

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE  
HUAMANGA

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y  
CIVIL

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE  
INGENIERÍA CIVIL



“MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE EN LAS  
COMUNIDADES DE VERACRUZ Y TOTOS UBICADO EN TOTOS,  
CANGALLO-AYACUCHO”

PRESENTADO POR:  
HERBER PRADO TAQUIRE

ASESOR:  
ING. JAIME LEONARDO BENDEZU PRADO

17 DE OCTUBRE DE 2016

# Presentación

La concentración de la población y desarrollo de las localidades de Totos y Veracruz, cada vez mayores, trae consigo múltiples problemas en el suministro de agua potable, en la cual el Ministerio de Vivienda, construcción y saneamiento considera como prioridad el abastecimiento de agua potable en su Totalidad.

Es por ello que es necesario hacer un diseño adecuado a la zona de estudio y sus correspondientes datos básicos, para el abastecimiento de agua potable en las comunidades de Totos y Veracruz.

En general, el transporte de este importante liquido se logra mediante una fuente de abastecimiento(captación) y línea de conducción, el almacenamiento de un reservorio para su posterior distribución con calidad, cantidad y presión adecuada, proporcionando así un servicio eficiente y que permita llevar el liquido elemento hasta las viviendas. Para la solución de la red de distribución de agua en las comunidades de Totos y Veracruz se utilizo el método de Superficie Optima de Gradiente Hidráulico la aplicación en el Software de Matlab y luego los resultados serán verificados en el software comercial Watercad V8.i.

HERBER PRADO TAQUIRE

HERQUETI@HOTMAIL.COM

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA

AYACUCHO, 17 DE OCTUBRE DE 2016

# Dedicatoria

*A mis padres Evaristo y Agripina quienes me forjaron para la vida. A mi Esposa Norma por apoyo y comprensión, a mi hijo Andree mi adoración, a mi hermano y hermanas.*

# Agradecimientos

- A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, alma mater y orgullo de Ayacucho, donde recibí mi formación académica
- A los docentes de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Especialmente a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, por los conocimientos transmitidos que contribuyeron de manera determinante en mi formación profesional.
- Al Ing. Jaime L. Bendezu Prado, el cual con sus conocimientos y observaciones hizo lo posible para la formación y conclusión de la presente tesis.

# Resumen

En primer lugar se contarán con los datos primarios, la población, una planificación urbana de las comunidades, dotaciones según el reglamento y las propiedades de las tuberías y el agua, reconocer estos datos con seriedad y definirlos. Luego se hará uso del método del gradiente para el cálculo hidráulico y para la optimización del diámetro se hará uso de la superficie óptima de gradiente hidráulico cuyo cálculo será mediante el programa Matlab y para los resultados nos restringirán lo dicho en el reglamento respecto a la presión, velocidad y los diámetros que existen en el mercado que son regidos por la norma peruana, estas combinaciones de diámetros en la red que optimizarán esta. Se verificará los resultados del Matlab con un programa comercial el cual será el Watercad V8.i, discutiendo los resultados y así concluir según estos.

# Índice general

<b>Portada</b>	<b>I</b>
<b>Presentación</b>	<b>I</b>
<b>Dedicatoria</b>	<b>II</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>III</b>
<b>Resumen</b>	<b>IV</b>
<b>Índice general</b>	<b>V</b>
<b>Índice de figuras</b>	<b>X</b>
<b>Índice de cuadros</b>	<b>XII</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>3</b>
1.1. Motivación de la investigación . . . . .	3
1.2. Planteamiento del problema . . . . .	4
1.2.1. Problema general . . . . .	4
1.2.2. Problemas específicos . . . . .	4
1.3. Justificación . . . . .	5
1.4. Objetivos . . . . .	6
1.4.1. Objetivos generales . . . . .	6
1.4.2. Objetivos específicos . . . . .	6
1.5. Hipótesis . . . . .	7

1.5.1.	Hipótesis generales . . . . .	7
1.5.2.	Hipótesis específicas . . . . .	7
1.6.	Metodología aplicada y Plan de Trabajo . . . . .	8
<b>2.</b>	<b>Marco Teórico</b>	<b>9</b>
2.1.	Tipos de sistemas de abastecimiento de agua . . . . .	9
2.1.1.	Redes Abiertas . . . . .	9
2.1.2.	Redes cerradas: . . . . .	10
2.2.	Flujo Uniforme . . . . .	10
2.3.	Resistencia al flujo en conductos circulares . . . . .	11
2.4.	Líneas de energía y gradiente hidráulico . . . . .	12
2.5.	Distribución del esfuerzo cortante . . . . .	13
2.6.	Clasificación del flujo según el Número de Reynolds . . . . .	14
2.6.1.	Flujo laminar . . . . .	15
2.6.2.	Flujo turbulento . . . . .	16
2.7.	Cálculo práctico del flujo en tuberías . . . . .	20
2.7.1.	Ecuaciones de Darcy-Weisbach y Colebrook-White . . . . .	20
2.7.1.1.	Valores de diseño de la rugosidad de la tubería . . . . .	22
2.7.2.	Pérdida de carga en conexiones y accesorios . . . . .	23
2.8.	Método de la Gradiente . . . . .	23
2.8.1.	Introducción . . . . .	23
2.8.2.	Base matemático del método de la gradiente . . . . .	24
2.8.3.	Descripción Del Proceso Iterativo. . . . .	29
2.9.	Criterios de Diseño . . . . .	30
2.9.1.	Criterio de i- Pia Wu (Tuberías en serie) . . . . .	30
2.9.2.	Criterio de Featherstone (Redes de Tuberías) . . . . .	31
2.9.3.	Superficie Optima de Gradiente Hidráulico(SOGH) . . . . .	32
2.10.	Análisis en Redes de Tubería . . . . .	34
2.10.1.	Presiones Requeridas . . . . .	35
2.10.2.	Velocidades Requeridas . . . . .	36

2.10.3. Diámetro Mínimo . . . . .	36
2.11. Diseño de la Red de Distribución . . . . .	37
<b>3. Metodologías</b>	<b>39</b>
3.1. Datos Primarios . . . . .	39
3.1.1. Localización del área de estudio . . . . .	39
3.1.2. Topografía del área de estudio . . . . .	39
3.1.3. Población . . . . .	40
3.1.4. Propiedades físicas de las tuberías y nodos . . . . .	42
3.1.5. Disponibilidad De Agua . . . . .	45
3.1.5.1. Problemas de Agua en Latinoamérica . . . . .	45
3.1.5.2. Dotación de agua en el Perú . . . . .	47
3.1.6. Demandas de agua en cada nodo . . . . .	49
3.2. Proceso de Diseño . . . . .	58
3.2.1. En Línea de Conducción . . . . .	58
3.2.2. Reservorio . . . . .	60
3.2.3. Aducción y Distribución . . . . .	61
3.2.3.1. Caudales de Demandas Horarios . . . . .	61
3.2.4. Superficie Optima de Gradiente Hidráulico (SOGH). . . . .	65
3.2.4.1. Determinación de sentidos de Flujos . . . . .	65
3.2.4.2. Superficie Optima de Gradiente Hidráulico . . . . .	66
3.2.4.3. Redondeo de diámetros . . . . .	68
3.2.4.4. Optimización . . . . .	70
3.2.5. Parámetros de Restricción en el Sistema de Agua. . . . .	72
3.2.5.1. Parámetros de Restricción de Presión. . . . .	72
3.2.5.2. Parámetros De Restricción De Velocidad. . . . .	72
3.2.5.3. Parámetros De Restricción Respecto A Diámetros Comerciales. . . . .	72
3.2.6. Diseño Hidráulico . . . . .	73
3.3. Resultados Obtenidos Con el Método Gradiente . . . . .	86

3.3.1.	Resultados Gráficos . . . . .	95
3.3.1.1.	Gráficos de Caudales . . . . .	95
3.3.1.2.	Gráficos de Presiones . . . . .	96
3.3.1.3.	Gráficos de Velocidades . . . . .	97
3.4.	Resultados Con El Watercad V8i . . . . .	98
3.4.1.	Que Es Watercad V8.i? . . . . .	98
3.4.1.1.	Introducción . . . . .	98
3.4.1.2.	Breve historia y Desarrollo del Watercad V8.i . . . . .	99
3.4.1.3.	Tipos de calculo . . . . .	100
3.4.2.	Ingreso de datos en el Watercad V8.i . . . . .	102
3.4.3.	Resultados de Watercad V 8.i . . . . .	108
3.4.4.	Resultados Gráficos . . . . .	118
3.4.4.1.	Gráficos de Caudales . . . . .	118
3.4.4.2.	Gráficos de Presiones . . . . .	119
3.4.4.3.	Gráficos de Velocidades . . . . .	120
<b>4.</b>	<b>Análisis y Discusión de los resultados obtenidos</b>	<b>121</b>
4.1.	Estado Actual del Sistema de la Red de Distribución en la comunidad de Veracruz . . . . .	121
4.1.1.	Línea de Conducción . . . . .	121
4.1.2.	Reservorio . . . . .	122
4.1.3.	Línea de Aducción y Distribución . . . . .	122
4.2.	Estado Actual del Sistema de la Red de Distribución en la comunidad de Totos . . . . .	122
4.2.1.	Línea de Conducción . . . . .	122
4.2.2.	Reservorio . . . . .	123
4.2.3.	Línea de Aducción y Distribución . . . . .	123
4.3.	Mejoramamiento del Sistema de la Red de Distribución en las comuni- dades de Veracruz y Totos. . . . .	124

<b>5. Conclusiones, Recomendaciones e Investigaciones Futuras</b>	<b>126</b>
5.1. Conclusiones . . . . .	126
5.2. Recomendaciones . . . . .	128
5.3. Investigaciones futuras . . . . .	129
<b>Bibliografía</b>	<b>130</b>
<b>A. Glosario</b>	<b>131</b>
<b>B. Planos</b>	<b>133</b>

# Índice de figuras

2.1. Red abierta . . . . .	9
2.2. Red Cerrada . . . . .	10
2.3. Gradiente Hidráulico de Energía . . . . .	12
2.4. Distribución de la velocidad en flujo laminar . . . . .	15
2.5. Distribución de velocidades en flujo turbulento . . . . .	17
2.6. Valores recomendados del parámetro de rugosidad superficial k. (Hy- draulics Research, Wallingford, 1990). . . . .	22
2.7. Criterio de I- Pia Wu . . . . .	30
2.8. Criterio de Featherstone . . . . .	31
2.9. Línea de gradiente de presiones óptimas . . . . .	33
3.1. Crecimiento aritmético poblacional . . . . .	41
3.2. Modelo de la red de distribución. . . . .	43
3.3. Superficie Óptimo de Gradiente Hidráulico Fuente: propia.	59
3.4. curva de oferta y demanda de volumen acumulado. . . . .	61
3.5. Curva de caudal demanda del nodo J2 . . . . .	64
3.6. Curva de caudal demanda del nodo J14 . . . . .	65
3.7. Caudales en la tubería R1-J1 . . . . .	95
3.8. Caudales en la tubería J1-J2 . . . . .	95
3.9. Presiones en el Nodo J1 . . . . .	96
3.10. Presiones en el nodo J2 . . . . .	96
3.11. Velocidades en la tubería R1-J1 . . . . .	97
3.12. Velocidades en la tubería J1-J2 . . . . .	97

3.13. Crear un Proyecto . . . . .	102
3.14. Cargar Unidades de trabajo . . . . .	102
3.15. Cargar formula de fricción . . . . .	103
3.16. Utilizar el Model Builder . . . . .	103
3.17. Idealizacion de la red en el WaterCad . . . . .	104
3.18. Introducir en los nodos la topografía de la red. . . . .	105
3.19. Simulacion del Periodo Extendido. . . . .	106
3.20. Cargar Caudal de demanda en el WaterCad . . . . .	107
3.21. En el tiempo de análisis cargar el EPS . . . . .	108
3.22. Caudales en la tubería R1-J1 . . . . .	118
3.23. Caudales en la tubería J1-J2 . . . . .	118
3.24. Presiones en el Nodo J1 . . . . .	119
3.25. Presiones en el nodo J2 . . . . .	119
3.26. Velocidades en la tubería R1-J1 . . . . .	120
3.27. Velocidades en la tubería J1-J2 . . . . .	120

# Índice de cuadros

3.1. Población en los diferentes años . . . . .	41
3.2. Características de las tuberías NTP 399.002 . . . . .	44
3.3. Coeficiente de perdida por accesorio . . . . .	44
3.4. Consumo doméstico . . . . .	47
3.5. Dotación de agua en zona urbana . . . . .	48
3.6. Dotación de agua en zona urbana . . . . .	48
3.7. Resumen de Distintas Dotaciones. . . . .	49
3.8. Se muestra la demanda en cada nodo según la distribución de la población futura. . . . .	50
3.9. Se muestra la demanda de agua para mantener las áreas verdes en los distintos nudos solicitados. . . . .	51
3.10. Muestra la demanda de agua para escuelas. . . . .	52
3.11. Se muestra la demanda de agua para colegio. . . . .	53
3.12. Se muestra la demanda de agua para el Centro de Salud. . . . .	54
3.13. Se muestra la demanda de agua para estadios. . . . .	55
3.14. Se muestra el resumen para los diferentes nodos en la modelación. . .	56
3.15. Datos generales Totos - Veracruz . . . . .	58
3.16. Variaciones horarias de las demandas y oferta . . . . .	60
3.17. Variaciones de demanda horaria . . . . .	63
3.18. Dirección del flujo en cada tubería . . . . .	66
3.19. Cota Piezometrica Ideal . . . . .	67
3.20. Diámetro ideal de la 1ra iteración . . . . .	68

3.21. Diámetro ideal de la 1ra iteración . . . . .	69
3.22. Diámetro Comercial de la 20 va iteración. . . . .	71
3.23. Presiones a $\Delta T = 2hrs.$ . . . . .	87
3.24. Caudales a $\Delta T = 2HRS.$ . . . . .	89
3.25. velocidades a $\Delta T = 2HRS.$ . . . . .	92
3.26. Diámetros comerciales óptimos. . . . .	109
3.27. Presiones en $\Delta T = 2hrs.$ . . . . .	110
3.28. Caudales en $\Delta T = 2hrs.$ . . . . .	112
3.29. Velociades en $\Delta T = 2hrs.$ . . . . .	115

# Lista de símbolos y abreviaturas

[A10]	—	Matriz topológica de tramos a nodos.
[A12]	—	Matriz de Conectividad.
[A21]	—	Matriz Transpuesta de [A12].
[A11]	—	Matriz Diagonal de NT X NT
[H]	—	Vector de alturas Piezometricas Desconocidas.
[Ho]	—	Vector de alturas Piezometricas Desconocidas.
[N]	—	Matriz Diagonal con valores (n1,n2, ,nNT) con dimensiones $NTXNT$
[q]	—	Vector de consumo o de entrada en cada nodo de la red
A	—	Área de la sección transversal de la tubería.
C	—	Coefficiente de Chezy.
D, b	—	Diámetro de Tubería.
f	—	Coefficiente de fricción de Darcy.
g	—	aceleración de la gravedad.
$h_f$	—	Perdida de carga por fricción.
$h_m$	—	Perdida de carga por accesorios.
$k_s$	—	Rugosidad absoluta de la tubería.
Lt	—	Litros
m	—	Metros
mca	—	metros de columna de agua.
mm	—	milímetros.

$m/s$	—	metros por segundo.
$msnm$	—	Metros sobre el nivel de mar.
$n$	—	Exponente que depende de la ecuación de fricción utilizada (2.0 para el caso de la ecuación de Darcy Weisbach).
$NN$	—	Números de nodos con altura piezométrica desconocida
$NS$	—	Números de nodos con altura piezométrica conocida.
$NT$	—	Numero de tuberías.
$NU$	—	Numero de uniones.
$P$	—	Presión.
$Q$	—	Caudal.
$Re$	—	Numero de Reynolds
$V$	—	Velocidad media del flujo.

# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1. Motivación de la investigación

El crecimiento poblacional de las comunidades de Tototlán y Veracruz, para satisfacer las necesidades de abastecimiento de agua. Actualmente su uso en las poblaciones es diverso, como es para el consumo humano, en aseo personal, actividades como la limpieza doméstica y en la cocción de los alimentos.

Generalmente los sistemas de agua potable, se ha diseñado con un análisis en régimen permanente ", teniendo en cuenta los caudales máximos horarios, diarios y anuales, obteniendo diámetros que cumplan con ciertas restricciones como presiones máximas y mínimas en la red, sin detenerse mayormente en verificar si dichos diámetros puede siquiera acercarse a un diseño óptimo.

Con todo lo anteriormente dicho, creo de manera personal, que es responsabilidad nuestra el adecuado uso de los recursos en general y del recurso hídrico, en particular para satisfacer nuestras necesidades actuales sin perjudicar las necesidades futuras, de esta manera estaremos en capacidad de heredar un entorno seguro, sano y agradable a las futuras generaciones.

## 1.2. Planteamiento del problema

El abastecimiento actual del Sistema de agua en las comunidades de Totos y Veracruz de la provincia de cangallo es un diseño cuyo análisis es en régimen permanente y en la perdida de presión por el contacto del material que conduce el agua se utilizo el valor de "C" como el coeficiente de Hazen Williams, y esta medida no es suficiente para llegar más a la realidad del comportamiento de un sistema de agua.

### 1.2.1. Problema general

¿Es posible diseñar óptimamente el transporte, almacenamiento y distribución del líquido elemento y así evitar el desabastecimiento de agua en las comunidades de Totos y Veracruz?

### 1.2.2. Problemas específicos

- a. ¿Influye el Planeamiento Urbano de las Comunidades de Totos y Veracruz para un óptimo abastecimiento de agua?
- b. ¿El diámetro interior influye en la optimización de la presión manométrica adecuada en la red de distribución de las comunidades de Totos y Veracruz?
- c. ¿Las demandas específicas de agua en las diferentes manzanas de las comunidades de Totos y Veracruz influirá en el diseño de una red de distribución?

### **1.3. Justificación**

La evolución del abastecimiento de agua hoy en nuestros días conlleva el proveer en las localidades de Tototlán y Veracruz de un volumen suficiente de agua, diámetro de tuberías optimas que conlleve una velocidad y presión adecuada.

El abastecimiento de agua a una población, es una preocupación para el estado y para la sociedad en su conjunto, dicha preocupación crece, al mismo ritmo en que las poblaciones aumentan.

La no sobredimension de los materiales de construcción, uno de los mas incidentes en un proyecto de sistema de agua, el cual es la tubería, para lo cual nos ayudaremos de una plantilla de excell y verificar en el Watercad V8.i ,

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivos generales**

Es diseñar óptimamente el transporte, almacenamiento y distribución del líquido elemento y así evitar el desabastecimiento de agua en las comunidades de Totos y Veracruz.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- a. Elaborar el Planeamiento Urbano de las Comunidades de Totos y Veracruz para un óptimo abastecimiento de agua.
- b. Optimizar el diámetro interior para una adecuada presión manométrica en la red de distribución de las comunidades de Totos y Veracruz.
- c. Determinar las demandas específicas de agua en las diferentes manzanas de las comunidades de Totos y Veracruz que influye en el diseño de una red de distribución.

## **1.5. Hipótesis**

### **1.5.1. Hipótesis generales**

El diseño óptimo del transporte, almacenamiento y distribución del líquido elemento, permitirá abastecer agua a las comunidades de Totos y Veracruz de manera segura y de calidad.

### **1.5.2. Hipótesis específicas**

- a. Elaborar el Planeamiento Urbano de las Comunidades de Totos y Veracruz para optimizar el abastecimiento de agua.
- b. El diseño óptimo del diámetro interior y presión manométrica adecuada en la red de distribución de las comunidades de Totos y Veracruz.
- c. Las demandas específicas de agua en las diferentes manzanas de las comunidades de Totos y Veracruz influyen en el diseño de una red de distribución.

## 1.6. Metodología aplicada y Plan de Trabajo

El presente trabajo tendrá aplicación para el diseño de diámetro de tuberías en la línea de conducción, aducción y distribución del liquido provenientes de las laderas del cerro de Totos, desde el aforo del manantial, el levantamiento topográfico, diagnostico situacional del área de estudio, población futura, cálculo de Caudal máximo horario y diseño de diámetro de las tuberías con el método de Superficie Optima de gradiente Hidráulico mediante una plantilla en Matlab y verificar con un programa comercial como es el Watercad v8.i, y con los resultados obtenidos que será tema de discusión.

# Capítulo 2

## Marco Teórico

### 2.1. Tipos de sistemas de abastecimiento de agua

Según [1, JS01, 2001], página 225, se tiene los siguientes conceptos:

#### 2.1.1. Redes Abiertas

Redes de tubos madres o líneas expresas en sistemas de acueductos. Se caracterizan por no tener ningún “circuito cerrado” en el sistema. En la figura 2.1 se muestra un esquema de este tipo de red, el cual une cuatro tanques de almacenamiento dentro del sistema de acueducto de una ciudad hipotética.

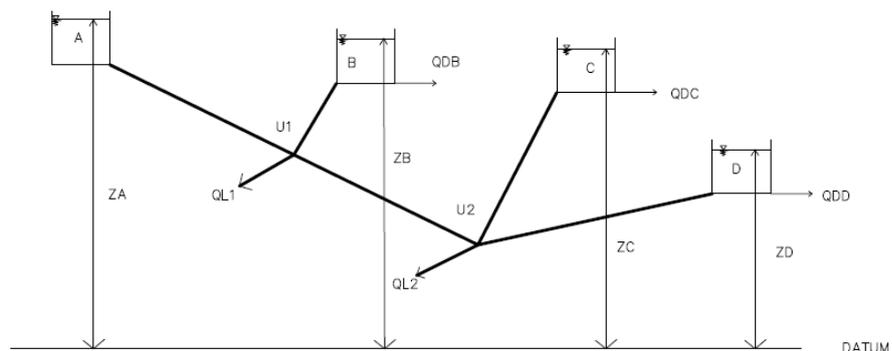


Figura 2.1: Red abierta

### 2.1.2. Redes cerradas:

Conocidas también como sistemas con circuitos cerrados o ciclos. Su característica primordial es tener algún tipo de circuito cerrado (loop, en inglés) en el sistema. El objetivo es tener un sistema redundante de tuberías: cualquier zona dentro del área cubierta por el sistema puede ser alcanzada simultáneamente por más de una tubería, aumentando así la confiabilidad del abastecimiento. Es este el tipo de red que conforma el sistema de suministro de agua potable dentro del esquema de acueducto de una ciudad. En la figura 2.2 se muestran los tres tipos de redes de suministro más utilizados en dichos esquemas.

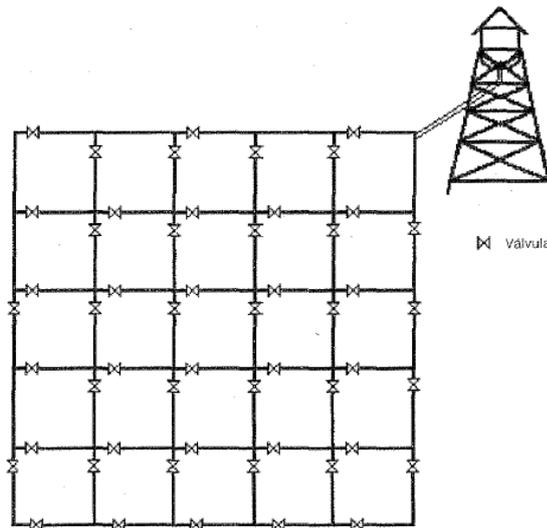


Figura 2.2: Red Cerrada

## 2.2. Flujo Uniforme

Según [1, JS01,2001], página 2, hace la siguiente definición :

En el flujo uniforme las características del flujo (presión y velocidad) permanecen constantes en el espacio y en el tiempo. Por consiguiente, es el tipo de flujo más fácil de analizar y sus ecuaciones se utilizan para el diseño de sistemas de tuberías. Como la velocidad no está cambiando, el fluido no está siendo acelerado. Si no hay aceleración, según la segunda ley de Newton para el movimiento, la sumatoria de

las fuerzas que actúan sobre un volumen de control debe ser cero. Es decir, existe un equilibrio de fuerzas.

En el caso del flujo en tuberías actúan tres fuerzas: fuerzas de presión, fuerzas gravitacionales y fuerzas de fricción. Las dos primeras tratan de acelerar el flujo y las últimas tratan de frenarlo. En el caso del flujo uniforme existe un equilibrio entre las fuerzas de fricción, por un lado, y las fuerzas gravitacionales y de presión, por el otro. Dada la importancia de las fuerzas de fricción en el problema del flujo uniforme, el cual es básico para el diseño de sistemas de tuberías, el resto de este capítulo se dedica a estudiarlas.

### **2.3. Resistencia al flujo en conductos circulares**

Las tuberías son los conductos usados más frecuentemente para el transporte de fluidos (gases y líquidos). Se producen con gran variedad de materiales. En su condición de nuevo, las superficies finales de las paredes del tubo varían considerablemente en rugosidad desde la muy lisa (plástico) a la relativamente rugosa (concreto). También, dependiendo del fluido transportado y del material del tubo, la rugosidad puede variar con el tiempo ya sea debido a la corrosión, tal como sucede en los tubos de acero, o deposición, como en zonas de aguas duras.

Tal como se verá posteriormente, el flujo de agua en tuberías es invariablemente turbulento. Es además evidente que la densidad y viscosidad son propiedades clave del fluido en el análisis del flujo en tuberías; ya que ambas tienen influencia en la energía requerida para inducir el flujo. Para cualquiera que esté interesado en predecir con precisión la capacidad de conducción de un sistema de tuberías, es esencial conocer la relación existente entre la carga, la pérdida y la velocidad media del flujo.

## 2.4. Líneas de energía y gradiente hidráulico

Según [7, FR02], página 8, se tiene el siguiente concepto:

El flujo de los fluidos reales a través de tuberías resulta en una pérdida de energía o carga en la dirección del flujo. De acuerdo a la figura 2.2, la ecuación de Bernoulli puede aplicarse como:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha v_2^2}{2g} + h_f \quad (2.1)$$

Donde  $h_f$  es la pérdida de carga en el tramo de tubería con longitud  $L$  y  $\alpha$  es el factor de energía cinética. Cuando existe el flujo de un fluido se tiene una pérdida de energía asociada con el flujo. En forma gráfica, se representa la pérdida de energía como un gradiente en la carga piezométrica, es decir, una línea de gradiente hidráulico ( $LGH$ ), o un gradiente en la energía o “carga total”, es decir, una línea de gradiente de energía ( $LGE$ ). En flujo uniforme permanente, tal como se muestra en la figura 2.2, ambas líneas son paralelas. La pendiente de la línea de energía o pendiente de fricción  $S_f$  es:

$$S_f = \frac{h_f}{L} \quad (2.2)$$

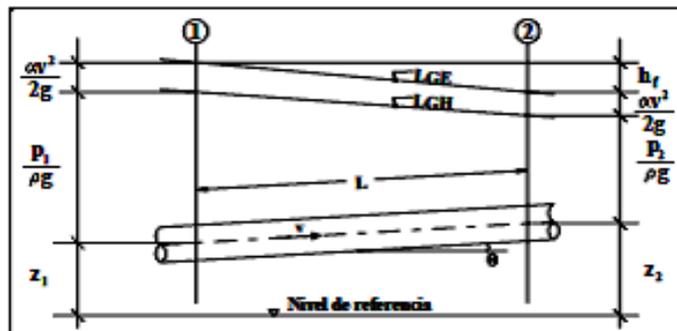


Figura 2.3: Gradiente Hidráulico de Energía

## 2.5. Distribución del esfuerzo cortante

La variación radial del esfuerzo cortante, bajo condiciones de flujo uniforme permanente, se deriva al considerar las fuerzas que actúan en un volumen de control de un flujo en un fluido. Dado que no se tiene aceleración, la fuerza neta que actúa en la masa de fluido debe ser nula. Las fuerzas que actúan en la masa de fluido entre las secciones 1 y 2 de la figura 2.1 son:

$$p_1A - \rho gAL \sin \theta - p_2A - \tau_0 PL = 0 \quad (2.3)$$

Donde  $A$  es el área de la sección transversal del tubo,  $\tau_0$  es el esfuerzo cortante en la pared del tubo, y  $P$  es la longitud del perímetro de la sección transversal del tubo. Dividiendo entre  $\rho gA$  y ordenando términos:

$$(z_1 - z_2) + \frac{p_1 + p_2}{\rho g} = \frac{\tau_0 PL}{\rho gA} \quad (2.4)$$

Como puede observarse de la figura 2.1, el miembro izquierdo de la ecuación anterior es igual a la pérdida de carga  $h_f$ , por lo cual.

$$h_f = \frac{\tau_0 PL}{\rho gA} \quad (2.5)$$

De esta forma

$$\tau_0 = \rho g \frac{Ah_f}{PL} \quad (2.6)$$

O reduciendo términos

$$\tau_0 = \rho g R_h S_f \quad (2.7)$$

Donde  $R_h$  es el radio hidráulico, es decir, el cociente de dividir el área  $A$  entre el perímetro  $P$  de la sección transversal del flujo. Así, en flujo uniforme permanente, el esfuerzo cortante está linealmente relacionado con la pendiente de fricción, la cual es un parámetro del flujo sencillo de medir. El análisis anterior puede también ser aplicado a cualquier volumen de fluido cilíndrico concéntrico de menor diámetro

que el del tubo para obtener el esfuerzo cortante local del fluido  $\tau_y$ :

$$\tau_y = \rho g R_h S_f \quad (2.8)$$

Donde  $\tau_y$  es el esfuerzo cortante a una distancia  $y$  de la pared del tubo y  $R_h$  es el radio hidráulico correspondiente. Así, el esfuerzo cortante en la pared del flujo varía linealmente desde un valor máximo en la pared del tubo a cero en el centro de la sección transversal del tubo.

## 2.6. Clasificación del flujo según el Número de Reynolds

La turbulencia en el flujo de fluidos se caracteriza por los movimientos aleatorios locales de las moléculas del fluido que transfieren cantidad de movimiento y disipan energía. Estos movimientos aleatorios se incrementan cuando aumenta el valor de la velocidad media y se suprimen cerca de las fronteras sólidas. Reynolds (1885) llevó a cabo experimentos a partir de los cuales fue posible definir el régimen del flujo como laminar, de transición, o turbulento. El índice adimensional de flujo que él desarrolló es conocido como el Número de Reynolds ( $Re$ ), el cual para flujo en tubos, se define como

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} = \frac{V \cdot D}{\nu} \quad (2.9)$$

Donde  $D$  es el diámetro del tubo y  $V$  es la velocidad media del flujo. Los rangos de los valores de  $Re$  para los diferentes tipos de flujo se establecen como:

Flujo laminar:  $Re < 2,300$

Flujo de transición:  $2,300 \leq Re < 4,000$

Flujo turbulento:  $Re \geq 4,000$

Para explicar mejor los tipos de flujo antes deberemos conocer lo siguiente.

### 2.6.1. Flujo laminar

En el diseño hidráulico de tuberías es importante la relación que existe entre la capacidad de conducción y la pérdida de carga o pendiente de fricción. En condiciones de flujo laminar, la variación espacial de la velocidad está gobernada por la viscosidad del fluido  $\mu$  y el esfuerzo cortante aplicado  $\tau$ :

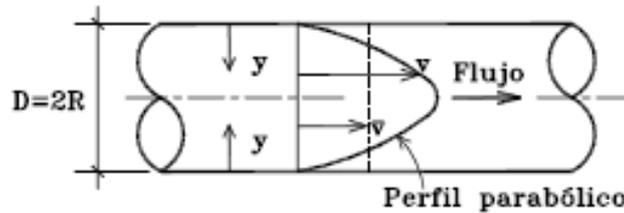
$$\tau = \mu \frac{dv}{dy} \quad (2.10)$$

Combinando esta relación con la ecuación 2.10.

$$\rho g \frac{(D - 2Y)}{4} S_F = \mu \frac{dv}{dy} \quad (2.11)$$

La ecuación 2.11 puede ser integrada teniendo como condiciones de frontera que  $v = 0$  en  $y = 0$ , para dar una distribución parabólica de velocidades en flujo laminar (*figura 2.4*):

$$v_y = \frac{\rho g S_f}{4\mu} (D_y - y^2) \quad (2.12)$$



**Figura 2.4:** Distribución de la velocidad en flujo laminar

La velocidad máxima en el eje del tubo es:

$$v_{\text{máx}} = \frac{\rho g S_f D^2}{16\mu} \quad (2.13)$$

La velocidad media es encontrada por integración sobre la sección transversal del flujo:

$$v = \frac{\int_0^{D/2} v_y \pi (D - 2y) dy}{\pi D^2 / 4} \quad (2.14)$$

Dando como resultado

$$v = \frac{\rho g S_f D^2}{32\mu} \quad (2.15)$$

### 2.6.2. Flujo turbulento

La componente aleatoria en flujo turbulento no permite un análisis matemático exacto. Sin embargo, a través de una combinación de experimentos y razonamiento teórico se ha modelado en términos matemáticos la magnitud de la resistencia a fluir de los fluidos newtonianos en tuberías bajo condiciones turbulentas, permitiendo una estimación confiable de la pérdida de carga para un amplio rango de flujos y condiciones de la superficie de los conductos. Los trabajos de investigación de Nikuradse (1932, 1933), Prandtl (1933), von Karman (1930), y Colebrook y White (1938), entre otros, han contribuido enormemente a su desarrollo. Como en flujo laminar, el punto de inicio es la distribución de velocidades sobre la sección transversal del flujo, la cual puede ser expresada en la forma siguiente según Prandtl:

$$\tau = \rho L^2 \left( \frac{dv}{dy} \right)^2 \quad (2.16)$$

Donde  $L$  es la denominada *longitud de mezclado*, la cual no es una dimensión física del sistema pero puede tomarse como una medida del desplazamiento aleatorio característico de los elementos del fluido en flujo turbulento. El valor de  $L$  ha sido determinado como proporcional a  $y$ , la distancia a la frontera del flujo:

$$L = Ky \quad (2.17)$$

Donde  $K$  es una constante numérica que tiene un valor aproximado a 0.4. Al tener en cuenta este valor de  $K$  en la ecuación (2.16) se obtiene:

$$\frac{dv}{dy} = \frac{2.5}{y} \sqrt{\frac{\tau}{\rho}} \quad (2.18)$$

Se supone que el esfuerzo cortante  $\tau$  es constante sobre la sección transversal bajo condiciones de flujo turbulento. El término  $\frac{\sqrt{\tau}}{\rho}$  tiene las dimensiones de velocidad y es en ciertas ocasiones conocido como la "velocidad al cortante", y se denota por  $v^*$

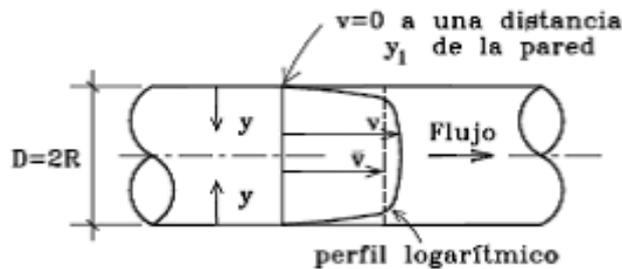
. La distribución de velocidades sobre la sección transversal del tubo se encuentra al integrar la ecuación (2.18):

$$v_y = 2.5v_0 \ln y + \text{constante} \quad (2.19)$$

Esta distribución logarítmica de velocidades no puede ser válida en la pared de la tubería, dado que  $\ln y$  tiene un valor infinito negativo cuando  $Y$  es cero. Sin embargo, suponiendo que la ecuación (2.19) es válida hasta valores muy pequeños de  $y$ , es decir, muy cercanos a la pared del tubo. Esta condición puede ser satisfecha definiendo una distancia  $y_1$  a la pared, a la cual, la velocidad tiene un valor cero. Usando esta condición de frontera, la ecuación (2.19) se convierte en:

$$v_y = 2.5v_0 \ln \left( \frac{y}{y_1} \right) \quad (2.20)$$

El valor de  $y_1$ , el cual puede ser considerado como una nueva frontera hidráulica dentro de la frontera física actual, se determina por medio de las condiciones del flujo en la pared. La distribución turbulenta de las velocidades, tal como la representa la ecuación (2.20), es así de forma logarítmica en la cual, la magnitud de la velocidad varía de un máximo en el centro a un valor cero en la frontera virtual, tal como se muestra en la figura 2.5 .



**Figura 2.5:** Distribución de velocidades en flujo turbulento

La velocidad media  $v$  se obtiene al integrar la distribución de velocidades sobre el área de la sección transversal:

$$v = \int_0^{R-y_1} \frac{2\pi r v_y dr}{\pi R^2} \quad (2.21)$$

En la cual, sustituyendo el valor de  $v_y$  según la ecuación (2.20) (observando que  $y = R - r$ ) e integrando, se tiene:

$$v = 2.5v_0 \left( \ln \frac{R}{y_1} - 1.5 + 2\frac{y_1}{R} - \frac{y_1^2}{2R^2} \right) \quad (2.22)$$

Despreciando los términos en los que se tiene  $R_1$ , por ser pequeños, la expresión anterior puede simplificarse a:

$$v = 2.5v_0 \ln \left( \frac{0.112D}{y_1} \right) \quad (2.23)$$

Así, la velocidad media es numéricamente igual a la velocidad local a una distancia  $y = 0.112D$ . Donde la pared de la tubería es lisa, como por ejemplo, en vidrio, plásticos y superficies similares, el flujo adyacente a la pared es laminar y el arrastre del fluido es ejercido sobre la superficie de la frontera únicamente por un esfuerzo cortante. Bajo tales condiciones, la magnitud de  $y_1$  es gobernada por los esfuerzos cortantes ejercidos en la pared y por la viscosidad del fluido y su valor ha sido determinado experimentalmente como:

$$y_1 = \frac{0.1v}{v_0} \quad (2.24)$$

Al introducir este valor de  $y_1$  en la ecuación (2.23) se obtiene el siguiente valor de la velocidad media en flujo turbulento con *pared lisa*:

$$v = 2.5v_0 \ln \left( \frac{0.112v_0D}{v} \right) \quad (2.25)$$

La rugosidad de las paredes internas de los tubos se mide en términos de la “rugosidad de arena equivalente”  $k[m]$ . Esta medida de la rugosidad proviene de los trabajos de *Nikuradse*(1932, 1933) quien uso capas de arena de tamaño uniforme adheridas a la superficie interna de sus tubos experimentales, para formar superficies rugosas bien definidas. Se ha encontrado que la viscosidad tiene una influencia despreciable en el flujo cuando la rugosidad de la pared es tal que el parámetro  $k/(\nu/v)$  es mayor a 60. El flujo bajo tales condiciones es descrito como turbulento con pared rugosa, para el cual, el valor de  $y_1$  ha sido determinado experimentalmente como

$\frac{k}{33}$ . Introduciendo este valor de  $y_1$  en la ecuación (2.24) se obtiene el siguiente valor de la velocidad media en flujo turbulento con *pared rugosa*:

$$v = 2.5v_0 \ln \left( \frac{3.7D}{k} \right) \quad (2.26)$$

Cuando el parámetro  $k/(\nu/v)$  es menor a 60 y mayor a 3, el flujo se clasifica como de transición entre el flujo turbulento con pared lisa y el flujo turbulento con pared rugosa. El flujo del agua en los tubos comerciales a velocidades convencionales es usualmente de este tipo. Se aprecia que la viscosidad del fluido y la rugosidad de la tubería tienen influencia en la resistencia del flujo en la zona de transición entre flujo turbulento con pared lisa y flujo turbulento con pared rugosa. *Colebrook*(1939) propuso que el desplazamiento efectivo de la pared de la tubería en el flujo de transición sea tomado como la suma de los desplazamientos de la pared para flujo turbulento con pared lisa y flujo turbulento con pared rugosa:

$$y_1 = \frac{0.1v}{v_0} + \frac{k}{33} \quad (2.27)$$

Al insertar este valor de  $y_1$  en la ecuación (2.23) se obtiene la siguiente expresión para obtener la velocidad media en un flujo turbulento de *transición* :

$$v = -2.5v_0 \ln \left( \frac{v}{1.12v_0D} + \frac{k}{3.7D} \right) \quad (2.28)$$

Se aprecia que la expresión de transición puede ser aplicada sobre el rango completo de flujo turbulento en tuberías. Cuando la rugosidad de la tubería es pequeña, la expresión de transición se aproxima a la expresión de flujo turbulento con pared lisa y, en forma semejante, cuando el desplazamiento de la pared asociado con la subcapa laminar es pequeño comparado con el debido a la rugosidad de la pared, la expresión de transición se aproxima a la de flujo turbulento con pared rugosa.

## 2.7. Cálculo práctico del flujo en tuberías

### 2.7.1. Ecuaciones de Darcy-Weisbach y Colebrook-White

Aunque las relaciones anteriores entre la velocidad media  $v$  y la velocidad al cortante  $v^*$  pueden ser usadas directamente en el cálculo del flujo en tuberías, no son comúnmente usadas en la práctica ingenieril. En su lugar, los hallazgos en las investigaciones se incorporan en la ecuación de *Darcy – Weisbach*(*Darcy*, 1858; *Weisbach*, 1842), la cual tiene la expresión.

$$S_f = \frac{f v^2}{D 2g} \quad (2.29)$$

Esta fórmula empírica, en la cual se basa el análisis siguiente del flujo turbulento en tuberías, tiene la ventaja computacional de que incorpora un factor de fricción adimensional o coeficiente de resistencia  $f$ . La ecuación de Darcy-Weisbach puede ser usada para todas las categorías de flujo en tuberías al tratar a  $f$  como una variable del flujo, usando las ecuaciones de resistencia al flujo previamente desarrolladas para determinar su valor. La ventaja de la adimensionalidad se mantiene al expresar la viscosidad en términos del número de Reynolds  $Re$  y la rugosidad  $K$  del tubo en términos de la rugosidad relativa  $k/D$ . El valor de  $f$  bajo condiciones de flujo laminar se encuentra al combinar las ecuaciones (2.14)y(2.29):

$$f = \frac{64}{\Re} \quad (2.30)$$

Tal como se anoto anteriormente, la ecuación de transición (2.28) puede ser usada para modelar la resistencia del flujo sobre el rango completo de flujo turbulento. Así, la expresión correspondiente para el factor de fricción  $f$  se determina al combinar las ecuaciones (2.28)y(2.29), y emplear la relación.

$$v_0 = \sqrt{\frac{\tau}{\rho}} = \sqrt{\frac{gDS_f}{4}} \quad (2.31)$$

Teniéndose como resultado la siguiente expresión, la cual es conocida como la Ecuación de *Colebrook – White*(1937):

$$\frac{1}{f} = -0.88 \ln \left( \frac{k}{3.7D} + \frac{2.5}{\Re\sqrt{f}} \right) \quad (2.32)$$

Así, el factor de fricción  $f$  es función del número de Reynolds y de la rugosidad relativa del tubo.

Las ecuaciones (2.30)y(2.32), en conjunto cubren el espectro entero de las condiciones del flujo en tuberías. El cálculo del flujo en tuberías involucra típicamente el cálculo de la pérdida de carga cuando la velocidad y otros parámetros relevantes son conocidos, o el cálculo de la velocidad cuando la pérdida de carga y otros parámetros relevantes son conocidos. El cálculo directo de  $f$  para las condiciones de flujo turbulento empleando la ecuación 2.32 no es factible debido a la forma no explícita de la ecuación. Por consiguiente debe emplearse un método iterativo de solución. Por otra parte, el cálculo directo de la velocidad es factible al emplear la relación.

$$f = \frac{2gDS_f}{v^2} \quad (2.33)$$

Al introducir este valor en la ecuación (2.32) se obtiene una expresión explícita para la velocidad  $v$ :

$$v = -0.88\sqrt{2gDS_f} \ln \left( \frac{k}{3.7D} + \frac{2.5v}{D\sqrt{2gDS_f}} \right) \quad (2.34)$$

La ecuación de *Colebrook – White* es recomendada ampliamente para determinar la relación entre la pérdida de carga y la velocidad media del flujo en tuberías, y es preferible a otras ecuaciones exponenciales empíricas.

Se dispone además de varias aproximaciones exponenciales explícitas a la ecuación de *Colebrook – White* en la literatura (*Barr, 1975*), pero recientemente ha destacado una ecuación explícita para obtener el factor de fricción  $f$ , la cual es una aproximación matemática de gran precisión a la ecuación de *Colebrook – White*. Dicha aproximación fue desarrollada por *SwameeyJain(1976)* y se escribe como:

$$f = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{\Re^{0.9}} \right) \right]^2} \quad (2.35)$$

La cual es válida en los intervalos  $10^6 \leq k/D \leq 10^{-2}$  y  $5 \times 10^3 \leq Re \leq 10^8$ , y posee un error relativo de  $\pm 1.0\%$  (*Swamee y Jain, 1976*).

### 2.7.1.1. Valores de diseño de la rugosidad de la tubería

Los tubos empleados para transportar agua potable son fabricados de diversos materiales con acabados superficiales internos que varían desde los muy lisos a los moderadamente rugosos. La rugosidad efectiva de la superficie o valor  $k$  en condiciones de "tubonuevo" puede ser fácilmente evaluada a partir de la figura 2.6. La predicción del incremento de la rugosidad con el paso del tiempo resulta problemático (Colebrook y White, 1938; Perkins y Gardiner, 1982) . El agua inestable químicamente puede causar corrosión de los tubos de metal dando como resultado la formación de tubérculos de óxido o dar lugar a una deposición, provocando ambas el incremento de la rugosidad y una reducción del área transversal del tubo.

Material del tubo (en estado limpio y nuevo, a menos que se establezca de otra manera)	Valores de $k$ (mm)		
	Bueno	Normal	Pobre
- Tubos fundidos no ferrosos de aluminio, latón, cobre, plomo, etc. y tubos no metálicos de vidrio, alcateno, etc.	-	0.003	-
- Fibrocemento	0.015	0.03	-
- Tubos de metal con revestimiento de betún centrifugado o concreto revestido	-	0.03	-
- Hierro fundido	0.03	0.06	0.15
- Acero no revestido	0.015	0.03	0.06
- Acero revestido	0.03	0.06	0.15
- Hierro galvanizado	0.06	0.15	0.3
- Tuberías viejas con formación de tubérculos de óxido con los siguientes grados de ataque:			
- Ligero	0.6	1.5	3.0
- Moderado	1.5	3.0	6.0
- Apreciable	6.0	15	30
- Severo	15	30	60
(Bueno hasta 20 años de uso; Normal: 40-50 años de uso; Pobre: 80-100 años de uso)			
- Concreto:			
- Tubos de concreto preesforzado con juntas espiga-campana con anillo de hule	0.06	0.15	0.6
- Tubos de concreto preesforzado centrifugado con juntas espiga-campana con anillo de hule	0.06	0.15	0.3
- Tubos de acero revestidos con concreto	0.3	0.6	1.5
- Poli(Cloruro de Vinilo) o PVC:			
- Con juntas cementadas	-	0.03	-
- Con junta espiga-campana a intervalos de 6 a 9 m con anillo de hule	-	0.06	-

Figura 2.6: Valores recomendados del parámetro de rugosidad superficial  $k$ . (Hydraulics Research, Wallingford, 1990).

## 2.7.2. Pérdida de carga en conexiones y accesorios

La pérdida total de carga en el flujo en tuberías se compone de la pérdida de energía distribuida a lo largo de los tramos de tubería recta más las pérdidas locales en codos, tees, válvulas, etc. Estas pérdidas locales pueden constituir la mayor parte de la resistencia total al flujo en sistemas de tuberías de plantas de tratamiento o estaciones de bombeo. En redes de distribución es de mayor magnitud la pérdida en tramos rectos de tubería, y generalmente se ignoran las pérdidas locales.

Una mala alineación de las juntas de la tubería o proyecciones internas asociadas con la soldadura o sellado de las juntas pueden contribuir significativamente a la resistencia total al flujo. Las pérdidas de carga en conexiones son convenientemente expresadas en términos de la longitud equivalente de tubo recto o en términos de la carga de velocidad  $v^2/2g$ . De esta última forma se expresa como:

$$h_f = K \frac{v^2}{2g} \quad (2.36)$$

Donde  $h_f$  es la pérdida de carga [m],  $v$  es la velocidad media del flujo en la tubería [m/s], y  $K$  es un coeficiente numérico. La pérdida total de carga para un tubo de longitud  $L$ [m] y diámetro  $D$ [m] puede entonces ser expresada como:

$$h_f = \sum \left( K \frac{v^2}{2g} \right) + f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (2.37)$$

O agrupando términos:

$$h_f = \frac{v^2}{2g} \left( \sum K + f \frac{L}{D} \right) \quad (2.38)$$

Donde la sumatoria se refiere a los valores  $K$  para todas las pérdidas locales en el sistema de tuberías.

## 2.8. Método de la Gradiente

### 2.8.1. Introducción

Según [2, JS01], página 365, se tiene el siguiente concepto: El método de la gradiente aplicado a Redes de Agua Potable, fue desarrollado por *E. Todini y E. P.*

*O'Connell* en la Universidad de Newcastle Upon Tyne y por R Salgado, como parte de su tesis doctoral en los años 1982 – 1983. Todini y Pilati en 1987 plantearon de forma definitiva el método, en el cual las ecuaciones de energía individuales para cada tubo se combinan con las ecuaciones de masa individuales en cada nodo con el fin de obtener una solución simultánea tanto de caudales en tuberías como de las alturas piezométricas en cada nodo. El método de la gradiente es utilizado en la actualidad por la mayoría de los programas comerciales y de distribución gratuita aplicados a la solución de redes de agua potable a presión.

### 2.8.2. Base matemático del método de la gradiente

El método de la 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 la conservación de la energía en cada uno de los circuitos de ésta. Por consiguiente, el método se basa en las siguientes tres condiciones:

En cada nodo se debe cumplir la ecuación de continuidad:

$$\sum_{l=1}^{NT_i} Q_{lj} - Q_{Dl} + Q_{el} = 0 \quad (2.39)$$

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

$$Q = -2 \frac{\sqrt{2gdh_l}}{\sqrt{l}} A \log_{10} \left( \frac{k_s}{3.7d} + \frac{2.51v\sqrt{l}}{\sqrt{2gd^3\sqrt{h_l}}} \right) \quad (2.40)$$

Esta relación es una simplificación de la ecuación de Darcy-Weisbach junto a la ecuación de White-Colebrook.

$$Ht = \alpha Q^n + \beta Q + \gamma \quad (2.41)$$

Esta fórmula se una representación más general de la energia total el cual es:

Donde  $\beta$  y  $\gamma$  dependen de las propiedades de una bomba pero si en cada tubería, la energía total disponible se gasta en pérdidas por fricción y en pérdidas menores se obtiene:

$$H_t = \alpha Q^n$$

$$H_t = h_f + \sum h_m$$

Por lo tanto:

$$\alpha Q^n = h_f + \sum h_m \quad (2.42)$$

Donde  $n = 2$  si se aplica la ecuación de Darcy - Weisbach.

Si utilizamos la ecuación de Darcy - Weisbach, para describir las pérdidas por fricción esta última ecuación se transforma en:

$$\alpha = \frac{f_l + \sum K_m}{D^2 g A^2} \quad (2.43)$$

Para el método del gradiente hidráulico se hacen las siguientes definiciones en forma matricial, primero definir la topología de la red en forma matricial.

1.  $NT$  = Número de tuberías en la Red
2.  $NN$  = Número de nodos con altura piezométrica desconocida.
3.  $A_{12}$  = Matriz de conectividad asociada a cada uno de los nodos de la red. Su dimensión es  $NT \times NN$  con sólo 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  $i$
4.  $NS$  = Número de nodos de altura piezométrica conocida o fija.
5.  $[A_{10}]$  = Matriz topológica tramo a nodo para los  $NS$  nodos de altura piezométrica fija, su dimensión es  $NT \times NS$  con un valor de -1 en las filas correspondientes a los tramos conectados a nodos de altura piezométrica fija.

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

$$[A_{11}] [Q] + [A_{12}] [H] = - [A_{10}] [H_0] \quad (2.44)$$

Donde:

$A_{11}$  = Matriz diagonal de  $NTxNT$  definida como sigue:

$$[A_{11}] = \begin{pmatrix} \alpha_1 Q_1^{(n_1-1)} + \beta_1 + \frac{\gamma_1}{Q_1} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \alpha_2 Q_2^{(n_2-1)} + \beta_2 + \frac{\gamma_2}{Q_2} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \alpha_3 Q_3^{(n_3-1)} + \beta_3 + \frac{\gamma_3}{Q_3} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \alpha_{NT} Q_{NT}^{(n_{NT}-1)} + \beta_{NT} + \frac{\gamma_{NT}}{Q_{NT}} \end{pmatrix} \quad (2.45)$$

- $[Q]$  = Vector de caudales con dimensión  $NTx1$ .
- $[H]$  = Vector de alturas piezométricas desconocidas con dimensión  $NNx1$  x  $1$ .
- $[H?]$  = Vector de alturas piezométricas conocidas o fijas con dimensión  $NSx1$ .

La ecuación de continuidad para todos los nodos de la red es:

$$[A_{21}] [Q] = [q] \quad (2.46)$$

Donde:

$[A_{21}]$  = Matriz transpuesta de  $[A_{21}]$ .

$[q]$  = Vector de consumo (demanda) o de entrada (oferta) en cada nodo de la red

con dimensión  $NNx1$

En forma compacta, las ecuaciones (2.44) y (2.46) se pueden expresar en términos matriciales de la siguiente manera:

$$\begin{bmatrix} [A_{11}] & [A_{12}] \\ [A_{21}] & [0] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [Q] \\ [H] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -[A_{10}][H_0] \\ [q] \end{bmatrix} \quad (2.47)$$

En esta última ecuación, la parte superior corresponde a la relación Q vs H y la parte inferior corresponde a la conservación de la masa en cada uno de los nodos, Dado que la parte superior es no lineal, la ecuación (2.47), no se puede resolver en forma directa, por cuanto es necesario utilizar alguna forma de solución iterativa. Aplicando el operador gradiente, se obtiene:

$$\begin{bmatrix} [N][A_{11}]' & [A_{12}] \\ [A_{21}] & [0] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [dQ] \\ [dH] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [dE] \\ [dq] \end{bmatrix} \quad (2.48)$$

Donde:

- $[n]$  = Matriz diagonal con valores  $(n_1, n_2, n_3, n_{NT})$  con dimensiones  $NTxNT$
- $[A_{11}]'$  = Matriz con dimensiones  $NTxNT$   $NTx NT$ , definida como:

$$[A_{11}]' = \begin{pmatrix} \alpha_1 Q_1^{(n_1-1)} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \alpha_2 Q_2^{(n_2-1)} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \alpha_3 Q_3^{(n_3-1)} & \dots & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \alpha_{NT} Q_{NT}^{(n_{NT}-1)} \end{pmatrix} \quad (2.49)$$

En cualquier iteración  $i$ ,  $[dE]$  representa el desbalance de energía por unidad de peso (altura piezométrica) en cada tubería y  $[dq]$  representa el desbalance de caudal

en cada nodo. Estos desbalances están dados respectivamente por las siguientes ecuaciones:

$$[dE] = [A_{11}] [Q_i] + [A_{12}] [H_i] + [A_{10}] [H_0] \quad (2.50)$$

$$[dq] = [A_{21}] [Q_i] - [q] \quad (2.51)$$

El objetivo del método de la gradiente es solucionar el sistema descrito mediante la ecuación (2.48), teniendo en cuenta que para cada iteración es evidente que:

$$[dH] = [H_{i+1}] - [H_i] \quad (2.52)$$

La solución puede calcularse resolviendo el siguiente sistema (teniendo en cuenta la ecuación (2.45)).

$$\begin{bmatrix} [dQ] \\ [dH] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [N] [A_{11}]' & [A_{12}] \\ [A_{21}] & [0] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [dE] \\ [dq] \end{bmatrix} \quad (2.53)$$

Recurriendo al álgebra matricial es posible calcular en forma explícita la matriz inversa del sistema (2.53). Si se procede de esta manera y se introducen las ecuaciones (2.49), (2.50), (2.51) y (2.52) es posible demostrar que la solución de la ecuación (2.52) está dada por las siguientes dos ecuaciones:

$$\begin{aligned} [H_{i+1}] = & - \left\{ [A_{21}] ([N] [A_{11}]')^{-1} [A_{12}] \right\}^{-1} \left\{ [A_{21}] ([N] [A_{11}]')^{-1} ([A_{11}] [Q_i] + \right. \\ & \left. [A_{10}] [H_0] - ([A_{21}] [Q_i] - [q]) \right\} \end{aligned} \quad (2.54)$$

$$[Q_{i+1}] = - \left\{ [l] - ([N^{-1}] [A_{11}]') - [A_{11}] [Q_i] - ([N] [A_{11}])^{-1} ([A_{12}] [H_{i+1}] + [A_{10}] [H_0]) \right\} \quad (2.55)$$

El planteamiento del método de la gradiente es el sistema descrito mediante la ecuación (2.47), mientras que los sistemas descritos por las ecuaciones (2.54) y (2.55) constituyen la solución al problema.

### 2.8.3. Descripción Del Proceso Iterativo.

Las ecuaciones (2.54) y (2.55), representan la solución del planteamiento matemático del método de la gradiente y deben ser resueltos en forma iterativa. Una vez resuelto el sistema (2.54) y obtenidas las alturas piezométricas desconocidas  $[H_{i+1}]$  en los nodos de la red, es posible determinar  $[Q_{i+1}]$  en forma explícita mediante la ecuación (2.58). Se puede resumir el proceso de solución en los siguientes pasos:

1. Se suponen unos caudales iniciales en cada uno de los tubos de la red (no necesariamente balanceados).
2. Se resuelve el sistema representado por la ecuación (2.54).
3. Una vez calculado  $[H_{i+1}]$ , se utiliza la ecuación (2.55) para determinar  $[Q_{i+1}]$ .
4. Con el valor calculado de  $[Q_{i+1}]$ , se vuelve a emplear la ecuación (2.54).
5. El proceso se repite hasta que en dos iteraciones sucesivas se cumpla que  $H_{i+1} = H_i$ .

A partir de la segunda iteración los sistemas representados por las ecuaciones (2.54) y (2.55), se simplifican ya que se tendría lo siguiente:

$$([A_{21}] [Q_i] - [q]) = 0 \quad (2.56)$$

## 2.9. Criterios de Diseño

Según [2, JS01], página 208, se tiene el siguiente concepto:

### 2.9.1. Criterio de i- Pia Wu (Tuberías en serie)

En el año de 1974, el investigador chino I-Pai Wu, estableció que el diseño óptimo desde el punto de vista de los costos de una tubería en serie con caudales laterales en los nodos se obtenían cuando la línea de gradiente hidráulico hace parte de una curva cóncava formada por dos tramos rectos, con una flecha del 15 % de la cabeza total, pero la diferencia entre esa curva y la línea recta es de tan solo un 2 %, por lo tanto esta se puede tomar como función objetivo en el diseño de tuberías en serie. Gráficamente el criterio es el siguiente:

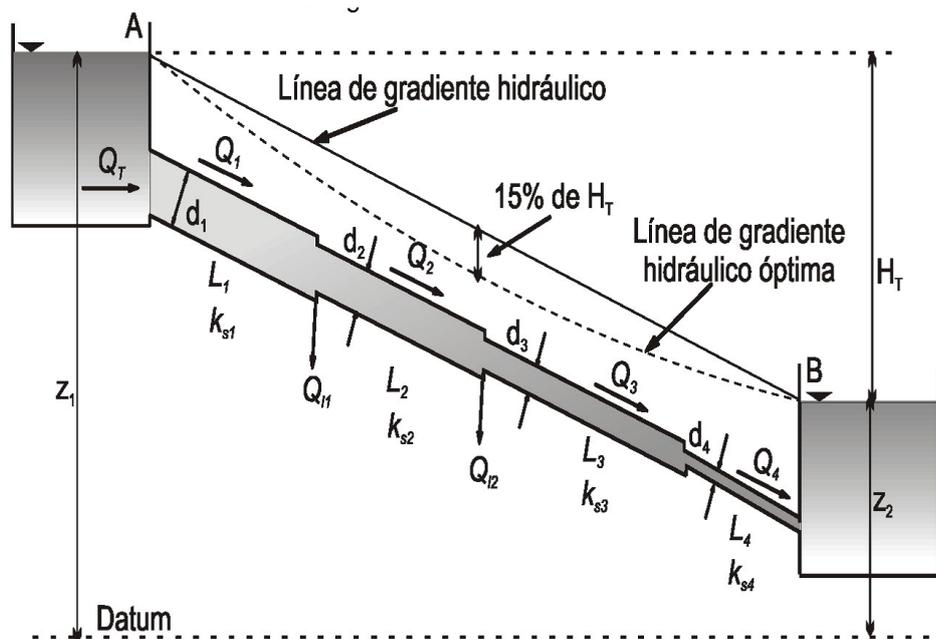


Figura 2.7: Criterio de I- Pia Wu

Este criterio establece la LGH (línea de gradiente hidráulico objetivo) y luego se determinan los diámetros como en el diseño de una tubería. En una tubería simple, dado que se las pérdidas de LGH entre el nodo inicial y el nodo final y eso determina las pérdidas de energía que debe haber en cada tubería. En una tubería en serie es posible determinar con exactitud el caudal que va por cada tubo. Si los diámetros

son valores continuos es posible obtener una respuesta casi perfecta, sin embargo hay que aproximar los diámetros a un diámetro comercial disponible, pero esto se logra fácilmente mediante un proceso iterativo que asigna los diámetros en orden según su cercanía a la fuente y va calculando la hidráulica en cada iteración para garantizar que las presiones en todos los nodos son superiores a la presión mínima establecida.

### 2.9.2. Criterio de Featherstone (Redes de Tuberías)

El criterio de Featherstone es una extensión del criterio de Wu, el cual propone que para una red de distribución las cabezas Piezométricas(LGH) hacen parte de una plano general, cuyo punto más alto es el tanque o estación de bombeo y el punto más bajo es el nodo más alejado del tanque.

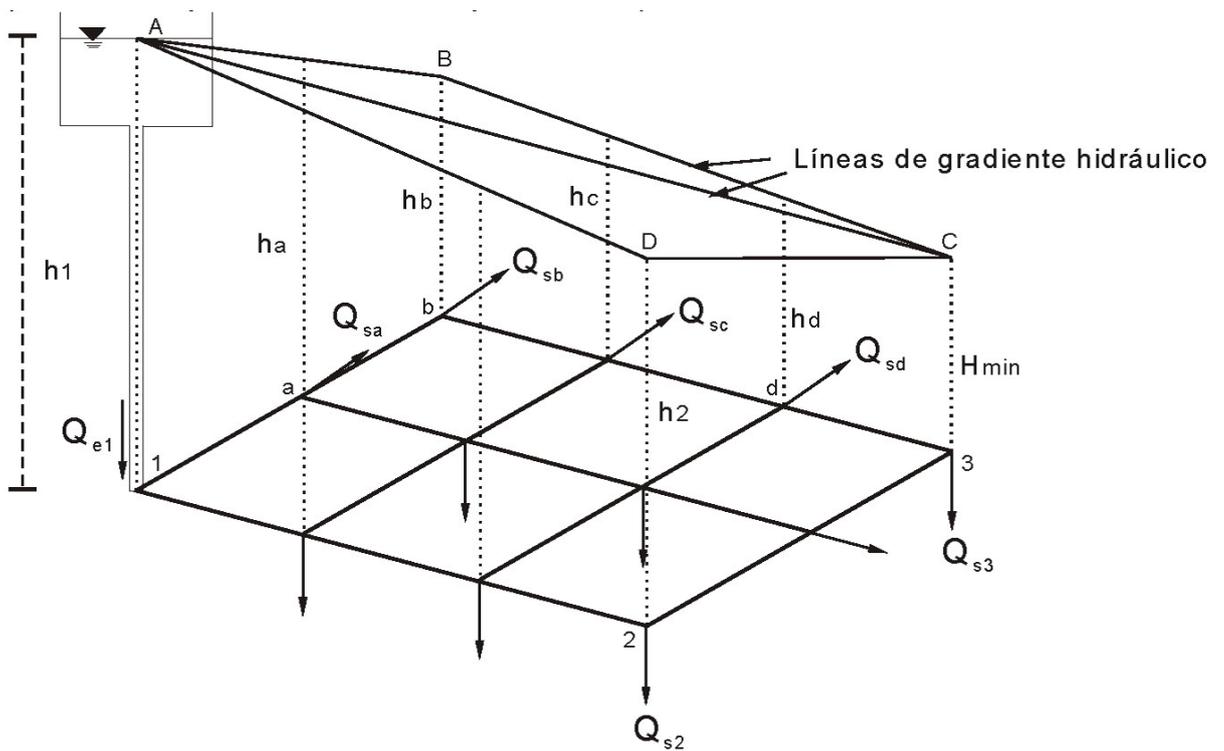


Figura 2.8: Criterio de Featherstone

Los planos ABC Y ABD deben formar parte de un mismo plano general. Las líneas punteadas representan las alturas piezometricas de cada uno de los nodos de la red. El punto 3 representa el nodo más alejado y, por consiguiente el de cabeza

piezométrica mínima(LGH). El punto 1 representa el tanque de abastecimiento de agua.

### **2.9.3. Superficie Optima de Gradiente Hidráulico(SOGH)**

Según [1, JST10, 2010], se tienen los siguientes conceptos:

Este método es fruto de esta investigación, la idea es hacer una extensión de los criterios de *Wu* y *Featherstone* que permite el diseño optimizado de redes de distribución de agua sin importar la complejidad de la topografía. Este método consiste en el cálculo de la Línea de Gradiente Ideal que debería tener cada uno de los nodos de la red para que los diámetros resultantes de las tuberías tengan un costo cercano al mínimo. Este criterio es similar al criterio de *Wu* (*Wu*1975) para tuberías en serie, pero aplicado al diseño de redes de distribución de agua al igual que el criterio de *Featherstone*, pero pensado en servir para cualquier topografía. Para calcular esta superficie de Línea de Gradiente Hidráulico es necesario definir la presión mínima requerida en los nodos la que se denominará sumidero, la dirección del flujo en cada tubería y una ecuación que modele la caída de la Línea de Gradiente Hidráulica Ideal. Una vez que el usuario del programa haya introducido todos los datos de la geometría y características de la red coordenadas  $(x, y, z)$  de los nodos y tanques, caudal demandado en cada nodo, caudales de entrada y cabezas de los tanques, longitud, rugosidad y accesorios de tuberías, asignaremos un diámetro el que sea mayor en dimensión al resto a todos los tubos de la red. Esta operación se hace de acuerdo con el criterio de *Featherstone* (1983), el cual establece que se debe escoger un diámetro relativamente grande para toda la red a fin de minimizar las iteraciones del proceso de cálculo de ésta; sin embargo, tal suposición no afecta los resultados finales. Es importante tener en cuenta que el proceso de numeración de los tubos se debe hacer de tal forma que se siga la dirección general del flujo en la red. Con los diámetros supuestos, el programa hace el cálculo hidráulico de la red utilizando el método del gradiente. La razón que sustenta esta primera parte del programa plantea que para obtener la función objetivo es necesario tener la dirección del flujo



la ecuación de Darcy-Weisbach en conjunto con la ecuación de Colebrook-White. Como se muestra en la siguiente ecuación, despejando el diámetro.

$$D = \frac{f L V^2}{2g hf} \quad (2.57)$$

Con este nuevo diámetro (2.57) hallado se calcula toda la red con el método de la gradiente y este nos dará nuevas direcciones de flujo y se volverá hacer el proceso anteriormente descritos y se iterara hasta que el diámetro anterior y el hallado sean relativamente iguales. este me dará un diámetro optimo. Esto daría un diseño casi perfecto si los diámetros fueran continuos, pero en realidad son números discretos y finitos, lo cual hace que tenga que aproximar el diámetro real a un diámetro comercial. Como resultado de este proceso se obtiene una red diseñada que cumple con las restricciones de mínima presión en los nodos y que se realizo siguiendo un criterio de optimización económica e hidráulica; sin embargo los diámetros obtenidos son números reales continuos que no pertenecen al conjunto de los diámetros comerciales definidos según la disponibilidad o criterio del diseñador. La aproximación del diámetro se puede hacer al anterior, al siguiente o al mas cercano diámetro comercial disponible, en esta investigación se determino que una buena opción es aproximar al siguiente diámetro comercial para no violar la restricción de presión mínima en los nodos y posteriormente disminuir los diámetros.

## 2.10. Análisis en Redes de Tubería

El problema de diseño de redes de distribución de agua es bastante complicado debido a la relación no lineal entre el flujo y las pérdidas de cabeza (carga), y a la presencia de variables discretas, como los diámetros de las tuberías comerciales. Adicionalmente, la función de costos de las tuberías también tiene una relación no lineal con los diámetros. De hecho, se ha demostrado que este problema es de complejidad NP-DURO (Yates et al., 1984), lo cual quiere decir que es un problema intratable para el cual no se conoce ningún método determinístico para solucionarlo en un tiempo polinomial. Teniendo en cuenta lo anterior, el problema de diseñar

una red de distribución de agua potable se puede abordar como un problema de optimización combinatoria en donde las variables de decisión son los diámetros de cada una de las tuberías de la red. En esta investigación, se plantea realizar el diseño de redes de distribución de agua potable a través de varios métodos que se pueden usar independiente o conjuntamente para encontrar diseños factibles de bajo costo en un tiempo razonable; los algoritmos propuestos son: Diseño basado en la superficie óptima de presiones. La metodología propuesta consiste en ensamblar un sistema que pueda usar la salida de cada algoritmo para seguir mejorando los resultados, proceso mediante el cual se puede continuar hasta encontrar resultados satisfactorios.

El problema de diseño de redes de distribución de agua potable a una serie de restricciones que debe cumplir la solución del mismo para que se considere válida. Además el proceso de solución debe poder encontrar soluciones cercanas a la mejor solución en un tiempo razonable. El problema consiste en determinar el conjunto de diámetros óptimos de forma tal que minimice los costos, los mismos que están sujetos a restricciones hidráulicas, comerciales, etc. Dicho esto, el problema se puede resumir de la siguiente manera: "Minimizar los costos, teniendo en cuenta las restricciones hidráulicas, tales como la conservación de la masa en cada nodo, la conservación de la energía en cada circuito, presiones máximas y mínimas en la red, y las restricciones de tipo comercial. Las restricciones de orden comercial, son aquellas referidas al uso únicamente de los diámetros comerciales con que se producen los diferentes tubos de cada material. Y las hidráulicas son las siguientes:

### **2.10.1. Presiones Requeridas**

Las presiones en una Red varían de 15 a 30 *mca* en sectores residenciales con edificios de hasta 4 pisos de altura, de 40 a 50 *mca* en sectores comerciales e industriales. La *AWWA* (Asociación Americana de Obras de Agua), recomienda una presión estática normal de 40 a 50 *mca*, ya que tal cantidad abastecerá agua en edificios de hasta 10 pisos, permitiendo también caudales contra incendios sin el uso

de camiones de bomberos, así mismo se tendrá un razonable margen de seguridad en caso de que ocurran altas demandas o cierres parciales en el sistema de suministro de agua. Con respecto a ciudades pequeñas, el rango de 15 a 50 *mca* representa presiones adecuadas para el uso normal y para el evento de pequeños incendios. Los posibles casos de incendios deben acometerse con el uso de camiones de bomberos. La norma peruana en el Título II, Habilitaciones Urbanas, Condiciones Generales de Habilitaciones , II.3 Obras de Saneamiento, *OS – 050*, Redes de Distribución de Agua para Consumo Humano, indica que la presión estática no será mayor de 50 *mca* en cualquier punto de la red. En condiciones de demanda máxima horaria, la presión dinámica no será menor de 10 *mca*.

### **2.10.2. Velocidades Requeridas**

La norma peruana en el Título II, Habilitaciones Urbanas, Condiciones Generales de Habilitaciones , II.3 Obras de Saneamiento, *OS – 050*, Redes de Distribución de Agua para Consumo Humano, la velocidad máxima sera de 3 m/s. En casos justificados se aceptará una velocidad máxima de 5 m/s. A falta de una indicación clara a cerca de la velocidad mínima en la Norma *OS – 050*, emplearemos la Norma técnica *OS – 010*, que indica que no se deberá tener velocidades menores a 0.6m/s. Establecer un margen mínimo y máximo, respecto a la velocidad se sustenta en lo siguiente: Para velocidades mínimas, en el hecho de que en las tuberías no se deben permitir depósitos que alteren la calidad del agua en el sistema de distribución; mientras que para velocidades máximas, en el hecho de no permitir erosión en las tuberías.

### **2.10.3. Diámetro Mínimo**

La norma peruana en el Título II, Habilitaciones Urbanas, Condiciones Generales de Habilitaciones , II.3 Obras de Saneamiento, *OS – 050*, Redes de Distribución de Agua para Consumo Humano, el diámetro mínimo será de 75 mm para uso de vivienda y de 150 mm de diámetro para uso industrial. En casos excepcionales, debi-

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

## 2.11. Diseño de la Red de Distribución

El diseño detallado de una Red de Distribución está afectado por la topografía local, por las densidades de población existentes y proyectadas y por la demanda industrial y comercial. En primer lugar los caudales deben ser desagregados en sub áreas individuales del sistema, luego se debe diseñar un sistema de circuitos interconectados. Finalmente siguiendo los pasos que se detallaron en la optimización de diámetros según el método de Superficie Optima de Línea de Gradiente, para asegurar las presiones y velocidades deseadas en el sistema para diferentes condiciones de flujo. Estas condiciones de diseño se basan en los caudales diarios máximos, dependiendo del tamaño del área objeto de diseño.

El diseño de una Red de Distribución con el método de la Superficie Optima de Línea de Gradiente involucra la distribución geométrica de una superficie ideal, Siguiendo los siguientes pasos; primeramente la asignación de diámetro comercial, el mayor de acuerdo a nuestra tabla para las tuberías y el cálculo de los caudales iniciales con la ayuda del Método de Gradiente, Segundo, geoméricamente tejer la superficie de presiones ideales obteniendo un diámetro optimo. Tercero, los diámetros óptimos de las tuberías se ajustan a diámetros comerciales óptimos tanto como sea necesario para asegurar que las presiones en los diferentes nodos y las velocidades en las diferentes tuberías cumplan con las restricciones establecidas para el área objeto del diseño. El procedimiento antes descrito debe llevarse a cabo necesariamente con la ayuda de un computador. Es importante aclarar que las razones para limitar las velocidades en las tuberías no debieran ser tan importantes, pues este límite de

velocidades es la causa de tener diámetros grandes en la *RDAP*, elevando así los costos. Mayores velocidades permitirán diámetros menores, con menores costos y siempre que se cumpla con las restricciones de presión.

# Capítulo 3

## Metodologías

### 3.1. Datos Primarios

#### 3.1.1. Localización del área de estudio

Las Comunidades de Veracruz y Totos están ubicadas en la jurisdicción del Distrito de Totos, Provincia de Cangallo, departamento de Ayacucho, tiene una población referencial de 568 familias según el padrón general del año 2012, cada familia tiene en promedio 4.87 habitantes, lo que nos da como resultado 2770 habitantes en total. Compreendida entre las coordenadas Sigüientes:

- 74°31'17" Longitud Oeste.
- 13°34'02" Latitud Sur.

El Distrito de Totos, está ubicado a 3287 msnm. Con una temperatura de 16C. La comunidad de Totos y Veracruz prácticamente la área urbana están juntas, los divide el riachuelo Totos.

#### 3.1.2. Topografía del área de estudio

El levantamiento topográfico se realizó en coordenadas UTM, considerando la primera estación E-01, el BM-01 está ubicado en una vereda de concreto de la co-

unidad de totos. Se establecen estos puntos con el fin de ubicar el Norte Magnético, para iniciar el levantamiento topográfico.

PUNTO N°	Norte	Este	Elevacion	Descripcion
1	8500406.1600	551857.1200	3320.75	BM-01
2	8500662.1690	552195.4950	3350.34	BM-02
3	8500237.5419	552076.6450	3298.38	BM-03

En total se obtuvo 13 estaciones topográficas por la accesibilidad y visibilidad de toda el área requerida en un punto estratégico obtenida por el personal de topografía y *3BMs*, de tal forma que servirán de base para los trabajos topográficos de replanteo, y tomando en cuenta los intervalos del nivel del terreno, una vez editado la Interpolación o triangulación se obtienen las curvas de nivel.

### 3.1.3. Población

Si no es la principal es uno de los datos más importantes en un diseño óptimo de la red de distribución de las comunidades de Veracruz y Totos.

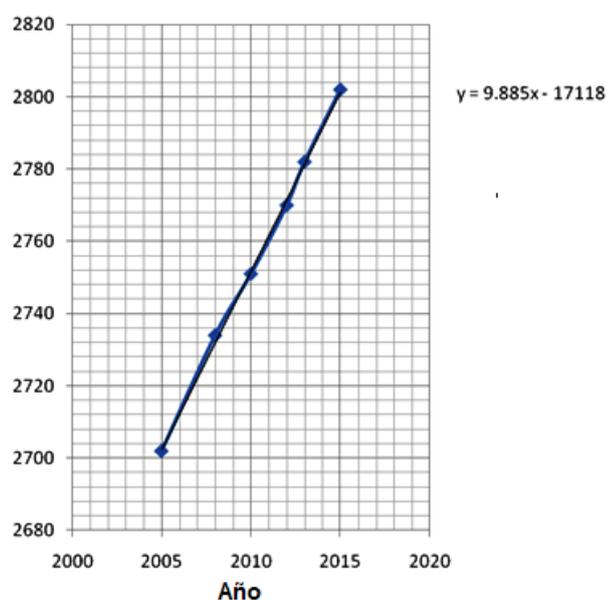
En la cuadro 3.1 se tiene los datos de la cantidad de habitantes en diferentes años, estos datos son recogidos de la población en sitio y por actas de empadronamiento de comuneros los cuales son:

**Cuadro 3.1:** Población en los diferentes años

AÑO	POBLACION
2005	2702
2008	2734
2010	2751
2012	2770
2013	2782
2016	2802

Fuente: propia.

Teniendo en cuenta un periodo de diseño de 20 años, y con los datos anteriores es posible realizar una proyección del crecimiento hasta el año 2036 (periodo de diseño de 20 años), asumiendo para este caso que el crecimiento se da en forma lineal, conforme se muestra en la Fig. 3.1 .



**Figura 3.1:** Crecimiento aritmético poblacional

Se ha determinado la línea recta de crecimiento mediante el método de interpolación lineal. La ecuación lineal que gobierna el crecimiento de la población es:

$$y = 9.885x - 17118 \quad (3.1)$$

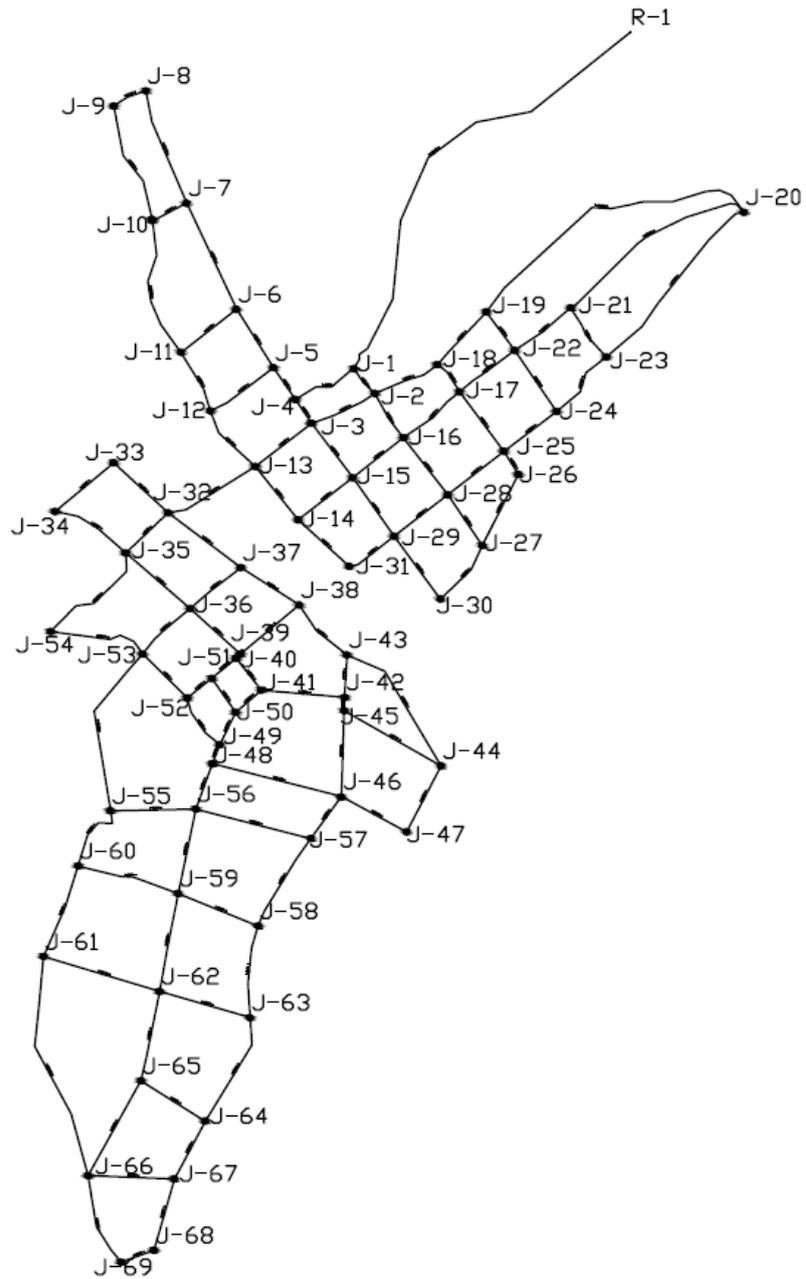
Donde:

- $y$  = Numero de Habitantes.
- $x$  = Año.

Utilizando la ecuación 3.1, se determina la población de diseño en el año 2036 que es de 2,998.00 habitantes.

#### **3.1.4. Propiedades físicas de las tuberías y nodos**

En el diseño del Sistema de Agua Potable de las Comunidades de Totos y Veracruz se tendrá en cuenta en los nodos la cota topográfica y la área según a que se va destinar la dotación como puede ser viviendas, área verde, área de usos comunales, educación, salud, etc. todo esto está plasmado en el plano M-01. El modelo de la red de distribución de las Comunidades de Totos y Veracruz se muestra en la Fig. 3.2.



**Figura 3.2:** Modelo de la red de distribución.

En el modelo de la red será necesario tener en cuenta los diámetros comerciales que son fabricados según la norma peruana *NTP399.002*, en el cuadro 3.2, se muestra las tuberías de diferentes diámetros que son de clase 10 (C-10).

**Cuadro 3.2:** Características de las tuberías NTP 399.002

	diametro exterior (mm)	Diametro interior (mm)	Espesor e (mm)	Largo de tubo (m)	Largo minimo de campana (mm) según NTP	Largo de campana (mm) Rango de Trabajo	Peso tubo aprox. (kg)
1/2'	21	17.4	1.8	5	15.75	25	0.8
3/4'	26.5	22.9	1.8	5	19.875	30	1.03
1'	33	29.4	1.8	5	24.76	35	1.3
1 1/4'	42	38	2	5	31.5	40	1.85
1 1/2'	48	43.4	2.3	5	36	50	2.43
2'	50	54.2	2.9	5	45	60	3.83
2 1/2'	73	66	3.5	5	54.75	65	5.63
3'	88.5	80.1	4.2	5	66.37	70	8.2
4'	114	103.2	5.4	5	85.5	90	13.58
6'	168	152	6	5	126	145	29.64

Fuente NTP 399.002

Como sabemos se tendrá en cuenta en la red no solo de tuberías , también la utilización de accesorios, para lo cual se tendrá que localizar en la red y en el análisis estos accesorios supondrán las perdidas locales que serán representadas por el coeficiente de perdidas como se detalla en la Cuadro 3.3.

**Cuadro 3.3:** Coeficiente de perdida por accesorio

Accesorio	Coeficiente (km)
Entrada o embocadura	1
Valvula de compuerta totalmente abierta	0.2
codo 90	0.75
Codo de gran radio	0.6
Codo 45	0.42
TE	1.8

Fuente , Arturo Rocha Felices, Hidráulica de Tubería y Canales

### **3.1.5. Disponibilidad De Agua**

El agua es uno de los bienes más importantes y escasos que tienen las personas alrededor del mundo, nuestro país no es una excepción; muchas de nuestras poblaciones se ven obligados a beber de fuentes cuya calidad deja mucho que desear y produce un sin fin de enfermedades a niños y adultos. El acceso al agua potable es una necesidad primaria y por lo tanto un derecho humano fundamental.

En la actualidad, ante el aumento dramático de la población en nuestro país y en general en el mundo entero, los diferentes servicios y recursos de que se dispone tienen que ser mejor administrados. La optimización de los recursos ha alcanzado todos los niveles de la vida humana. En el caso del agua, dicha optimización adquiere gran importancia, ya que la disponibilidad del vital líquido disminuye cada vez más y por lo tanto su obtención se dificulta y encarece de manera importante. Cuando estamos conscientes de que en el mundo sólo el 1 por ciento es agua dulce disponible para nuestro uso y que con ella debemos vivir más de seis mil millones de personas, entonces la atención se vuelve mayor. Abundar en el tema de la calidad del agua se torna todavía más complejo, si entendemos que diariamente alrededor de cinco mil personas mueren en el planeta a causa de una enfermedad de origen hídrico y que de éstas, el 90 por ciento son niños. *¿Se acabará el agua?* La respuesta es no, sin embargo cada día hay que traerla de más lejos y es menos suficiente para todos. La población crece, pero la cantidad de agua es la misma desde siempre.

#### **3.1.5.1. Problemas de Agua en Latinoamérica**

77 millones de personas carecen de acceso a agua: La región ha logrado grandes avances en las décadas recientes. El porcentaje de personas en Latinoamérica y el Caribe con servicios de agua se ha incrementado del 33 por ciento de la población en 1960 al 85 por ciento al año 2000, lo cual deja aún 77 millones de personas sin dicho servicio: 51 millones en las áreas rurales y 26 millones en las áreas urbanas.

El agua contribuye a la mejora de las condiciones de vida de las personas.

Lamentablemente, no todos tenemos acceso a ella. Las más afectadas son las poblaciones con menores ingresos. Según revelan cifras actuales, en el Perú existen 7.9 millones de pobladores rurales de los cuales 3 millones (38 %) no tienen acceso a agua potable y 5.5 millones (70 %) no cuentan con saneamiento.

Esta falta trae consecuencias negativas sobre el ambiente y la salud de las personas y, en los niños y niñas el impacto es tres veces mayor.

En el futuro esta situación se agravará. Para el 2025 se prevé la escasez de agua en 48 países y uno de ellos es el Perú. Recibimos una debilidad histórica de los años 1990 al 2002 por los limitados recursos económicos y el lento aprendizaje de parte de los diferentes gobiernos. No se entendió la importancia del tema de agua y saneamiento y no se abordó de manera integral el componente educativo y el fortalecimiento organizacional de los modelos de gestión comunitaria.

Ante esta debilidad histórica, fueron principalmente las ONGs y las entidades de cooperación al desarrollo, las que implementaron proyectos que llenaban estos vacíos y en la práctica hicieron incidencia en las políticas de intervención.

En los últimos 5 años y con el financiamiento del Banco Mundial, el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento a través del Programa Nacional de Agua Potable y Saneamiento Rural (PRONASAR) , viene implementando masivamente proyectos de agua y saneamiento con Operadores Regionales. Dentro de sus actividades incorpora los componentes de Infraestructura, Educación Sanitaria, Gestión de las Juntas Administradoras de Servicios de Saneamiento (JASS) y fortalecimiento a la unidad técnica municipal (UTM).

En el caso de comunidades rurales que se encuentran aisladas geográficamente, es necesario evaluar alternativas de diseño y analizar costos, tomando en cuenta la condición de difícil acceso.

### 3.1.5.2. Dotación de agua en el Perú

La Dotación Diaria por habitante, según el R.N.E. varía generalmente de acuerdo al número de habitantes de una localidad, al tipo de uso destinado y a las características de su clima por lo cual tenemos que hacer referencia de cada uno de ellos:

#### 1. *Consumo Doméstico.*

Constituido por el consumo familiar de agua y que incluye las bebidas, lavado de ropa, baño y aseo personal, cocina, limpieza y adecuado funcionamiento de las instalaciones sanitarias, el cual representa generalmente el consumo predominante en el diseño. Para este proyecto consideramos un consumo de 60 lit/hab/día, de acuerdo al estudio social de los habitantes, el cual está distribuido de los cuadros 3.4 y 3.5.

**Cuadro 3.4:** Consumo doméstico

<b>Clase de consumo</b>	<b>Lt / Hab / Dia</b>
Bebida	3
Uso cocina	10
Lavado de ropa	15
Limpieza de baño	4
Higiene personal	20
Limpieza del Hogar	8
<b>Dotasion de consumo domestico</b>	<b>60</b>

Fuente, Hernandez Aurelio, Abastecimiento y distribución de Agua

**Cuadro 3.5:** Dotación de agua en zona urbana

Población en N° de habitantes	Consumos urbanos en lt/hab./d				
	Doméstico	Industrias de la Ciudad	Servicios Municipales	Fugas en Redes y Varios	TOTAL
1000 - 6000	60	5	10	25	150
6000-12000	90	50	35	25	200
12000 - 50000	110	70	35	25	250
50000 - 250000	125	100	50	25	300
>250000	165	150	60	25	400

Fuente, Hernandez Aurelio, Abastecimiento y distribución de Agua

2. *Consumo Hospitales O Centros De Salud*

La dotación de agua para hospitales y centros de salud será de 800 litros por cama por día

3. *Consumo Centros Educativos*

La dotación de agua para educación primaria será de 20 litros por alumno por día. La dotación de agua para educación secundaria y superior será de 25 litros por alumno por día. Estas Dotaciones en las Instituciones se muestran en el Cuadro 3.6.

**Cuadro 3.6:** Dotación de agua en zona urbana

Tipo de institucion	Dotacion	Unidad
Escuelas	20	L / Alum / da
Colegios	25	L / Alum / da
Hospitales	800	L / Alum / da
Centro de salud	600	L / Alum / da

Fuente Norma Peruana IS-010

### 3.1.6. Demandas de agua en cada nodo

En general según el reglamento nacional de edificaciones bajo el cual está regida las dotaciones de agua para un acercamiento más cercano a lo real.

En el Cuadro 3.7, se menciona las dotaciones detalladas en cada nodo de la red de distribución que se utilizaran en la modelación.

**Cuadro 3.7:** Resumen de Distintas Dotaciones.

Uso	DOTACION	
	CANTIDAD	UNIDAD
Domestico por Numero de Habitantes	150	Lt/hab/ dia
Riego en parques	2	Lt/dia/ m <sup>2</sup>
Hospitales	800	Lt/cama/ dia
Centros de salud	600	Lt/cama/ dia
Educación primaria	20	Lt/Alumno/ dia
Educación secundaria	25	Lt/Alumno/ dia
Restaurantes	50	Lt/Asiento/ dia
Estadios	15	Lt/Asiento/ dia
Locales de entretenimiento	6	Lt/Asiento/ dia

Fuente, Norma Peruana ISO-010

Teniendo en cuenta la localización de los diferentes zonas de consumo tal como se detalla en el plano M-01. luego el producto del área donde se distribuye la población futura y las distintas dotaciones obtendremos los diferentes consumos que demanda las comunidades de Totos y Veracruz.

**Cuadro 3.8:** Se muestra la demanda en cada nodo según la distribución de la población futura.

NUDO	AREA (M <sup>2</sup> )	% TOTAL	Nº habitantes	Caudal (LPS)	NUDO	AREA (M <sup>2</sup> )	% TOTAL	Nº habitantes	Caudal (LPS)
J1	0	0	0	0	J35	5008.376	1.794	53.778	0.093
J2	3026.973	1.084	32.502	0.056	J36	4358.466	1.561	46.799	0.081
J3	3195.729	1.145	34.314	0.06	J37	2161.739	0.774	23.212	0.04
J4	2215.484	0.793	23.789	0.041	J38	2066.026	0.74	22.184	0.039
J5	3338.271	1.196	35.845	0.062	J39	1718.092	0.615	18.448	0.032
J6	4536.668	1.625	48.713	0.085	J40	755.487	0.271	8.112	0.014
J7	3839.024	1.375	41.222	0.072	J41	1691.247	0.606	18.16	0.032
J8	1448.694	0.519	15.555	0.027	J42	2638.696	0.945	28.333	0.049
J9	2492.95	0.893	26.768	0.046	J43	1991.178	0.713	21.38	0.037
J10	6189.27	2.217	66.457	0.115	J44	3914.755	1.402	42.035	0.073
J11	4278.022	1.532	45.935	0.08	J45	3837.716	1.375	41.208	0.072
J12	3469.7	1.243	37.256	0.065	J46	5382.417	1.928	57.794	0.1
J13	3589.476	1.286	38.542	0.067	J47	11109.63	3.979	119.29	0.207
J14	2695.077	0.965	28.938	0.05	J48	1218.408	0.436	13.083	0.023
J15	2956.655	1.059	31.747	0.055	J49	2600.399	0.931	27.922	0.048
J16	2993.488	1.072	32.143	0.056	J50	1218.408	0.436	13.083	0.023
J17	3106.118	1.112	33.352	0.058	J51	1357.697	0.486	14.578	0.025
J18	2544.21	0.911	27.319	0.047	J52	1958.251	0.701	21.027	0.037
J19	4791.545	1.716	51.449	0.089	J53	3806.175	1.363	40.869	0.071
J20	16138.25	5.78	173.285	0.301	J54	4239.794	1.519	45.525	0.079
J21	4008.569	1.436	43.042	0.075	J55	4499.16	1.611	48.31	0.084
J22	2992.141	1.072	32.128	0.056	J56	5611.833	2.01	60.257	0.105
J23	4699.171	1.683	50.457	0.088	J57	3658.788	1.31	39.286	0.068
J24	4602.714	1.648	49.422	0.086	J58	5276.682	1.89	56.659	0.098
J25	2881.557	1.032	30.941	0.054	J59	5989.871	2.145	64.316	0.112
J26	3318.893	1.189	35.637	0.062	J60	4487.515	1.607	48.185	0.084
J27	3159.544	1.132	33.926	0.059	J61	7481.263	2.679	80.33	0.139
J28	3803.335	1.362	40.838	0.071	J62	8634.294	3.092	92.711	0.161
J29	3799.475	1.361	40.797	0.071	J63	5733.577	2.054	61.564	0.107
J30	6476.297	2.32	69.539	0.121	J64	4511.714	1.616	48.445	0.084
J31	1912.125	0.685	20.531	0.036	J65	5351.774	1.917	57.465	0.1
J32	2043.498	0.732	21.942	0.038	J66	13781.13	4.936	147.975	0.257
J33	2817.499	1.009	30.253	0.053	J67	3990.032	1.429	42.843	0.074
J34	5278.815	1.891	56.681	0.098	J68	3278.352	1.174	35.201	0.061
					J69	5249.49	1.88	56.367	0.098
					<b>TOTAL</b>	<b>279207.7</b>	<b>100</b>	<b>2998</b>	

Fuente: propia.

**Cuadro 3.9:** Se muestra la demanda de agua para mantener las áreas verdes en los distintos nudos solicitados.

NUDO	AREA (M2)	Caudal (LPS)	NUDO	AREA (M2)	Caudal (LPS)
J1	0	0	J36	0	0
J2	0	0	J37	0	0
J3	0	0	J38	0	0
J4	0	0	J39	0	0
J5	0	0	J40	0	0
J6	0	0	J41	140.251	0.003
J7	0	0	J42	0	0
J8	0	0	J43	0	0
J9	0	0	J44	0	0
J10	0	0	J45	0	0
J11	0	0	J46	0	0
J12	0	0	J47	2851.933	0.066
J13	0	0	J48	0	0
J14	529.612	0.012	J49	0	0
J15	529.612	0.012	J50	140.251	0.003
J16	0	0	J51	140.251	0.003
J17	0	0	J52	0	0
J18	0	0	J53	0	0
J19	0	0	J54	0	0
J20	127.03	0.003	J55	0	0
J21	0	0	J56	0	0
J22	0	0	J57	0	0
J23	0	0	J58	0	0
J24	0	0	J59	0	0
J25	0	0	J60	0	0
J26	0	0	J61	0	0
J27	0	0	J62	0	0
J28	0	0	J63	0	0
J29	0	0	J64	0	0
J30	0	0	J65	0	0
J31	0	0	J66	0	0
J32	0	0	J67	0	0
J33	0	0	J68	0	0
J34	0	0	J69	343.888	0.008
J35	0	0	<b>TOTAL</b>	<b>4802.827</b>	

Fuente: propia.

Cuadro 3.10: Muestra la demanda de agua para escuelas.

NUDO	Nº de Alumnos	Caudal (LPS)	NUDO	Nº de Alumnos	Caudal (LPS)
J1	0	0	J36	0	0
J2	0	0	J37	0	0
J3	0	0	J38	0	0
J4	0	0	J39	0	0
J5	0	0	J40	0	0
J6	0	0	J41	0	0
J7	0	0	J42	0	0
J8	0	0	J43	0	0
J9	0	0	J44	0	0
J10	0	0	J45	0	0
J11	0	0	J46	0	0
J12	0	0	J47	0	0
J13	0	0	J48	0	0
J14	0	0	J49	0	0
J15	0	0	J50	0	0
J16	0	0	J51	185	0.043
J17	0	0	J52	0	0
J18	0	0	J53	0	0
J19	0	0	J54	0	0
J20	0	0	J55	0	0
J21	0	0	J56	0	0
J22	0	0	J57	0	0
J23	0	0	J58	0	0
J24	0	0	J59	0	0
J25	0	0	J60	0	0
J26	0	0	J61	0	0
J27	0	0	J62	0	0
J28	0	0	J63	0	0
J29	0	0	J64	0	0
J30	0	0	J65	0	0
J31	0	0	J66	0	0
J32	175	0.041	J67	0	0
J33	0	0	J68	0	0
J34	0	0	J69	0	0
J35	0	0			

Fuente: propia.

**Cuadro 3.11:** Se muestra la demanda de agua para colegio.

NUDO	Nº de Alumnos	Caudal (LPS)
J1	0	0
J2	0	0
J3	0	0
J4	0	0
J5	0	0
J6	0	0
J7	0	0
J8	0	0
J9	0	0
J10	0	0
J11	0	0
J12	0	0
J13	0	0
J14	0	0
J15	0	0
J16	0	0
J17	0	0
J18	0	0
J19	0	0
J20	0	0
J21	0	0
J22	0	0
J23	0	0
J24	0	0
J25	0	0
J26	0	0
J27	0	0
J28	0	0
J29	220	0.064
J30	0	0
J31	0	0
J32	0	0
J33	0	0
J34	0	0
J35	0	0
J36	0	0
J37	0	0
J38	0	0
J39	0	0
J40	0	0
J41	0	0
J42	0	0
J43	0	0
J44	0	0
J45	0	0
J46	0	0
J47	0	0
J48	0	0
J49	0	0
J50	0	0
J51	0	0
J52	0	0
J53	0	0
J54	0	0
J55	0	0
J56	0	0
J57	0	0
J58	0	0
J59	0	0
J60	0	0
J61	0	0
J62	0	0
J63	0	0
J64	0	0
J65	0	0
J66	0	0
J67	0	0
J68	0	0
J69	0	0

Fuente: propia.

**Cuadro 3.12:** Se muestra la demanda de agua para el Centro de Salud.

NUDO	Nº de camas	Caudal (LPS)
J1	0	0
J2	0	0
J3	0	0
J4	0	0
J5	0	0
J6	0	0
J7	0	0
J8	0	0
J9	0	0
J10	0	0
J11	0	0
J12	0	0
J13	0	0
J14	0	0
J15	15	0.104
J16	0	0
J17	0	0
J18	0	0
J19	0	0
J20	0	0
J21	0	0
J22	0	0
J23	0	0
J24	0	0
J25	0	0
J26	0	0
J27	0	0
J28	0	0
J29	0	0
J30	0	0
J31	0	0
J32	0	0
J33	0	0
J34	0	0
J35	0	0

NUDO	Nº de camas	Caudal (LPS)
J36	0	0
J37	0	0
J38	0	0
J39	0	0
J40	0	0
J41	0	0
J42	0	0
J43	0	0
J44	0	0
J45	0	0
J46	0	0
J47	15	0.104
J48	0	0
J49	0	0
J50	0	0
J51	0	0
J52	0	0
J53	0	0
J54	0	0
J55	0	0
J56	0	0
J57	0	0
J58	0	0
J59	0	0
J60	0	0
J61	0	0
J62	0	0
J63	0	0
J64	0	0
J65	0	0
J66	0	0
J67	0	0
J68	0	0
J69	0	0

Fuente: propia.

**Cuadro 3.13:** Se muestra la demanda de agua para estadios.

NUDO	Nº de Asientos	Caudal (LPS)
J1	0	0
J2	0	0
J3	0	0
J4	0	0
J5	0	0
J6	0	0
J7	0	0
J8	0	0
J9	0	0
J10	0	0
J11	0	0
J12	0	0
J13	0	0
J14	1000	0.174
J15	0	0
J16	0	0
J17	0	0
J18	0	0
J19	0	0
J20	0	0
J21	0	0
J22	0	0
J23	0	0
J24	0	0
J25	0	0
J26	0	0
J27	0	0
J28	0	0
J29	0	0
J30	0	0
J31	0	0
J32	0	0
J33	0	0
J34	0	0
J35	0	0

NUDO	Nº de Asientos	Caudal (LPS)
J36	0	0
J37	0	0
J38	0	0
J39	0	0
J40	0	0
J41	0	0
J42	0	0
J43	0	0
J44	0	0
J45	0	0
J46	0	0
J47	0	0
J48	0	0
J49	1000	0.174
J50	0	0
J51	0	0
J52	0	0
J53	0	0
J54	0	0
J55	0	0
J56	0	0
J57	0	0
J58	0	0
J59	0	0
J60	0	0
J61	0	0
J62	0	0
J63	0	0
J64	0	0
J65	0	0
J66	0	0
J67	0	0
J68	0	0
J69	0	0

Fuente: propia.

Cuadro 3.14: Se muestra el resumen para los diferentes nodos en la modelación.

NUDO	habitantes (LPS)	Areas Verdes (LPS)	Escuela (LPS)	Colegio (LPS)	C. Salud (LPS)	Estadio (LPS)	TOTAL (LPS)
J1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
J2	0.056	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.056
J3	0.060	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.060
J4	0.041	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.041
J5	0.062	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.062
J6	0.085	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.085
J7	0.072	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.072
J8	0.027	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.027
J9	0.046	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.046
J10	0.115	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.115
J11	0.080	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.080
J12	0.065	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.065
J13	0.067	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.067
J14	0.050	0.012	0.000	0.000	0.000	0.174	0.236
J15	0.055	0.012	0.000	0.000	0.104	0.000	0.172
J16	0.056	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.056
J17	0.058	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.058
J18	0.047	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.047
J19	0.089	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.089
J20	0.301	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.304
J21	0.075	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.075
J22	0.056	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.056
J23	0.088	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.088
J24	0.086	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.086
J25	0.054	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.054
J26	0.062	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.062
J27	0.059	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.059
J28	0.071	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.071
J29	0.071	0.000	0.000	0.064	0.000	0.000	0.134
J30	0.121	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.121
J31	0.036	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.036
J32	0.038	0.000	0.041	0.000	0.000	0.000	0.079
J33	0.053	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.053
J34	0.098	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.098
J35	0.093	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.093
J36	0.081	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.081
J37	0.040	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.040
J38	0.039	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.039
J39	0.032	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.032
J40	0.014	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.014
J41	0.032	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.035
J42	0.049	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.049
J43	0.037	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.037
J44	0.073	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.073

Sigue en la página siguiente

<b>NUDOS</b>	<b>habitantes (LPS)</b>	<b>Areas Verdes (LPS)</b>	<b>Escuela (LPS)</b>	<b>Colegio (LPS)</b>	<b>C. Salud (LPS)</b>	<b>Estadio (LPS)</b>	<b>TOTAL (LPS)</b>
J44	0.073	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.073
J45	0.072	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.072
J46	0.100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.100
J47	0.207	0.066	0.000	0.000	0.104	0.000	0.377
J48	0.023	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.023
J49	0.048	0.000	0.000	0.000	0.000	0.174	0.222
J50	0.023	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.026
J51	0.025	0.003	0.043	0.000	0.000	0.000	0.071
J52	0.037	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.037
J53	0.071	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.071
J54	0.079	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.079
J55	0.084	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.084
J56	0.105	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.105
J57	0.068	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.068
J58	0.098	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.098
J59	0.112	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.112
J60	0.084	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.084
J61	0.139	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.139
J62	0.161	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.161
J63	0.107	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.107
J64	0.084	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.084
J65	0.100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.100
J66	0.257	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.257
J67	0.074	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.074
J68	0.061	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.061
J69	0.098	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.106

Fuente: propia.

## 3.2. Proceso de Diseño

### 3.2.1. En Línea de Conducción

En la línea de conducción o transporte del agua, primero el diseño depende del Caudal Máximo Diario el cual es simplemente el producto del caudal promedio y el factor  $K = 1.3$ (comunidad Rural), tal como se muestra en la siguiente cuadro.

**Cuadro 3.15:** Datos generales Totos - Veracruz

<b>POBLACION ACTUAL :</b>	<b>2,802</b> Hab.	<b>RENDIM. DE MANANTIALES</b>		
<b># DE VIVIENDAS :</b>	<b>934</b>	EN PROYECCIÓN	<b>0.000</b>	Lt/seg
<b>N° DE INTEGRANTES:</b>	<b>3</b> Personas	ANTIGUO	<b>0.000</b>	Lt/seg
		<b>REND.TOTAL:</b>	<b>0.000</b>	Lt/seg
<b>POBLACION FUTURA DE DISEÑO</b>				<b>2802</b>
<b>Ingrese los siguientes datos:</b>				934
Coef. de Crecim. poblac.	r =	<b>0.35</b>	% anual	Fuente INEI
Periodo de diseño	t =	<b>20</b>	años	
Población futura =====> :			<b>2998.1</b>	Habitantes
Redondeando :			<b>2998</b>	Hab.
<b>CALCULO DE CAUDALES DE DISEÑO</b>				
<b>Dotación (d)</b>	<b>150</b>	Lt/Hab/día.		
		Caudal prom. diario Qp :	<b>5.205</b>	Lt/seg.
	K1 = 1.3	Caudal Max. diario Qmd :	<b>6.766</b>	Lt/seg.
	K2 = 1.5	Caudal Max. Horario Qmh :	<b>7.807</b>	Lt/seg.

Fuente :propia.

Y seguidamente aplicamos Superficie Optimo de Gradiente Hidráulico, el cual detallaremos en el diseño óptimo de la red de distribución, se detalla el diseño en la siguiente cuadro.

ESTRUCTURAS	LONGITUD HORIZONTAL (m)	CAUDAL (Qm <sup>3</sup> /seg)	COTA ESTRUCT. (TERRENO)		DESNIVEL DE TERRENO (Metros)	COTA PIEZOMETRICA OPTIMA FINAL (m.s.n.m.)	DIAMETRO ASUMIDO (m)	CAUDAL (Q (M <sup>3</sup> /S))	VELOCIDAD (V) (m/seg)	PERD. CARGA OPTIMA (hf-hm) (m)	f	DIAMETRO		VELOCIDAD (V) (m/seg)	f	hf-hm(m)	PRESION FINAL (mca)
			INICIAL (m.s.n.m.)	FINAL (m.s.n.m.)								OPTIMO (m)	COMERCIAL (m)				
CAP - CRP1	267,94	6,766	4124,72	4068	56,722	4078	0,152	0,00677	0,37	46,722	0,1715	0,00697	0,066	1,98	0,02924	23,6657	33,0563
CRP1 - CRP2	322,69	6,766	4068	4011	56,997	4021,003	0,152	0,00677	0,37	46,997	0,1715	0,00835	0,066	1,98	0,02924	28,5015	28,4955
CRP2 - CRP3	362,52	6,766	4011	3954,48	56,527	3964,476	0,152	0,00677	0,37	46,527	0,1715	0,00947	0,066	1,98	0,02924	32,0194	24,5076
CRP3 - CRP4	377,32	6,766	3954,48	3897,28	57,192	3907,284	0,152	0,00677	0,37	47,192	0,1715	0,00972	0,066	1,98	0,02924	33,3267	23,8653
CRP4 - CRP5	229,53	6,766	3897,28	3839,51	57,777	3849,507	0,152	0,00677	0,37	47,777	0,1715	0,00584	0,066	1,98	0,02924	20,2732	37,5038
CRP5 - CRP6	270,99	6,766	3839,51	3780,95	58,561	3790,946	0,152	0,00677	0,37	48,561	0,1715	0,00678	0,066	1,98	0,02924	23,9351	34,6239
CRP6 - CRP7	301,31	6,766	3780,95	3721,59	59,353	3731,593	0,152	0,00677	0,37	49,353	0,1715	0,00742	0,066	1,98	0,02924	26,6131	32,7399
CRP7 - CRP8	495,8	6,766	3721,59	3662,84	58,753	3672,84	0,152	0,00677	0,37	48,753	0,1715	0,01236	0,066	1,98	0,02924	43,7914	14,9616
CRP8 - CRP9	501,9	6,766	3662,84	3608,54	54,3	3618,54	0,152	0,00677	0,37	44,3	0,1715	0,01377	0,066	1,98	0,02924	44,3301	9,9699
CRP9 - CRP10	221,82	6,766	3608,54	3554,42	54,123	3564,417	0,152	0,00677	0,37	44,123	0,1715	0,00611	0,066	1,98	0,02924	19,5922	34,5308
CRP10 - CRP11	343,13	6,766	3554,42	3500,29	54,123	3510,294	0,152	0,00677	0,37	44,123	0,1715	0,00945	0,066	1,98	0,02924	30,5071	23,8159
CRP11 - CRP12	335,9	6,766	3500,29	3447,17	53,123	3457,171	0,152	0,00677	0,37	43,123	0,1715	0,00947	0,066	1,98	0,02924	29,6682	23,4548
CRP12 - R-01	379,08	6,766	3447,17	3391,25	55,921	3401,25	0,152	0,00677	0,37	45,921	0,1715	0,01003	0,066	1,98	0,02924	33,4821	22,4389

Figura 3.3: Superficie Optimo de Gradiente Hidráulico

Fuente: propia.

### 3.2.2. Reservorio

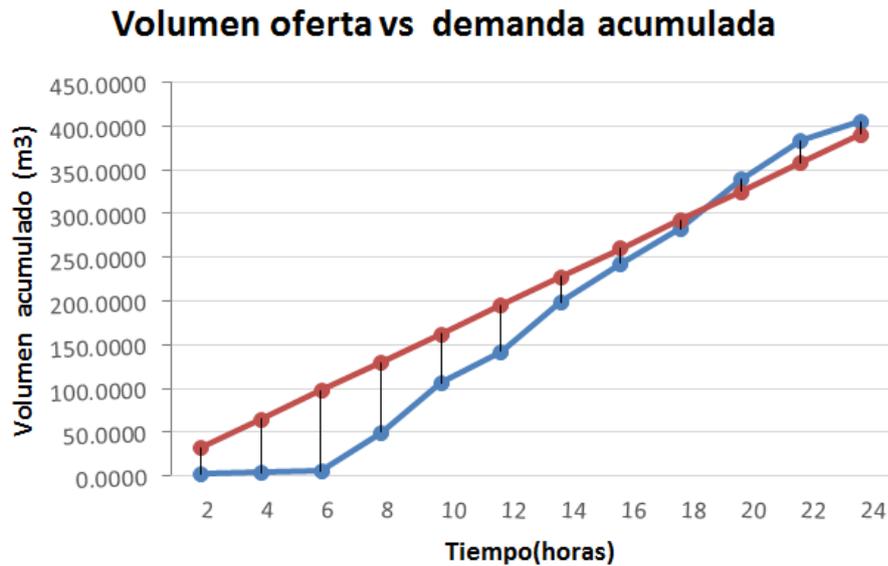
Para el diseño de la capacidad de un reservorio nos basaremos lo que indique en el RNE(Reglamento Nacional de Edificaciones) en la cual especifica que el volumen de regulación será calculado con el diagrama masa correspondientes a las variaciones horarias de las demandas y oferta y la curva de volumen acumulado de oferta y demanda definirán el volumen del reservorio. Se muestra en el cuadro:

**Cuadro 3.16:** Variaciones horarias de las demandas y oferta

Tiempo (hrs.)	CAUDAL Demanda(L/S)	VOLUMEN (M3)	VOLUMEN ACUMULADO(M3)	CAUDAL OFERTA(L/S)	VOLUMEN (M3)	VOLUMEN ACUMULADO(M3)
2	0.2737	1.9704	1.9704	4.5210	32.5512	32.5512
4	0.2737	1.9704	3.9409	4.5210	32.5512	65.1024
6	0.2737	1.9704	5.9113	4.5210	32.5512	97.6536
8	6.1710	44.4310	50.3423	4.5210	32.5512	130.2048
10	7.8242	56.3339	106.6762	4.5210	32.5512	162.7560
12	4.9673	35.7642	142.4404	4.5210	32.5512	195.3072
14	7.8242	56.3339	198.7744	4.5210	32.5512	227.8584
16	6.1710	44.4310	243.2054	4.5210	32.5512	260.4096
18	5.4929	39.5490	282.7544	4.5210	32.5512	292.9608
20	7.8242	56.3339	339.0883	4.5210	32.5512	325.5120
22	6.1710	44.4310	383.5193	4.5210	32.5512	358.0632
24	3.0093	21.6669	405.1862	4.5210	32.5512	390.6144

Fuente: propia.

Según la tabla nos mostrara la siguiente curva de oferta y demanda de volumen acumulado.



**Figura 3.4:** curva de oferta y demanda de volumen acumulado.

Por lo tanto, el volumen de regulación del reservorio es 117.93: Cuyas dimensiones serán de 7.8 de diámetro y una altura de 2.6 m. de altura. Por lo tanto, se Considerará un reservorio cilíndrico de un volumen de 125 m<sup>3</sup>.

### 3.2.3. Aducción y Distribución

#### 3.2.3.1. Caudales de Demandas Horarios

Como sabemos tenemos las diferentes demandas en los diferentes nodos, pero también estos variaran en el tiempo las cuales se llama demanda horaria, y por ende cuando varia las demandas en el tiempo se obtendrá variaciones de presión y velocidad en el sistema, por lo cual el presente análisis será en periodo extendido, que es un análisis en cada instante de tiempo. Con esta información ayudara para una estimación más precisa en la variación de la demanda de agua potable y en general para un mejor entendimiento de los patrones reales de consumo del agua. La estimación correcta de la demanda del agua representa una condición indispensable para la planeación y el diseño de los sistemas de suministro, que en gran medida determina las inversiones necesarias y la calidad del servicio, a pesar de su importancia, en la practica la demanda de agua potable se establece de acuerdo

con las condiciones climáticas y factores socioeconómico indicados anteriormente, o se estima con base en datos promedios de facturación mensual o mediciones del gasto suministrados en las fuentes y los tanques.

En las variaciones de demanda horaria los intervalos de tiempo consideraremos 2 hr. un tiempo prudencial, ahora la demanda horaria como es lógico los picos más altos serán en las horas 6 – 10am, 12 – 2pm y 6 – 10pm. y durante la noche 12 – 6am mostraran los más bajos.

las distintas variaciones de demanda horaria se estimara tal como se muestra en la *Cuadro3.17*.

Cuadro 3.17: Variaciones de demanda horaria

NUDC	HORA $\Delta t = 2hr.$													Q. MEDIO
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	
J1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
J2	0.002	0.002	0.002	0.056	0.073	0.045	0.073	0.056	0.05	0.07	0.06	0.028	0.002	0.056
J3	0.002	0.002	0.002	0.06	0.077	0.048	0.077	0.06	0.05	0.08	0.06	0.03	0.002	0.06
J4	0.002	0.002	0.002	0.041	0.054	0.033	0.054	0.041	0.04	0.05	0.04	0.021	0.002	0.041
J5	0.002	0.002	0.002	0.062	0.081	0.05	0.081	0.062	0.06	0.08	0.06	0.031	0.002	0.062
J6	0.003	0.003	0.003	0.085	0.11	0.068	0.11	0.085	0.08	0.11	0.09	0.042	0.003	0.085
J7	0.003	0.003	0.003	0.072	0.093	0.057	0.093	0.072	0.06	0.09	0.07	0.036	0.003	0.072
J8	0.001	0.001	0.001	0.027	0.035	0.022	0.035	0.027	0.02	0.04	0.03	0.014	0.001	0.027
J9	0.002	0.002	0.002	0.046	0.06	0.037	0.06	0.046	0.04	0.06	0.05	0.023	0.002	0.046
J10	0.005	0.005	0.005	0.115	0.15	0.092	0.15	0.115	0.1	0.15	0.12	0.058	0.005	0.115
J11	0.003	0.003	0.003	0.08	0.104	0.064	0.104	0.08	0.07	0.1	0.08	0.04	0.003	0.08
J12	0.003	0.003	0.003	0.065	0.084	0.052	0.084	0.065	0.06	0.08	0.07	0.032	0.003	0.065
J13	0.003	0.003	0.003	0.067	0.087	0.054	0.087	0.067	0.06	0.09	0.07	0.033	0.003	0.067
J14	0.009	0.009	0.009	0.236	0.307	0.189	0.307	0.236	0.21	0.31	0.24	0.118	0.009	0.236
J15	0.017	0.017	0.017	0.206	0.223	0.172	0.223	0.206	0.17	0.22	0.17	0.086	0.017	0.206
J16	0.002	0.002	0.002	0.056	0.073	0.045	0.073	0.056	0.05	0.07	0.06	0.028	0.002	0.056
J17	0.002	0.002	0.002	0.058	0.075	0.046	0.075	0.058	0.05	0.08	0.06	0.029	0.002	0.058
J18	0.002	0.002	0.002	0.047	0.062	0.038	0.062	0.047	0.04	0.06	0.05	0.024	0.002	0.047
J19	0.004	0.004	0.004	0.089	0.116	0.071	0.116	0.089	0.08	0.12	0.09	0.045	0.004	0.089
J20	0.012	0.012	0.012	0.304	0.395	0.243	0.395	0.304	0.27	0.4	0.3	0.152	0.012	0.304
J21	0.003	0.003	0.003	0.075	0.097	0.06	0.097	0.075	0.07	0.1	0.08	0.037	0.003	0.075
J22	0.002	0.002	0.002	0.056	0.073	0.045	0.073	0.056	0.05	0.07	0.06	0.028	0.002	0.056
J23	0.004	0.004	0.004	0.088	0.114	0.07	0.114	0.088	0.08	0.11	0.09	0.044	0.004	0.088
J24	0.003	0.003	0.003	0.086	0.112	0.069	0.112	0.086	0.08	0.11	0.09	0.043	0.003	0.086
J25	0.002	0.002	0.002	0.054	0.07	0.043	0.07	0.054	0.05	0.07	0.05	0.027	0.002	0.054
J26	0.002	0.002	0.002	0.062	0.08	0.049	0.08	0.062	0.06	0.08	0.06	0.031	0.002	0.062
J27	0.002	0.002	0.002	0.059	0.077	0.047	0.077	0.059	0.05	0.08	0.06	0.029	0.002	0.059
J28	0.003	0.003	0.003	0.071	0.092	0.057	0.092	0.071	0.06	0.09	0.07	0.035	0.003	0.071
J29	0.005	0.005	0.005	0.161	0.175	0.134	0.175	0.161	0.13	0.18	0.13	0.067	0.005	0.161
J30	0.005	0.005	0.005	0.121	0.157	0.097	0.157	0.121	0.11	0.16	0.12	0.06	0.005	0.121
J31	0.001	0.001	0.001	0.036	0.046	0.029	0.046	0.036	0.03	0.05	0.04	0.018	0.001	0.036
J32	0.003	0.003	0.003	0.094	0.102	0.079	0.102	0.094	0.08	0.1	0.08	0.039	0.003	0.094
J33	0.002	0.002	0.002	0.053	0.068	0.042	0.068	0.053	0.05	0.07	0.05	0.026	0.002	0.053
J34	0.004	0.004	0.004	0.098	0.128	0.079	0.128	0.098	0.09	0.13	0.1	0.049	0.004	0.098
J35	0.004	0.004	0.004	0.093	0.121	0.075	0.121	0.093	0.08	0.12	0.09	0.047	0.004	0.093
J36	0.003	0.003	0.003	0.081	0.106	0.065	0.106	0.081	0.07	0.11	0.08	0.041	0.003	0.081
J37	0.002	0.002	0.002	0.04	0.052	0.032	0.052	0.04	0.04	0.05	0.04	0.02	0.002	0.04
J38	0.002	0.002	0.002	0.039	0.05	0.031	0.05	0.039	0.04	0.05	0.04	0.019	0.002	0.039
J39	0.001	0.001	0.001	0.032	0.042	0.026	0.042	0.032	0.03	0.04	0.03	0.016	0.001	0.032
J40	0.001	0.001	0.001	0.014	0.018	0.011	0.018	0.014	0.01	0.02	0.01	0.007	0.001	0.014
J41	0.001	0.001	0.001	0.035	0.045	0.028	0.045	0.035	0.03	0.05	0.04	0.017	0.001	0.035
J42	0.002	0.002	0.002	0.049	0.064	0.039	0.064	0.049	0.04	0.06	0.05	0.025	0.002	0.049
J43	0.001	0.001	0.001	0.037	0.048	0.03	0.048	0.037	0.03	0.05	0.04	0.019	0.001	0.037
J44	0.003	0.003	0.003	0.073	0.095	0.058	0.095	0.073	0.07	0.1	0.07	0.036	0.003	0.073
J45	0.003	0.003	0.003	0.072	0.093	0.057	0.093	0.072	0.06	0.09	0.07	0.036	0.003	0.072
J46	0.004	0.004	0.004	0.1	0.13	0.08	0.13	0.1	0.09	0.13	0.1	0.05	0.004	0.1
J47	0.038	0.038	0.038	0.453	0.49	0.377	0.49	0.453	0.38	0.49	0.38	0.189	0.038	0.453
J48	0.001	0.001	0.001	0.023	0.03	0.018	0.03	0.023	0.02	0.03	0.02	0.011	0.001	0.023
J49	0.009	0.009	0.009	0.222	0.289	0.178	0.289	0.222	0.2	0.29	0.22	0.111	0.009	0.222
J50	0.001	0.001	0.001	0.026	0.034	0.021	0.034	0.026	0.02	0.03	0.03	0.013	0.001	0.026
J51	0.003	0.003	0.003	0.071	0.093	0.057	0.093	0.071	0.06	0.09	0.07	0.036	0.003	0.071
J52	0.001	0.001	0.001	0.037	0.047	0.029	0.047	0.037	0.03	0.05	0.04	0.018	0.001	0.037
J53	0.003	0.003	0.003	0.071	0.092	0.057	0.092	0.071	0.06	0.09	0.07	0.035	0.003	0.071
J54	0.003	0.003	0.003	0.079	0.103	0.063	0.103	0.079	0.07	0.1	0.08	0.04	0.003	0.079

sigue en la siguiente pagina

NUDO	HORA $\Delta t = 2hr.$													Q. MEDIO
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	
J1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J55	0.003	0.003	0.003	0.084	0.109	0.067	0.109	0.084	0.075	0.109	0.084	0.042	0.003	0.084
J56	0.004	0.004	0.004	0.105	0.136	0.084	0.136	0.105	0.094	0.136	0.105	0.052	0.004	0.105
J57	0.003	0.003	0.003	0.068	0.089	0.055	0.089	0.068	0.061	0.089	0.068	0.034	0.003	0.068
J58	0.004	0.004	0.004	0.098	0.128	0.079	0.128	0.098	0.089	0.128	0.098	0.049	0.004	0.098
J59	0.004	0.004	0.004	0.112	0.145	0.089	0.145	0.112	0.1	0.145	0.112	0.056	0.004	0.112
J60	0.003	0.003	0.003	0.084	0.109	0.067	0.109	0.084	0.075	0.109	0.084	0.042	0.003	0.084
J61	0.006	0.006	0.006	0.139	0.181	0.112	0.181	0.139	0.126	0.181	0.139	0.07	0.006	0.139
J62	0.006	0.006	0.006	0.161	0.209	0.129	0.209	0.161	0.145	0.209	0.161	0.08	0.006	0.161
J63	0.004	0.004	0.004	0.107	0.139	0.086	0.139	0.107	0.096	0.139	0.107	0.053	0.004	0.107
J64	0.003	0.003	0.003	0.084	0.109	0.067	0.109	0.084	0.076	0.109	0.084	0.042	0.003	0.084
J65	0.004	0.004	0.004	0.1	0.13	0.08	0.13	0.1	0.09	0.13	0.1	0.05	0.004	0.1
J66	0.01	0.01	0.01	0.257	0.334	0.206	0.334	0.257	0.231	0.334	0.257	0.128	0.01	0.257
J67	0.003	0.003	0.003	0.074	0.097	0.06	0.097	0.074	0.067	0.097	0.074	0.037	0.003	0.074
J68	0.002	0.002	0.002	0.061	0.079	0.049	0.079	0.061	0.055	0.079	0.061	0.031	0.002	0.061
J69	0.004	0.004	0.004	0.106	0.138	0.085	0.138	0.106	0.095	0.138	0.106	0.053	0.004	0.106

Fuente: propia.

Teniendo estos datos también nos mostrara la curva de las variaciones de demanda en los diferentes nodos.

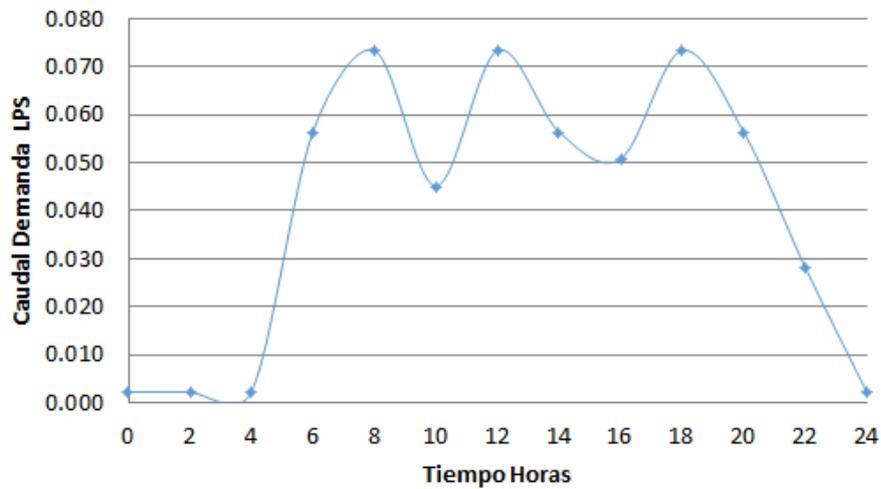
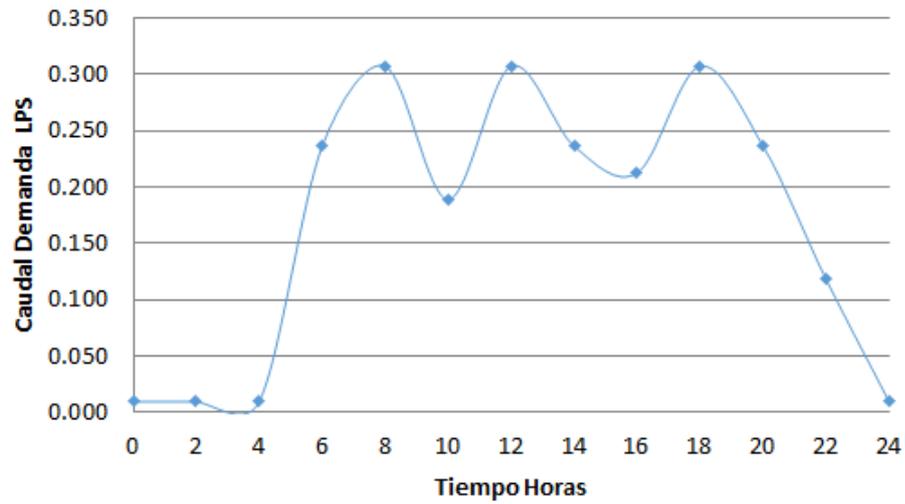


Figura 3.5: Curva de caudal demanda del nodo J2



**Figura 3.6:** Curva de caudal demanda del nodo J14

### 3.2.4. Superficie Optima de Gradiente Hidráulico (SOGH).

#### 3.2.4.1. Determinación de sentidos de Flujos

Asignar el diámetro mayor disponible a todas las tuberías en nuestro caso de 3 pulg. y luego realizar la simulación hidráulica en nuestro caso aplicaremos el método de Gradiente y obtenemos:

**Cuadro 3.18:** Dirección del flujo en cada tubería

TUBERIA	CAUDAL(M3/S)	TUBERIA	CAUDAL(M3/S)	TUBERIA	CAUDAL(M3/S)
R1 - J1	9.0279	J21 - J20	0.0437	J50 - J49	0.7477
J1 - J2	6.7828	J23 - J20	0.1476	J54 - J53	0.9046
J4 - J1	-2.2451	J28 - J27	0.1512	J35 - J36	1.1531
J4 - J3	0.1230	J15 - J16	-1.2046	J35 - J32	-1.0601
J2 - J3	2.2906	J15 - J29	0.1608	J35 - J54	1.0232
J25 - J28	0.4888	J11 - J12	-0.0478	J36 - J53	1.1201
J3- J15	0.9667	J12 - J13	1.2326	J36 - J39	1.0342
J27 - J30	0.3504	J24 - J23	0.0933	J43 - J42	0.4914
J25 - J24	-0.2031	J13 - J14	-2.6712	J43 - J44	0.5084
J2 - J16	2.5325	J13 - J3	-1.3576	J69 - J68	-0.0847
J2 - J18	1.8750	J6 - J5	-0.5893	J34 - J33	-1.4038
J26 - J27	0.2875	J6 - J11	0.2814	J34 - J35	1.2562
J18 - J17	1.0204	J53 - J52	0.8619	J56 - J59	0.7524
J18 - J19	0.7835	J53 - J55	1.0564	J56 - J57	0.0216
J17 - J22	0.4651	J40 - J41	0.8390	J46 - J57	0.6377
J17 - J25	0.7466	J40 - J39	-1.1897	J46 - J47	0.0423
J9 - J8	-0.0251	J39 - J38	-0.2036	J57 - J58	0.5570
J9 - J10	-0.0447	J45 - J42	-0.8726	J32- J37	2.5004
J8 - J7	-0.0656	J45 - J46	0.6406	J32 - J13	-5.1610
J7 - J10	0.0081	J45 - J44	0.1247	J55 - J60	0.7652
J7 - J6	-0.1810	J66 - J67	0.0931	J55 - J56	0.1653
J10 - J11	-0.2096	J66 - J69	0.0741	J60 - J59	0.3040
J5 - J4	-2.0601	J61 - J60	-0.3357	J37 - J36	1.1230
J5 - J12	1.3774	J61 - J62	-0.1041	J37 - J38	1.3169
J19 - J22	0.3851	J61 - J66	0.2306	J38 - J43	1.0555
J19 - J20	0.2644	J48 - J49	-0.9896	J65 - J64	0.2226
J22 - J21	0.3414	J48 - J56	0.7656	J65 - J66	0.3219
J22 - J24	0.4251	J48 - J46	0.1899	J64 - J67	0.1948
J14 - J31	-1.2721	J47 - J44	-0.5236	J64 - J63	-0.0984
J14 - J15	-1.7533	J63 - J58	-0.4945	J33 - J32	-1.4826
J16 - J17	0.2782	J52 - J51	0.2321	J67 - J68	0.1763
J16 - J28	0.9660	J52 - J49	0.5750	J59 - J58	0.0851
J31 - J29	-1.3255	J51 - J40	-0.3296	J59 - J62	0.8038
J29 - J28	-1.1972	J51 - J50	0.4546	J62 - J65	0.6941
J29 - J30	-0.1693	J41 - J50	0.3320	J62 - J63	-0.2358
J21 - J23	0.1857	J41 - J42	0.4549	J25 - J26	0.3803

Fuente: propia.

### 3.2.4.2. Superficie Optima de Gradiente Hidráulico

Siguiendo el criterio de I-Pai Wu para el diseño de líneas de riego. SOGH parte de este principio y lo extiende a el caso de redes cerradas. Por lo tanto Obtenemos los siguientes Presiones.

**Cuadro 3.19:** Cota Piezometrica Ideal

NODO	Cota Piezometrica Ideal (m.s.n.m.)	NODO	Cota Piezometrica Ideal (m.s.n.m.)
J1	3382.2	J36	3380.8
J2	3377.2	J37	3381.1
J3	3372.1	J38	3365.1
J4	3377.4	J39	3366
J5	3379.2	J40	3365.3
J6	3381.1	J41	3365.3
J7	3382.8	J42	3361
J8	3385	J43	3373.5
J9	3384.1	J44	3356.1
J10	3384.8	J45	3360.7
J11	3377.4	J46	3364.6
J12	3379.5	J47	3357.3
J13	3380.2	J48	3356.5
J14	3376.7	J49	3350.2
J15	3374.8	J50	3356.8
J16	3371.1	J51	3358
J17	3372.5	J52	3359.7
J18	3378.5	J53	3363.3
J19	3379.4	J54	3372.7
J20	3381.2	J55	3362.1
J21	3375.4	J56	3338.4
J22	3374.3	J57	3319.7
J23	3370.3	J58	3337.6
J24	3377.7	J59	3345.6
J25	3381.4	J60	3350.1
J26	3378.2	J61	3369.2
J27	3371.3	J62	3354.7
J28	3364.5	J63	3357.9
J29	3364.2	J64	3361.2
J30	3370.5	J65	3354.5
J31	3368.1	J66	3369.4
J32	3368.7	J67	3362.3
J33	3373.9	J68	3365.7
J34	3375.7	J69	3370
J35	3379.3		

Fuente: propia.

### 3.2.4.3. Redondeo de diámetros

Primero obtenemos los diámetros Ideales tal como está en la siguiente tabla:

**Cuadro 3.20:** Diámetro ideal de la 1ra iteración

TUBERIA	DIAMETRO Ideal (m)
R1 - J1	0.0113290
J1 - J2	0.0009528
J4 - J1	0.0002695
J4 - J3	0.0000008
J2 - J3	0.0002730
J25 - J28	0.0000057
J3- J15	0.0001122
J27 - J30	0.0000704
J25 - J24	0.0000055
J2 - J16	0.0002149
J2 - J18	0.0007372
J26 - J27	0.0000063
J18 - J17	0.0000303
J18 - J19	0.0002453
J17 - J22	0.0000472
J17 - J25	0.0000236
J9 - J8	0.0000004
J9 - J10	0.0000041
J8 - J7	0.0000026
J7 - J10	0.0000000
J7 - J6	0.0000179
J10 - J11	0.0000059
J5 - J4	0.0003701
J5 - J12	0.0021324
J19 - J22	0.0000089
J19 - J20	0.0000743
J22 - J21	0.0000481
J22 - J24	0.0000233
J14 - J31	0.0000564
J14 - J15	0.0004352
J16 - J17	0.0000271
J16 - J28	0.0000482
J31 - J29	0.0001049
J29 - J28	0.0015019
J29 - J30	0.0000028
J21 - J23	0.0000032

TUBERIA	DIAMETRO Ideal (m)
J21 - J20	0.0000009
J23 - J20	0.0000034
J28 - J27	0.0000017
J15 - J16	0.0001131
J15 - J29	0.0000014
J11 - J12	0.0000009
J12 - J13	0.0006463
J24 - J23	0.0000009
J13 - J14	0.0005206
J13 - J3	0.0000692
J6 - J5	0.0000663
J6 - J11	0.0000100
J53 - J52	0.0000626
J53 - J55	0.0006626
J40 - J41	0.0025501
J40 - J39	0.0000581
J39 - J38	0.0000253
J45 - J42	0.0001597
J45 - J46	0.0000482
J45 - J44	0.0000033
J66 - J67	0.0000010
J66 - J69	0.0000085
J61 - J60	0.0000037
J61 - J62	0.0000009
J61 - J66	0.0005698
J48 - J49	0.0000148
J48 - J56	0.0000078
J48 - J46	0.0000045
J47 - J44	0.0000986
J63 - J58	0.0000063
J52 - J51	0.0000071
J52 - J49	0.0000107
J51 - J40	0.0000030
J51 - J50	0.0000408
J41 - J50	0.0000028
J41 - J42	0.0000234

TUBERIA	DIAMETRO Ideal (m)
J50 - J49	0.0000154
J54 - J53	0.0000402
J35 - J36	0.0003400
J35 - J32	0.0000284
J35 - J54	0.0000812
J36 - J53	0.0000215
J36 - J39	0.0000226
J43 - J42	0.0000047
J43 - J44	0.0000122
J69 - J68	0.0000006
J34 - J33	0.0003604
J34 - J35	0.0001579
J56 - J59	0.0000337
J56 - J57	0.0000001
J46 - J57	0.0000025
J46 - J47	0.0000002
J57 - J48	0.0000097
J32- J37	0.0001712
J32 - J13	0.0007286
J55 - J60	0.0000158
J55 - J56	0.0000008
J60 - J59	0.0000140
J37 - J36	0.0010448
J37 - J38	0.0000323
J38 - J43	0.0000419
J65 - J64	0.0000040
J65 - J66	0.0000049
J64 - J67	0.0000183
J64 - J63	0.0000031
J33 - J32	0.0001331
J67 - J68	0.0000053
J59 - J58	0.0000008
J59 - J62	0.0000349
J62 - J65	0.0010194
J62 - J63	0.0000117
J25 - J26	0.0000075

Fuente: Propia

Como existe una restricción comercial, redondearemos a un diámetro comercial.

**Cuadro 3.21:** Diámetro ideal de la 1ra iteración

TUBERIA	DIAMETRO Comercial (m)	TUBERIA	DIAMETRO Comercial (m)	TUBERIA	DIAMETRO Comercial (m)
R1 - J1	0.066	J21 - J20	0.066	J50 - J49	0.066
J1 - J2	0.066	J23 - J20	0.066	J54 - J53	0.066
J4 - J1	0.066	J28 - J27	0.066	J35 - J36	0.066
J4 - J3	0.066	J15 - J16	0.066	J35 - J32	0.066
J2 - J3	0.066	J15 - J29	0.066	J35 - J54	0.066
J25 - J28	0.066	J11 - J12	0.066	J36 - J53	0.066
J3- J15	0.066	J12 - J13	0.066	J36 - J39	0.066
J27 - J30	0.066	J24 - J23	0.066	J43 - J42	0.066
J25 - J24	0.066	J13 - J14	0.066	J43 - J44	0.066
J2 - J16	0.066	J13 - J3	0.066	J69 - J68	0.066
J2 - J18	0.066	J6 - J5	0.066	J34 - J33	0.066
J26 - J27	0.066	J6 - J11	0.066	J34 - J35	0.066
J18 - J17	0.066	J53 - J52	0.066	J56 - J59	0.066
J18 - J19	0.066	J53 - J55	0.066	J56 - J57	0.066
J17 - J22	0.066	J40 - J41	0.066	J46 - J57	0.066
J17 - J25	0.066	J40 - J39	0.066	J46 - J47	0.066
J9 - J8	0.066	J39 - J38	0.066	J57 - J58	0.066
J9 - J10	0.066	J45 - J42	0.066	J32- J37	0.066
J8 - J7	0.066	J45 - J46	0.066	J32 - J13	0.066
J7 - J10	0.066	J45 - J44	0.066	J55 - J60	0.066
J7 - J6	0.066	J66 - J67	0.066	J55 - J56	0.066
J10 - J11	0.066	J66 - J69	0.066	J60 - J59	0.066
J5 - J4	0.066	J61 - J60	0.066	J37 - J36	0.066
J5 - J12	0.066	J61 - J62	0.066	J37 - J38	0.066
J19 - J22	0.066	J61 - J66	0.066	J38 - J43	0.066
J19 - J20	0.066	J48 - J49	0.066	J65 - J64	0.066
J22 - J21	0.066	J48 - J56	0.066	J65 - J66	0.066
J22 - J24	0.066	J48 - J46	0.066	J64 - J67	0.066
J14 - J31	0.066	J47 - J44	0.066	J64 - J63	0.066
J14 - J15	0.066	J63 - J58	0.066	J33 - J32	0.066
J16 - J17	0.066	J52 - J51	0.066	J67 - J68	0.066
J16 - J28	0.066	J52 - J49	0.066	J59 - J58	0.066
J31 - J29	0.066	J51 - J40	0.066	J59 - J62	0.066
J29 - J28	0.066	J51 - J50	0.066	J62 - J65	0.066
J29 - J30	0.066	J41 - J50	0.066	J62 - J63	0.066
J21 - J23	0.066	J41 - J42	0.066	J25 - J26	0.066

Fuente: Propia.

#### **3.2.4.4. Optimización**

- Aumentar diámetros: Mientras existan nudos con déficit de presión. Este proceso termina cuando en toda la red se cumple los requisitos de presión.

- Disminuir diámetros: Hacer un barrido doble de la red, en el que cada iteración consiste en la disminución del diámetro de la tubería. Si el cambio genera que se violen las restricciones de presión mínima, se reversa el cambio, de lo contrario se mantiene.

Y obtenemos los siguientes diámetros comerciales tal como se muestra en la figura 3.9:

**Cuadro 3.22:** Diámetro Comercial de la 20 va iteración.

TUBERIA	Diámetro Comercial (m)
R1 - J1	0.066
J1 - J2	0.066
J4 - J1	0.066
J4 - J3	0.066
J2 - J3	0.066
J25 - J28	0.066
J3- J15	0.066
J27 - J30	0.066
J25 - J24	0.066
J2 - J16	0.066
J2 - J18	0.066
J26 - J27	0.066
J18 - J17	0.066
J18 - J19	0.066
J17 - J22	0.066
J17 - J25	0.066
J9 - J8	0.066
J9 - J10	0.066
J8 - J7	0.066
J7 - J10	0.066
J7 - J6	0.066
J10 - J11	0.066
J5 - J4	0.066
J5 - J12	0.066
J19 - J22	0.066
J19 - J20	0.066
J22 - J21	0.066
J22 - J24	0.066
J14 - J31	0.066
J14 - J15	0.152
J16 - J17	0.066
J16 - J28	0.066
J31 - J29	0.066
J29 - J28	0.066
J29 - J30	0.066
J21 - J23	0.066

TUBERIA	Diámetro Comercial (m)
J21 - J20	0.066
J23 - J20	0.066
J28 - J27	0.066
J15 - J16	0.066
J15 - J29	0.066
J11 - J12	0.066
J12 - J13	0.066
J24 - J23	0.066
J13 - J14	0.066
J13 - J3	0.066
J6 - J5	0.066
J6 - J11	0.066
J53 - J52	0.066
J53 - J55	0.066
J40 - J41	0.066
J40 - J39	0.066
J39 - J38	0.066
J45 - J42	0.066
J45 - J46	0.152
J45 - J44	0.066
J66 - J67	0.066
J66 - J69	0.066
J61 - J60	0.066
J61 - J62	0.066
J61 - J66	0.066
J48 - J49	0.066
J48 - J56	0.066
J48 - J46	0.066
J47 - J44	0.066
J63 - J58	0.066
J52 - J51	0.066
J52 - J49	0.066
J51 - J40	0.066
J51 - J50	0.066
J41 - J50	0.066
J41 - J42	0.066

TUBERIA	Diámetro Comercial (m)
J50 - J49	0.066
J54 - J53	0.066
J35 - J36	0.152
J35 - J32	0.066
J35 - J54	0.066
J36 - J53	0.066
J36 - J39	0.066
J43 - J42	0.066
J43 - J44	0.066
J69 - J68	0.066
J34 - J33	0.066
J34 - J35	0.066
J56 - J59	0.066
J56 - J57	0.066
J46 - J57	0.066
J46 - J47	0.066
J57 - J58	0.066
J32- J37	0.066
J32 - J13	0.066
J55 - J60	0.066
J55 - J56	0.066
J60 - J59	0.066
J37 - J36	0.066
J37 - J38	0.066
J38 - J43	0.066
J65 - J64	0.066
J65 - J66	0.066
J64 - J67	0.066
J64 - J63	0.066
J33 - J32	0.066
J67 - J68	0.066
J59 - J58	0.066
J59 - J62	0.066
J62 - J65	0.066
J62 - J63	0.066
J25 - J26	0.066

Fuente: Propia.

### **3.2.5. Parámetros de Restricción en el Sistema de Agua.**

#### **3.2.5.1. Parámetros de Restricción de Presión.**

Las condiciones de presión máxima, se presentan en las horas de menor consumo, y las condiciones de presión mínima, se presentan en horas de mayor consumo, razón por la cual es conveniente verificar dichas presiones en ambas situaciones críticas. Con la finalidad de otorgar condiciones favorables de presión a todos los nodos demandantes y facilitar el abastecimiento en pisos superiores, se establece una presión mínima de  $30mH_2O$  . Se establece también una presión máxima de  $100mH_2O$ , la misma que se sustenta en el hecho de que se está utilizando tuberías *PVCC – 10* conforme a la norma *NTPISO4422* , la cual establece que la presión máxima que puede soportar una tubería *C – 10* es de  $100mH_2O$ .

#### **3.2.5.2. Parámetros De Restricción De Velocidad.**

Según la Norma Peruana *OS – 050*, la velocidad máxima del flujo en las tuberías deberá ser de  $3m/s$ . En casos justificados se aceptará una velocidad máxima de  $5m/s$  . A falta de una indicación clara a cerca de la velocidad mínima en la Norma *OS – 050*, emplearemos la norma técnica *OS – 010* , que indica que no se deberá tener velocidades menores a  $0.6m/s$ .

Establecer un margen mínimo y máximo, respecto a la velocidad se sustenta en lo siguiente: Para velocidades mínimas, en el hecho de que en las tuberías no se deben permitir depósitos y sedimentos que alteren la calidad del agua en el sistema de distribución; mientras que para velocidades máximas, en el hecho de no permitir erosión y desgaste en las tuberías.

#### **3.2.5.3. Parámetros De Restricción Respecto A Diámetros Comerciales.**

En el proceso de diseño de un Sistema de agua, también es necesario determinar el material con el que se ha de diseñar un Sistema de agua, sus diámetros disponibles, así como determinar sus principales propiedades. En el presente caso trabajaremos con tuberías PVC de la serie *C – 10* fabricados bajo la norma *NTPISO4422*.

### 3.2.6. Diseño Hidráulico

Teniendo las demandas horarias los diámetros óptimos y las restricciones que nos antecedieron, procederemos a la solución mediante el método de la gradiente mediante la corrección de caudales y alturas piezométricas en cada tubería y nodo respectivamente. Los diámetros de las tuberías en nuestro caso serán de PVC y clase 10 cuya máxima presión al que trabaja es de  $100 \text{ mH}_2\text{O}$ , Por lo tanto, trabajaremos a una presión que debe variar de 10 a  $100 \text{ mH}_2\text{O}$ . Al utilizar el método de gradiente emplearemos la formula de Darcy-Weibach donde "f" factor de fricción utilizaremos la formula de White- Colebrook. las caudales asumidos inicialmente para empezar con el proceso iterativo no necesariamente deben cumplir la ecuación de continuidad o estar balanceados.

El proceso de desarrollo de la solución implica que se deben realizar 12 diseños, toda vez que tenemos una curva de modulación de caudales con un intervalo de tiempo de cada dos horas durante un día, Posteriormente se ha de verificar las condiciones críticas de presión y velocidad El caudal de demanda  $Q_0$ . es asumido inicialmente. Para el caso de las siguientes iteraciones se toma el último caudal corregido en la Iteración previa. En el proceso iterativo se calcula en cada iteración las alturas piezométricas de cada nodo. El proceso Iterativo finaliza luego de 20 iteraciones, al cabo de las cuales se puede observar que los valores de caudal y de alturas piezométricas obtenidos en iteraciones Sucesivas son prácticamente iguales de acuerdo al grado de precisión preestablecido y se da por terminado el proceso iterativo. Para realizar el cálculo de las presiones y caudales en la red es necesario efectuar el siguiente planteamiento de matrices y vectores, teniendo en cuenta, lo siguiente:

**para el instante hora = 8hr.**

- $NT = 108$
- $NN = 69$
- $NS = 1$

Donde [A12] tiene la dimensión 108x69 y es:

$$[A_{12}] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & . & . & . & . & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & . & . & . & . & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & . & . & . & . & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & . & . & . & . & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & . & . & . & . & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ . & . & . & . & . & . & . & . & . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . & . & . & . & . & . & . & . & . \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & . & . & . & . & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & . & . & . & . & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & . & . & . & . & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & . & . & . & . & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

y su transpuesta es:

$$[A_{21}] = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 & 0 & 0 & . & . & . & . & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & . & . & . & . & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & . & . & . & . & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & . & . & . & . & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & . & . & . & . & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ . & . & . & . & . & . & . & . & . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . & . & . & . & . & . & . & . & . \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & . & . & . & . & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & . & . & . & . & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & . & . & . & . & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & . & . & . & . & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$



$$[q] = \begin{bmatrix} q26 \\ q27 \\ q28 \\ q29 \\ q30 \\ q31 \\ q32 \\ q33 \\ q34 \\ q35 \\ q36 \\ q37 \\ q38 \\ q39 \\ q40 \\ q41 \\ q42 \\ q43 \\ q44 \\ q45 \\ q46 \\ q47 \\ q48 \\ q49 \\ q50 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.0619 \\ 0.0589 \\ 0.0709 \\ 0.1614 \\ 0.1207 \\ 0.0356 \\ 0.0943 \\ 0.0525 \\ 0.0984 \\ 0.0934 \\ 0.0812 \\ 0.0403 \\ 0.0385 \\ 0.0320 \\ 0.0141 \\ 0.0348 \\ 0.0492 \\ 0.0371 \\ 0.0730 \\ 0.0715 \\ 0.1003 \\ 0.4527 \\ 0.0227 \\ 0.2221 \\ 0.0260 \end{bmatrix} \quad [q] = \begin{bmatrix} q51 \\ q52 \\ q53 \\ q54 \\ q55 \\ q56 \\ q57 \\ q58 \\ q59 \\ q60 \\ q61 \\ q62 \\ q63 \\ q64 \\ q65 \\ q66 \\ q67 \\ q68 \\ q69 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.0714 \\ 0.0365 \\ 0.0710 \\ 0.0790 \\ 0.0839 \\ 0.1046 \\ 0.0682 \\ 0.0984 \\ 0.1117 \\ 0.0837 \\ 0.1395 \\ 0.1610 \\ 0.1069 \\ 0.0841 \\ 0.0998 \\ 0.2569 \\ 0.0744 \\ 0.0611 \\ 0.1058 \end{bmatrix}$$

El valor de  $[N]$  tiene dimencion de 108x108

$$[N] = \begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 & 0 & . & . & . & . & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 & . & . & . & . & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & . & . & . & . & 0 & 0 & 0 & 0 \\ . & . & . & . & . & . & . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . & . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . & . & . & . & . & . & . \\ 0 & 0 & 0 & 0 & . & . & . & . & 0 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & . & . & . & . & 0 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & . & . & . & . & 0 & 0 & 0 & 2 \end{bmatrix}$$

El valor de  $[I]$  tiene dimensión de 108x108 y es igual a:

$$[I] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & . & . & . & . & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & . & . & . & . & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & . & . & . & . & 0 & 0 & 0 & 0 \\ . & . & . & . & . & . & . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . & . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . & . & . & . & . & . & . \\ 0 & 0 & 0 & 0 & . & . & . & . & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & . & . & . & . & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & . & . & . & . & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Luego Aplicando la siguiente expresión:

$$[H_{i+1}] = -\left\{ [A_{21}] ([N] [A_{11}]')^{-1} [A_{12}] \right\}^{-1} \left\{ [A_{21}] ([N] [A_{11}]')^{-1} ([A_{11}] [Q_i] + [A_{10}] [H_0] - ([A_{21}] [Q_i] - [q])) \right\} \quad (3.2)$$

Luego de 10 iteraciones Obtenemos  $H_{i+1}$ :

$H1$	39.9397	$H26$	70.9876	$H51$	64.403
$H2$	50.3829	$H27$	79.5156	$H52$	61.7429
$H3$	52.962	$H28$	72.6086	$H53$	55.083
$H4$	48.0777	$H29$	73.1464	$H54$	35.0723
$H5$	42.9261	$H30$	81.0357	$H55$	55.6362
$H6$	35.0836	$H31$	73.0071	$H56$	62.654
$H7$	28.0126	$H32$	57.1219	$H57$	77.675
$H8$	14.8691	$H33$	48.6693	$H58$	71.7757
$H9$	16.4125	$H34$	41.2669	$H59$	60.716
$H10$	31.4367	$H35$	50.57	$H60$	= 48.6218
$H11$	45.1482	$H36$	65.7513	$H61$	38.2989
$H12$	49.3301	$H37$	65.465	$H62$	58.5303
$H13$	= 54.329	$H38$	= 71.0032	$H63$	58.4825
$H14$	66.881	$H39$	68.6428	$H64$	52.0983
$H15$	61.1517	$H40$	66.415	$H65$	50.8929
$H16$	64.088	$H41$	67.4147	$H66$	42.1639
$H17$	60.325	$H42$	74.8117	$H67$	51.4885
$H18$	45.986	$H43$	73.6253	$H68$	49.1736
$H19$	42.6313	$H44$	85.4589	$H69$	40.3597
$H20$	40.2296	$H45$	73.8881		
$H21$	53.3053	$H46$	77.0984		
$H22$	58.2736	$H47$	85.6671		
$H23$	61.9162	$H48$	62.8187		
$H24$	63.7559	$H49$	63.79		
$H25$	69.8354	$H50$	65.7116		

$$[Q_{i+1}] = \left\{ [l] - ([N^{-1}] [A_{11}]') - [A_{11}] [Q_i] - ([N] [A_{11}]')^{-1} ([A_{12}] [H_{i+1}] + [A_{10}] [H_0]) \right\}$$

Obtenemos  $Q_{i+1} =$

$$\begin{aligned}
 [Q_{i+1}] = & \begin{bmatrix} R-1 \\ 1-2 \\ 4-1 \\ 4-3 \\ 2-3 \\ 11-12 \\ 25-24 \\ 21-23 \\ 3-15 \\ 13-14 \\ 28-27 \\ 2-16 \\ 13-3 \\ 12-13 \\ 15-29 \\ 16-28 \\ 22-24 \\ 17-25 \\ 18-17 \\ 29-30 \\ 10-11 \\ 19-22 \\ 26-27 \\ 14-31 \\ 29-28 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 6.171 \\ 4.8374 \\ -1.3335 \\ -0.6505 \\ 2.5948 \\ -0.0875 \\ 0.1493 \\ 0.4855 \\ 0.5153 \\ -0.8382 \\ -0.2191 \\ 1.6474 \\ -1.3695 \\ 1.3911 \\ 0.4383 \\ 1.3243 \\ 0.1353 \\ 0.4935 \\ 0.3436 \\ 0.0205 \\ 0.2638 \\ 0.4829 \\ 0.3782 \\ -1.5437 \\ -1.3229 \end{bmatrix} \\
 [Q_{i+1}] = & \begin{bmatrix} 27-30 \\ 6-11 \\ 24-23 \\ 9-8 \\ 15-16 \\ 14-15 \\ 25-28 \\ 5-12 \\ 9-10 \\ 7-10 \\ 31-29 \\ 2-18 \\ 17-22 \\ 6-5 \\ 22-21 \\ 18-19 \\ 16-17 \\ 7-6 \\ 8-7 \\ 5-4 \\ 34-35 \\ 32-13 \\ 35-54 \\ 64-63 \\ 53-55 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.1002 \\ -0.2715 \\ 0.1988 \\ 0.0365 \\ 0.3405 \\ 0.4694 \\ -0.1496 \\ 1.5432 \\ -0.083 \\ 0.4621 \\ -1.5793 \\ 0.5387 \\ 0.4 \\ -0.3373 \\ 0.6918 \\ 0.1477 \\ 0.6078 \\ -0.5242 \\ 0.0095 \\ -1.9427 \\ 1.0281 \\ -3.5319 \\ 0.4504 \\ -0.369 \\ 0.6645 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
[Q_{i+1}] = & \begin{bmatrix} 21 - 20 \\ 23 - 20 \\ 19 - 20 \\ 25 - 26 \\ 45 - 42 \\ 48 - 49 \\ 52 - 51 \\ 51 - 40 \\ 53 - 52 \\ 41 - 50 \\ 50 - 49 \\ 40 - 41 \\ 51 - 50 \\ 43 - 42 \\ 69 - 68 \\ 35 - 36 \\ 48 - 56 \\ 46 - 57 \\ 52 - 49 \\ 35 - 32 \\ 36 - 53 \\ 55 - 60 \\ 37 - 36 \\ 36 - 39 \\ 38 - 43 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.1316 \\ 0.5967 \\ -0.4245 \\ 0.4401 \\ 0.3088 \\ -1.2734 \\ 0.2778 \\ -0.2525 \\ 0.5863 \\ 0.7906 \\ 1.2235 \\ 0.642 \\ 0.4589 \\ -0.0763 \\ -0.1877 \\ 0.0766 \\ 0.5118 \\ 0.4635 \\ 0.272 \\ 0.4077 \\ 0.9504 \\ 0.675 \\ 1.6061 \\ 0.6512 \\ 0.6917 \end{bmatrix} \\
[Q_{i+1}] = & \begin{bmatrix} 48 - 46 \\ 46 - 47 \\ 47 - 44 \\ 65 - 64 \\ 34 - 33 \\ 39 - 38 \\ 61 - 60 \\ 66 - 67 \\ 41 - 42 \\ 55 - 56 \\ 66 - 69 \\ 59 - 58 \\ 45 - 46 \\ 56 - 59 \\ 62 - 65 \\ 63 - 58 \\ 62 - 63 \\ 45 - 44 \\ 54 - 53 \\ 65 - 66 \\ 59 - 62 \\ 57 - 58 \\ 60 - 59 \\ 56 - 57 \\ 61 - 62 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.739 \\ 0.1942 \\ -0.2586 \\ -0.3833 \\ -1.1265 \\ -0.2895 \\ -0.0239 \\ 0.4215 \\ -0.1833 \\ -0.0943 \\ -0.0818 \\ 0.4763 \\ 0.019 \\ 0.8824 \\ -0.0177 \\ -0.2036 \\ 0.2723 \\ -0.3993 \\ 0.3714 \\ 0.2659 \\ 0.8619 \\ -0.1743 \\ 0.5674 \\ -0.5696 \\ -0.4462 \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

$$[Q_{i+1}] = \begin{bmatrix} 43 - 44 \\ 61 - 66 \\ 40 - 39 \\ 33 - 32 \\ 32 - 37 \\ 37 - 38 \\ 64 - 67 \\ 41 - 42 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.7309 \\ 0.3307 \\ -0.9087 \\ -1.179 \\ 2.6662 \\ 1.0198 \\ -0.0984 \\ 0.2488 \end{bmatrix}$$

Como quedó dicho anteriormente, el proceso iterativo culmina luego de 20 iteraciones del método de la gradiente, al cabo del cual se obtienen los siguientes resultados tanto de alturas piezométricas (H) expresadas en metros (m) y caudales en las tuberías (Q) expresados en litros por segundo (lps):

Presiones en cada nodo:

$H1$	36.8118	$H26$	66.2156	$H51$	58.1911
$H2$	47.0525	$H27$	74.7365	$H52$	55.6012
$H3$	49.6742	$H28$	67.9909	$H53$	48.9626
$H4$	44.1807	$H29$	68.5694	$H54$	28.9651
$H5$	38.396	$H30$	75.5415	$H55$	49.243
$H6$	31.963	$H31$	68.5554	$H56$	56.0722
$H7$	25.2831	$H32$	48.843	$H57$	70.7322
$H8$	12.6369	$H33$	40.484	$H58$	64.3948
$H9$	14.5888	$H34$	35.8184	$H59$	54.2989
$H10$	27.7222	$H35$	45.1639	$H60$	= 42.1896
$H11$	40.6476	$H36$	59.1626	$H61$	32.9252
$H12$	44.8053	$H37$	58.0518	$H62$	52.7576
$H13$	= 49.72	$H38$	= 64.8642	$H63$	52.1294
$H14$	62.4595	$H39$	62.0512	$H64$	45.8083
$H15$	56.7568	$H40$	59.7213	$H65$	44.6591
$H16$	59.5561	$H41$	60.7218	$H66$	35.6994
$H17$	55.817	$H42$	68.075	$H67$	44.8619
$H18$	42.4802	$H43$	67.4997	$H68$	42.0496
$H19$	38.4042	$H44$	79.3407	$H69$	33.8489
$H20$	35.7595	$H45$	68.5895		
$H21$	48.8995	$H46$	71.3984		
$H22$	53.553	$H47$	79.9479		
$H23$	56.9648	$H48$	56.3418		
$H24$	59.0141	$H49$	57.2477		
$H25$	65.3242	$H50$	59.1528		

Caudales en cada tubería:

$$\begin{aligned}
 [Q_{i+1}] = & \begin{bmatrix} R-1 \\ 1-2 \\ 4-1 \\ 4-3 \\ 2-3 \\ 11-12 \\ 25-24 \\ 21-23 \\ 3-15 \\ 13-14 \\ 28-27 \\ 2-16 \\ 13-3 \\ 12-13 \\ 15-29 \\ 16-28 \\ 22-24 \\ 17-25 \\ 18-17 \\ 29-30 \\ 10-11 \\ 19-22 \\ 26-27 \\ 14-31 \\ 29-28 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 6.171 \\ 6.039 \\ -0.132 \\ -1.8693 \\ 1.8325 \\ -0.0064 \\ 0.3009 \\ 0.0105 \\ 0.3287 \\ -2.6155 \\ 0.3376 \\ 3.8283 \\ 0.4251 \\ 1.4083 \\ 0.2639 \\ 3.1579 \\ -0.0653 \\ 0.2664 \\ 0.0416 \\ -0.0176 \\ 0.0434 \\ -0.0103 \\ -0.1403 \\ -2.8242 \\ -2.7396 \end{bmatrix} \\
 [Q_{i+1}] = & \begin{bmatrix} 27-30 \\ 6-11 \\ 24-23 \\ 9-8 \\ 15-16 \\ 14-15 \\ 25-28 \\ 5-12 \\ 9-10 \\ 7-10 \\ 31-29 \\ 2-18 \\ 17-22 \\ 6-5 \\ 22-21 \\ 18-19 \\ 16-17 \\ 7-6 \\ 8-7 \\ 5-4 \\ 34-35 \\ 32-13 \\ 35-54 \\ 64-63 \\ 53-55 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.1383 \\ 0.03 \\ 0.1499 \\ -0.1293 \\ -0.1686 \\ -0.0275 \\ -0.0098 \\ 1.4793 \\ 0.0828 \\ 0.0759 \\ -2.8598 \\ 0.3218 \\ 0.1633 \\ -0.4184 \\ 0.1625 \\ 0.2328 \\ 0.446 \\ -0.3038 \\ -0.1563 \\ -1.9599 \\ 1.4418 \\ -3.5319 \\ 1.2552 \\ -0.0594 \\ 1.132 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
[Q_{i+1}] = & \begin{bmatrix} 21 - 20 \\ 23 - 20 \\ 19 - 20 \\ 25 - 26 \\ 45 - 42 \\ 48 - 49 \\ 52 - 51 \\ 51 - 40 \\ 53 - 52 \\ 41 - 50 \\ 50 - 49 \\ 40 - 41 \\ 51 - 50 \\ 43 - 42 \\ 69 - 68 \\ 35 - 36 \\ 48 - 56 \\ 46 - 57 \\ 52 - 49 \\ 35 - 32 \\ 36 - 53 \\ 55 - 60 \\ 37 - 36 \\ 36 - 39 \\ 38 - 43 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.0773 \\ 0.0728 \\ 0.1537 \\ -0.0785 \\ -0.0057 \\ -0.6015 \\ 0.3134 \\ 0.1447 \\ 0.6074 \\ 0.4947 \\ 0.5661 \\ 0.6167 \\ 0.0974 \\ -0.0324 \\ -0.0215 \\ 0.4395 \\ 0.4501 \\ 0.0577 \\ 0.2575 \\ -0.3462 \\ 0.6343 \\ 0.688 \\ 1.1253 \\ 0.8492 \\ 0.6256 \end{bmatrix} \\
[Q_{i+1}] = & \begin{bmatrix} 48 - 46 \\ 46 - 47 \\ 47 - 44 \\ 65 - 64 \\ 34 - 33 \\ 39 - 38 \\ 61 - 60 \\ 66 - 67 \\ 41 - 42 \\ 55 - 56 \\ 66 - 69 \\ 59 - 58 \\ 45 - 46 \\ 56 - 59 \\ 62 - 65 \\ 63 - 58 \\ 62 - 63 \\ 45 - 44 \\ 54 - 53 \\ 65 - 66 \\ 59 - 62 \\ 57 - 58 \\ 60 - 59 \\ 56 - 57 \\ 61 - 62 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.1287 \\ 0.4123 \\ -0.0404 \\ 0.1439 \\ -1.5403 \\ 0.3311 \\ -0.6289 \\ 0.0378 \\ 0.0873 \\ 0.3601 \\ 0.0843 \\ -0.0021 \\ 0.4416 \\ 0.5776 \\ 0.3819 \\ -0.017 \\ 0.1493 \\ -0.5075 \\ 1.1761 \\ 0.1383 \\ 0.4435 \\ 0.1174 \\ -0.0245 \\ 0.1279 \\ 0.2487 \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

$$[Q_{i+1}] = \begin{bmatrix} 43 - 44 \\ 61 - 66 \\ 40 - 39 \\ 33 - 32 \\ 32 - 37 \\ 37 - 38 \\ 64 - 67 \\ 41 - 42 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.6209 \\ 0.2407 \\ -0.4861 \\ -1.5928 \\ 1.4986 \\ 0.333 \\ 0.1192 \\ 0.0827 \end{bmatrix}$$

Que son los resultados de alturas piezométricas en los nodos y de caudales en las tuberías de la Red de Distribución para la hora seis.

### 3.3. Resultados Obtenidos Con el Método Gradiente

Los resultados obtenidos en el proceso de iteración empleando el método de la gradiente y que se muestran más adelante, se han obtenido luego de una serie de iteraciones mediante una plantilla en Matlab. Durante todo el proceso de diseño, se cumplen los parámetros de restricción establecidos previamente, tales como presiones mínimas y máximas en la Red de Distribución durante las 24 horas del día, y los parámetros de restricción correspondientes a las velocidades máximas y mínimas en la Red también durante las 24 horas del día, con los cuales se ha determinado los valores de las presiones en los nodos de la Red y los caudales en las tuberías.

A continuación, se muestran los resultados tabulares de la simulación del Sistema de Distribución de Agua de la Comunidad de Totos y Veracruz, los mismos que están divididos en: Presiones en cada uno de los nodos de la Red en cada uno de los intervalos de tiempo considerados en un día.

**Cuadro 3.23:** Presiones a  $\Delta T = 2hrs.$

NUDO	PRESIONES A $\Delta T=2HRS.$ EN (MH2O)											
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
J1	40.94	40.94	40.94	33.06	39.9	27.07	39.9	33.06	24.14	39.9	33.06	35.56
J2	51.49	51.49	51.49	42.69	49	37.02	49	42.69	33.96	49	42.69	45.89
J3	64.19	64.19	64.19	55.14	61.34	49.54	61.3	55.14	46.46	61.3	55.14	58.51
J4	50.17	50.17	50.17	41.13	47.32	35.53	47.3	41.13	32.45	47.3	41.13	44.5
J5	45.83	45.83	45.83	36.41	42.38	30.93	42.4	36.41	27.79	42.4	36.41	40.03
J6	39.49	39.49	39.49	29.97	35.89	24.52	35.9	29.97	21.37	35.9	29.97	33.65
J7	32.82	32.82	32.82	23.28	29.19	17.84	29.2	23.28	14.69	29.2	23.28	26.97
J8	32.19	32.19	32.19	22.65	28.56	17.21	28.6	22.65	14.06	28.6	22.65	26.34
J9	34.16	34.16	34.16	24.62	30.53	19.18	30.5	24.62	16.03	30.5	24.62	28.31
J10	35.31	35.31	35.31	25.78	31.69	20.33	31.7	25.78	17.18	31.7	25.78	29.46
J11	48.15	48.15	48.15	38.62	44.54	33.17	44.5	38.62	30.02	44.5	38.62	42.31
J12	52.3	52.3	52.3	42.8	48.71	37.35	48.7	42.8	34.2	48.7	42.8	46.47
J13	58.99	58.99	58.99	49.48	55.36	44.05	55.4	49.48	40.89	55.4	49.48	53.15
J14	69.16	69.16	69.16	59.92	65.92	54.42	65.9	59.92	51.29	65.9	59.92	63.41
J15	63.05	63.05	63.05	53.95	60.1	48.38	60.1	53.95	45.28	60.1	53.95	57.36
J16	65.72	65.72	65.72	56.68	62.88	51.1	62.9	56.68	48.01	62.9	56.68	60.06
J17	62.16	62.16	62.16	53.14	59.32	47.55	59.3	53.14	44.46	59.3	53.14	56.51
J18	48.82	48.82	48.82	39.83	46.03	34.23	46	39.83	31.15	46	39.83	43.17
J19	44.81	44.81	44.81	35.78	41.95	30.2	42	35.78	27.1	42	35.78	39.15
J20	42.17	42.17	42.17	33.12	39.27	27.54	39.3	33.12	24.45	39.3	33.12	36.51
J21	55.31	55.31	55.31	46.27	52.42	40.68	52.4	46.27	37.59	52.4	46.27	49.65
J22	59.93	59.93	59.93	50.9	57.06	45.31	57.1	50.9	42.22	57.1	50.9	54.27
J23	63.35	63.35	63.35	54.3	60.46	48.72	60.5	54.3	45.63	60.5	54.3	57.69
J24	65.39	65.39	65.39	56.34	62.49	50.76	62.5	56.34	47.67	62.5	56.34	59.73
J25	71.67	71.67	71.67	62.62	68.77	57.04	68.8	62.62	53.95	68.8	62.62	66.01
J26	72.53	72.53	72.53	63.48	69.62	57.9	69.6	63.48	54.81	69.6	63.48	66.87
J27	81.05	81.05	81.05	72	78.14	66.42	78.1	72	63.32	78.1	72	75.39
J28	74.29	74.29	74.29	65.22	71.35	59.65	71.4	65.22	56.56	71.4	65.22	68.63
J29	74.93	74.93	74.93	65.83	71.97	60.26	72	65.83	57.17	72	65.83	69.26
J30	81.85	81.85	81.85	72.83	78.99	67.23	79	72.83	64.14	79	72.83	76.19
J31	75.17	75.17	75.17	66	72.08	60.47	72.1	66	57.36	72.1	66	69.46
J32	63.1	63.1	63.1	48.65	51.76	44.86	51.8	48.65	41.03	51.8	48.65	55.97
J33	54.75	54.75	54.75	40.16	43.2	36.42	43.2	40.16	32.57	43.2	40.16	47.58
J34	50.55	50.55	50.55	35.84	38.82	32.14	38.8	35.84	28.27	38.8	35.84	43.35
J35	60	60	60	45.23	48.16	41.54	48.2	45.23	37.67	48.2	45.23	52.78
J36	74.25	74.25	74.25	59.37	62.25	55.74	62.3	59.37	51.83	62.3	59.37	67
J37	72.1	72.1	72.1	57.28	60.19	53.63	60.2	57.28	49.73	60.2	57.28	64.86
J38	77.95	77.95	77.95	63.03	65.88	59.41	65.9	63.03	55.5	65.9	63.03	70.68
J39	77.15	77.15	77.15	62.21	65.06	58.6	65.1	62.21	54.68	65.1	62.21	69.88
J40	75.15	75.15	75.15	60.19	63.02	56.59	63	60.19	52.66	63	60.19	67.88
J41	76.2	76.2	76.2	61.21	64.04	57.62	64	61.21	53.69	64	61.21	68.92
J42	83.55	83.55	83.55	68.55	71.36	64.96	71.4	68.55	61.03	71.4	68.55	76.27
J43	83.05	83.05	83.05	68.06	70.88	64.47	70.9	68.06	60.54	70.9	68.06	75.77
J44	94.95	94.95	94.95	79.92	82.72	76.34	82.7	79.92	72.41	82.7	79.92	87.66

continua en la siguiente pagina

NUDO	PRESIONES A $\Delta T=2$ HRS. EN (MH2O)											
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
J45	84.25	84.25	84.25	69.22	72.02	65.64	72.02	69.22	61.71	72.02	69.22	76.96
J46	87.1	87.1	87.1	72.03	74.81	68.46	74.81	72.03	64.52	74.81	72.03	79.8
J47	95.65	95.65	95.65	80.57	83.36	77.01	83.36	80.57	73.07	83.36	80.57	88.35
J48	72	72	72	56.93	59.72	53.37	59.72	56.93	49.43	59.72	56.93	64.7
J49	72.85	72.85	72.85	57.84	60.66	54.26	60.66	57.84	50.33	60.66	57.84	65.56
J50	74.75	74.75	74.75	59.76	62.58	56.17	62.58	59.76	52.24	62.58	59.76	67.47
J51	73.75	73.75	73.75	58.76	61.59	55.17	61.59	58.76	51.24	61.59	58.76	66.47
J52	71.15	71.15	71.15	56.16	58.99	52.57	58.99	56.16	48.64	58.99	56.16	63.87
J53	64.35	64.35	64.35	49.41	52.26	45.81	52.26	49.41	41.88	52.26	49.41	57.08
J54	44.35	44.35	44.35	29.48	32.36	25.88	32.36	29.48	21.94	32.36	29.48	37.1
J55	64.99	64.99	64.99	49.91	52.69	46.35	52.69	49.91	42.41	52.69	49.91	57.69
J56	71.85	71.85	71.85	56.76	59.53	53.2	59.53	56.76	49.26	59.53	56.76	64.54
J57	86.45	86.45	86.45	71.36	74.13	67.8	74.13	71.36	63.86	74.13	71.36	79.14
J58	79.95	79.95	79.95	64.83	67.58	61.28	67.58	64.83	57.33	67.58	64.83	72.63
J59	70.2	70.2	70.2	55.07	57.82	51.53	57.82	55.07	47.58	57.82	55.07	62.88
J60	58.1	58.1	58.1	42.98	45.73	39.43	45.73	42.98	35.48	45.73	42.98	50.78
J61	49.09	49.09	49.09	33.92	36.64	30.39	36.64	33.92	26.43	36.64	33.92	41.77
J62	68.95	68.95	68.95	53.77	56.49	50.24	56.49	53.77	46.29	56.49	53.77	61.62
J63	68.35	68.35	68.35	53.17	55.9	49.64	55.9	53.17	45.69	55.9	53.17	61.02
J64	62.05	62.05	62.05	46.85	49.55	43.33	49.55	46.85	39.37	49.55	46.85	54.72
J65	60.9	60.9	60.9	45.7	48.41	42.18	48.41	45.7	38.22	48.41	45.7	53.56
J66	51.95	51.95	51.95	36.75	39.45	33.23	39.45	36.75	29.26	39.45	36.75	44.61
J67	61.1	61.1	61.1	45.9	48.6	42.38	48.6	45.9	38.41	48.6	45.9	53.76
J68	58.3	58.3	58.3	43.09	45.79	39.58	45.79	43.09	35.61	45.79	43.09	50.96
J69	50.1	50.1	50.1	34.89	37.59	31.38	37.59	34.89	27.41	37.59	34.89	42.76

Fuente: propia.

Caudales en cada una de las tuberías conformantes de la Red en cada uno de los intervalos de tiempo considerados en un día.

Cuadro 3.24: Caudales a  $\Delta T = 2HRS.$

TUBERIA	CAUDALES A $\Delta T=2HRS.$ EN LPS											
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
R1-J1	0.274	0.274	0.274	6.171	7.824	4.967	7.824	6.171	5.493	7.824	6.171	3.009
J1-J2	0.181	0.181	0.181	4.585	5.817	3.650	5.817	4.585	4.062	5.817	4.585	2.167
J4-J1	-0.092	-0.092	-0.092	-1.586	-2.008	-1.317	-2.008	-1.586	-1.431	-2.008	-1.586	-0.843
J4-J3	0.043	0.043	0.043	0.418	0.425	0.417	0.425	0.418	0.405	0.425	0.418	0.200
J2-J3	0.124	0.124	0.124	1.530	1.907	1.285	1.907	1.530	1.384	1.907	1.530	0.802
J11-J12	0.043	0.043	0.043	0.352	0.611	0.234	0.611	0.352	0.250	0.611	0.352	0.108
J25-J24	0.055	0.055	0.055	1.995	2.343	1.715	2.343	1.995	1.799	2.343	1.995	0.723
J21-J23	0.023	0.023	0.023	0.212	0.250	0.196	0.250	0.212	0.210	0.250	0.212	0.123
J3-J15	-0.003	-0.003	-0.003	-0.127	-0.262	-0.088	-0.262	-0.127	-0.089	-0.262	-0.127	-0.034
J13-J14	0.022	0.022	0.022	1.693	2.120	1.308	2.120	1.693	1.488	2.120	1.693	0.753
J28-J27	0.032	0.032	0.032	1.305	1.716	1.012	1.716	1.305	1.139	1.716	1.305	0.583
J2-J16	0.012	0.012	0.012	0.106	0.148	0.109	0.148	0.106	0.113	0.148	0.106	0.073
J13-J3	0.026	0.026	0.026	0.728	0.931	0.561	0.931	0.728	0.635	0.931	0.728	0.318
J12-J13	0.004	0.004	0.004	0.529	0.724	0.413	0.724	0.529	0.461	0.724	0.529	0.242
J15-J29	0.027	0.027	0.027	0.294	0.444	0.232	0.444	0.294	0.255	0.444	0.294	0.141
J16-J28	0.056	0.056	0.056	0.447	0.647	0.347	0.647	0.447	0.378	0.647	0.447	0.204
J22-J24	0.001	0.001	0.001	0.053	0.040	0.059	0.040	0.053	0.055	0.040	0.053	0.036
J17-J25	-0.003	-0.003	-0.003	-0.099	-0.101	-0.096	-0.101	-0.099	-0.097	-0.101	-0.099	-0.059
J18-J17	0.000	0.000	0.000	0.026	0.005	0.037	0.005	0.026	0.030	0.005	0.026	0.023
J29-J30	-0.005	-0.005	-0.005	-0.073	-0.071	-0.073	-0.071	-0.073	-0.072	-0.071	-0.073	-0.042
J10-J11	0.001	0.001	0.001	0.027	-0.017	0.053	-0.017	0.027	0.038	-0.017	0.027	0.029
J19-J22	-0.012	-0.012	-0.012	-0.287	-0.322	-0.261	-0.322	-0.287	-0.272	-0.322	-0.287	-0.159
J26-J27	-0.048	-0.048	-0.048	-1.127	-1.529	-0.867	-1.529	-1.127	-0.989	-1.529	-1.127	-0.622
J14-J31	0.041	0.041	0.041	0.806	1.063	0.634	1.063	0.806	0.715	1.063	0.806	0.448
J29-28	-0.009	-0.009	-0.009	0.266	0.369	0.206	0.369	0.266	0.229	0.369	0.266	0.118
J27-J30	0.009	0.009	0.009	0.174	0.239	0.136	0.239	0.174	0.152	0.239	0.174	0.079
J6-J11	0.000	0.000	0.000	0.246	0.345	0.193	0.345	0.246	0.215	0.345	0.246	0.115
J24-J23	0.016	0.016	0.016	0.258	0.395	0.200	0.395	0.258	0.219	0.395	0.258	0.116
J9-J8	-0.040	-0.040	-0.040	-0.537	-1.317	-0.135	-1.317	-0.537	-0.304	-1.317	-0.537	-0.101
J15-J16	0.003	0.003	0.003	-2.829	-2.827	-2.586	-2.827	-2.829	-2.682	-2.827	-2.829	-1.176
J14-J15	0.059	0.059	0.059	0.071	0.236	0.065	0.236	0.071	0.050	0.236	0.071	0.056
J25-J28	-0.008	-0.008	-0.008	0.502	0.873	0.384	0.873	0.502	0.399	0.873	0.502	0.199
J5-J12	-0.041	-0.041	-0.041	-0.573	-1.363	-0.163	-1.363	-0.573	-0.336	-1.363	-0.573	-0.118
J9-J10	-0.018	-0.018	-0.018	-0.619	-1.213	-0.427	-1.213	-0.619	-0.435	-1.213	-0.619	-0.191
J7-J10	-0.019	-0.019	-0.019	-0.091	-0.094	-0.099	-0.094	-0.091	-0.102	-0.094	-0.091	-0.063
J31-J29	0.002	0.002	0.002	0.098	0.153	0.075	0.153	0.098	0.080	0.153	0.098	0.043
J2-J18	-0.005	-0.005	-0.005	0.074	0.095	0.058	0.095	0.074	0.068	0.095	0.074	0.034
J17-J22	0.007	0.007	0.007	0.055	0.061	0.049	0.061	0.055	0.054	0.061	0.055	0.038
J6-J5	0.013	0.013	0.013	0.165	0.179	0.134	0.179	0.165	0.150	0.179	0.165	0.080
J22-J21	0.031	0.031	0.031	-1.064	-0.939	-0.814	-0.939	-1.064	-0.988	-0.939	-1.064	-0.470
J18-J19	0.010	0.010	0.010	0.025	0.232	-0.229	0.232	0.025	-0.067	0.232	0.025	-0.068
J16-J17	-0.013	-0.013	-0.013	-0.167	-0.167	-0.157	-0.167	-0.167	-0.164	-0.167	-0.167	-0.069

continua en la siguiente pagina

TUBERIA	CAUDALES A $\Delta T=2$ HRS. EN LPS											
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
J16-J17	-0.013	-0.013	-0.013	-0.167	-0.167	-0.157	-0.167	-0.167	-0.164	-0.167	-0.167	-0.069
J7-J6	0.026	0.026	0.026	0.575	0.812	0.426	0.812	0.575	0.493	0.812	0.575	0.346
J8-J7	0.009	0.009	0.009	0.045	0.022	0.044	0.022	0.045	0.053	0.022	0.045	0.039
J5-J4	-0.028	-0.028	-0.028	-3.130	-3.836	-2.532	-3.836	-3.130	-2.773	-3.836	-3.130	-1.158
J34-J35	-0.110	-0.110	-0.110	0.106	0.088	0.060	0.088	0.106	0.063	0.088	0.106	-0.249
J32-J13	-0.004	-0.004	-0.004	-0.258	-0.385	-0.183	-0.385	-0.258	-0.218	-0.385	-0.258	-0.143
J35-J54	0.002	0.002	0.002	0.200	0.258	0.168	0.258	0.200	0.180	0.258	0.200	0.130
J64-J63	0.067	0.067	0.067	0.591	0.741	0.518	0.741	0.591	0.529	0.741	0.591	0.271
J53-J55	0.055	0.055	0.055	0.707	0.895	0.585	0.895	0.707	0.631	0.895	0.707	0.344
J21-J20	0.046	0.046	0.046	0.547	0.686	0.425	0.686	0.547	0.489	0.686	0.547	0.246
J23-J20	0.029	0.029	0.029	-0.798	-1.034	-0.604	-1.034	-0.798	-0.700	-1.034	-0.798	-0.445
J19-J20	0.037	0.037	0.037	-0.123	-0.177	-0.089	-0.177	-0.123	-0.100	-0.177	-0.123	-0.114
J25-J26	-0.041	-0.041	-0.041	-0.612	-0.767	-0.481	-0.767	-0.612	-0.542	-0.767	-0.612	-0.270
J45-J42	0.030	0.030	0.030	0.500	0.615	0.400	0.615	0.500	0.447	0.615	0.500	0.247
J48-J49	0.009	0.009	0.009	0.040	0.059	0.024	0.059	0.040	0.030	0.059	0.040	-0.013
J52-J51	0.010	0.010	0.010	0.015	0.018	0.006	0.018	0.015	0.010	0.018	0.015	-0.006
J51-J40	-0.019	-0.019	-0.019	0.084	0.108	0.065	0.108	0.084	0.075	0.108	0.084	0.028
J53-J52	0.021	0.021	0.021	-0.333	-0.375	-0.301	-0.375	-0.333	-0.317	-0.375	-0.333	-0.142
J41-J50	0.014	0.014	0.014	-0.025	-0.092	0.027	-0.092	-0.025	0.002	-0.092	-0.025	-0.001
J50-J49	-0.040	-0.040	-0.040	0.218	0.285	0.163	0.285	0.218	0.189	0.285	0.218	0.072
J40-J41	-0.019	-0.019	-0.019	-0.690	-0.870	-0.560	-0.870	-0.690	-0.610	-0.870	-0.690	-0.370
J51-J50	0.045	0.045	0.045	0.518	0.672	0.413	0.672	0.518	0.465	0.672	0.518	0.271
J43-J42	-0.027	-0.027	-0.027	0.149	0.169	0.129	0.169	0.149	0.124	0.169	0.149	0.088
J69-J68	-0.004	-0.004	-0.004	-0.319	-0.402	-0.243	-0.402	-0.319	-0.277	-0.402	-0.319	-0.109
J35-J36	0.027	0.027	0.027	-0.240	-0.370	-0.158	-0.370	-0.240	-0.199	-0.370	-0.240	-0.155
J48-J56	0.073	0.073	0.073	0.110	0.121	0.122	0.121	0.110	0.105	0.121	0.110	0.019
J46-J57	-0.007	-0.007	-0.007	0.445	0.572	0.367	0.572	0.445	0.391	0.572	0.445	0.234
J52-J49	0.075	0.075	0.075	-0.237	-0.329	-0.168	-0.329	-0.237	-0.198	-0.329	-0.237	-0.191
J35-J32	-0.005	-0.005	-0.005	0.275	0.357	0.233	0.357	0.275	0.239	0.357	0.275	0.174
J36-J53	0.042	0.042	0.042	0.217	0.263	0.159	0.263	0.217	0.203	0.263	0.217	0.087
J55-J60	0.002	0.002	0.002	0.295	0.378	0.238	0.378	0.295	0.255	0.378	0.295	0.142
J37-J36	0.035	0.035	0.035	0.467	0.587	0.371	0.587	0.467	0.419	0.587	0.467	0.248
J36-J39	0.035	0.035	0.035	0.630	0.798	0.652	0.798	0.630	0.560	0.798	0.630	0.299
J38-J43	0.035	0.035	0.035	0.842	1.072	0.572	1.072	0.842	0.748	1.072	0.842	0.409
J48-J46	-0.027	-0.027	-0.027	-0.404	-0.481	-0.358	-0.481	-0.404	-0.369	-0.481	-0.404	-0.205
J46-J47	0.038	0.038	0.038	0.709	0.900	0.715	0.900	0.709	0.632	0.900	0.709	0.338
J47-J44	0.090	0.090	0.090	0.740	0.930	0.507	0.930	0.740	0.663	0.930	0.740	0.351
J65-J64	0.009	0.009	0.009	0.708	0.899	0.540	0.899	0.708	0.628	0.899	0.708	0.347
J34-J33	0.041	0.041	0.041	0.366	0.453	0.283	0.453	0.366	0.331	0.453	0.366	0.152
J39-J38	-0.001	-0.001	-0.001	0.352	0.438	0.277	0.438	0.352	0.312	0.438	0.352	0.158
J61-J60	-0.023	-0.023	-0.023	-0.022	-0.029	-0.020	-0.029	-0.022	-0.021	-0.029	-0.022	-0.024
J66-J67	-0.053	-0.053	-0.053	-1.338	-1.741	-1.083	-1.741	-1.338	-1.184	-1.741	-1.338	-0.638
J41-J42	0.049	0.049	0.049	1.240	1.613	1.004	1.613	1.240	1.095	1.613	1.240	0.589
J55-J56	0.057	0.057	0.057	0.457	0.599	0.363	0.599	0.457	0.410	0.599	0.457	0.235

continua en la siguiente pagina

TUBERIA	CAUDALES A $\Delta T=2$ HRS. EN LPS											
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
J66-J69	0.0206	0.0206	0.0206	0.05	0.0539	0.044	0.0539	0.0502	0.0355	0.0539	0.0502	0.029
J59-J58	-0.034	-0.034	-0.034	0.415	0.5648	0.3147	0.5648	0.4151	0.3794	0.5648	0.4151	0.205
J45-J46	0.0333	0.0333	0.0333	0.133	0.0881	0.1345	0.0881	0.1333	0.1007	0.0881	0.1333	0.08
J56-J59	-0.016	-0.016	-0.016	0.397	0.53	0.3041	0.53	0.3971	0.3536	0.53	0.3971	0.2
J62-J65	0.0744	0.0744	0.0744	1.642	2.0808	1.2825	2.0808	1.6424	1.4636	2.0808	1.6424	0.811
J63-J58	-0.16	-0.16	-0.16	-3.532	-4.473	-2.844	-4.473	-3.532	-3.142	-4.473	-3.5319	-1.72
J62-J63	0.0146	0.0146	0.0146	0.529	0.6685	0.4396	0.6685	0.5293	0.4812	0.6685	0.5293	0.257
J45-J44	0.0367	0.0367	0.0367	0.094	0.117	0.0779	0.117	0.0938	0.0742	0.117	0.0938	0.045
J54-J53	0.032	0.032	0.032	0.113	0.1845	0.0714	0.1845	0.1128	0.0891	0.1845	0.1128	0.073
J65-J66	0.067	0.067	0.067	0.686	0.8623	0.5404	0.8623	0.6863	0.616	0.8623	0.6863	0.329
J59-J62	0.0058	0.0058	0.0058	0.916	1.1662	0.7098	1.1662	0.9158	0.8113	1.1662	0.9158	0.462
J57-J58	0.0411	0.0411	0.0411	0.755	0.9395	0.5897	0.9395	0.7546	0.6765	0.9395	0.7546	0.329
J60-J59	0.0595	0.0595	0.0595	0.095	0.1407	0.0634	0.1407	0.0945	0.0774	0.1407	0.0945	0.032
J56-J57	0.0415	0.0415	0.0415	0.138	0.1754	0.1137	0.1754	0.1383	0.1266	0.1754	0.1383	0.079
J61-J62	0.0189	0.0189	0.0189	0.142	0.1868	0.1219	0.1868	0.1419	0.1325	0.1868	0.1419	0.098
J43-J44	0.0373	0.0373	0.0373	-0.131	-0.155	-0.126	-0.155	-0.131	-0.131	-0.155	-0.1315	-0.108
J61-J66	-0.055	-0.055	-0.055	-1.391	-1.809	-1.125	-1.809	-1.391	-1.231	-1.809	-1.3907	-0.665
J40-J39	0.0259	0.0259	0.0259	0.083	0.1086	0.0685	0.1086	0.083	0.0755	0.1086	0.083	0.055
J33-J32	-0.007	-0.007	-0.007	-0.059	-0.032	-0.067	-0.032	-0.059	-0.066	-0.032	-0.0589	0.004
J32-J37	0.0915	0.0915	0.0915	0.517	0.6705	0.4119	0.6705	0.5167	0.4648	0.6705	0.5167	0.248
J37-J38	0.105	0.105	0.105	0.333	0.4458	0.2569	0.4458	0.3326	0.2938	0.4458	0.3326	0.161
J64-J67	-0.006	-0.006	-0.006	-0.001	-0.076	0.053	-0.076	-0.001	0.0281	-0.076	-0.0014	0.007
J67-J68	0.0147	0.0147	0.0147	0.168	0.2286	0.1581	0.2286	0.1678	0.1685	0.2286	0.1678	0.104

Fuente: propia

Velocidades en cada una de las tuberías conformantes de la red en cada uno de los intervalos de tiempo considerados en un día.

**Cuadro 3.25:** velocidades a  $\Delta T = 2HRS.$

TUBERIA	VELOCIDADES A $\Delta T=2HRS.$ EN (M/S)											
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
R1-J1	0.080	0.080	0.080	1.225	2.290	1.126	2.290	1.225	1.152	2.290	1.225	0.880
J1-J2	0.053	0.053	0.053	1.340	1.700	1.067	1.700	1.340	1.187	1.700	1.340	0.633
J4-J1	0.027	0.027	0.027	0.464	0.587	0.385	0.587	0.464	0.418	0.587	0.464	0.246
J4-J3	0.013	0.013	0.013	0.122	0.124	0.122	0.124	0.122	0.118	0.124	0.122	0.058
J2-J3	0.036	0.036	0.036	0.447	0.557	0.376	0.557	0.447	0.405	0.557	0.447	0.234
J11-J12	0.012	0.012	0.012	0.103	0.179	0.068	0.179	0.103	0.073	0.179	0.103	0.032
J25-J24	0.016	0.016	0.016	0.583	0.685	0.501	0.685	0.583	0.526	0.685	0.583	0.211
J21-J23	0.007	0.007	0.007	0.062	0.073	0.057	0.073	0.062	0.061	0.073	0.062	0.036
J3-J15	0.001	0.001	0.001	0.037	0.077	0.026	0.077	0.037	0.026	0.077	0.037	0.010
J13-J14	0.006	0.006	0.006	0.495	0.620	0.382	0.620	0.495	0.435	0.620	0.495	0.220
J28-J27	0.009	0.009	0.009	0.381	0.502	0.296	0.502	0.381	0.333	0.502	0.381	0.171
J2-J16	0.004	0.004	0.004	0.031	0.043	0.032	0.043	0.031	0.033	0.043	0.031	0.021
J13-J3	0.008	0.008	0.008	0.213	0.272	0.164	0.272	0.213	0.186	0.272	0.213	0.093
J12-J13	0.001	0.001	0.001	0.155	0.212	0.121	0.212	0.155	0.135	0.212	0.155	0.071
J15-J29	0.008	0.008	0.008	0.086	0.130	0.068	0.130	0.086	0.075	0.130	0.086	0.041
J16-J28	0.016	0.016	0.016	0.131	0.189	0.102	0.189	0.131	0.111	0.189	0.131	0.060
J22-J24	0.000	0.000	0.000	0.015	0.012	0.017	0.012	0.015	0.016	0.012	0.015	0.011
J17-J25	0.001	0.001	0.001	0.029	0.029	0.028	0.029	0.029	0.028	0.029	0.029	0.017
J18-J17	0.000	0.000	0.000	0.007	0.002	0.011	0.002	0.007	0.009	0.002	0.007	0.007
J29-J30	0.001	0.001	0.001	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.012
J10-J11	0.000	0.000	0.000	0.008	0.005	0.015	0.005	0.008	0.011	0.005	0.008	0.008
J19-J22	0.003	0.003	0.003	0.084	0.094	0.076	0.094	0.084	0.080	0.094	0.084	0.047
J26-J27	0.014	0.014	0.014	0.329	0.447	0.253	0.447	0.329	0.289	0.447	0.329	0.182
J14-J31	0.012	0.012	0.012	0.236	0.311	0.185	0.311	0.236	0.209	0.311	0.236	0.131
J29-28	0.003	0.003	0.003	0.078	0.108	0.060	0.108	0.078	0.067	0.108	0.078	0.034
J27-J30	0.003	0.003	0.003	0.051	0.070	0.040	0.070	0.051	0.044	0.070	0.051	0.023
J6-J11	0.000	0.000	0.000	0.072	0.101	0.056	0.101	0.072	0.063	0.101	0.072	0.033
J24-J23	0.005	0.005	0.005	0.075	0.116	0.059	0.116	0.075	0.064	0.116	0.075	0.034
J9-J8	0.012	0.012	0.012	0.157	0.385	0.039	0.385	0.157	0.089	0.385	0.157	0.029
J15-J16	0.001	0.001	0.001	0.827	0.826	0.756	0.826	0.827	0.784	0.826	0.827	0.344
J14-J15	0.017	0.017	0.017	0.021	0.069	0.019	0.069	0.021	0.015	0.069	0.021	0.016
J25-J28	0.002	0.002	0.002	0.147	0.255	0.112	0.255	0.147	0.117	0.255	0.147	0.058
J5-J12	0.012	0.012	0.012	0.167	0.398	0.048	0.398	0.167	0.098	0.398	0.167	0.035
J9-J10	0.005	0.005	0.005	0.181	0.354	0.125	0.354	0.181	0.127	0.354	0.181	0.056
J7-J10	0.005	0.005	0.005	0.027	0.027	0.029	0.027	0.027	0.030	0.027	0.027	0.018
J31-J29	0.000	0.000	0.000	0.029	0.045	0.022	0.045	0.029	0.023	0.045	0.029	0.013

continua en la siguiente pagina

TUBERIA	VELOCIDADES A $\Delta T=2$ HRS. EN (M/S)											
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
J2-J18	0.0013	0.0013	0.0013	0.022	0.028	0.017	0.028	0.022	0.02	0.028	0.022	0.01
J17-J22	0.0021	0.0021	0.0021	0.016	0.018	0.014	0.018	0.016	0.016	0.018	0.016	0.011
J6-J5	0.0039	0.0039	0.0039	0.048	0.052	0.039	0.052	0.048	0.044	0.052	0.048	0.023
J22-J21	0.0091	0.0091	0.0091	0.311	0.274	0.238	0.274	0.311	0.289	0.274	0.311	0.138
J18-J19	0.0029	0.0029	0.0029	0.007	0.068	0.067	0.068	0.007	0.02	0.068	0.007	0.02
J16-J17	0.0039	0.0039	0.0039	0.049	0.049	0.046	0.049	0.049	0.048	0.049	0.049	0.02
J7-J6	0.0075	0.0075	0.0075	0.168	0.237	0.124	0.237	0.168	0.144	0.237	0.168	0.101
J8-J7	0.0027	0.0027	0.0027	0.013	0.006	0.013	0.006	0.013	0.015	0.006	0.013	0.011
J5-J4	0.0081	0.0081	0.0081	0.915	1.121	0.74	1.121	0.915	0.81	1.121	0.915	0.339
J34-J35	0.032	0.032	0.032	0.031	0.026	0.018	0.026	0.031	0.018	0.026	0.031	0.073
J32-J13	0.0011	0.0011	0.0011	0.075	0.112	0.054	0.112	0.075	0.064	0.112	0.075	0.042
J35-J54	0.0005	0.0005	0.0005	0.059	0.075	0.049	0.075	0.059	0.053	0.075	0.059	0.038
J64-J63	0.0196	0.0196	0.0196	0.173	0.217	0.151	0.217	0.173	0.155	0.217	0.173	0.079
J53-J55	0.016	0.016	0.016	0.207	0.261	0.171	0.261	0.207	0.184	0.261	0.207	0.1
J21-J20	0.0133	0.0133	0.0133	0.16	0.201	0.124	0.201	0.16	0.143	0.201	0.16	0.072
J23-J20	0.0085	0.0085	0.0085	0.233	0.302	0.176	0.302	0.233	0.205	0.302	0.233	0.13
J19-J20	0.0108	0.0108	0.0108	0.036	0.052	0.026	0.052	0.036	0.029	0.052	0.036	0.033
J25-J26	0.0121	0.0121	0.0121	0.179	0.224	0.141	0.224	0.179	0.158	0.224	0.179	0.079
J45-J42	0.0087	0.0087	0.0087	0.146	0.18	0.117	0.18	0.146	0.131	0.18	0.146	0.072
J48-J49	0.0026	0.0026	0.0026	0.012	0.017	0.007	0.017	0.012	0.009	0.017	0.012	0.004
J52-J51	0.0029	0.0029	0.0029	0.005	0.005	0.002	0.005	0.005	0.003	0.005	0.005	0.002
J51-J40	0.0056	0.0056	0.0056	0.025	0.032	0.019	0.032	0.025	0.022	0.032	0.025	0.008
J53-J52	0.0061	0.0061	0.0061	0.097	0.11	0.088	0.11	0.097	0.093	0.11	0.097	0.041
J41-J50	0.0041	0.0041	0.0041	0.007	0.027	0.008	0.027	0.007	6E-04	0.027	0.007	2E-04
J50-J49	0.0118	0.0118	0.0118	0.064	0.083	0.048	0.083	0.064	0.055	0.083	0.064	0.021
J40-J41	0.0057	0.0057	0.0057	0.202	0.254	0.164	0.254	0.202	0.178	0.254	0.202	0.108
J51-J50	0.0132	0.0132	0.0132	0.151	0.197	0.121	0.197	0.151	0.136	0.197	0.151	0.079
J43-J42	0.0078	0.0078	0.0078	0.044	0.049	0.038	0.049	0.044	0.036	0.049	0.044	0.026
J69-J68	0.0013	0.0013	0.0013	0.093	0.118	0.071	0.118	0.093	0.081	0.118	0.093	0.032
J35-J36	0.0079	0.0079	0.0079	0.07	0.108	0.046	0.108	0.07	0.058	0.108	0.07	0.045
J48-J56	0.0213	0.0213	0.0213	0.032	0.035	0.036	0.035	0.032	0.031	0.035	0.032	0.005
J46-J57	0.0021	0.0021	0.0021	0.13	0.167	0.107	0.167	0.13	0.114	0.167	0.13	0.068
J52-J49	0.022	0.022	0.022	0.069	0.096	0.049	0.096	0.069	0.058	0.096	0.069	0.056
J35-J32	0.0016	0.0016	0.0016	0.08	0.104	0.068	0.104	0.08	0.07	0.104	0.08	0.051
J36-J53	0.0122	0.0122	0.0122	0.064	0.077	0.046	0.077	0.064	0.059	0.077	0.064	0.025
J55-J60	0.0007	0.0007	0.0007	0.086	0.11	0.07	0.11	0.086	0.074	0.11	0.086	0.042
J37-J36	0.0103	0.0103	0.0103	0.136	0.172	0.108	0.172	0.136	0.122	0.172	0.136	0.072
J36-J39	0.0102	0.0102	0.0102	0.184	0.233	0.191	0.233	0.184	0.164	0.233	0.184	0.087
J38-J43	0.0102	0.0102	0.0102	0.246	0.313	0.167	0.313	0.246	0.219	0.313	0.246	0.12
J48-J46	0.008	0.008	0.008	0.118	0.141	0.105	0.141	0.118	0.108	0.141	0.118	0.06
J46-J47	0.0111	0.0111	0.0111	0.207	0.263	0.054	0.263	0.207	0.185	0.263	0.207	0.099
J47-J44	0.0262	0.0262	0.0262	0.216	0.272	0.148	0.272	0.216	0.194	0.272	0.216	0.103
J65-J64	0.0026	0.0026	0.0026	0.207	0.263	0.158	0.263	0.207	0.184	0.263	0.207	0.101
J34-J33	0.012	0.012	0.012	0.107	0.132	0.083	0.132	0.107	0.097	0.132	0.107	0.044
J39-J38	0.0004	0.0004	0.0004	0.103	0.128	0.081	0.128	0.103	0.091	0.128	0.103	0.046
J61-J60	0.0069	0.0069	0.0069	0.006	0.009	0.006	0.009	0.006	0.006	0.009	0.006	0.007
J66-J67	0.0156	0.0156	0.0156	0.391	0.509	0.317	0.509	0.391	0.346	0.509	0.391	0.187
J41-J42	0.0144	0.0144	0.0144	0.362	0.471	0.294	0.471	0.362	0.32	0.471	0.362	0.172
J55-J56	0.0167	0.0167	0.0167	0.133	0.175	0.106	0.175	0.133	0.12	0.175	0.133	0.069

continua en la siguiente pagina

TUBERIA	VELOCIDADES A $\Delta T=2$ HRS. EN (M/S)											
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
J66-J69	0.006	0.006	0.006	0.015	0.016	0.013	0.016	0.015	0.01	0.016	0.015	0.008
J59-J58	0.01	0.01	0.01	0.121	0.165	0.092	0.165	0.121	0.111	0.165	0.121	0.06
J45-J46	0.0097	0.0097	0.0097	0.039	0.026	0.039	0.026	0.039	0.029	0.026	0.039	0.023
J56-J59	0.0047	0.0047	0.0047	0.116	0.155	0.089	0.155	0.116	0.103	0.155	0.116	0.058
J62-J65	0.0218	0.0218	0.0218	0.48	0.608	0.375	0.608	0.48	0.428	0.608	0.48	0.237
J63-J58	0.0468	0.0468	0.0468	1.032	1.307	0.831	1.307	1.032	0.918	1.307	1.032	0.503
J62-J63	0.0043	0.0043	0.0043	0.155	0.195	0.128	0.195	0.155	0.141	0.195	0.155	0.075
J45-J44	0.0107	0.0107	0.0107	0.027	0.034	0.023	0.034	0.027	0.022	0.034	0.027	0.013
J54-J53	0.0094	0.0094	0.0094	0.033	0.054	0.021	0.054	0.033	0.026	0.054	0.033	0.021
J65-J66	0.0196	0.0196	0.0196	0.201	0.252	0.158	0.252	0.201	0.18	0.252	0.201	0.096
J59-J62	0.0017	0.0017	0.0017	0.268	0.341	0.207	0.341	0.268	0.237	0.341	0.268	0.135
J57-J58	0.012	0.012	0.012	0.221	0.275	0.172	0.275	0.221	0.198	0.275	0.221	0.096
J60-J59	0.0174	0.0174	0.0174	0.028	0.041	0.019	0.041	0.028	0.023	0.041	0.028	0.009
J56-J57	0.0121	0.0121	0.0121	0.04	0.051	0.033	0.051	0.04	0.037	0.051	0.04	0.023
J61-J62	0.0055	0.0055	0.0055	0.041	0.055	0.036	0.055	0.041	0.039	0.055	0.041	0.029
J43-J44	0.0109	0.0109	0.0109	0.038	0.045	0.037	0.045	0.038	0.038	0.045	0.038	0.031
J61-J66	0.0162	0.0162	0.0162	0.406	0.529	0.329	0.529	0.406	0.36	0.529	0.406	0.194
J40-J39	0.0076	0.0076	0.0076	0.024	0.032	0.02	0.032	0.024	0.022	0.032	0.024	0.016
J33-J32	0.002	0.002	0.002	0.017	0.009	0.02	0.009	0.017	0.019	0.009	0.017	0.001
J32-J37	0.0267	0.0267	0.0267	0.151	0.196	0.12	0.196	0.151	0.136	0.196	0.151	0.073
J37-J38	0.0307	0.0307	0.0307	0.097	0.13	0.075	0.13	0.097	0.086	0.13	0.097	0.047
J64-J67	0.0017	0.0017	0.0017	4E-04	0.022	0.015	0.022	4E-04	0.008	0.022	4E-04	0.002
J67-J68	0.0043	0.0043	0.0043	0.049	0.067	0.046	0.067	0.049	0.049	0.067	0.049	0.03

Fuente: propia

### 3.3.1. Resultados Gráficos

#### 3.3.1.1. Gráficos de Caudales

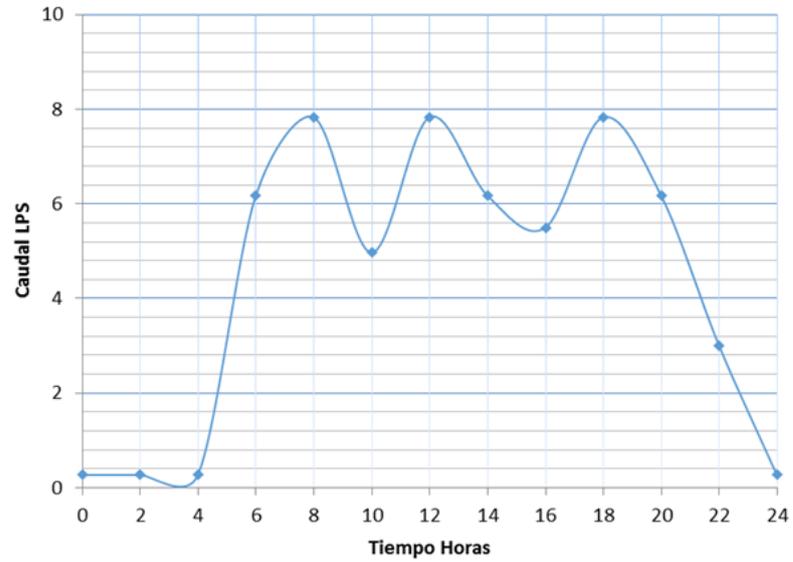


Figura 3.7: Caudales en la tubería R1-J1

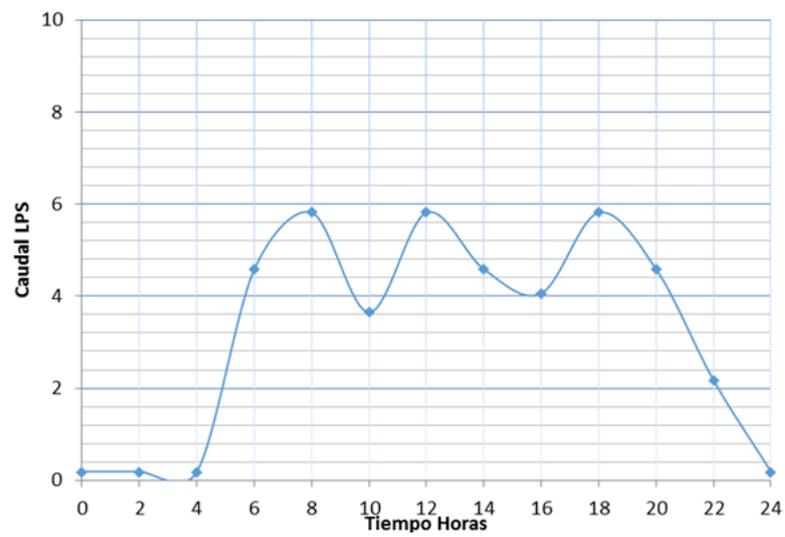


Figura 3.8: Caudales en la tubería J1-J2

### 3.3.1.2. Gráficos de Presiones

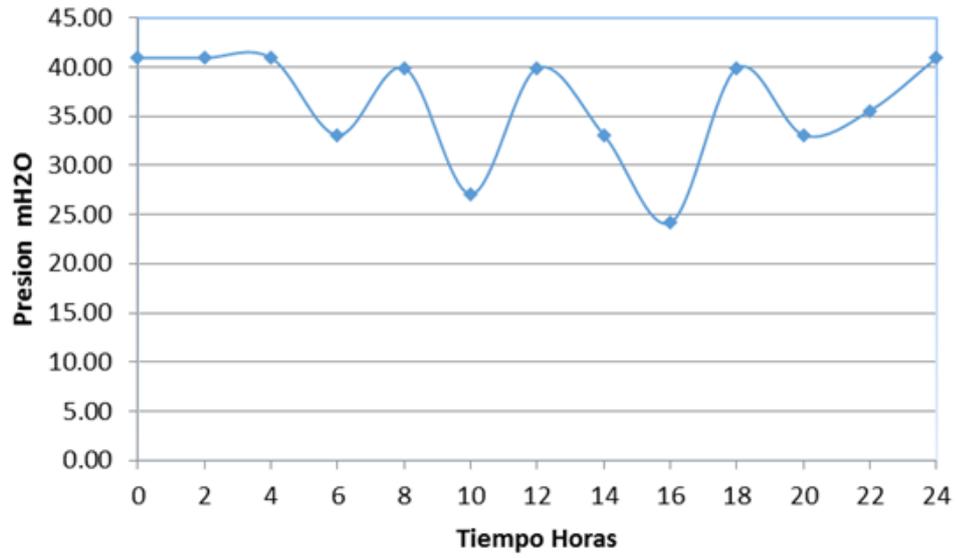


Figura 3.9: Presiones en el Nodo J1

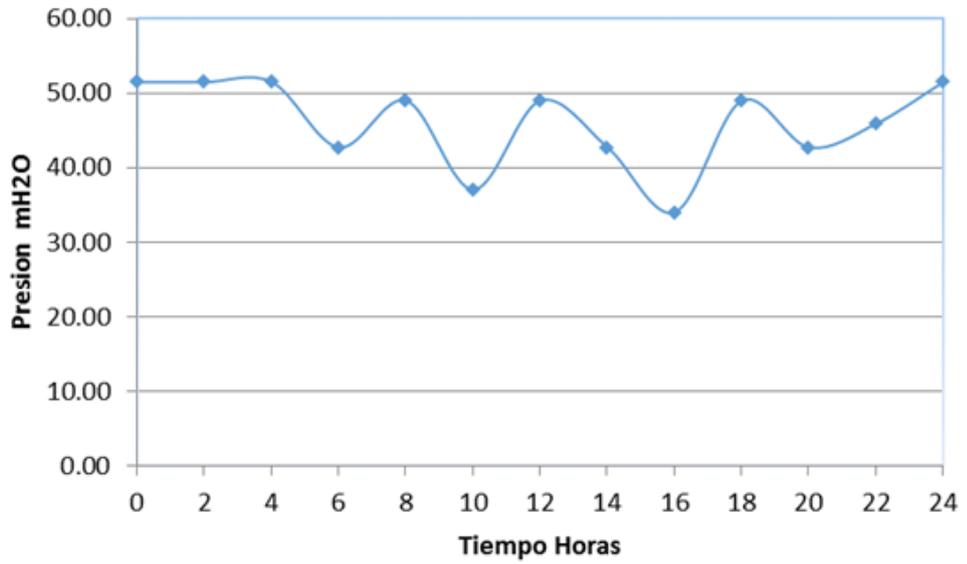


Figura 3.10: Presiones en el nodo J2

### 3.3.1.3. Gráficos de Velocidades

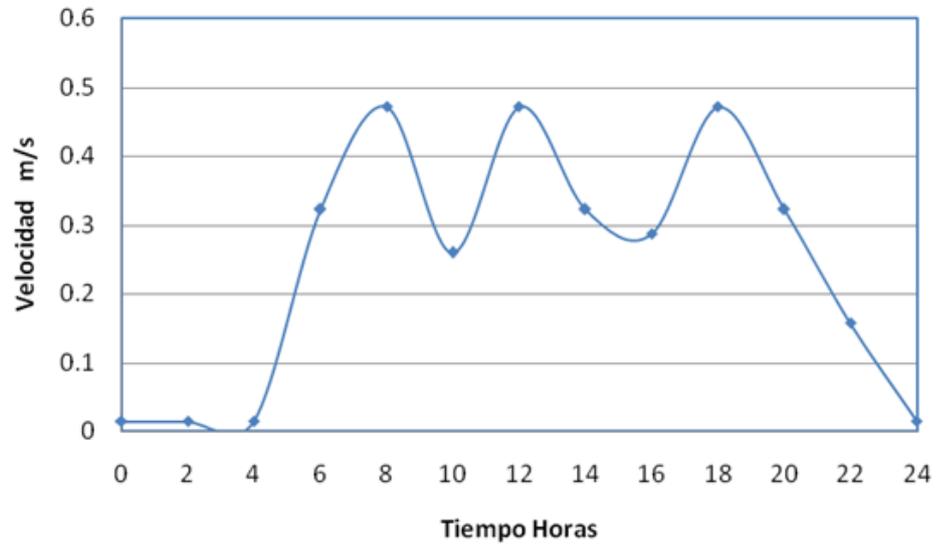


Figura 3.11: Velocidades en la tubería R1-J1

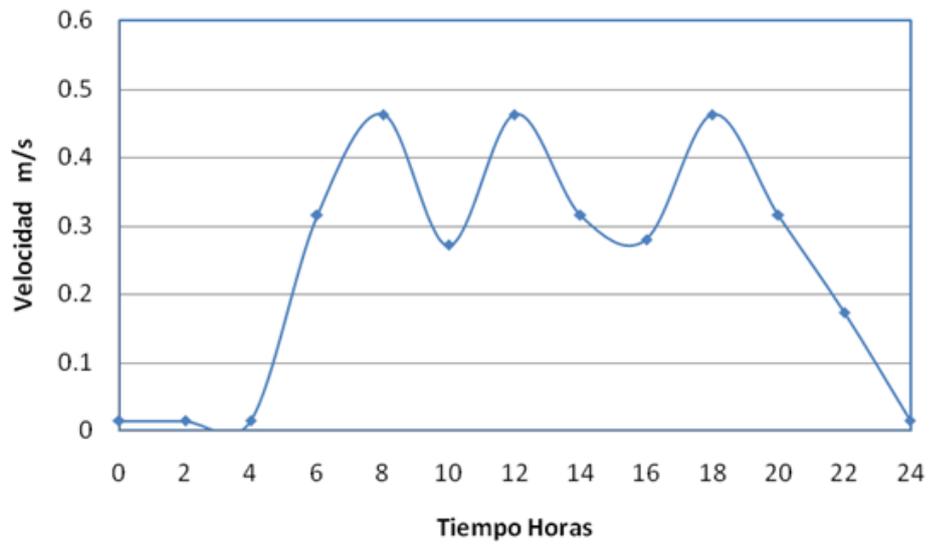


Figura 3.12: Velocidades en la tubería J1-J2

## 3.4. Resultados Con El Watercad V8i

### 3.4.1. Que Es Watercad V8.i?

#### 3.4.1.1. Introducción

El Watercad V8i, es un software comercial de análisis, modelación y gestión de redes a presión (sistemas de distribución o de riesgo), propiedad de la Empresa de Software Bentley Systems, Incorporated que produce soluciones para el diseño, construcción y operación de infraestructuras en diversos campos. WaterCAD permite la simulación hidráulica de un modelo computacional representado en este caso por elementos tipo: Línea (tramos de tuberías), Punto (Nodos de Consumo, Tanques, Reservorios, Hidrantes) e Híbridos (Bombas, Válvulas de Control, Regulación, etc.) El software cuyo algoritmo de cálculo se basa en el método del Gradiente Hidráulico, permite el análisis hidráulico de redes de agua (aunque puede usarse para cualquier fluido newtoniano) determinando las presiones en diversos puntos del sistema, así como los caudales, velocidades, pérdidas en las líneas que conforman la red hidráulica; así como otros muchos parámetros operativos derivados de los elementos presentes en el sistema como: Bombas, Válvulas de Control, Tanques, etc. a partir de las características físicas del sistema y unas condiciones de demanda previamente establecidas. WaterCAD además permite extender sus capacidades a temas de gestión a largo plazo de sistemas de abastecimiento incluyendo: análisis de vulnerabilidad, análisis de protección contra incendio, estimación de costos energéticos, calibración hidráulica, optimización, etc.

Este programa adicional a las herramientas convencionales para el análisis y modelación de redes a presión, cuenta con herramientas de productividad en los procesos de gestión de datos, construcción de modelos a partir de archivos externos, extracción de elevaciones, asignación de demandas a partir de técnicas de análisis espacial, preparación y gestión de escenarios, cálculos hidráulicos complementarios, gestión operativa y preparación de reportes y planos. Asimismo el software ofrece diversas opciones para visualización de resultados como reportes tabulares, perfiles, gráficos

de variación temporal, anotaciones y codificación por color, etc.

#### **3.4.1.2. Breve historia y Desarrollo del Watercad V8.i**

WaterCAD fue originalmente desarrollado por la Empresa Haestad Methods, Inc. con base en Watertown, CT (USA). Esta empresa fue adquirida por Bentley Systems a mediados del año 2004, adquisición a partir de la cual el producto comenzó a denominarse comercialmente como Bentley WaterCAD. WaterCAD es una evolución de un producto de software lanzado a principios de los 90's por la casa Haestad Methods, llamado CyberNet. Este producto fue quizás uno de los programas pioneros en integrar un modelo hidráulico en un entorno CAD. Lo anterior, considerando que sólo hasta esta década se comenzaban a lanzar al mercado comercial diferentes productos de modelación hidráulica con una interfaz gráfica y que la primera versión de EPANET (producto libre y referencial del mercado) sólo se lanzó hasta el año 1993. El CyberNet como nombre comercial desapareció a principios del año 2000, y WaterCAD se empezó a comercializarse en dos versiones: WaterCAD Stand-Alone y WaterCAD para AutoCAD. Asimismo, durante los primeros años el software sufrió cambios significativos que no solamente tuvieron que ver con mejoras a la interfaz gráfica y herramientas de entrada de datos sino también con sus métodos de cálculo y algoritmos. En primer lugar, en lo que tiene que ver con el método de análisis hidráulico se adaptó el método de gradiente conjugado (con el objeto de mejorar la velocidad de convergencia y uso de memoria). En lo que tiene que ver con el modelo dinámico de calidad de agua se implementó una aproximación o método Lagrangiano, que demostró ser más versátil y eficiente que otros modelos de calidad. En los últimos años el software ha tenido una gran evolución especialmente en características como: 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. Dentro de los más recientes desarrollos se incluyen las siguientes características:

- Intercambio de Datos con otros Sistemas de Información, Dispositivos Elec-

trónicos y/o otros programas de gestión.

- Uso de Algoritmos Genéticos para procesos de calibración hidráulica automatizada, diseño óptimo y optimización energética.
- Detección Analítica de Fugas.
- Planes de Vulnerabilidad ante eventos de Contaminación.
- Integración con Sistemas SCADA.
- Planificación para Renovación de Redes.
- Golpe de Ariete.

#### **3.4.1.3. Tipos de calculo**

WaterCAD (descripción basada en versión V8i) posee diferentes herramientas y tipos de cálculo complementarios al análisis hidráulico convencional. Tipos de Cálculo (Régimen Permanente):

- Análisis Hidráulico en Periodo Estático (también Conocido como Análisis Steady State ó SS por su Siglas en inglés).
- Análisis Hidráulico en Periodo Extendido o Cuasi-Estático (también Conocido como Análisis EPS por su Siglas en inglés).
- Análisis de Calidad de Agua (Análisis de tipo EPS con tres variantes: Edad del Agua, Rastreo de Fuente o Constituyente).
- Análisis de Protección contra Incendio (Análisis de Tipo SS para analizar la capacidad de respuesta de la Red ante un evento de Incendio).
- Análisis de Costos de Energía (Determinación de la Energía Consumida y Costos en las Estaciones de Bombeo).
- Análisis de Segmentos Críticos o de Vulnerabilidad del Sistema ante cortes de servicio (Criticality Analysis).

- Análisis y Proyección de Roturas de Tuberías (Pipe Break Analysis)
- Análisis de Lavado de Tuberías por estrategias de Vaciado (Flushing Analysis)

Módulos o Herramientas Complementarias incluidas:

- Centro de Control de Demandas (Demand Control Center).
- Administrador de Escenarios y Comparación (Scenario Management Scenario Comparison).
- Construcción Inteligente de Modelos a partir de archivos externos (ModelBuilder).
- Asignación Automática de Elevaciones a partir de Modelos Digitales de Terreno (Trex).
- Asignación Automática de Demandas basada en Análisis Espacial (LoadBuilder).
- Generador de Polígonos de Thiessen.

Módulos Adicionales:

- Skelebrator: Simplificación o Esqueletización Inteligente de Redes.
- Darwin Designer: Optimización de Diseño de Sistemas basado en Algoritmos Genéticos y según criterios económicos y restricciones hidráulicas.
- Darwin Calibrator: Calibración Hidráulica de Redes basada en Algoritmos Genéticos y según correlación estadística con datos de campo.
- Darwin Scheduler: Optimización Energética para Programación de Ciclos de Bombeos basado en Algoritmos Genéticos.
- Pipe Renewal Planner: Planeación para la Renovación de Redes basada en Análisis Multi-Criterio.
- SCADACONnect: Conexión en tiempo real del Modelo Hidráulico con Sistemas SCADA.

### 3.4.2. Ingreso de datos en el Watercad V8.i

Para aplicar a nuestro sistema de agua, Primero es crear un nuevo proyecto.

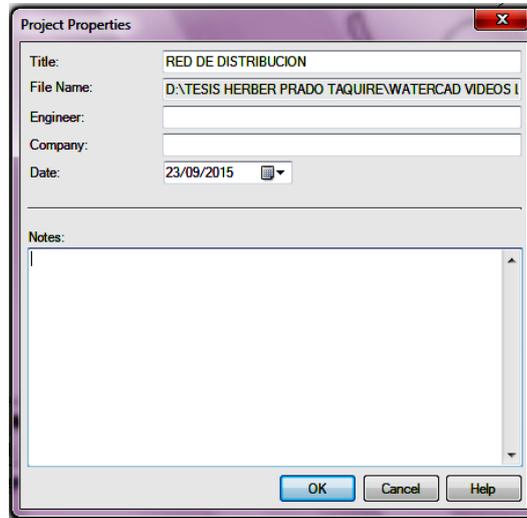


Figura 3.13: Crear un Proyecto

Segundo verificar las unidades del presente modelo como es el caudal en LPS (Litros por segundo), longitud en metros, diámetros en mm., Presión en  $H_2O$ , etc.

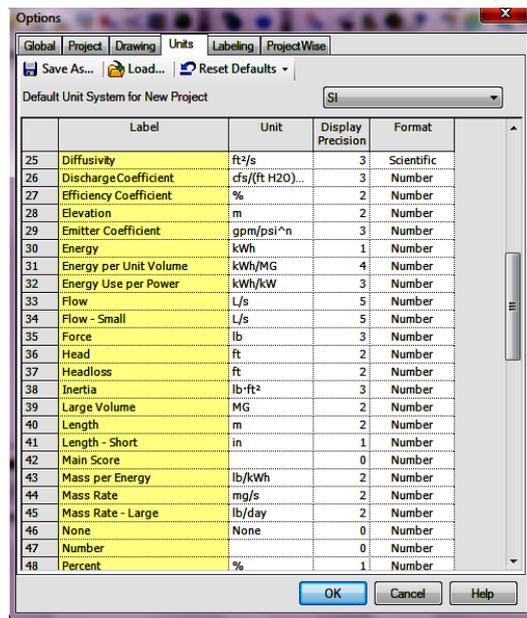


Figura 3.14: Cargar Unidades de trabajo

Tercero en opciones de Cálculo para la perdida por fricción la formula de Darcy

- Weisbach (D-W)

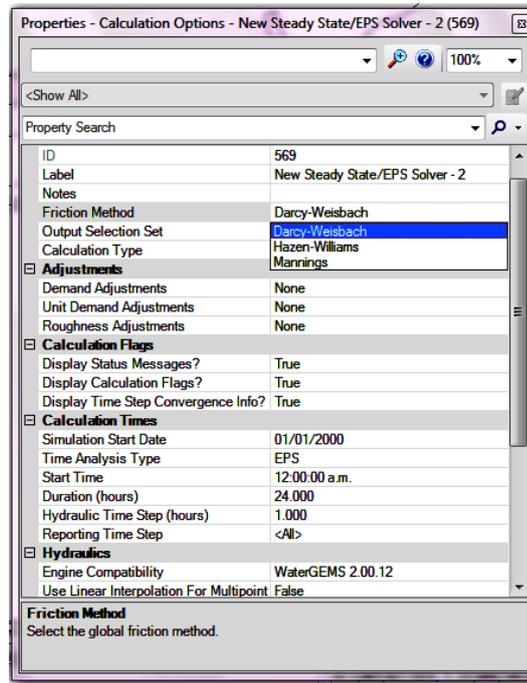


Figura 3.15: Cargar formula de fricción

Cuarto Guardar en cada paso.

Quinto para el modelo de la red, previamente se dibujara en el Autocad DXF, toda la red de agua, luego este modelo lo reconocerá el Watercad V8.i con el comando Model Builder.

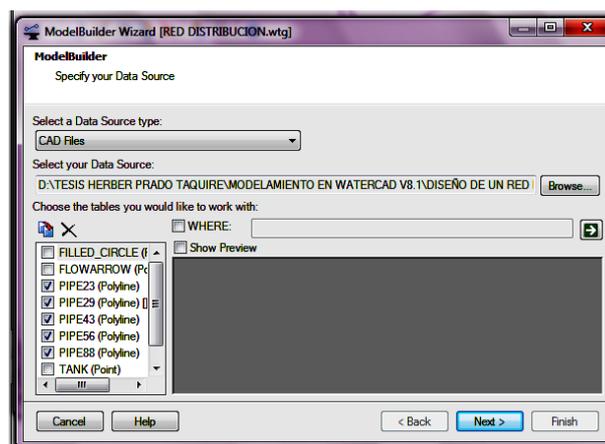


Figura 3.16: Utilizar el Model Builder

luego se mostrara la red de distribución

Sexto introducir la altura topográfica en todos los nudos.

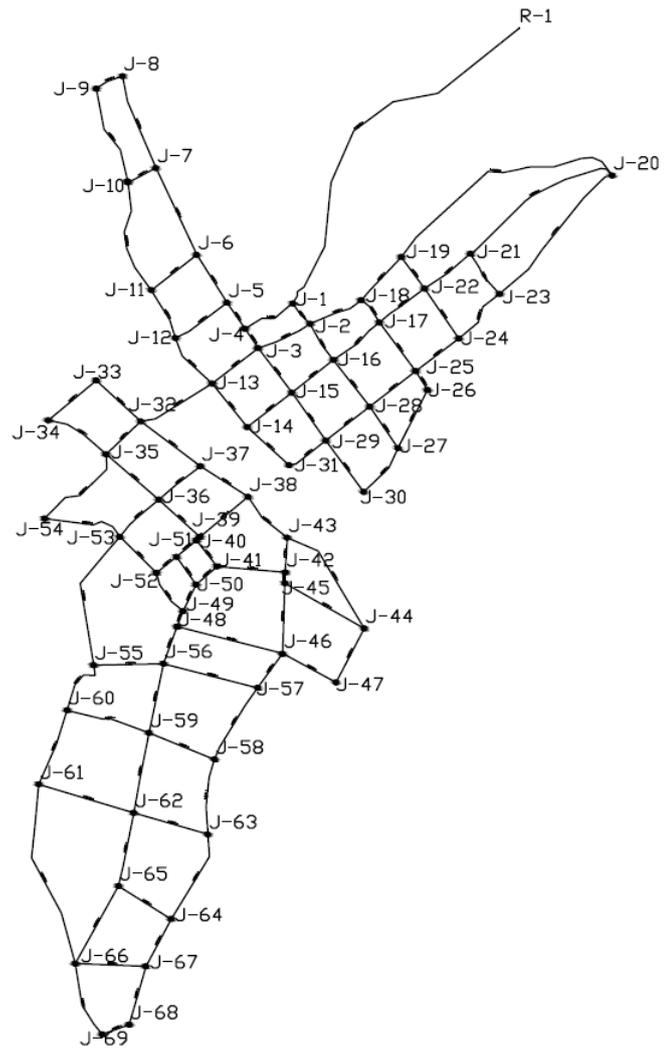


Figura 3.17: Idealización de la red en el WaterCad

	ID	Label	Elevation (m)	Zone	Demand Collection	Demand (L/s)	Hydraulic Grade (m)	Pressure (m H2O)
36: 1	36	1	3,350.24	<None>	<Collected...>	0.00000	3,382.75	32.4454
37: 2	37	2	3,339.68	<None>	<Collected...>	0.08500	3,382.33	42.5676
34: 3	34	3	3,336.98	<None>	<Collected...>	0.08900	3,382.14	45.0650
33: 4	33	4	3,341.01	<None>	<Collected...>	0.06200	3,381.96	40.8697
92: 5	92	5	3,345.34	<None>	<Collected...>	0.09300	3,381.14	35.7237
84: 6	84	6	3,351.68	<None>	<Collected...>	0.12700	3,381.04	29.3014
87: 7	87	7	3,358.35	<None>	<Collected...>	0.10700	3,381.03	22.6327
79: 8	79	8	3,370.98	<None>	<Collected...>	0.04100	3,381.02	10.0200
78: 9	78	9	3,369.01	<None>	<Collected...>	0.07000	3,381.02	11.9821
76: 10	76	10	3,355.86	<None>	<Collected...>	0.17300	3,381.02	25.1049
56: 11	56	11	3,343.02	<None>	<Collected...>	0.12000	3,381.04	37.9457
57: 12	57	12	3,338.87	<None>	<Collected...>	0.09700	3,381.04	42.0891
63: 13	63	13	3,332.18	<None>	<Collected...>	0.10000	3,378.73	46.4561
64: 14	64	14	3,322.01	<None>	<Collected...>	0.35400	3,380.01	57.8839
61: 15	61	15	3,328.12	<None>	<Collected...>	0.25700	3,380.25	52.0289
45: 16	45	16	3,325.45	<None>	<Collected...>	0.08400	3,380.37	54.8070
40: 17	40	17	3,329.01	<None>	<Collected...>	0.08700	3,380.23	51.1122
39: 18	39	18	3,342.35	<None>	<Collected...>	0.07100	3,380.21	37.7868
42: 19	42	19	3,346.36	<None>	<Collected...>	0.13400	3,380.14	33.7085
201: 20	201	20	3,349.00	<None>	<Collected...>	0.45600	3,380.13	31.0683
50: 21	50	21	3,335.86	<None>	<Collected...>	0.11200	3,380.13	44.1833
43: 22	43	22	3,331.24	<None>	<Collected...>	0.08400	3,380.17	48.8343
51: 23	51	23	3,327.82	<None>	<Collected...>	0.13100	3,380.15	52.2288
59: 24	59	24	3,325.78	<None>	<Collected...>	0.12900	3,380.17	54.2832
30: 25	30	25	3,319.50	<None>	<Collected...>	0.08100	3,380.23	60.6031

Figura 3.18: Introducir en los nodos la topografía de la red.

Séptimo para realizar una simulación en periodo extendido(EPS), entrar en comando componentes-patterns- hidraulic patterns y ahí se muestra las variaciones de demanda horaria en intervalos de 2hr.

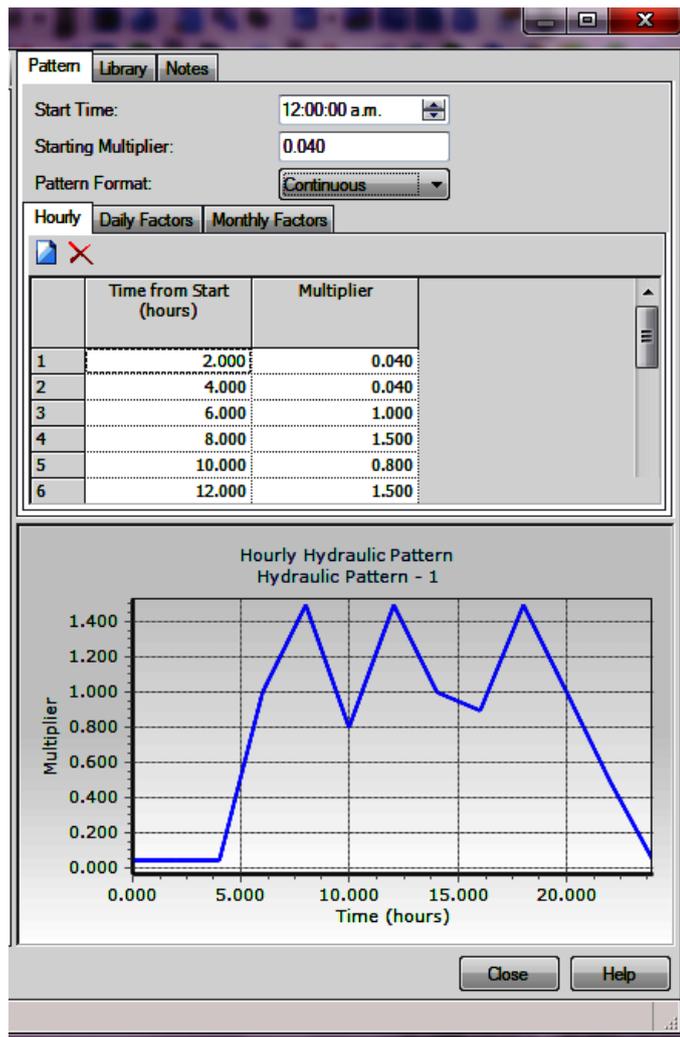


Figura 3.19: Simulación del Periodo Extendido.

Octavo cargar los datos de demanda en los respectivos nodos como se detallo anteriormente

The screenshot shows the 'Demand Control Center' window with a table of demand data. The table has columns for ID, Label, Demand (Base) (L/s), Pattern (Demand), and Zone. The data is sorted by Demand (Base) in descending order.

ID	Label	Demand (Base) (L/s)	Pattern (Demand)	Zone
1	36 J-1	0.00000	Fixed	<None>
2	37 J-2	0.05600	Fixed	<None>
3	34 J-3	0.06000	Fixed	<None>
4	33 J-4	0.04100	Fixed	<None>
5	92 J-5	0.06200	Fixed	<None>
6	84 J-6	0.08500	Fixed	<None>
7	87 J-7	0.07200	Fixed	<None>
8	79 J-8	0.02700	Fixed	<None>
9	78 J-9	0.04600	Fixed	<None>
10	76 J-10	0.11500	Fixed	<None>
11	56 J-11	0.08000	Fixed	<None>
12	57 J-12	0.06500	Fixed	<None>
13	63 J-13	0.06700	Fixed	<None>
14	64 J-14	0.23600	Fixed	<None>
15	61 J-15	0.20600	Fixed	<None>
16	45 J-16	0.05600	Fixed	<None>
17	40 J-17	0.05800	Fixed	<None>
18	39 J-18	0.04700	Fixed	<None>
19	42 J-19	0.08900	Fixed	<None>
20	201 J-20	0.30400	Fixed	<None>
21	50 J-21	0.07500	Fixed	<None>
22	43 J-22	0.05600	Fixed	<None>
23	51 J-23	0.08800	Fixed	<None>
24	59 J-24	0.08600	Fixed	<None>
25	30 J-25	0.05400	Fixed	<None>
26	31 J-26	0.06200	Fixed	<None>
27	54 J-27	0.05900	Fixed	<None>

Figura 3.20: Cargar Caudal de demanda en el WaterCad

En Demanda Base y en PATTERN(Demanda) colocar los datos que se desarrollo en el paso Séptimo

Noveno Regresamos al opción de cálculo en la opción Tipo de tiempo de análisis escoger la opción EPS.

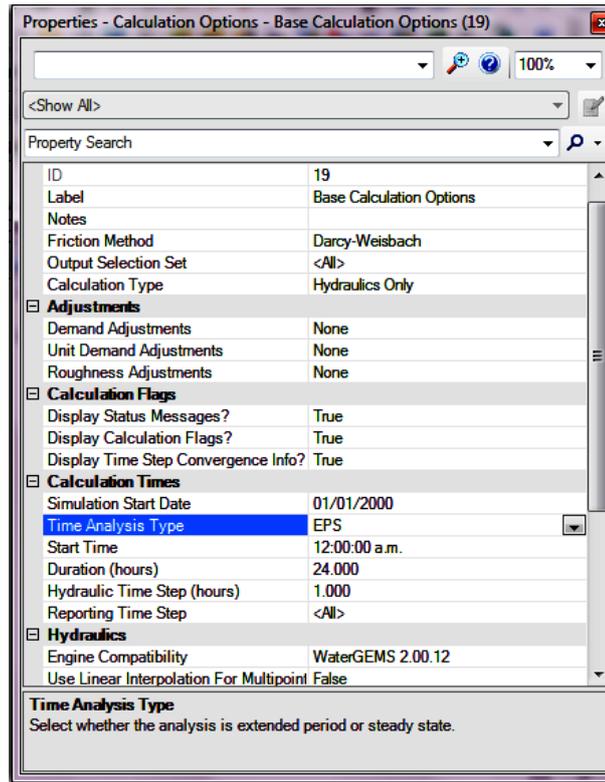


Figura 3.21: En el tiempo de análisis cargar el EPS

### 3.4.3. Resultados de Watercad V 8.i

Primero el programa me arrojó los siguientes diámetros óptimos:

Cuadro 3.26: Diámetros comerciales óptimos.

TUBERIA	DIAMETRO Comercial (mm)	TUBERIA	DIAMETRO Comercial (mm)	TUBERIA	DIAMETRO Comercial (mm)
R1 - J1	66	J21 - J20	103.2	J50 - J49	152
J1 - J2	66	J23 - J20	80.1	J54 - J53	66
J4 - J1	66	J28 - J27	80.1	J35 - J36	66
J4 - J3	66	J15 - J16	80.1	J35 - J32	66
J2 - J3	66	J15 - J29	66	J35 - J54	66
J25 - J28	80.1	J11 - J12	103.2	J36 - J53	66
J3- J15	152	J12 - J13	66	J36 - J39	66
J27 - J30	103.2	J24 - J23	66	J43 - J42	103.2
J25 - J24	103.2	J13 - J14	66	J43 - J44	80.1
J2 - J16	66	J13 - J3	66	J69 - J68	80.1
J2 - J18	80.1	J6 - J5	66	J34 - J33	80.1
J26 - J27	152	J6 - J11	152	J34 - J35	103.2
J18 - J17	103.2	J53 - J52	66	J56 - J59	66
J18 - J19	152	J53 - J55	66	J56 - J57	66
J17 - J22	152	J40 - J41	103.2	J46 - J57	66
J17 - J25	66	J40 - J39	66	J46 - J47	66
J9 - J8	103.2	J39 - J38	80.1	J57 - J58	80.1
J9 - J10	103.2	J45 - J42	66	J32 - J37	66
J8 - J7	80.1	J45 - J46	80.1	J32 - J13	66
J7 - J10	103.2	J45 - J44	152	J55 - J60	66
J7 - J6	152	J66 - J67	66	J55 - J56	103.2
J10 - J11	152	J66 - J69	66	J60 - J59	80.1
J5 - J4	80.1	J61 - J60	66	J37 - J36	66
J5 - J12	66	J61 - J62	80.1	J37 - J38	66
J19 - J22	66	J61 - J66	66	J38 - J43	66
J19 - J20	66	J48 - J49	66	J65 - J64	66
J22 - J21	103.2	J48 - J56	103.2	J65 - J66	66
J22 - J24	66	J48 - J46	80.1	J64 - J67	66
J14 - J31	66	J47 - J44	80.1	J64 - J63	80.1
J14 - J15	66	J63 - J58	103.2	J33 - J32	66
J16 - J17	66	J52 - J51	152	J67 - J68	103.2
J16 - J28	66	J52 - J49	66	J59 - J58	103.2
J31 - J29	66	J51 - J40	66	J59 - J62	152
J29 - J28	152	J51 - J50	66	J62 - J65	80.1
J29 - J30	66	J41 - J50	66	J62 - J63	103.2
J21 - J23	80.1	J41 - J42	66	J25 - J26	66

Fuente: propia.

Luego con los diámetros óptimos el programa nos muestra resultados para cada situación y en cada uno de los elementos conformantes de la Red en cada uno de los intervalos de tiempo considerados a lo largo del día, en la Cuadro 3.27 donde se pueden apreciar los resultados de presión

**Cuadro 3.27:** Presiones en  $\Delta T = 2hrs.$

NUDO	PRESIONES A $\Delta T=2$ HRS. EN (MH2O)											
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
J1	40.85	40.85	40.85	22.80	13.09	28.66	13.09	22.80	26.23	13.09	22.80	35.93
J2	51.39	51.39	51.39	32.86	22.90	38.88	22.90	32.86	36.38	22.90	32.86	46.33
J3	64.06	64.06	64.06	45.43	35.41	51.48	35.41	45.43	48.97	35.41	45.43	58.98
J4	50.07	50.07	50.07	31.47	21.48	37.51	21.48	31.47	35.01	21.48	31.47	45.00
J5	45.74	45.74	45.74	27.09	17.07	33.15	17.07	27.09	30.63	17.07	27.09	40.65
J6	39.41	39.41	39.41	20.70	10.64	26.77	10.64	20.70	24.25	10.64	20.70	34.30
J7	32.76	32.76	32.76	14.04	9.98	20.12	9.98	14.04	17.59	9.98	14.04	27.65
J8	32.13	32.13	32.13	13.41	9.35	19.49	9.35	13.41	16.96	9.35	13.41	27.02
J9	34.09	34.09	34.09	15.38	9.32	21.45	9.32	15.38	18.93	9.32	15.38	28.98
J10	35.24	35.24	35.24	16.52	10.46	22.60	10.46	16.52	20.08	10.46	16.52	30.13
J11	48.05	48.05	48.05	29.34	19.28	35.41	19.28	29.34	32.89	19.28	29.34	42.94
J12	52.20	52.20	52.20	33.48	23.42	39.56	23.42	33.48	37.03	23.42	33.48	47.09
J13	58.87	58.87	58.87	40.04	29.92	46.15	29.92	40.04	43.61	29.92	40.04	53.73
J14	69.02	69.02	69.02	50.31	40.26	56.39	40.26	50.31	53.87	40.26	50.31	63.92
J15	62.92	62.92	62.92	44.29	34.27	50.34	34.27	44.29	47.83	34.27	44.29	57.84
J16	65.59	65.59	65.59	46.97	36.97	53.02	36.97	46.97	50.51	36.97	46.97	60.51
J17	62.04	62.04	62.04	43.42	33.41	49.47	33.41	43.42	46.96	33.41	43.42	56.96
J18	48.72	48.72	48.72	30.11	20.11	36.16	20.11	30.11	33.65	20.11	30.11	43.64
J19	44.72	44.72	44.72	26.11	16.11	32.15	16.11	26.11	29.65	16.11	26.11	39.64
J20	42.09	42.09	42.09	23.46	13.45	29.51	13.45	23.46	27.00	13.45	23.46	37.00
J21	55.20	55.20	55.20	36.58	26.57	42.63	26.57	36.58	40.12	26.57	36.58	50.12
J22	59.81	59.81	59.81	41.19	31.19	47.24	31.19	41.19	44.73	31.19	41.19	54.73
J23	63.22	63.22	63.22	44.60	34.59	50.65	34.59	44.60	48.14	34.59	44.60	58.14
J24	65.26	65.26	65.26	46.63	36.62	52.68	36.62	46.63	50.17	36.62	46.63	60.18
J25	71.53	71.53	71.53	52.90	42.88	58.95	42.88	52.90	56.44	42.88	52.90	66.44
J26	72.39	72.39	72.39	53.75	43.73	59.80	43.73	53.75	57.29	43.73	53.75	67.30
J27	80.89	80.89	80.89	62.25	52.24	68.30	52.24	62.25	65.79	52.24	62.25	75.80
J28	74.14	74.14	74.14	55.51	45.49	61.56	45.49	55.51	59.05	45.49	55.51	69.06
J29	74.78	74.78	74.78	56.14	46.13	62.20	46.13	56.14	59.68	46.13	56.14	69.69
J30	81.69	81.69	81.69	63.05	53.03	69.10	53.03	63.05	66.59	53.03	63.05	76.60
J31	75.02	75.02	75.02	56.35	46.32	62.41	46.32	56.35	59.90	46.32	56.35	69.92
J32	62.99	62.99	62.99	42.75	31.89	49.32	31.89	42.75	46.60	31.89	42.75	57.46

continua en la siguiente pagina

NUDO	PRESIONES A $\Delta T=2$ HRS. EN (MH2O)											
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
J33	54.65	54.65	54.65	34.34	23.43	40.93	23.43	34.34	38.19	23.43	34.34	49.1
J34	50.46	50.46	50.46	30.11	19.19	36.72	19.19	30.11	33.98	19.19	30.11	44.9
J35	59.89	59.89	59.89	39.54	28.61	46.14	28.61	39.54	43.4	28.61	39.54	54.33
J36	74.11	74.11	74.11	53.62	42.62	60.26	42.62	53.62	57.51	42.62	53.62	68.51
J37	71.97	71.97	71.97	51.49	40.51	58.13	40.51	51.49	55.38	40.51	51.49	66.37
J38	77.81	77.81	77.81	57.24	46.21	63.91	46.21	57.24	61.14	46.21	57.24	72.18
J39	77.01	77.01	77.01	56.44	45.4	63.11	45.4	56.44	60.34	45.4	56.44	71.38
J40	75.01	75.01	75.01	54.43	43.39	61.11	43.39	54.43	58.34	43.39	54.43	69.39
J41	76.06	76.06	76.06	55.47	44.43	62.15	44.43	55.47	59.38	44.43	55.47	70.43
J42	83.39	83.39	83.39	62.79	51.73	69.47	51.73	62.79	66.7	51.73	62.79	77.76
J43	82.9	82.9	82.9	62.29	51.23	68.97	51.23	62.29	66.2	51.23	62.29	77.26
J44	94.77	94.77	94.77	74.15	63.1	80.84	63.1	74.15	78.07	63.1	74.15	89.13
J45	84.09	84.09	84.09	63.48	52.42	70.16	52.42	63.48	67.39	52.42	63.48	78.46
J46	86.94	86.94	86.94	66.31	55.25	73	55.25	66.31	70.23	55.25	66.31	81.3
J47	95.47	95.47	95.47	74.84	63.78	81.53	63.78	74.84	78.76	63.78	74.84	89.83
J48	71.87	71.87	71.87	51.24	40.18	57.93	40.18	51.24	55.16	40.18	51.24	66.23
J49	72.72	72.72	72.72	52.12	41.07	58.8	41.07	52.12	56.03	41.07	52.12	67.09
J50	74.61	74.61	74.61	54.02	42.97	60.7	42.97	54.02	57.92	42.97	54.02	68.98
J51	73.61	73.61	73.61	53.03	41.99	59.71	41.99	53.03	56.94	41.99	53.03	67.99
J52	71.02	71.02	71.02	50.44	39.39	57.11	39.39	50.44	54.34	39.39	50.44	65.39
J53	64.23	64.23	64.23	43.7	32.68	50.36	32.68	43.7	47.59	32.68	43.7	58.62
J54	44.27	44.27	44.27	23.81	12.83	30.45	12.83	23.81	27.69	12.83	23.81	38.68
J55	64.88	64.88	64.88	44.25	33.18	50.94	33.18	44.25	48.17	33.18	44.25	59.24
J56	71.72	71.72	71.72	51.09	40.02	57.78	40.02	51.09	55	40.02	51.09	66.08
J57	86.29	86.29	86.29	65.65	54.58	72.35	54.58	65.65	69.57	54.58	65.65	80.65
J58	79.8	79.8	79.8	59.15	48.08	65.85	48.08	59.15	63.07	48.08	59.15	74.16
J59	70.07	70.07	70.07	49.42	38.35	56.12	38.35	49.42	53.34	38.35	49.42	64.43
J60	58	58	58	37.36	26.29	44.05	26.29	37.36	41.27	26.29	37.36	52.35
J61	49.01	49.01	49.01	28.36	17.29	35.06	17.29	28.36	32.28	17.29	28.36	43.37
J62	68.82	68.82	68.82	48.17	37.1	54.87	37.1	48.17	52.09	37.1	48.17	63.18
J63	68.23	68.23	68.23	47.58	36.5	54.27	36.5	47.58	51.49	36.5	47.58	62.58
J64	61.94	61.94	61.94	41.28	30.2	47.98	30.2	41.28	45.2	30.2	41.28	56.29
J65	60.79	60.79	60.79	40.13	29.05	46.83	29.05	40.13	44.05	29.05	40.13	55.14
J66	51.86	51.86	51.86	31.2	20.11	37.9	20.11	31.2	35.12	20.11	31.2	46.21
J67	60.99	60.99	60.99	40.33	29.24	47.03	29.24	40.33	44.25	29.24	40.33	55.34
J68	58.2	58.2	58.2	37.53	26.45	44.24	26.45	37.53	41.45	26.45	37.53	52.55
J69	50.01	50.01	50.01	29.35	18.26	36.05	18.26	29.35	33.27	18.26	29.35	44.36

Fuente: propia.

y también se puede apreciar los resultados relacionados a las tuberías tales como caudales y velocidades a las diferentes horas.

**Cuadro 3.28:** Caudales en  $\Delta T = 2hrs.$

TUBERIA	CAUDALES A $\Delta T=2$ HRS. EN LPS											
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
R1 - J1	0.274	0.274	0.274	6.171	7.824	4.967	7.824	6.171	5.493	7.824	6.171	3.010
J1 - J2	0.152	0.152	0.152	3.607	4.571	2.904	4.571	3.607	3.211	4.571	3.607	1.762
J4 - J1	-0.122	-0.122	-0.122	-2.564	-3.253	-2.063	-3.253	-2.564	-2.282	-3.253	-2.564	-1.248
J4 - J3	0.054	0.054	0.054	0.935	1.175	0.754	1.175	0.935	0.829	1.175	0.935	0.450
J2 - J3	0.046	0.046	0.046	1.009	1.276	0.812	1.276	1.009	0.897	1.276	1.009	0.487
J25 - J28	0.010	0.010	0.010	0.301	0.370	0.247	0.370	0.301	0.267	0.370	0.301	0.166
J3- J15	0.022	0.022	0.022	0.452	0.557	0.365	0.557	0.452	0.396	0.557	0.452	0.205
J27 - J30	0.005	0.005	0.005	0.164	0.207	0.128	0.207	0.164	0.144	0.207	0.164	0.070
J25 - J24	-0.010	-0.010	-0.010	-0.355	-0.431	-0.295	-0.431	-0.355	-0.317	-0.431	-0.355	-0.186
J2 - J16	0.045	0.045	0.045	1.065	1.350	0.857	1.350	1.065	0.948	1.350	1.065	0.520
J2 - J18	0.058	0.058	0.058	1.477	1.872	1.190	1.872	1.477	1.315	1.872	1.477	0.727
J26 - J27	0.008	0.008	0.008	0.240	0.294	0.196	0.294	0.240	0.212	0.294	0.240	0.118
J18 - J17	0.044	0.044	0.044	0.956	1.218	0.763	1.218	0.956	0.847	1.218	0.956	0.459
J18 - J19	0.012	0.012	0.012	0.473	0.593	0.389	0.593	0.473	0.426	0.593	0.473	0.244
J17 - J22	0.026	0.026	0.026	0.579	0.745	0.464	0.745	0.579	0.519	0.745	0.579	0.291
J17 - J25	0.013	0.013	0.013	0.302	0.383	0.240	0.383	0.302	0.266	0.383	0.302	0.156
J9 - J8	0.000	0.000	0.000	-0.002	-0.007	-0.001	-0.007	-0.002	0.000	-0.007	-0.002	0.001
J9 - J10	-0.002	-0.002	-0.002	-0.045	-0.053	-0.036	-0.053	-0.045	-0.042	-0.053	-0.045	-0.024
J8 - J7	-0.001	-0.001	-0.001	-0.029	-0.042	-0.023	-0.042	-0.029	-0.024	-0.042	-0.029	-0.013
J7 - J10	0.004	0.004	0.004	0.168	0.209	0.113	0.209	0.168	0.139	0.209	0.168	0.052
J7 - J6	-0.008	-0.008	-0.008	-0.269	-0.344	-0.193	-0.344	-0.269	-0.227	-0.344	-0.269	-0.101
J10 - J11	-0.002	-0.002	-0.002	0.008	0.006	-0.015	0.006	0.008	-0.007	0.006	0.008	-0.030
J5 - J4	-0.067	-0.067	-0.067	-1.587	-2.024	-1.276	-2.024	-1.587	-1.416	-2.024	-1.587	-0.778
J5 - J12	0.032	0.032	0.032	0.749	0.953	0.601	0.953	0.749	0.667	0.953	0.749	0.365
J19 - J22	0.006	0.006	0.006	0.239	0.307	0.195	0.307	0.239	0.212	0.307	0.239	0.143
J19 - J20	0.003	0.003	0.003	0.144	0.169	0.123	0.169	0.144	0.134	0.169	0.144	0.057
J22 - J21	0.020	0.020	0.020	0.498	0.639	0.403	0.639	0.498	0.448	0.639	0.498	0.258
J22 - J24	0.010	0.010	0.010	0.265	0.340	0.211	0.340	0.265	0.233	0.340	0.265	0.147
J14 - J31	-0.018	-0.018	-0.018	-0.556	-0.710	-0.446	-0.710	-0.556	-0.496	-0.710	-0.556	-0.272
J14 - J15	-0.035	-0.035	-0.035	-0.811	-1.032	-0.652	-1.032	-0.811	-0.723	-1.032	-0.811	-0.397
J16 - J17	-0.003	-0.003	-0.003	-0.018	-0.015	-0.013	-0.015	-0.018	-0.010	-0.015	-0.018	0.016
J16 - J28	0.014	0.014	0.014	0.367	0.463	0.295	0.463	0.367	0.325	0.463	0.367	0.177
J31 - J29	-0.019	-0.019	-0.019	-0.592	-0.756	-0.475	-0.756	-0.592	-0.528	-0.756	-0.592	-0.289

continua en la siguiente pagina

TUBERIA	CAUDALES A $\Delta T=2$ HRS. EN LPS											
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
J 21 - J 23	0.008	0.008	0.008	0.218	0.277	0.191	0.277	0.218	0.202	0.277	0.218	0.125
J 21 - J 20	0.009	0.009	0.009	0.205	0.266	0.153	0.266	0.205	0.179	0.266	0.205	0.096
J 23 - J 20	0.001	0.001	0.001	-0.046	-0.040	-0.033	-0.040	-0.046	-0.039	-0.040	-0.046	0.000
J 28 - J 27	-0.001	-0.001	-0.001	-0.018	-0.010	-0.021	-0.010	-0.018	-0.015	-0.010	-0.018	-0.019
J 15 - J 16	-0.032	-0.032	-0.032	-0.660	-0.828	-0.530	-0.828	-0.660	-0.583	-0.828	-0.660	-0.299
J 15 - J 29	0.002	0.002	0.002	0.095	0.130	0.072	0.130	0.095	0.084	0.130	0.095	0.021
J 11 - J 12	0.015	0.015	0.015	0.352	0.438	0.285	0.438	0.352	0.311	0.438	0.352	0.169
J 12 - J 13	0.045	0.045	0.045	1.036	1.307	0.834	1.307	1.036	0.920	1.307	1.036	0.502
J 24 - J 23	-0.004	-0.004	-0.004	-0.176	-0.203	-0.153	-0.203	-0.176	-0.162	-0.203	-0.176	-0.082
J 13 - J 14	-0.043	-0.043	-0.043	-1.131	-1.435	-0.910	-1.435	-1.131	-1.006	-1.435	-1.131	-0.550
J 13 - J 3	-0.076	-0.076	-0.076	-1.432	-1.817	-1.154	-1.817	-1.432	-1.277	-1.817	-1.432	-0.702
J 6 - J 5	-0.032	-0.032	-0.032	-0.777	-0.990	-0.625	-0.990	-0.777	-0.693	-0.990	-0.777	-0.381
J 6 - J 11	0.021	0.021	0.021	0.423	0.536	0.364	0.536	0.423	0.390	0.536	0.423	0.239
J 53 - J 52	0.026	0.026	0.026	0.650	0.823	0.522	0.823	0.650	0.578	0.823	0.650	0.314
J 53 - J 55	0.022	0.022	0.022	0.544	0.691	0.438	0.691	0.544	0.484	0.691	0.544	0.262
J 40 - J 41	0.042	0.042	0.042	0.832	1.051	0.668	1.051	0.832	0.739	1.051	0.832	0.402
J 40 - J 39	-0.053	-0.053	-0.053	-1.059	-1.342	-0.854	-1.342	-1.059	-0.943	-1.342	-1.059	-0.523
J 39 - J 38	-0.014	-0.014	-0.014	-0.277	-0.354	-0.224	-0.354	-0.277	-0.247	-0.354	-0.277	-0.142
J 45 - J 42	-0.036	-0.036	-0.036	-0.619	-0.773	-0.495	-0.773	-0.619	-0.548	-0.773	-0.619	-0.279
J 45 - J 46	0.012	0.012	0.012	0.349	0.444	0.279	0.444	0.349	0.311	0.444	0.349	0.178
J 45 - J 44	0.022	0.022	0.022	0.198	0.236	0.159	0.236	0.198	0.172	0.236	0.198	0.065
J 66 - J 67	0.000	0.000	0.000	0.016	0.010	0.011	0.010	0.016	0.014	0.010	0.016	-0.001
J 66 - J 69	0.001	0.001	0.001	0.041	0.046	0.032	0.046	0.041	0.037	0.046	0.041	0.015
J 61 - J 60	-0.009	-0.009	-0.009	-0.236	-0.304	-0.191	-0.304	-0.236	-0.212	-0.304	-0.236	-0.121
J 61 - J 62	-0.001	-0.001	-0.001	-0.060	-0.067	-0.045	-0.067	-0.060	-0.056	-0.067	-0.060	-0.013
J 61 - J 66	0.005	0.005	0.005	0.156	0.190	0.124	0.190	0.156	0.142	0.190	0.156	0.064
J 48 - J 49	-0.046	-0.046	-0.046	-0.926	-1.165	-0.747	-1.165	-0.926	-0.822	-1.165	-0.926	-0.443
J 48 - J 56	0.035	0.035	0.035	0.791	1.027	0.638	1.027	0.791	0.719	1.027	0.791	0.394
J 48 - J 46	0.009	0.009	0.009	0.112	0.108	0.091	0.108	0.112	0.083	0.108	0.112	0.038
J 47 - J 44	-0.029	-0.029	-0.029	-0.396	-0.482	-0.324	-0.482	-0.396	-0.347	-0.482	-0.396	-0.187
J 63 - J 58	-0.010	-0.010	-0.010	-0.268	-0.327	-0.229	-0.327	-0.268	-0.250	-0.327	-0.268	-0.133
J 52 - J 51	0.011	0.011	0.011	0.268	0.338	0.213	0.338	0.268	0.237	0.338	0.268	0.119
J 52 - J 49	0.014	0.014	0.014	0.346	0.438	0.279	0.438	0.346	0.308	0.438	0.346	0.176
J 51 - J 40	-0.010	-0.010	-0.010	-0.213	-0.273	-0.175	-0.273	-0.213	-0.192	-0.273	-0.213	-0.114
J 51 - J 50	0.018	0.018	0.018	0.409	0.518	0.331	0.518	0.409	0.365	0.518	0.409	0.197
J 41 - J 50	0.024	0.024	0.024	0.420	0.533	0.335	0.533	0.420	0.374	0.533	0.420	0.194
J 41 - J 42	0.017	0.017	0.017	0.378	0.473	0.305	0.473	0.378	0.334	0.473	0.378	0.191
J 50 - J 49	0.041	0.041	0.041	0.803	1.016	0.646	1.016	0.803	0.715	1.016	0.803	0.378
J 54 - J 53	0.025	0.025	0.025	0.669	0.848	0.538	0.848	0.669	0.595	0.848	0.669	0.323

continua en la siguiente pagina

TUBERIA	CAUDALES A $\Delta T=2$ HRS. EN LPS											
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
J35 - J36	0.0493	0.0493	0.049	1.0633	1.3482	0.8559	1.3482	1.0633	0.9465	1.3482	1.0633	0.5187
J35 - J32	-0.0583	-0.058	-0.058	-1.208	-1.536	-0.972	-1.536	-1.2078	-1.0769	-1.5356	-1.2078	-0.5914
J35 - J54	0.0282	0.0282	0.028	0.7478	0.9509	0.6007	0.9509	0.7478	0.6656	0.9509	0.7478	0.3629
J36 - J53	0.0255	0.0255	0.026	0.5963	0.7575	0.4787	0.7575	0.5963	0.5307	0.7575	0.5963	0.2877
J36 - J39	0.0395	0.0395	0.04	0.8141	1.0302	0.6558	1.0302	0.8141	0.7245	1.0302	0.8141	0.3968
J43 - J42	0.0217	0.0217	0.022	0.2902	0.3636	0.2296	0.3636	0.2902	0.2583	0.3636	0.2902	0.113
J43 - J44	0.0104	0.0104	0.01	0.2711	0.3411	0.2233	0.3411	0.2711	0.2401	0.3411	0.2711	0.158
J69 - J 68	-0.003	-0.003	-0.003	-0.065	-0.092	-0.053	-0.092	-0.0651	-0.0584	-0.0923	-0.0651	-0.0381
J34 - J33	-0.0268	-0.027	-0.027	-0.795	-1.013	-0.638	-1.013	-0.7951	-0.7079	-1.0125	-0.7951	-0.3861
J34 - J35	0.0229	0.0229	0.023	0.6967	0.8845	0.5597	0.8845	0.6967	0.6193	0.8845	0.6967	0.3369
J56 - J59	0.0147	0.0147	0.015	0.3174	0.4165	0.2521	0.4165	0.3174	0.2844	0.4165	0.3174	0.1613
J56 - J57	0.0061	0.0061	0.006	0.1569	0.1855	0.1343	0.1855	0.1569	0.1449	0.1855	0.1569	0.0656
J46 - J57	0.0086	0.0086	0.009	0.3046	0.4142	0.2367	0.4142	0.3046	0.2733	0.4142	0.3046	0.1639
J46 - J47	0.0085	0.0085	0.009	0.0563	0.0082	0.0536	0.0082	0.0563	0.0305	0.0082	0.0563	0.002
J57 - J58	0.012	0.012	0.012	0.3933	0.5107	0.3164	0.5107	0.3933	0.3568	0.5107	0.3933	0.1955
J32- J37	0.0698	0.0698	0.07	1.3824	1.7539	1.1133	1.7539	1.3824	1.2318	1.7539	1.3824	0.6774
J32 - J13	-0.1602	-0.16	-0.16	-3.532	-4.472	-2.844	-4.472	-3.532	-3.1424	-4.472	-3.532	-1.7205
J55 - J60	0.0286	0.0286	0.029	0.6726	0.8708	0.538	0.8708	0.6726	0.6034	0.8708	0.6726	0.3348
J55 - J56	-0.0104	-0.01	-0.01	-0.213	-0.289	-0.168	-0.289	-0.2125	-0.1951	-0.289	-0.2125	-0.115
J60 - J59	0.016	0.016	0.016	0.3532	0.4576	0.2799	0.4576	0.3532	0.3164	0.4576	0.3532	0.1721
J37 - J36	0.0189	0.0189	0.019	0.4284	0.5455	0.3436	0.5455	0.4284	0.3818	0.5455	0.4284	0.2065
J37 - J38	0.0493	0.0493	0.049	0.9137	1.1563	0.7375	1.1563	0.9137	0.8137	1.1563	0.9137	0.4508
J38 - J43	0.0336	0.0336	0.034	0.5984	0.7527	0.4827	0.7527	0.5984	0.5317	0.7527	0.5984	0.2896
J65 - J64	0.0017	0.0017	0.002	0.0237	0.0427	0.0154	0.0427	0.0237	0.0176	0.0427	0.0237	0.0184
J65 - J66	0.0064	0.0064	0.006	0.1571	0.1987	0.1237	0.1987	0.1571	0.1403	0.1987	0.1571	0.0785
J64 - J67	0.0086	0.0086	0.009	0.1851	0.2588	0.1505	0.2588	0.1851	0.1662	0.2588	0.1851	0.1071
J64 - J63	-0.0103	-0.01	-0.01	-0.246	-0.325	-0.202	-0.325	-0.2455	-0.2244	-0.3252	-0.2455	-0.1307
J33 - J32	-0.0289	-0.029	-0.029	-0.848	-1.081	-0.68	-1.081	-0.8476	-0.7552	-1.0805	-0.8476	-0.4124
J67 - J 68	0.0054	0.0054	0.005	0.1262	0.1713	0.1019	0.1713	0.1262	0.1134	0.1713	0.1262	0.0687
J59 - J58	0.0014	0.0014	0.001	-0.027	-0.056	-0.009	-0.056	-0.0274	-0.0187	-0.0557	-0.0274	-0.0133
J59 - J62	0.0248	0.0248	0.025	0.5862	0.7847	0.4516	0.7847	0.5862	0.519	0.7847	0.5862	0.291
J62 - J65	0.0121	0.0121	0.012	0.2806	0.3714	0.2189	0.3714	0.2806	0.2477	0.3714	0.2806	0.1469
J62 - J63	0.0051	0.0051	0.005	0.0849	0.1371	0.0591	0.1371	0.0849	0.0709	0.1371	0.0849	0.0512
J25 - J26	-0.0106	-0.011	-0.011	-0.302	-0.374	-0.246	-0.374	-0.3023	-0.2677	-0.374	-0.3023	-0.1491

Fuente: propia.

y velocidades

Cuadro 3.29: Velocidades en  $\Delta T = 2hrs.$

TUBERIA	VELOCIDADES A $\Delta T=2HRS.$ EN (M/S)											
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
R1 - J1	0.0800	0.0800	0.0800	1.8038	2.2869	1.4519	2.2869	1.8038	1.6056	2.2869	1.8038	0.8797
J1 - J2	0.0443	0.0443	0.0443	1.0543	1.3362	0.8489	1.3362	1.0543	0.9385	1.3362	1.0543	0.5149
J4 - J1	0.0357	0.0357	0.0357	0.7495	0.9508	0.6030	0.9508	0.7495	0.6670	0.9508	0.7495	0.3648
J4 - J3	0.0157	0.0157	0.0157	0.2734	0.3434	0.2205	0.3434	0.2734	0.2423	0.3434	0.2734	0.1315
J2 - J3	0.0136	0.0136	0.0136	0.2949	0.3730	0.2374	0.3730	0.2949	0.2622	0.3730	0.2949	0.1423
J25 - J28	0.0020	0.0020	0.0020	0.0597	0.0733	0.0490	0.0733	0.0597	0.0530	0.0733	0.0597	0.0329
J3- J15	0.0012	0.0012	0.0012	0.0249	0.0307	0.0201	0.0307	0.0249	0.0218	0.0307	0.0249	0.0113
J27 - J30	0.0006	0.0006	0.0006	0.0196	0.0248	0.0153	0.0248	0.0196	0.0172	0.0248	0.0196	0.0084
J25 - J24	0.0013	0.0013	0.0013	0.0425	0.0515	0.0353	0.0515	0.0425	0.0379	0.0515	0.0425	0.0222
J2 - J16	0.0131	0.0131	0.0131	0.3113	0.3946	0.2506	0.3946	0.3113	0.2770	0.3946	0.3113	0.1518
J2 - J18	0.0116	0.0116	0.0116	0.2931	0.3715	0.2361	0.3715	0.2931	0.2610	0.3715	0.2931	0.1443
J26 - J27	0.0005	0.0005	0.0005	0.0133	0.0162	0.0108	0.0162	0.0133	0.0117	0.0162	0.0133	0.0065
J18 - J17	0.0053	0.0053	0.0053	0.1143	0.1456	0.0912	0.1456	0.1143	0.1012	0.1456	0.1143	0.0549
J18 - J19	0.0007	0.0007	0.0007	0.0261	0.0327	0.0214	0.0327	0.0261	0.0235	0.0327	0.0261	0.0134
J17 - J22	0.0014	0.0014	0.0014	0.0319	0.0411	0.0256	0.0411	0.0319	0.0286	0.0411	0.0319	0.0160
J17 - J25	0.0036	0.0036	0.0036	0.0881	0.1119	0.0702	0.1119	0.0881	0.0776	0.1119	0.0881	0.0456
J9 - J8	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0008	0.0001	0.0008	0.0002	0.0000	0.0008	0.0002	0.0001
J9 - J10	0.0002	0.0002	0.0002	0.0053	0.0063	0.0043	0.0063	0.0053	0.0050	0.0063	0.0053	0.0028
J8 - J7	0.0002	0.0002	0.0002	0.0058	0.0083	0.0045	0.0083	0.0058	0.0048	0.0083	0.0058	0.0026
J7 - J10	0.0005	0.0005	0.0005	0.0201	0.0250	0.0135	0.0250	0.0201	0.0166	0.0250	0.0201	0.0062
J7 - J6	0.0005	0.0005	0.0005	0.0148	0.0190	0.0107	0.0190	0.0148	0.0125	0.0190	0.0148	0.0055
J10 - J11	0.0001	0.0001	0.0001	0.0005	0.0003	0.0008	0.0003	0.0005	0.0004	0.0003	0.0005	0.0016
J5 - J4	0.0133	0.0133	0.0133	0.3150	0.4017	0.2532	0.4017	0.3150	0.2810	0.4017	0.3150	0.1543
J5 - J12	0.0094	0.0094	0.0094	0.2188	0.2787	0.1757	0.2787	0.2188	0.1950	0.2787	0.2188	0.1067
J19 - J22	0.0018	0.0018	0.0018	0.0700	0.0898	0.0568	0.0898	0.0700	0.0620	0.0898	0.0700	0.0417
J19 - J20	0.0008	0.0008	0.0008	0.0422	0.0495	0.0360	0.0495	0.0422	0.0390	0.0495	0.0422	0.0165
J22 - J21	0.0024	0.0024	0.0024	0.0595	0.0764	0.0482	0.0764	0.0595	0.0535	0.0764	0.0595	0.0309
J22 - J24	0.0030	0.0030	0.0030	0.0776	0.0994	0.0615	0.0994	0.0776	0.0681	0.0994	0.0776	0.0430
J14 - J31	0.0051	0.0051	0.0051	0.1626	0.2074	0.1305	0.2074	0.1626	0.1448	0.2074	0.1626	0.0794
J14 - J15	0.0101	0.0101	0.0101	0.2369	0.3018	0.1906	0.3018	0.2369	0.2114	0.3018	0.2369	0.1160
J16 - J17	0.0009	0.0009	0.0009	0.0052	0.0043	0.0037	0.0043	0.0052	0.0030	0.0043	0.0052	0.0047
J16 - J28	0.0041	0.0041	0.0041	0.1074	0.1354	0.0863	0.1354	0.1074	0.0950	0.1354	0.1074	0.0518
J31 - J29	0.0055	0.0055	0.0055	0.1730	0.2208	0.1388	0.2208	0.1730	0.1542	0.2208	0.1730	0.0846
J29 - J28	0.0012	0.0012	0.0012	0.0339	0.0414	0.0279	0.0414	0.0339	0.0300	0.0414	0.0339	0.0180
J29 - J30	0.0001	0.0001	0.0001	0.0126	0.0146	0.0092	0.0146	0.0126	0.0102	0.0146	0.0126	0.0029
J21 - J23	0.0016	0.0016	0.0016	0.0432	0.0549	0.0378	0.0549	0.0432	0.0401	0.0549	0.0432	0.0249
J21 - J20	0.0010	0.0010	0.0010	0.0245	0.0318	0.0183	0.0318	0.0245	0.0214	0.0318	0.0245	0.0114

Continua en la siguiente pagina

TUBERIA	VELOCIDADES A $\Delta T=2$ HRS. EN (M/S)											
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
J23 - J20	0.0002	0.0002	0.0002	0.0091	0.008	0.0065	0.008	0.0091	0.0077	0.008	0.0091	5E-05
J28 - J27	0.0001	0.0001	0.0001	0.0035	0.002	0.0041	0.002	0.0035	0.0031	0.002	0.0035	0.0037
J15 - J16	0.0063	0.0063	0.0063	0.1309	0.1644	0.1052	0.1644	0.1309	0.1157	0.1644	0.1309	0.0592
J15 - J29	0.0006	0.0006	0.0006	0.0279	0.0379	0.021	0.0379	0.0279	0.0244	0.0379	0.0279	0.0061
J11 - J 12	0.0018	0.0018	0.0018	0.0421	0.0523	0.0341	0.0523	0.0421	0.0371	0.0523	0.0421	0.0202
J12 - J13	0.013	0.013	0.013	0.3027	0.3821	0.2439	0.3821	0.3027	0.2688	0.3821	0.3027	0.1466
J 24 - J23	0.0011	0.0011	0.0011	0.0514	0.0592	0.0448	0.0592	0.0514	0.0473	0.0592	0.0514	0.0239
J13 - J 14	0.0125	0.0125	0.0125	0.3305	0.4194	0.2659	0.4194	0.3305	0.2942	0.4194	0.3305	0.1609
J13 - J3	0.0221	0.0221	0.0221	0.4187	0.5311	0.3372	0.5311	0.4187	0.3731	0.5311	0.4187	0.2052
J6 - J5	0.0094	0.0094	0.0094	0.227	0.2893	0.1826	0.2893	0.227	0.2025	0.2893	0.227	0.1115
J6 - J11	0.0011	0.0011	0.0011	0.0233	0.0295	0.0201	0.0295	0.0233	0.0215	0.0295	0.0233	0.0132
J53 - J52	0.0076	0.0076	0.0076	0.19	0.2404	0.1526	0.2404	0.19	0.1688	0.2404	0.19	0.0918
J53 - J55	0.0063	0.0063	0.0063	0.159	0.2019	0.1279	0.2019	0.159	0.1414	0.2019	0.159	0.0765
J40 - J41	0.005	0.005	0.005	0.0995	0.1257	0.0799	0.1257	0.0995	0.0883	0.1257	0.0995	0.0481
J40 - J39	0.0153	0.0153	0.0153	0.3095	0.3922	0.2497	0.3922	0.3095	0.2756	0.3922	0.3095	0.1528
J39 - J38	0.0028	0.0028	0.0028	0.0549	0.0702	0.0445	0.0702	0.0549	0.0491	0.0702	0.0549	0.0282
J45 - J 42	0.0107	0.0107	0.0107	0.1809	0.226	0.1448	0.226	0.1809	0.1601	0.226	0.1809	0.0817
J45 - J46	0.0023	0.0023	0.0023	0.0693	0.0882	0.0555	0.0882	0.0693	0.0617	0.0882	0.0693	0.0354
J45 - J44	0.0012	0.0012	0.0012	0.0109	0.013	0.0088	0.013	0.0109	0.0095	0.013	0.0109	0.0036
J66 - J67	4E-05	4E-05	4E-05	0.0045	0.0028	0.0032	0.0028	0.0045	0.0041	0.0028	0.0045	0.0003
J66 - J69	0.0003	0.0003	0.0003	0.0119	0.0134	0.0093	0.0134	0.0119	0.0107	0.0134	0.0119	0.0043
J61 - J60	0.0027	0.0027	0.0027	0.0689	0.0889	0.0559	0.0889	0.0689	0.0619	0.0889	0.0689	0.0353
J61 - J62	0.0002	0.0002	0.0002	0.0118	0.0133	0.0089	0.0133	0.0118	0.011	0.0133	0.0118	0.0025
J61 - J66	0.0014	0.0014	0.0014	0.0456	0.0557	0.0364	0.0557	0.0456	0.0414	0.0557	0.0456	0.0186
J48 - J49	0.0133	0.0133	0.0133	0.2707	0.3405	0.2184	0.3405	0.2707	0.2403	0.3405	0.2707	0.1296
J48 - J56	0.0042	0.0042	0.0042	0.0946	0.1228	0.0762	0.1228	0.0946	0.0859	0.1228	0.0946	0.0471
J48 - J46	0.0018	0.0018	0.0018	0.0223	0.0215	0.0181	0.0215	0.0223	0.0165	0.0215	0.0223	0.0075
J47 - J44	0.0058	0.0058	0.0058	0.0787	0.0956	0.0642	0.0956	0.0787	0.0688	0.0956	0.0787	0.037
J63 - J 58	0.0011	0.0011	0.0011	0.032	0.0391	0.0274	0.0391	0.032	0.0299	0.0391	0.032	0.0159
J52 - J51	0.0006	0.0006	0.0006	0.0148	0.0186	0.0118	0.0186	0.0148	0.0131	0.0186	0.0148	0.0066
J52 - J49	0.0041	0.0041	0.0041	0.101	0.1279	0.0816	0.1279	0.101	0.0899	0.1279	0.101	0.0516
J51 - J40	0.003	0.003	0.003	0.0621	0.0798	0.0511	0.0798	0.0621	0.056	0.0798	0.0621	0.0332
J51 - J50	0.0053	0.0053	0.0053	0.1196	0.1514	0.0968	0.1514	0.1196	0.1065	0.1514	0.1196	0.0576
J41 - J50	0.0069	0.0069	0.0069	0.1227	0.1557	0.098	0.1557	0.1227	0.1092	0.1557	0.1227	0.0566
J41 - J42	0.0049	0.0049	0.0049	0.1104	0.1384	0.0892	0.1384	0.1104	0.0976	0.1384	0.1104	0.0558
J50 - J49	0.0022	0.0022	0.0022	0.0443	0.056	0.0356	0.056	0.0443	0.0394	0.056	0.0443	0.0208
J54 - J53	0.0073	0.0073	0.0073	0.1955	0.2478	0.1571	0.2478	0.1955	0.1738	0.2478	0.1955	0.0945
J35 - J36	0.0144	0.0144	0.0144	0.3108	0.3941	0.2502	0.3941	0.3108	0.2767	0.3941	0.3108	0.1516
J35 - J32	0.0171	0.0171	0.0171	0.353	0.4489	0.284	0.4489	0.353	0.3148	0.4489	0.353	0.1729
J35 - J54	0.0083	0.0083	0.0083	0.2186	0.278	0.1756	0.278	0.2186	0.1946	0.278	0.2186	0.1061
J36 - J53	0.0075	0.0075	0.0075	0.1743	0.2214	0.1399	0.2214	0.1743	0.1551	0.2214	0.1743	0.0841
J36 - J39	0.0116	0.0116	0.0116	0.238	0.3011	0.1917	0.3011	0.238	0.2118	0.3011	0.238	0.116
J43 - J42	0.0026	0.0026	0.0026	0.0347	0.0435	0.0275	0.0435	0.0347	0.0309	0.0435	0.0347	0.0135
J43 - J44	0.0021	0.0021	0.0021	0.0538	0.0677	0.0443	0.0677	0.0538	0.0476	0.0677	0.0538	0.0314

Continua en la siguiente pagina

TUBERIA	VELOCIDADES A $\Delta T=2$ HRS. EN (M/S)											
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
J69 - J 68	0.0006	0.0006	0.0006	0.01292	0.0183	0.01052	0.01831	0.01292	0.0116	0.01831	0.0129	0.00757
J34 - J33	0.00532	0.0053	0.0053	0.15778	0.2009	0.12669	0.20093	0.15778	0.14047	0.20093	0.1578	0.07662
J34 - J35	0.00274	0.0027	0.0027	0.08329	0.1057	0.06691	0.10574	0.08329	0.07403	0.10574	0.0833	0.04028
J56 - J59	0.00429	0.0043	0.0043	0.09276	0.1217	0.0737	0.12173	0.09276	0.08313	0.12173	0.0928	0.04716
J56 - J57	0.0018	0.0018	0.0018	0.04585	0.0542	0.03926	0.05421	0.04585	0.04236	0.05421	0.0459	0.01919
J46 - J57	0.0025	0.0025	0.0025	0.08904	0.1211	0.06918	0.12107	0.08904	0.07989	0.12107	0.089	0.04792
J46 - J47	0.00248	0.0025	0.0025	0.01645	0.0024	0.01567	0.00239	0.01645	0.00892	0.00239	0.0165	0.00057
J57 - J58	0.00238	0.0024	0.0024	0.07805	0.1013	0.06279	0.10134	0.07805	0.07081	0.10134	0.0781	0.03879
J32- J37	0.02042	0.0204	0.0204	0.40406	0.5126	0.3254	0.51264	0.40406	0.36004	0.51264	0.4041	0.198
J32 - J13	0.04683	0.0468	0.0468	1.03239	1.3072	0.83126	1.30715	1.03239	0.91851	1.30715	1.0324	0.50289
J55 - J60	0.00342	0.0034	0.0034	0.08041	0.1041	0.06432	0.10411	0.08041	0.07214	0.10411	0.0804	0.04002
J55 - J56	0.00124	0.0012	0.0012	0.0254	0.0346	0.02003	0.03455	0.0254	0.02332	0.03455	0.0254	0.01374
J60 - J59	0.00317	0.0032	0.0032	0.07008	0.0908	0.05554	0.0908	0.07008	0.06279	0.0908	0.0701	0.03415
J37 - J36	0.00553	0.0055	0.0055	0.12522	0.1595	0.10044	0.15945	0.12522	0.11159	0.15945	0.1252	0.06035
J37 - J38	0.01442	0.0144	0.0144	0.26706	0.338	0.21556	0.33799	0.26706	0.23784	0.33799	0.2671	0.13178
J38 - J43	0.00981	0.0098	0.0098	0.1749	0.22	0.14108	0.22002	0.1749	0.15542	0.22002	0.1749	0.08464
J65 - J64	0.0005	0.0005	0.0005	0.00692	0.0125	0.00451	0.01247	0.00692	0.00513	0.01247	0.0069	0.00539
J65 - J66	0.00187	0.0019	0.0019	0.04593	0.0581	0.03616	0.05809	0.04593	0.04101	0.05809	0.0459	0.02296
J64 - J67	0.00251	0.0025	0.0025	0.0541	0.0757	0.044	0.07565	0.0541	0.04859	0.07565	0.0541	0.03129
J64 - J63	0.00204	0.002	0.002	0.04872	0.0645	0.04017	0.06453	0.04872	0.04453	0.06453	0.0487	0.02594
J33 - J32	0.00845	0.0085	0.0085	0.24774	0.3158	0.19887	0.31583	0.24774	0.22073	0.31583	0.2477	0.12055
J67 - J 68	0.00065	0.0007	0.0007	0.01509	0.0205	0.01218	0.02048	0.01509	0.01356	0.02048	0.0151	0.00822
J59 - J58	0.00016	0.0002	0.0002	0.00327	0.0067	0.00106	0.00666	0.00327	0.00223	0.00666	0.0033	0.00159
J59 - J62	0.00137	0.0014	0.0014	0.0323	0.0432	0.02489	0.04324	0.0323	0.0286	0.04324	0.0323	0.01604
J62 - J65	0.0024	0.0024	0.0024	0.05569	0.0737	0.04345	0.07371	0.05569	0.04915	0.07371	0.0557	0.02915
J62 - J63	0.00061	0.0006	0.0006	0.01015	0.0164	0.00707	0.01639	0.01015	0.00848	0.01639	0.0102	0.00612
J25 - J26	0.00311	0.0031	0.0031	0.08836	0.1093	0.07178	0.1093	0.08836	0.07825	0.1093	0.0884	0.04359

Fuente: propia.

### 3.4.4. Resultados Gráficos

#### 3.4.4.1. Gráficos de Caudales

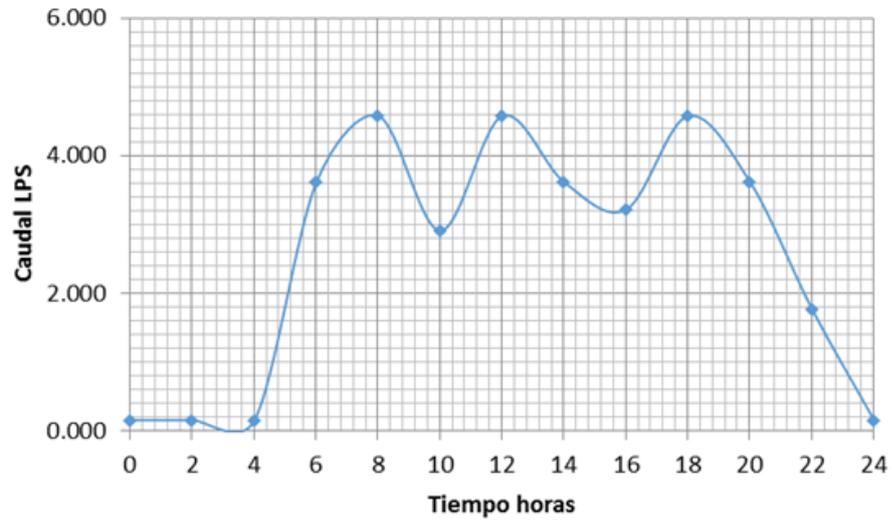


Figura 3.22: Caudales en la tubería R1-J1

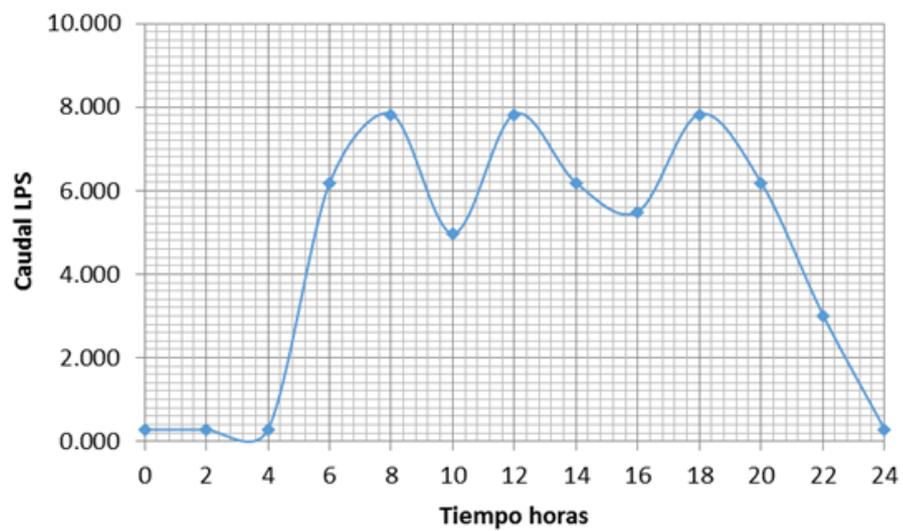


Figura 3.23: Caudales en la tubería J1-J2

### 3.4.4.2. Gráficos de Presiones

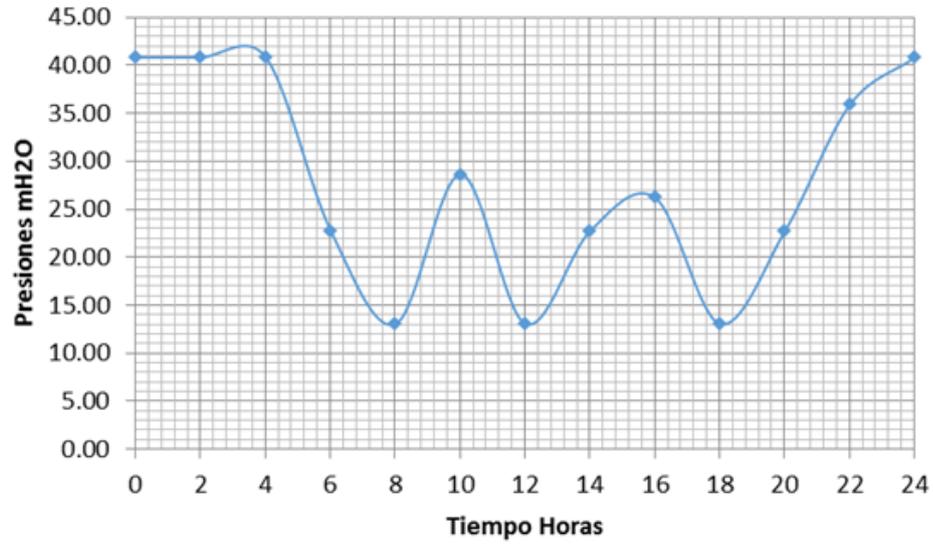


Figura 3.24: Presiones en el Nodo J1

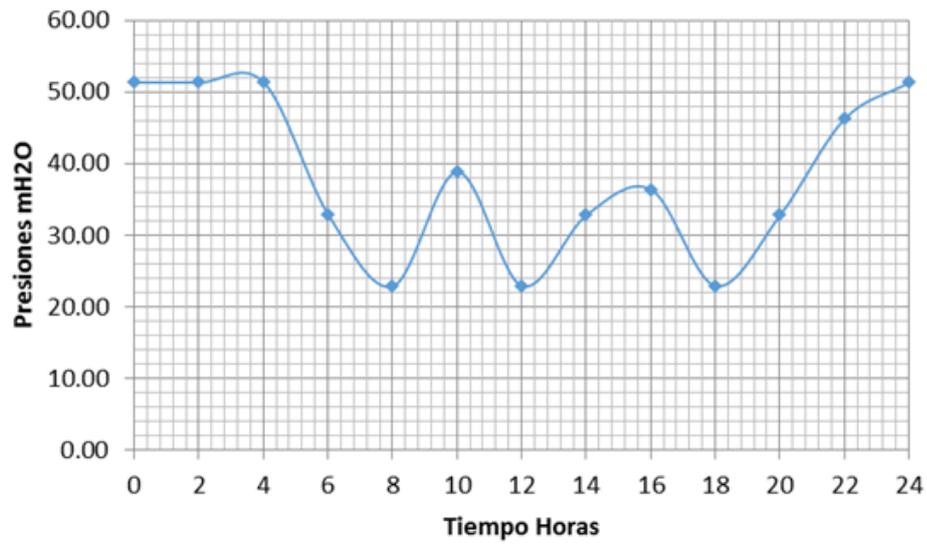


Figura 3.25: Presiones en el nodo J2

### 3.4.4.3. Gráficos de Velocidades

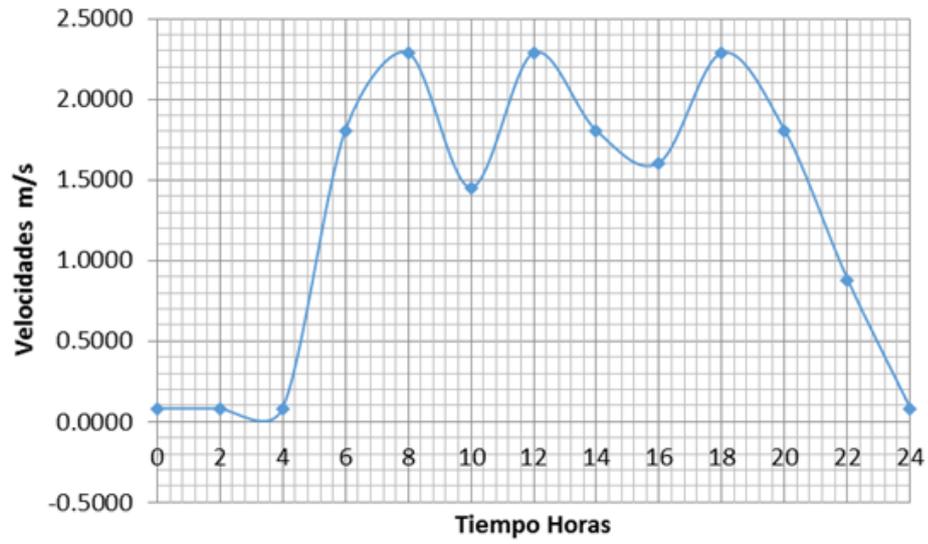


Figura 3.26: Velocidades en la tubería R1-J1

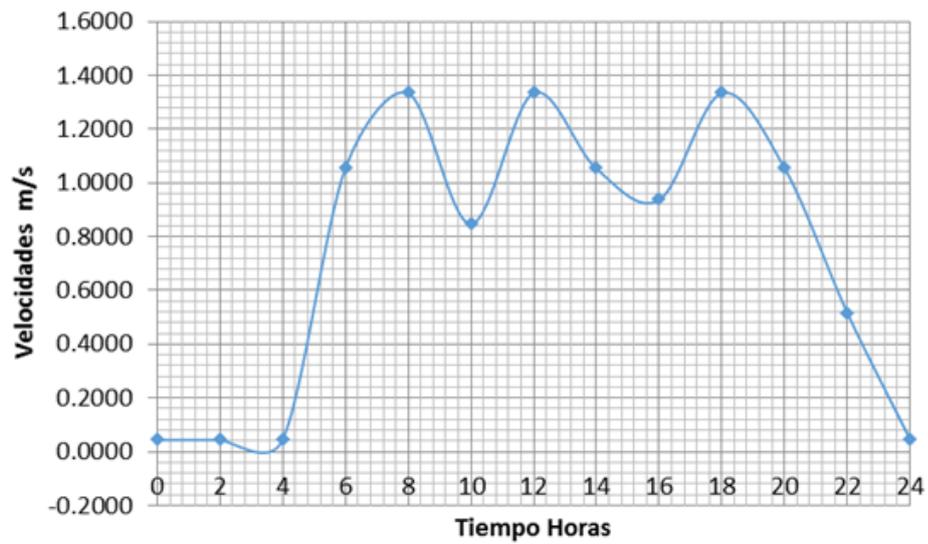


Figura 3.27: Velocidades en la tubería J1-J2

# Capítulo 4

## Análisis y Discusión de los resultados obtenidos

### 4.1. Estado Actual del Sistema de la Red de Distribución en la comunidad de Veracruz

#### 4.1.1. Línea de Conducción

El sistema de agua potable de la comunidad de Veracruz, tiene como fuentes de abastecimiento el agua subterránea producto del riego de las parcelas de cultivo que se encuentran en la parte superior de la comunidad de Veracruz, provenientes de las filtraciones del riego en la cual se observa la presencia de varios puntos de ojo de agua como los manantes de Pilapata, Acceñi Huaycco, Tuinaka, y Tancarpuquio, se reporta que en época de estiaje el rendimiento de los mismo es de 0.8 l/s. las zonas donde se ubica las fuentes de abastecimiento es de propiedad de la comunidad, por lo cual no se presentan litigios respecto al uso de la fuente. La línea de conducción instalada comprende el tramo entre las Captaciones y el Reservorio está conformada por tubería de PVC de 2 ", con una longitud de 200 m.

### **4.1.2. Reservorio**

Existe un reservorio apoyado y sus respectivas casetas de válvulas ubicados contiguamente, dentro de un mismo cerco perimetral. Su capacidad de almacenamiento de 24 m<sup>3</sup>. En la cámara de válvulas se observa que se presentan fugas menores en las válvulas de limpieza, dado que el reservorio se ubica cerca al camino de herradura personas extrañas operan la cámara de válvulas por no contar con un cerco perimétrico que restrinja el acceso solo a personal autorizado.

### **4.1.3. Línea de Aducción y Distribución**

Las instalaciones de Las líneas de aducción que comprende desde la salida del reservorio hasta el punto de entrega a la red de distribución, este data de los años de 1996 ejecutada por TADEPA y financiada por FONCODES, y una posterior rehabilitación en el año 2005 por PRONASAR las cuales solo ampliaron la red, fue instalada con tuberías PVC de 2". Las instalación de la red de distribución data de los años de 1996 ejecutada por TADEPA y financiada por FONCODES, y una posterior rehabilitación en el año 2005 por PRONASAR, La línea de distribución está conformada por una tubería de PVC, clase 10 de 1 1/2" y una longitud de 2340 m. se indica que en determinados tramos la línea por efecto de las lluvias ha quedado muy superficial, habiéndose presentado roturas, el 70 % de la población no cuenta con un adecuada distribución de diámetro de tuberías la cual ocasiona presiones muy bajas por ende sectores desabastecidos con el servicio de agua.

## **4.2. Estado Actual del Sistema de la Red de Distribución en la comunidad de Totos**

### **4.2.1. Línea de Conducción**

En la línea de conducción comienza desde la captación denominado Pinchaqata se ha construido en el año 1996 cuyo caudal aforado es de 0.22 l/s. La línea de

conducción instalada por tubería de PVC de 2", con una longitud de 500m. En todo su trayecto la línea de conducción está enterrada, presentando algunos problemas de rotura.

#### **4.2.2. Reservorio**

El reservorio apoyado y sus respectivas casetas de válvulas, con que cuenta el sistema se encuentran ubicados dentro del área urbana de Totos, situado en la cabecera de la población. La cual alberga un volumen de 40m<sup>3</sup>, *construido en el año 1996; la cual se rehabilitó en el año 2005, cumpliendo su vida útil.*

En la cámara de válvulas se observa que se presentan fugas menores en las válvulas de limpieza. Así mismo, se ha verificado las evidencias de filtraciones en el reservorio, razón por la cual no se llena a su máxima capacidad, colocando en situación de riesgo estructural la instalación. Esta unidad no cuenta con un cerco perimétrico que restrinja el acceso solo a personal autorizado.

El tubo de ingreso al reservorio es de fierro galvanizado, la misma que por la cantidad de años de uso ya se encuentra oxidada; poniéndose en riesgo la salud de las personas usuarias.

#### **4.2.3. Línea de Aducción y Distribución**

La línea de aducción que comprende desde la salida del reservorio hasta el punto de entrega a la red de distribución, fue instalada con tuberías PVC de 2" de diámetro. En todo su trayecto la línea de aducción está enterrada, presentando algunos problemas de rotura. En la red de Distribución está conformada por una tubería de PVC, clase 10 de 2" de diámetro y una longitud de 3,940 m. se indica que en determinados tramos la línea por efecto de las lluvias ha dejado a la intemperie, habiéndose presentado roturas. Se presenta en las conexiones domiciliarias la poca presión en horas punta.

### 4.3. Mejoramiento del Sistema de la Red de Distribución en las comunidades de Veracruz y Totos.

Los resultados obtenidos en esta investigación son muy buenos ya que hacen posible el diseño de redes de distribución de agua potable con criterios de optimización económica e hidráulica. La aplicación de superficie optima de gradiente hidráulica permite realizar buenos diseños de un numero muy pequeño de simulaciones hidráulicas.

En la línea de conducción, por la diferencia de cotas de la captación y el reservorio el cual es mayor a 700 m. se hará uso de las cámaras rompe presión y en total serán 12 y cada uno unidas por una tubería el cual optimizamos con el criterio de línea de gradiente optima, resultándonos los diámetros 2 1/2 " y 3" donde se muestra la colocación de tuberías de 3" en tramos mayores al resto.

En el reservorio el Volumen de regulación será calculado con el diagrama masa correspondientes a las variaciones horarias de las demandas y oferta, obteniendo un volumen de 125 m<sup>3</sup>.

En la línea de aducción y distribución observamos que en la hora de menor demanda de las comunidades es en la hora 0 : 00hrs.y por lo tanto las presiones en los nodos No J27, J31, J40, J41, J42, J43, J44, J45, J46, J47, J57 y J58 superan los 75 m de columna de agua teniendo respectivamente para cada nodo los siguientes valores 80.89, 81.69, 75.02, 75.01, 76.06, 83.39, 82.90, 94.77, 84.09, 86.49, 95.47, 86.29 y 79.80 m. de columna de agua aunque están fuera de la restricción, esta solución es conveniente ya que estos nodos solo soportan unas horas y no todo el día y durante horas de poco consumo, por lo cual se puede considerarse un resultado satisfactorio.

Al contrario, en las horas de mayor demanda en las comunidades es en la hora

12 : 00hrs. Se observa que las presiones en los nodos por ejemplo en No J1, J2, J4, J5, J6, J7, J8, J9, J10, J11 y J12. Están por debajo de los 30 m. de columna de agua teniendo respectivamente las siguientes presiones 13.09, 22.90, 21.48, 17.07, 10.64, 9.98, 9.35, 9.32 y 10.46 m de columna de agua. Se puede concluir que estas presiones actuaran en circunstancias puntuales de mayor demanda. Se observa que el sistema funciona adecuadamente tanto en las horas de mayor demanda 12 : 00hrs. y en las de menor demanda 0 : 00 hrs. Se observa que existen ciertos tramos que no cumplen las condiciones de velocidad previamente establecidas, estando estas velocidades en algunos casos muy por debajo de la velocidad mínima de 0.3m/s. por lo que se opta por hacer prevalecer las condiciones de presión sobre las velocidades. Es necesario indicar que para que el reservorio de regulación funcione adecuadamente y el volumen vuelva a su estado inicial después de 24 horas con los consumos ya indicados en cada nodo y a cada hora, el caudal de ingreso al reservorio debe ser de 4.525 lps por lo menos todo el día.

# Capítulo 5

## Conclusiones, Recomendaciones e Investigaciones Futuras

### 5.1. Conclusiones

- Una buena planificación urbana del lugar, que está en función de una población futura logran un acercamiento real y por ende una buena simulación del sistema de agua.

- Para la solución del sistema se ha hecho uso del método de la gradiente y para la optimización el método de la Superficie Optima de Línea de Gradiente, el cual consistió en obtener un diámetro interior óptimo y así encontrar redondeando los diámetros comerciales.

- Las diferentes demandas en cada manzana de acuerdo a la solicitud de las dotaciones, son tomadas de la Norma Peruana y determinan un óptimo diseño en nuestra red de distribución.

-La simulación en periodo extendido nos ayudara no solo a optimizar nuestros diámetros de la red sino también las dimensiones de nuestro reservorio.

- Respecto a las presiones se encontró que en una tubería a mayor caudal la presión se mantiene y a menor caudal la presión disminuye.

- Respecto a los caudales se muestra la gráfica que son proporcionales a los caudales en todas las tuberías diseñadas.

- Se ha verificado las presiones y velocidades donde se cumple las restricciones no en su totalidad esto se debe a que se está diseñando con tuberías comerciales que son dimensiones dadas por la norma peruana.

## 5.2. Recomendaciones

Respecto a los datos primarios se debe hacer con seriedad los trabajos de campo para una correcta planificación urbana y estos distribuirán una correcta dotación en los nodos.

Recomiendo utilizar la fórmula de *darcy weibach* con la de *colebrok white* por qué es lo más cercana a lo que significa pérdida por fricción.

Se observa que las presiones está dentro de nuestra restricciones en su totalidad y la velocidad parcialmente, por lo tanto debe prevalecer la presión, porque este garantizara la llegada de agua a los domicilios.

En las tuberías donde las presiones son altas se recomienda cambiar el diámetro de clase 15 por la 10.

Será necesario colocar medidor de presión y caudal en tramos específicos de la red para que nos proporción es datos para posteriores diseños futuros.

El anterior diseño hecho hace 10 años su captación se ubicaba a 150 metros de la zona urbana ahora la captación que abastecerá se ubica a 4.762 km. de la comunidad, lo cual hace pensar que le cambio climático es inminente , y una cultura de uso racional del agua nos asegurara el vital líquido para las siguientes generaciones.

### 5.3. Investigaciones futuras

1. Diferencias entre Superficie Optima de Gradiente Hidráulico y algoritmo genético en redes de distribución.
2. Algoritmos de optimización aplicados al diseño de red de distribución de agua potable.
3. Optimización del sistema de agua potable con 2 o más reservorios.
4. Optimización del sistema de agua potable con bombas en la red de distribución.

# Bibliografía

- [1] [JST10] Juan Saldarriaga, Silvia Takahashi, Felipe Hernández, María Alejandra Escovar .*Diseño optimizado de sistemas de distribución de agua: Una nueva perspectiva.* ,16 de septiembre de 2010
  
- [2] [JS01] Saldarriaga V. Juan G.*Hidráulica de Tuberías.* Edición en Colombia 2001.
  
- [3] [AE10] Espino D. Anthony. *Hidráulica de Tuberías.* Edición 2010.
  
- [4] [JGR02] Jorge Armando Granados Robayo, *Hidráulica Aplicada Flujo a Presión.* Colombia, 2002.
  
- [5] [ARJ02] Arbulù Ramos, J.,*Estructuras hidráulicas.* , edición 2002.
  
- [6] [RNE02]Reglamento Nacional de Edificaciones, .*II.3. Obras de Saneamiento.* Edición, Perú, 2,002
  
- [7] [FR02] Rocha Felices, F. *Hidráulica de tuberías y canales.* edición 2002.

# Apéndice A

## Glosario

### *C*

- **Caudal Máximo Horario:** El uso que cada individuo hace de la cantidad de agua que consume en el día no es constante a lo largo de las 24 horas del día, hay horarios en que se consume mucha agua, y otros en que no se consume casi. Esta variación se considera frecuentemente por medio de un factor que generalmente se denomina como K2.
- **Caudal máximo Diario:** Las necesidades de agua de la población no son constantes a lo largo del año, los días más calurosos se consumirá más agua que en los días fríos, por ejemplo. El caudal máximo diario sería el del día con máximo consumo en el año. Convencionalmente se determina incrementando de un determinado porcentaje el caudal medio diario, utilizando un factor generalmente denominado K1.
- **Coefficiente de Hazen Williams:** Los valores típicos de C usados en diseño pueden variar, ya que por la edad las tuberías tienden a ser más rugosas, por lo tanto, su coeficiente disminuye, por lo tanto, a mayor rugosidad el coeficiente disminuirá.

### *G*

- **Gradiente Hidráulico:** Se define como la pérdida de energía experimentada por unidad de longitud recorrida por el agua; es decir, representa la pérdida o cambio de potencial hidráulico por unidad de longitud, medida en el sentido del flujo de agua.

## *M*

- **Matlab:** (abreviatura de MATrix LABoratory, "laboratorio de matrices") es una herramienta de software matemático que ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación propio. Entre sus prestaciones básicas se hallan: la manipulación de matrices, la representación de datos y funciones, la implementación de algoritmos, la creación de interfaces de usuario (GUI) y la comunicación con programas en otros lenguajes y con otros dispositivos hardware.

## *O*

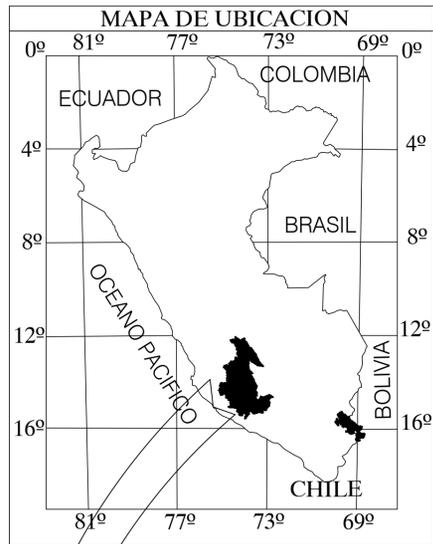
- **Optimización:** En el caso más simple, un problema de optimización consiste en maximizar o minimizar una función real eligiendo sistemáticamente valores de entrada (tomados de un conjunto permitido) y computando el valor de la función. La generalización de la teoría de la optimización y técnicas para otras formulaciones comprende un área grande de las matemáticas aplicadas. De forma general, la optimización incluye el descubrimiento de los "mejores valores" de alguna función objetivo dado un dominio definido, incluyendo una variedad de diferentes tipos de funciones objetivo y diferentes tipos de dominios.

## *P*

- **Presión Manométrica:** Se llama presión manométrica a la diferencia entre la presión absoluta o real y la presión atmosférica. Se aplica tan solo en aquellos casos en los que la presión es superior a la presión atmosférica, pues cuando esta cantidad es negativa se llama presión de vacío.

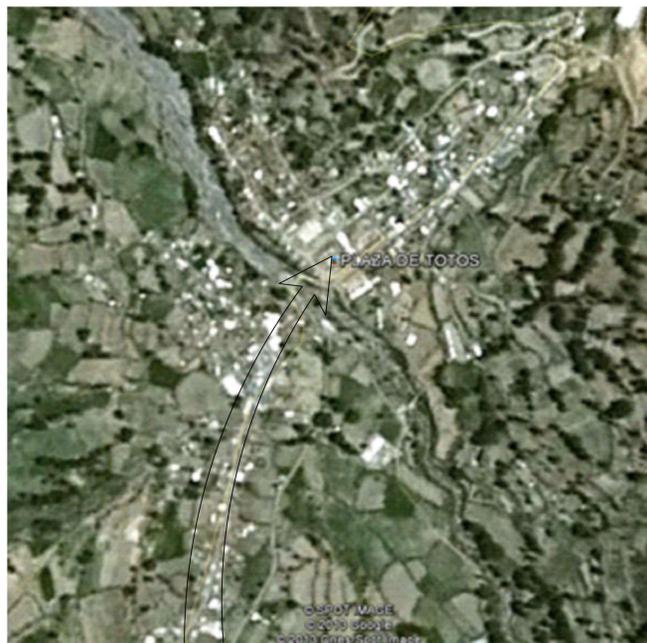
# Apéndice B

## Planos



PLANO DEL PERU  
ESCALA: 1/1000

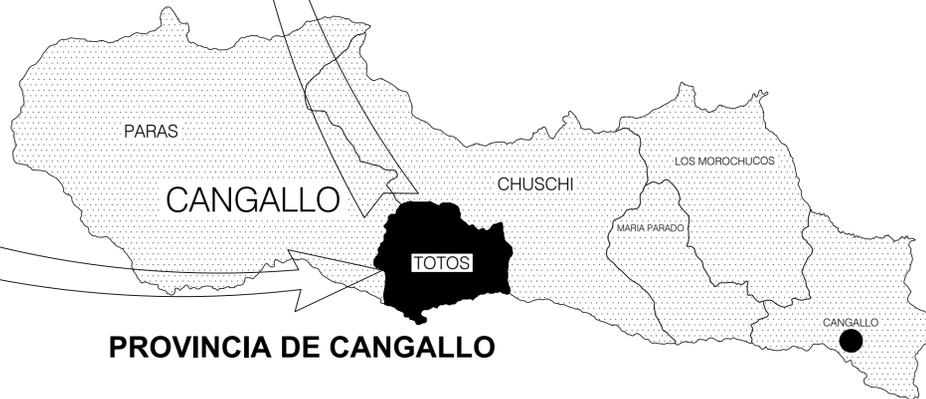
### LOCALIZACION



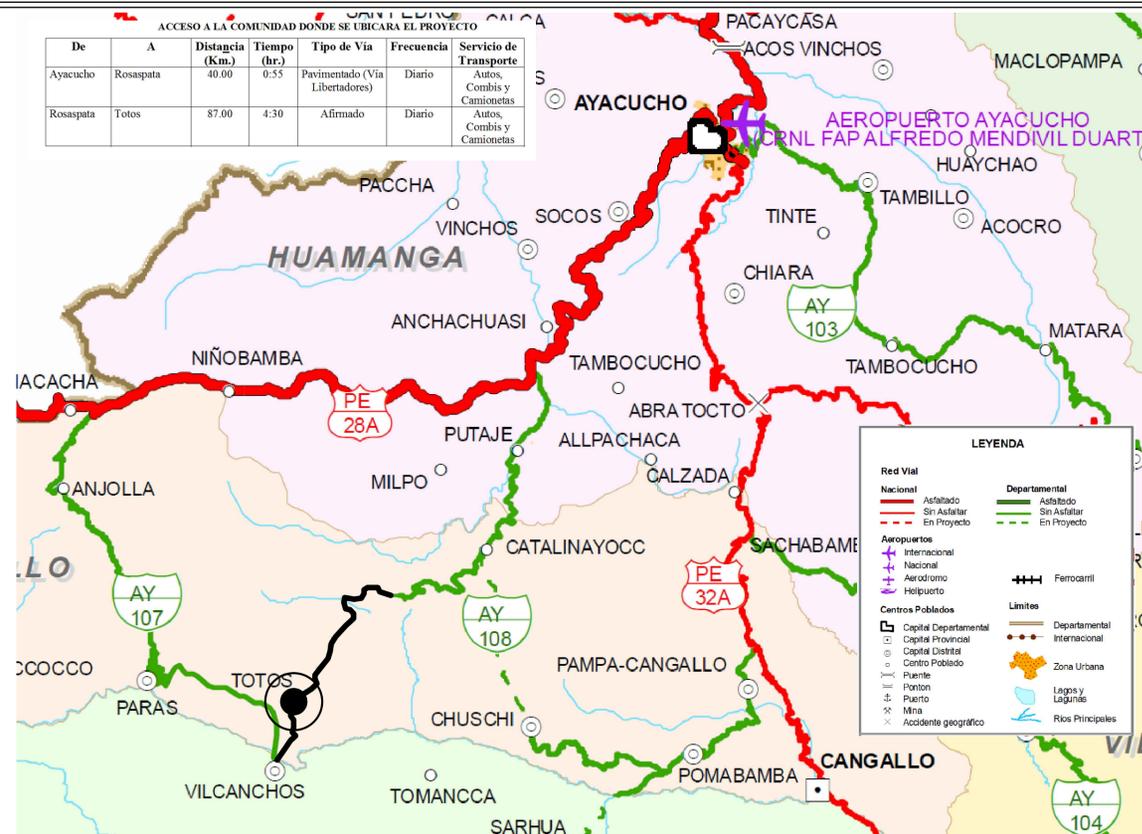
### AREA DE ESTUDIO



### DISTRITO DE TOTOS



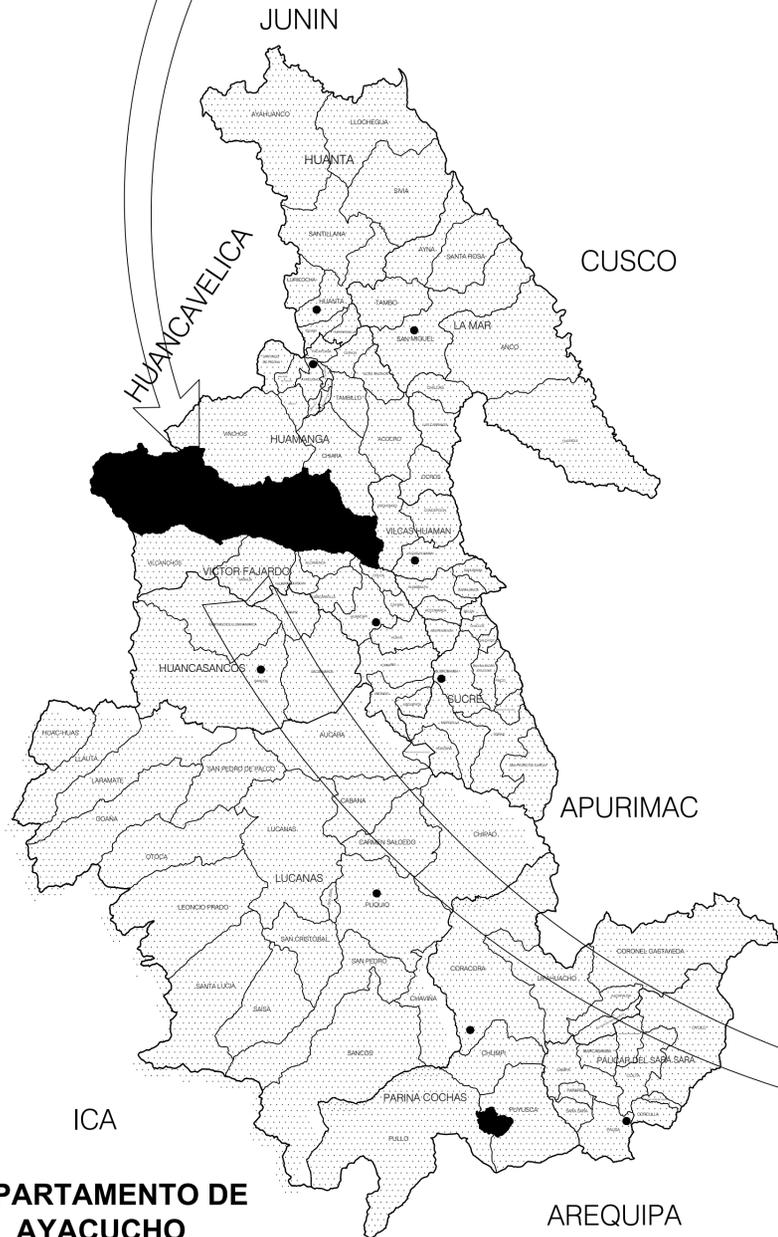
### PROVINCIA DE CANGALLO



### RED VIAL AYACUCHO - TOTOS



### VISTA PANORAMICA DEL DISTRITO DE TOTOS Y VERACRUZ

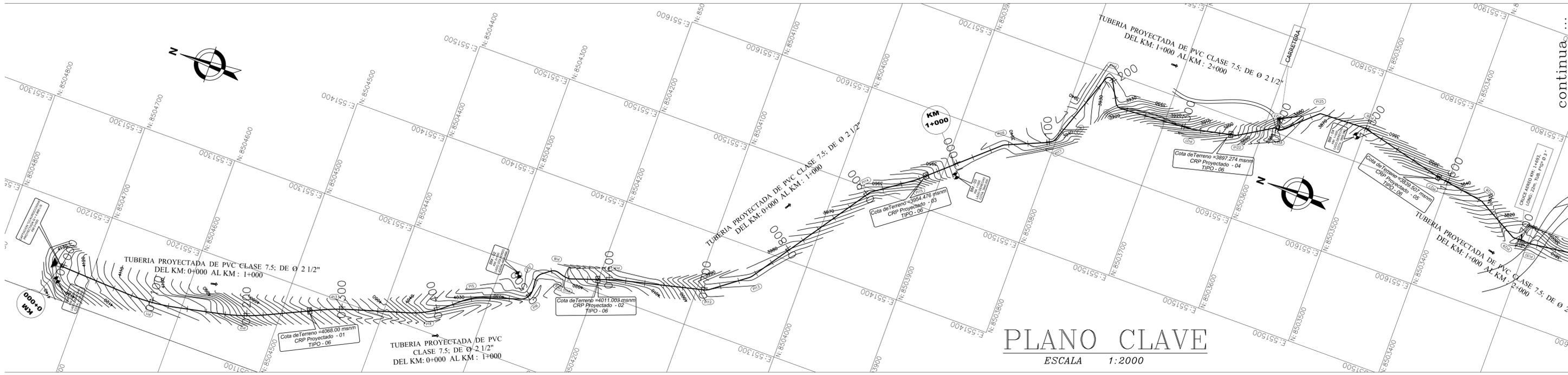


### DEPARTAMENTO DE AYACUCHO

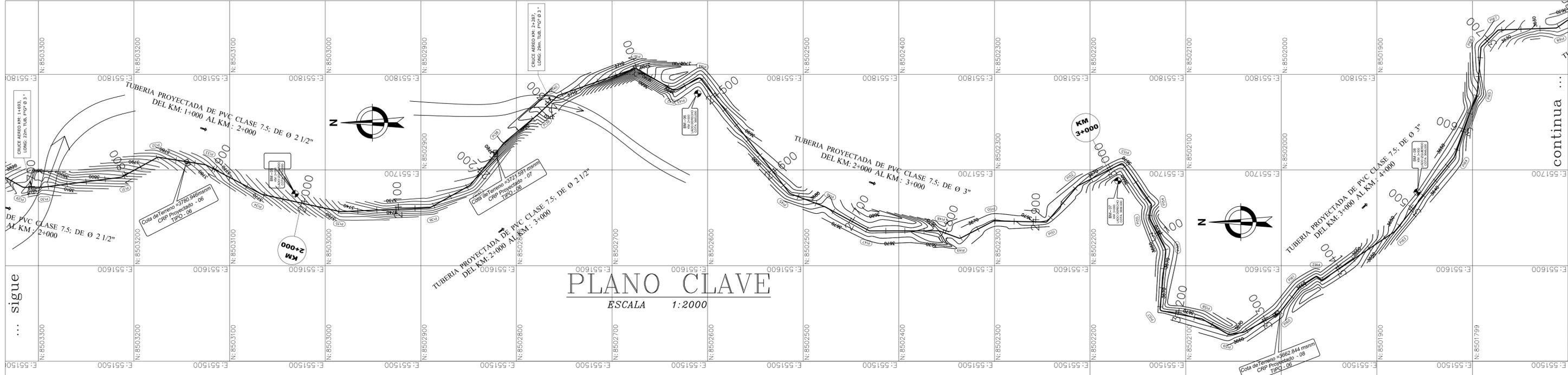
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA**  
**ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**

PROYECTO: "MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE EN LAS COMUNIDADES DE VERACRUZ Y TOTOS UBICADO EN TOTOS, CANGALLO-AYACUCHO"

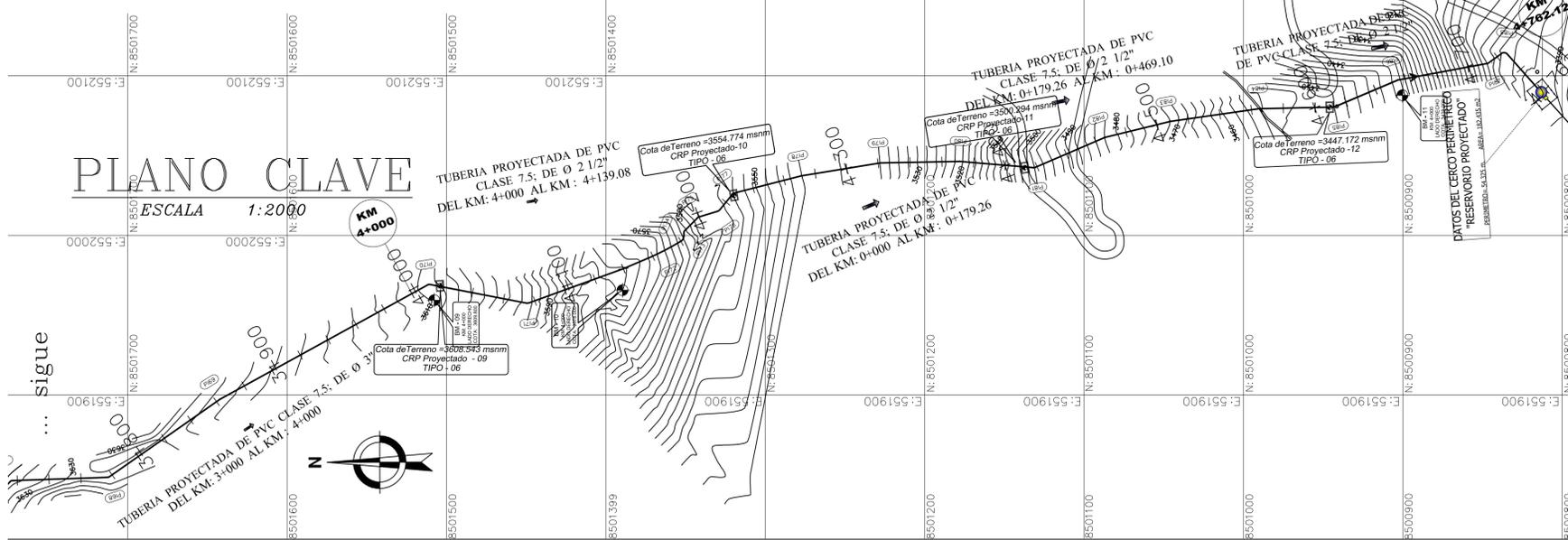
REGION : AYACUCHO	PLANO :	LAMINA:	
PROVINCIA : HUAMANGA	PLANO DE UBICACION Y LOCALIZACION	<b>UL-1</b>	
DISTRITO : TOTOS			
LUGAR : TOTOS - VERACRUZ			
DISEÑO : H.P.T	DIBUJO : H.P.T	ESCALA: INDICADA	FECHA: SETIEMBRE 2016



**PLANO CLAVE**  
ESCALA 1:2000



**PLANO CLAVE**  
ESCALA 1:2000



**PLANO CLAVE**  
ESCALA 1:2000

**CUADRO UBICACION DE BMS CONDUCCION TOTOS - VERACRUZ**

ITEM	DESCRIPCION	PROGRESIVA	LADO	COTA	IDENTIFICACION
1	BM-1	0+000	DERECHO	4128.00	Pintado en roca.
2	BM-2	0+500	IZQUIERDO	4020.00	Pintado en roca.
3	BM-3	1+000	DERECHO	3945.00	Pintado en roca.
4	BM-4	1+500	DERECHO	3856.00	Pintado en roca.
5	BM-5	2+000	IZQUIERDO	3754.00	Pintado en roca.
6	BM-6	2+500	DERECHO	3683.00	Pintado en roca.
7	BM-7	3+000	DERECHO	3656.00	Pintado en roca.
8	BM-8	3+500	IZQUIERDO	3648.00	Pintado en roca.
9	BM-9	4+000	DERECHO	3609.80	Pintado en roca.
10	BM-10	4+139	DERECHO	3578.00	Pintado en roca.

**LEYENDA**

DESCRIPCION	SIMBOLO
TUBERIA PROYECTADA	
CAMARA ROMPE PRESION	
CAPTACION	
RESERVORIO PROYECTADO	
BM	
RED DE DISTRIBUCION	

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA**  
**ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**

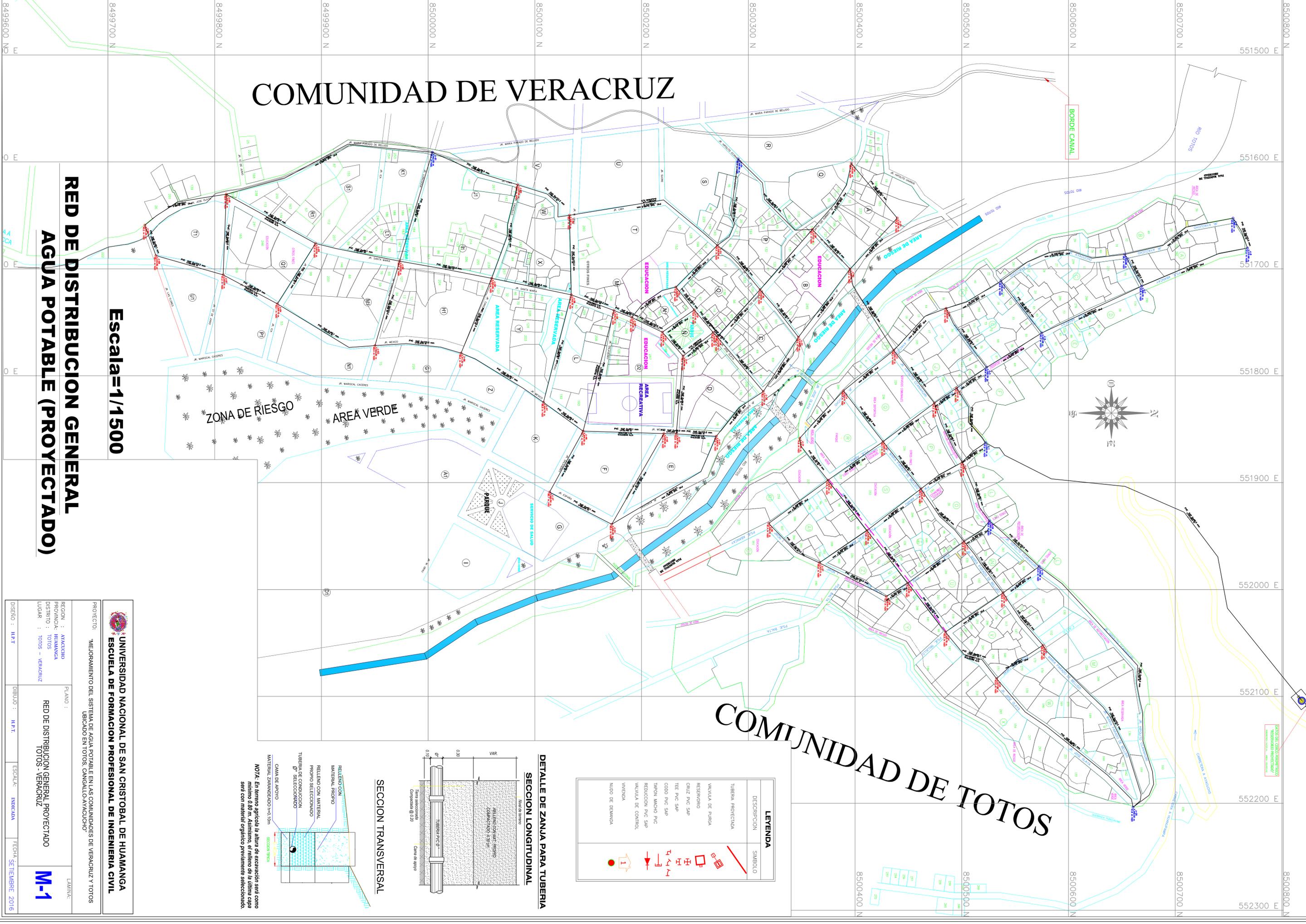
PROYECTO: "MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE EN LAS COMUNIDADES DE VERACRUZ Y TOTOS UBICADO EN TOTOS, CANGALLO-AYACUCHO"

REGION : AYACUCHO  
PROVINCIA: HUAMANGA  
DISTRITO : TOTOS  
LUGAR : TOTOS - VERACRUZ

PLANO :  
PLANO CLAVE CONDUCCION TOTOS-VERACRUZ  
KM: 0+000 @ KM: 4+762.12

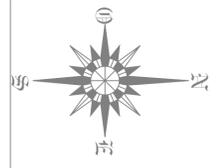
LAMINA:  
**C-1**

DISEÑO : H.P.T  
DIBUJO : H.P.T  
ESCALA: INDICADA  
FECHA: SEPTIEMBRE 2016



# COMUNIDAD DE VERACRUZ

# COMUNIDAD DE TOTOTOS

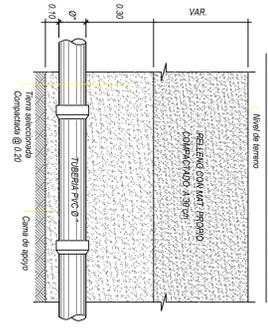


Escala=1/1500

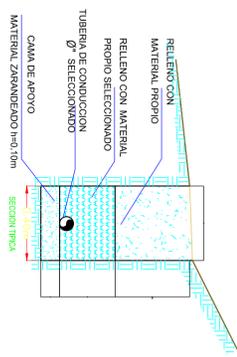
## RED DE DISTRIBUCION GENERAL AGUA POTABLE (PROYECTADO)

LEYENDA	
DESCRIPCION	SIMBOLO
TUBERIA PROTECTORA	
VALVULA DE PURGA	
RESERVIORIO	
CRUZ PVC SAP	
TE PVC SAP	
COUDO PVC SAP	
TAPON WACHO PVC	
REDUCCION PVC SAP	
VALVULA DE CONTROL	
VIGIENCIA	
NUDO DE DEMANDA	

**DETALLE DE ZANJA PARA TUBERIA**  
**SECCION LONGITUDINAL**



**SECCION TRANSVERSAL**



**NOTA:** Entorno agrícola la altura de excavación será como mínimo 0.80 m. Asimismo, el relleno de la última capa será con material orgánico previamente seleccionado.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA**  
**ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**

PROYECTO: "MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE EN LAS COMUNIDADES DE VERACRUZ Y TOTOTOS UBICADO EN TOTOTOS CAMGALLO-AYACUCHO"

REGION : AYACUCHO  
PROVINCIA : HUAMANGA  
DISTRITO : TOTOTOS  
LUGAR : TOTOTOS - VERACRUZ

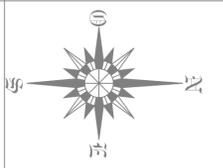
PLANO :  
RED DE DISTRIBUCION GENERAL PROYECTADO  
TOTOTOS - VERACRUZ

**M-1**

DISEÑO : H.P.T.      DIBUJO : H.P.T.      ESCALA : INDICADA      FECHA : SEPTIEMBRE 2016



SISTEMA DE AGUA POTABLE



Escala=1/1500

**RED DE DISTRIBUCION GENERAL  
AGUA POTABLE (ACTUAL)**

 <p><b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA</b> <b>ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</b></p>	
<p>PROYECTO: "MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE EN LAS COMUNIDADES DE VERACRUZ Y TOTOS UBICADO EN TOTOS, CANGALLO-ANACUCHO"</p>	
<p>REGION : ANACUCHO PROVINCIA: HUAMANGA DISTRITO : TOTOS LUGAR : TOTOS - VERACRUZ</p>	<p>PLANO : <b>RED DE DISTRIBUCION GENERAL ACTUAL</b> TOTOS - VERACRUZ</p>
<p>LAJINIA: <b>M-2</b></p>	<p>FECHA: SEPTIEMBRE 2016</p>
<p>DISENO : H.P.T</p>	<p>DIBUJO : H.P.T</p>
<p>ESCALA: INDICADA</p>	<p>INDICADA</p>