas empleando para el cálculo hidráulico el método de Gradiente.

En la gráfica 3.31 mostrada se observa la convergencia de carga de presión en nudos se produce en la cuarta iteración empleando para el cálculo hidráulico el método de Newton – Gradiente.

En la tabla 3.154. se observa valores relativos (con respecto a resultados arrojados por el software WaterCAD v8i) de caudal en tuberías por iteraciones realizadas empleando para el cálculo hidráulico el método de Gradiente.

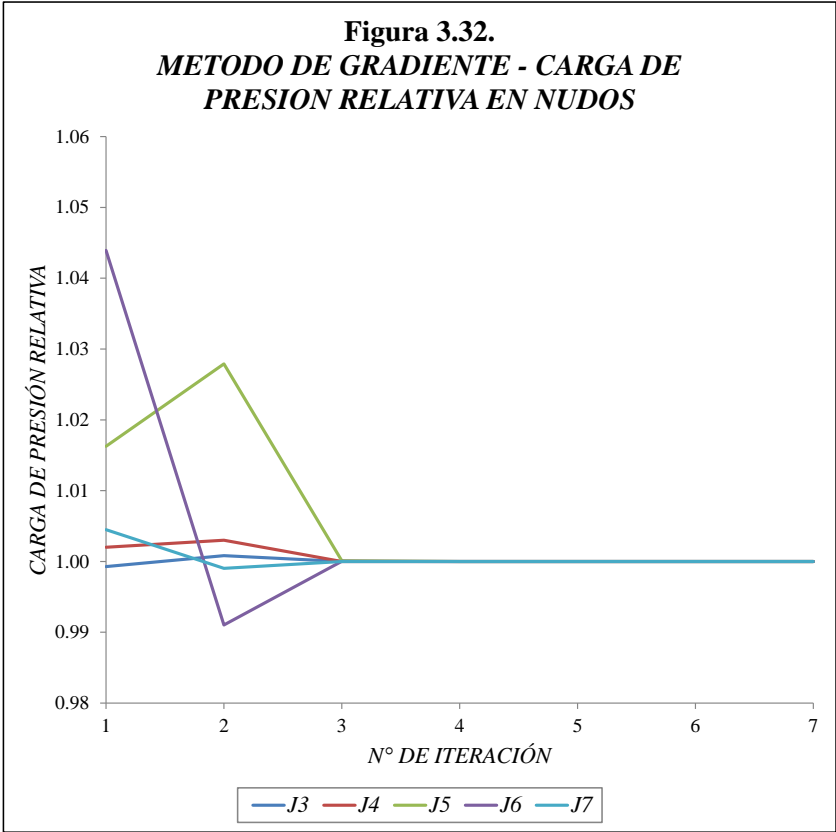
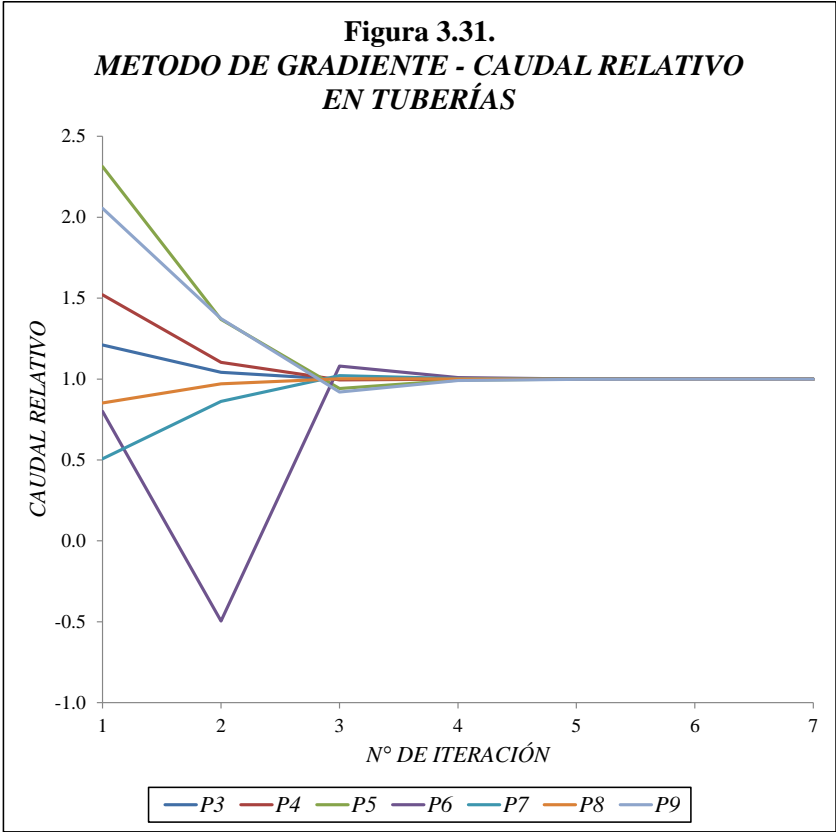
En la gráfica 3.32 mostrada se observa la convergencia de caudal en tuberías se produce en la cuarta iteración empleando para el cálculo hidráulico el método de Gradiente.

Tabla 3.153. MÉTODO DEL GRADIENTE - CAUDAL RELATIVO EN TUBERÍAS

Tubería	Nro de Iteraciones							
	0	1	2	3	4	5	6	7
P3		1.2102	1.0416	0.9981	0.9998	1.0000	1.0000	1.0000
P4		1.5205	1.1029	0.9952	0.9994	0.9999	1.0000	1.0000
P5		2.3131	1.3681	0.9418	0.9932	0.9992	0.9999	1.0000
P6		0.8007	-0.4952	1.0798	1.0093	1.0011	1.0001	1.0000
P7		0.5078	0.8620	1.0218	1.0025	1.0003	1.0000	1.0000
P8		0.8520	0.9707	1.0014	1.0002	1.0000	1.0000	1.0000
P9		2.0549	1.3731	0.9204	0.9908	0.9989	0.9999	1.0000

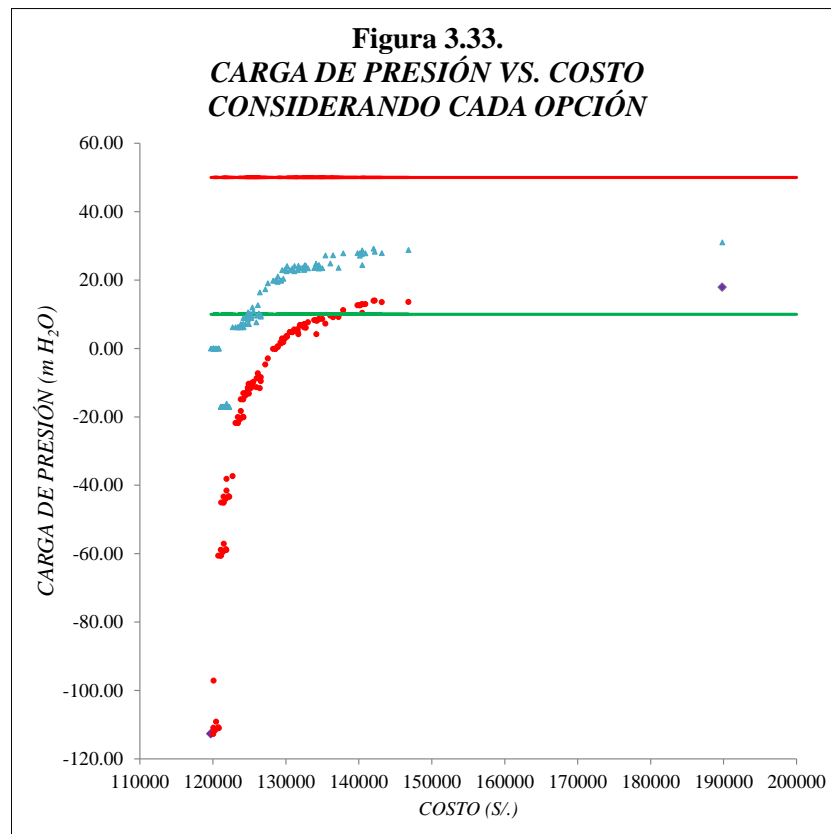
Tabla 3.154. MÉTODO DEL GRADIENTE - CARGA DE PRESIÓN RELATIVA EN NUDOS

NUDO	Nro de Iteraciones							
	0	1	2	3	4	5	6	7
J3		0.9993	1.0008	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
J4		1.0020	1.0030	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
J5		1.0163	1.0279	1.0001	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
J6		1.0439	0.9910	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
J7		1.0045	0.9990	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000



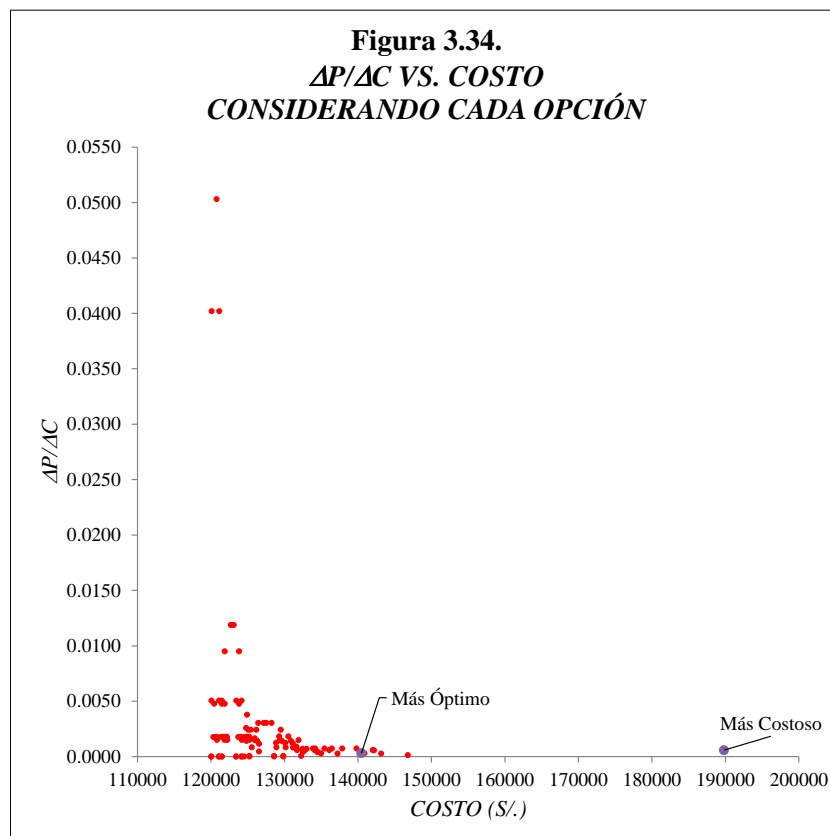
3.2.9. RESULTADOS DE OPTIMIZACIÓN

En la gráfica 3.33 mostrada se observa una nube de puntos que representan la Carga de Presión en nudos y los costos por cada opción por iteración. Así como se observa líneas límite de la carga de Presión Mínima (10 m H₂O) Y Presión Máxima (50 m H₂O) establecidos en la Norma os. 050.



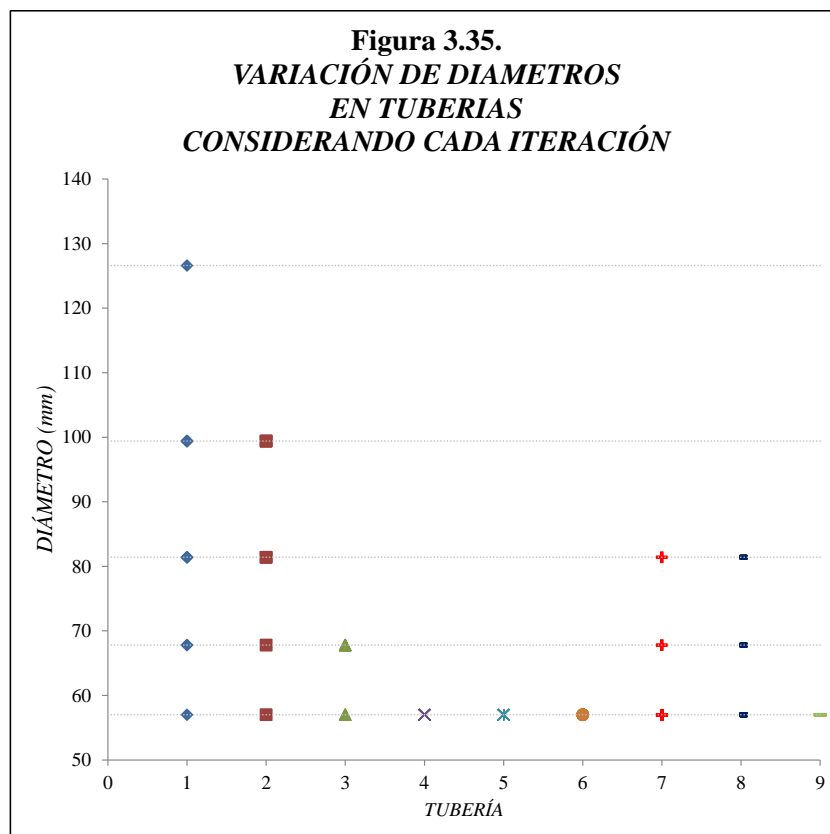
En la gráfica 3.33 se observan puntos extremos (derecha) que representan la opción más onerosa (diámetros de tuberías de 126.6 mm) con un costo de S/. 189822.94 y presión mínima de 17.92 m H₂O (J6) y máxima 31.03 m H₂O.

En la gráfica 3.34 se ha identificado la opción más óptima (iteración 12 opción 3) con un lote S/. 140475.30 y cargas de presión en nudos de 10.38 m H₂O (J6) y 24.39 m H₂O (J4).



En la gráfica 3.34 se observa una nube de puntos que representa el beneficio costo ($\Delta P/\Delta C$) vs Costo ganado al ir incrementando diámetros en las tuberías según la metodología planteada.

También se observa como el incremento del beneficio costo decae rápido (de forma exponencial), identificándose la opción óptima así como la de mayor costo.



En la gráfica 3.35 se observa que tuberías han incrementado su diámetro desde el mínimo considerado igual a 57 mm para todas las tuberías en la iteración inicial hasta su diámetro óptimo: P1 de 57 mm a 126 mm, P2 de 57 mm a 99.4 mm, P7 y P8 de 57 mm a 81.40 mm y P3 de 57 mm a 67.80 mm. En el resto de las tuberías P4, P5, P6, y P9 han mantenido el diámetro mínimo.

Las tuberías P1 y P2 son las que más veces han cambiado de diámetro (de 57 mm a 126 mm y de 57 mm a 99.4 mm respectivamente); son las que conducen los mayores caudales, lo que explica porque han cambiado de diámetro, necesitan disminuir la pérdida de carga por fricción para mantener la línea de carga dinámica en el nudo J2 en niveles que asignen una carga de presión mínima (≥ 10 mH₂O) en el resto de nudos de la red cerrada.

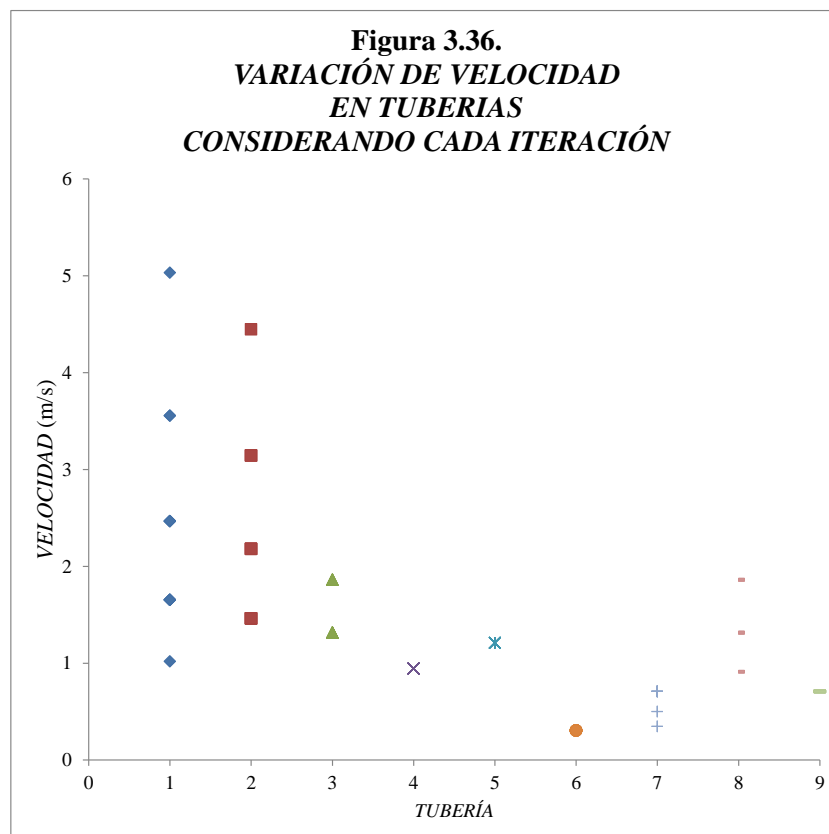
Las tuberías P7 y P8, también han incrementado considerablemente su diámetro (de 57 mm a 81.4 mm). Se encuentran emplazadas en la zona de nivel topográfico más alta, lo que explica porque cambian de diámetro, necesitan disminuir la pérdida de

carga por fricción para mantener la línea de carga dinámica en niveles que aseguren una carga de presión mínima (≥ 10 mH₂O).

La tubería P3 incrementó su diámetro al inmediato del inferior considerado de 57 mm a 67.80 mm. Esta tubería se encuentra ubicada a continuación de la P2 (una de las que considera mayor caudal), y al inicio de la repartición de caudales por lo que el caudal que transporta es considerable en relación a las tuberías P4, P5, P6 y P9; lo que explica porque cambia de diámetro (bajar la velocidad y disminuir la pérdida de carga por fricción).

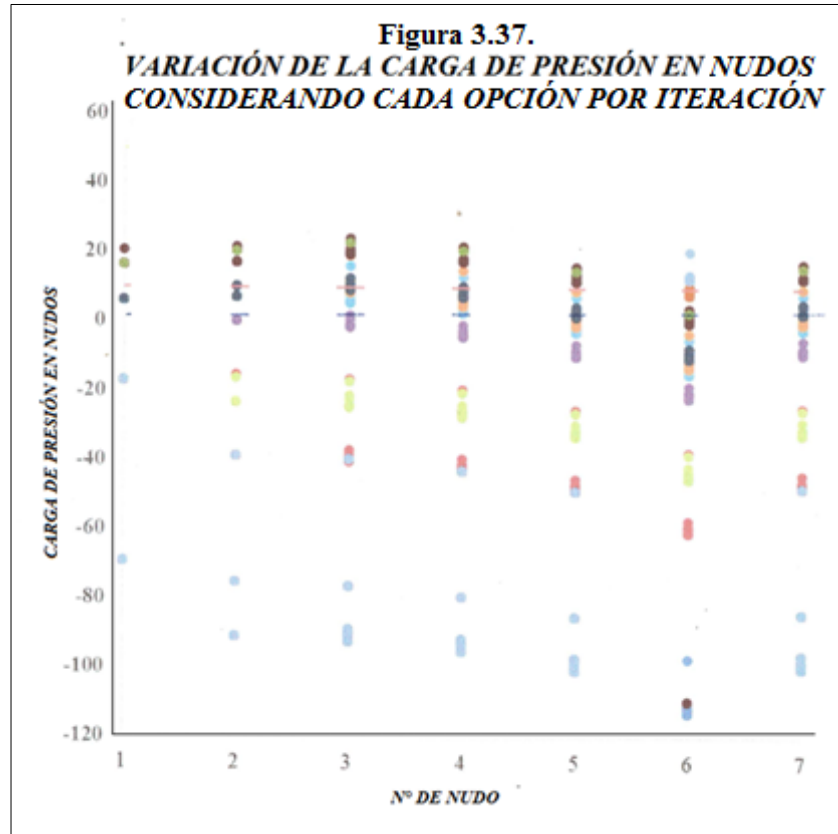
Las tuberías P4 y P5 se encuentran emplazadas en la zona de nivel topográfico más bajo, lo que explica porque no cambian de diámetro (57 mm), no necesitan disminuir la pérdida de carga por fricción para mantener la línea de carga dinámica en niveles que aseguren una carga de presión mínima (≥ 10 mH₂O).

Las tuberías P6 y P9, no cambian de diámetro, es decir mantienen el diámetro mínimo (57 mm). Estas tuberías unen la zona de nivel topográfico más alta con la más baja, lo que explica porque no cambian de diámetro (la energía potencial) además de estar emplazadas aguas abajo (nudos iniciales J6 y J7) de la repartición de caudales (J2).



En la gráfica 3.36. se observa que tuberías has disminuido su velocidad (P1, P2, P7, P8, y P3) y que tuberías las han mantenido (P4, P5, P6 y P9) desde la iteración inicial hasta la optimización.

Las tuberías P1 y P2, son las que conducen mayores caudales lo que explica porque cambiaron con mayor número de veces el diámetro y se ve reflejado en la disminución de velocidades; P1 (de 1.02 m/s a 5.03 m/s y P2 (de 1.46 m/s a 4.45 m/s); por consiguiente también disminuye la perdida de carga por fricción en tuberías, manteniendo la línea de carga dinámica que originen cargas de presión por encima de la mínima (≥ 10 mH₂O) en los nudos que conforman la red cerrada.



En la gráfica 3.37. se observa como ha incrementado la carga de presión en nudos de la red de distribución de agua, desde valores negativos hasta valores mayores a 10 m H₂O (establecido por la norma OS-050).

En la gráfica 3.36. se observa que el nudo J6 es el que mayor rango de carga de presión tiene. Este nudo es el más desfavorable para cumplir la presión mínima (≥ 10 mH₂O), lo que se explica por encontrarse en la cota más alta con respecto a otros nudos que conforman la red cerrada y por estar al extremo de la fuente de abastecimiento.

CONCLUSIONES

Las conclusiones que a continuación se exponen son extensibles a esquemas hidráulicos de redes de tuberías presurizadas distribución de agua conformado por tanque de nivel fijo, nudos y tuberías. Como ejemplo de aplicación se ha considerado el esquema hidráulico de la red de tuberías presurizadas de distribución de agua potable destinado al centro poblado “Campanita”.

FUNDAMENTOS DE HIDRÁULICA APLICADOS A REDES CERRADAS DE TUBERÍAS PRESURIZADAS PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA

Las ecuaciones que gobiernan el flujo en una red cerrada de tuberías presurizadas de distribución de agua son la ecuación de continuidad en los nudos (conservación de masa) y la ecuación de pérdida de carga en circuitos (conservación de la energía).

En cualquier esquema de red cerrada de tuberías presurizadas de distribución de agua el número de incógnitas es igual al número de tramos tuberías (P) entre el total de nudos (N) que la forman. Las incógnitas podrían ser el caudal (Q) en tuberías o las pérdidas de carga (h_f) en estas.

Si se considera el caudal en tuberías como variable incógnita en el cálculo, de la ecuación de continuidad en nudos se pueden formar un total de $(N - \lambda)$ ecuaciones lineales con respecto al caudal, donde λ es el número de nudos con carga conocida; y de la ecuación de pérdida de carga en los circuitos se pueden formar $P - (N - \lambda)$ ecuaciones lineales con respecto a la pérdida de carga. En estas últimas ecuaciones si son expresadas en función del caudal se convierte en un conjunto de ecuaciones no lineales.

Si se considera a la pérdida de carga en tuberías como variable incógnita en el cálculo, las ecuaciones de la red se convierten en un conjunto de $P - (N - \lambda)$ ecuaciones lineales con respecto a la pérdida de carga y un conjunto de $(N - \lambda)$ ecuaciones de continuidad no lineales con respecto a pérdida de carga en tuberías.

Es más común tomar como incógnita de cálculo el caudal en tuberías. La solución directa del sistema no lineal de ecuaciones simultáneas no es posible, la solución se logra aplicando métodos numéricos que permiten obtener una solución al sistema mediante procedimientos iterativos. Así, se parte de una solución inicial o propuesta que durante el proceso de cálculo es aproximada hacia la solución real con una cierta tolerancia.

Para el cálculo de las pérdidas de energía debidas al esfuerzo cortante, se utiliza la ecuación de Darcy – Weibach porque toma en cuenta en la estimación del factor de fricción, la rugosidad equivalente, la viscosidad cinemática, la velocidad del flujo y el diámetro de la tubería; es decir, variables hidrodinámicas que permiten un cálculo más apegado a las condiciones reales de funcionamiento.

El empleo de la expresión propuesta por Swamme y Jain, hace posible conocer de una forma rápida y eficiente el factor de fricción de la fórmula de Darcy – Weibach, lo que conlleva a definir el número de Reynolds para cada tubería, permitiendo realizar las modificaciones pertinentes ya sea en la geometría de la red o en las condiciones de operación con base en los resultados de dicho parámetro.

MÉTODOS DE CÁLCULO HIDRÁULICO APLICADOS A REDES CERRADAS DE TUBERÍAS PRESURIZADAS PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA:

MÉTODO DE HARDY CROSS

De las figuras 3.9 y 3.10 se concluye que el método es convergente y estable tanto para el cálculo de caudales en tuberías como para cargas de presión en nudos.

MÉTODO DE CORNISH

De las figuras 3.12 y 3.13 se concluye que el método es convergente y estable tanto para el cálculo de carga de presión en nudos como caudales en tuberías. El número

de iteraciones para lograr mencionada convergencia es aproximadamente 3 veces más que las iteraciones realizadas por el método de Hardy Cross.

MÉTODO DE NEWTON – RAPSHON

De las figuras 3.15 y 3.16 se concluye que el método es convergente y estable tanto para el cálculo de caudales en tuberías como para carga de presión en nudos.

El número de iteraciones para lograr mencionada convergencia es similar al número de iteraciones realizadas por el método de la teoría lineal.

MÉTODO DE LA TEORÍA LINEAL

De las figuras 3.18 y 3.19 se concluye que el método es convergente y estable tanto para el cálculo de caudales en tuberías como para carga de presión en nudos.

El número de iteraciones para lograr mencionada convergencia es ligeramente menor a las iteraciones realizadas por el método de Hardy Cross.

MÉTODO DEL GRADIENTE

De las figuras 3.21 y 3.22 se concluye que el método es convergente y estable tanto para el cálculo de caudales en tuberías como para carga de presión en nudos.

El número de iteraciones para lograr mencionada convergencia es similar al número de iteraciones realizadas por el método de la teoría lineal.

Los métodos utilizados y descritos líneas arriba son convergentes y estables; es decir son consistentes en modelar lo que sucede en la realidad, por lo tanto se concluye que son métodos racionales para el cálculo hidráulico de redes cerradas presurizadas de distribución de agua potable.

Con ayuda del MS – Excel se realizan los cálculos hidráulicos para redes presurizadas de distribución de agua potable de manera lógica y relativamente más sencilla aplicando el método de la teoría lineal.

METODOLOGÍA PARA DISEÑO ÓPTIMO DE REDES CERRADAS DE TUBERÍAS PRESURIZADAS PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA

La metodología propuesta tiene como objetivo el encontrar un diseño óptimo de una red de tuberías; es decir, un diseño que sea eficiente hidráulicamente al menor costo posible. El algoritmo planteado es ingenioso, lógico y relativamente sencillo.

Mientras mayor es el número total de tuberías con que cuenta un sistema de distribución de agua potable, mayor es el número de combinaciones de diámetros posibles en las diferentes tuberías; de tal forma que para llegar a un arreglo de diámetros tal que satisfaga las condiciones que una red debe cumplir para que sea eficiente, 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.

De la figura 3.35 se concluye que las tuberías principales son las de código P-1, P-2, P-7 y P-8, lo cual tiene correlación lógica con la topografía del terreno, es decir, se necesita de tuberías con mayor diámetro para que la línea de carga dinámica se mantenga en niveles que garanticen una carga de presión adecuada en este sector; lo cual se obtiene reduciendo las pérdidas de carga por fricción con el aumentando de diámetro en las tuberías.

El priorizar las tuberías sobre las cuales se aplican cambios siempre con el objetivo de hacer más eficiente el sistema a través del número de Reynolds, se debe a que es un índice básico en los estudios de flujo a presión en conductos cerrados; este

parámetro considera el tipo de flujo, propiedades del flujo, características hidráulicas calculadas en las tuberías y aspectos geométricos de las mismas.

Teniendo en cuenta que la estimación de los factores de fricción o de pérdidas locales en redes de tuberías, se basan en este número adimensional, dándole además importancia a las fuerzas de inercia y a las viscosas. Así, se toma en cuenta que el número de Reynolds en una tubería de la red disminuye cuando se sustituye tubería por otra con un diámetro mayor, implícitamente se reducen las velocidades, se hacen más pequeñas las pérdidas de energía debidas a la fricción y a accesorios instalados en ella. Por otro lado, se tiene la ventaja de evaluar resultados con conceptos físicos, de tipo ingenieril de la hidráulica. Ello permite dar seguimiento al análisis de cálculo desde un punto de vista físico.

De la figura 3.34 se concluye que el sobredimensionar diámetros de las tuberías que conforman una red presurizada de distribución de agua potable no logra beneficio significativo en mejorar la carga de presión en nudos. La opción más onerosa (S/. 189822.94) sería usar todas las tuberías con un diámetro máximo (126.6 mm) en este caso se lograría tener cargas de presión mínima y máxima de 17.92 m H₂O y 31.03 m H₂O, respectivamente. Con La opción óptima (S/. 140 475.30) se tiene cargas de presión mínima y máxima de 10.38 m H₂O y 24.39 m H₂O, respectivamente.

RECOMENDACIONES

Complementar la metodología planteada en la presente tesis a redes de tuberías presurizadas de distribución de agua potable que contemplen bombas y/o accesorios como válvulas.

Difundir entre alumnos de pregrado de ingeniería civil y carreras afines la metodología planteada en la presente tesis.

Proponer modificación de la norma técnica OS. 050 REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO, con la finalidad de incorporar el acápite de optimización en el diseño de redes de tuberías presurizadas de distribución de agua potable.

BIBLIOGRAFÍA

Rosales I. 2012. Propuesta de métodos para revisión, rehabilitación y diseño de redes de tuberías de agua potable. Tesis para optar el grado académico de Doctor en Ingeniería (Ingeniería Civil – Hidráulica). Universidad Nacional Autónoma de México.

López R. 2011. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Colombia.

Sotelo G. 2002. Hidráulica General. Volumen 1: Fundamentos. Editorial Limusa S.A. México.

Potter M. y Wiggert D. 2002. Mecánica de fluidos. Internacional Thompson Editores. México.

Saldarriaga J. 1998. Hidráulica de tuberías. McGraw-Hill Interamericana, S.A. Colombia.

McGhee T. 1999. Ingeniería ambiental. Abastecimiento de agua y alcantarillado. Sextaedición. McGraw-Hill Interamericana, S.A. Colombia.

Walski, T, Chase, D y Savic, D. 2001. Water distribution modeling. 1era Edición, Haestad Methods Inc. U.S.A

Bentley. 2010. FlowMaster v8i for Windows User's Guide.

Bentley. 2010. Watercad v8i for windows User's Guide.

Rossmann L. 2002. EPANET 2.0 en Español Análisis Hidráulico y de Calidad en Redes de Distribución de Agua. Grupo IDMH. Departamento de ingeniería hidráulica y medio ambiente. Universidad Politécnica de Valencia. España.