



“DISEÑO ECONÓMICO DE REDES DE AGUA POTABLE. MÉTODO SIMPLEX”

DERAP

v 1.0

TRABAJO DE FIN DE CARRERA
PREVIA LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Autor:

Pablo Eduardo Galindo Calle

Director de trabajo de fin de carrera:

Holger Manuel Benavides Muñoz

LOJA - ECUADOR
2011



Holger Manuel Benavides Muñoz
Director de trabajo de fin de carrera

CERTIFICA.

Haber dirigido y revisado el trabajo de fin de carrera previo a la obtención del título de Ingeniero Civil, realizada por el Profesional en formación: **Pablo Eduardo Galindo Calle**, cuyo título es: **“DISEÑO ECONÓMICO DE REDES DE AGUA POTABLE. MÉTODO SIMPLEX”**; tema que cumple con las características exigidas por la reglamentación de la Escuela de Ingeniería Civil, por tanto, autorizo su presentación.

.....
Holger M. Benavides Muñoz



AUTORÍA

El contenido en general; conceptos, análisis, criterios, y desarrollo del programa es de exclusiva responsabilidad del autor.

.....
Pablo Eduardo Galindo Calle



CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **Pablo Eduardo Galindo Calle**, declaro ser autor del presente trabajo y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Así como también declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 67 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja en el que textualmente expresa lo siguiente: **“Forman parte del parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”**.

.....
Pablo Eduardo Galindo Calle



AGRADECIMIENTO

Al haber llegado al final de mi carrera quiero primeramente expresar mis agradecimientos a mi familia y de manera muy especial a mis padres, Kléber y Clara, así como también a mi abuelito Cristóbal (+), por todo el apoyo que me han brindado en mi vida personal, familiar y social, de igual manera por ser mi guía en educación, sacrificio, y esfuerzo para hacer realidad una etapa muy importante dentro de mi vida que es la de concluir mis estudios universitarios y

A todos los docentes quienes forman la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica Particular de Loja, por todo su apoyo brindado en el transcurso de mis estudios.

En fin quiero hacer llegar mi agradecimiento a mis amigos y a todas y cada una de las personas que siempre me han ofrecido su apoyo y que estoy seguro me seguirán brindando ahora en mi vida profesional.

MUCHAS GRACIAS

Pablo Eduardo Galindo Calle



DEDICATORIA

En primer lugar a Dios, por haberme regalado estos años de vida llenos de sacrificio y al mismo tiempo de felicidad.

A toda mi familia de manera muy especial y con mucho cariño y amor a mis padres Kléber y Clara; a mi abuelito Cristóbal (+); a mis hermanos Angélica, Xavier, Juan; a mis sobrinit@s Ana Paula, Chelse Nicole, Mathias Sebastián, Anghely Fabiana y demás familiares y amigos quienes me han apoyado siempre, han sido y son mi razón de mi vivir, así como también motivo de superación y felicidad día a día de mi vida.

MUCHAS GRACIAS

Pablo Eduardo Galindo Calle



CONTENIDO

	Pág.
Certificación	i
Autoría	ii
Cesión de derechos	iii
Agradecimiento	iv
Dedicatoria	v

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1	Descripción del proyecto	1
1.2	Definición del problema	2
1.3	Justificación	3
1.4	Objetivos	4
	1.4.1 Objetivo general	4
	1.4.2 Objetivos específicos	4
1.5	Alcance	4
1.6	Actividades	5

CAPÍTULO II. HIDRÁULICA DE REDES

2.1	Redes ramificadas	6
	2.1.1 Método de las velocidades	8



2.1.2	Método de la pendiente uniforme	10
2.2	Redes malladas	12
2.2.1	Método de Hardy-Cross con corrección de caudales	13
2.2.2	Método de Hardy-Cross con corrección de alturas piezométricas	15
2.3	Válvulas y accesorios	17

CAPÍTULO III. LA HIDRÁULICA DE REDES Y SUS COSTOS

3.1	Componentes hidráulicos	20
3.1.1	Diámetros de las tuberías que conforman la red	20
3.1.2	Caudales y presiones de demanda	21
3.1.3	Topología de la red	21
3.1.4	Materiales y rugosidades de las tuberías	21
3.2	Componentes legal y económico	22
3.2.1	Fabricantes y mercado de tubería en el país	22
3.2.2	Normativa vigente	22
3.2.3	Costos de instalación de redes	23
3.2.4	Costos de operación y mantenimiento	23

CAPÍTULO IV. DIMENSIONADO ECONÓMICO DE REDES

4.1	Metodologías	25
4.1.1	Método simplex	25
4.1.2	Aplicación del método simplex al dimensionado económico de redes	26
4.2	Costos unitarios	30

CAPÍTULO V. IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO LINEAL MEDIANTE EL MÉTODO SIMPLEX PARA EL DIMENSIONADO ECONÓMICO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

5.1	Introducción	31
-----	--------------	----



5.2	Lenguaje de programación	31
5.3	Diagramas de flujo y algoritmos	32
5.4	Código	35

CAPÍTULO VI. MANUAL DEL USUARIO

	Contenido	36
	Introducción	38
6.1	Capítulo I: Interfaz con el usuario	39
6.2	Capítulo II: Uso de menús	40
6.3	Capítulo III: Caso práctico de diseño de una red	53

CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1	Conclusiones	66
7.1.1	Actividades cumplidas	66
7.1.2	Conclusiones de diseño convencional de redes	66
7.1.3	Conclusiones del diseño económico de redes	67
7.2	Recomendaciones	67
7.2.1	Recomendaciones del software	67
7.2.2	Recomendaciones de las metodologías	68

CAPÍTULO VIII. ANEXOS

8.1	Anexo 1.- Almacenamiento y procesamiento de datos para aplicación del método Simplex	70
8.2	Anexo 2.- Análisis de precios unitarios	77
8.3	Anexo 3.- Código de programación	98
8.4	Anexo 4.- Comparación de resultados	104
8.5	Anexo 5.- Nomenclatura utilizada en el software	108

	CAPÍTULO IX. BIBLIOGRAFÍA	109
--	---------------------------	-----



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del proyecto

En el presente proyecto de investigación se aplica el Método Simplex para el diseño económico de redes de distribución de agua potable, con el fin de aplicar técnicas, trascendentes y poco utilizadas, en el cálculo y diseño de redes de agua potable. Primeramente a un nivel académico y desde allí transferirlo al grupo profesional de nuestro entorno. Consecuentemente, se espera obtener un rendimiento máximo en el diseño de redes de distribución concebidas con esta metodología; y, posteriormente minimizar los costos de construcción, operación y de mantenimiento de dichos sistemas.

Una red de distribución de agua potable se compone de diferentes elementos, tales como: tuberías, accesorios, válvulas, bombas, elementos de medición y control del sistema, y depósitos principalmente; que instalados entre sí permiten el flujo que dota del servicio de agua, para el uso que se haya previsto, bien para abastecimientos de la población, bien para riego o suministro industrial. (Saldarriaga 2007)

Con este tema de fin de carrera, se plantea la aplicación del método Simplex (programación lineal) al método convencional para diseño de redes de distribución, ramificadas y/o malladas; mediante la utilización de una herramienta informática, versátil, que facilite su aplicación, con el propósito de obtener sistemas que cumplan con los requerimientos hidráulicos (como la velocidad de flujo, caudal demandado, y presiones requeridas) al más bajo costo (óptimo-económico).



La importancia de la metodología aquí utilizada, se basa en que nos permite optimizar, lo mayor posible, los recursos involucrados en todo el proceso de construcción, operación, mantenimiento, reparación y rehabilitación de los sistemas de agua, mediante la reducción de diámetros de tubería, sin afectar las características hidráulicas de los mismos.

Este hecho no es nuevo, por el contrario son múltiples los investigadores, empresas y universidades a nivel mundial que se dedican a aprovechar eficientemente estas técnicas. Por citar un par de ejemplos, la red LEHNS/PROSUL a través del Laboratorio de Pesquisa para la Eficiencia Energética e Hidráulica en Saneamiento, de la Universidad Federal da Paraíba do Brasil – UFPB, puso a disposición, vía on-line, desde el año 2000, una modificación del Epanet que permite obtener un diseño económico de tuberías. Por otro lado, el Centro Multidisciplinar de Modelación de Fluidos (GMMF) de la Universidad Politécnica de Valencia, también desarrolló herramientas similares mediante tesis doctorales, transferencia de tecnologías y cátedras universitarias. (http://www.lenhs.ct.ufpb.br/?page_id=32)

Con base en la bibliografía técnica y aplicaciones informáticas existentes, se referencia este trabajo, cuyo resultado se presenta como una herramienta ofimática alternativa para el diseño económico de redes de distribución de agua, capaz de funcionar en línea (correr on-line), en la plataforma del Laboratorio Virtual de Mecánica de Fluidos, Hidráulica y Eficiencia Energética – LVMFHEE, de la U.C.G.-U.T.P.L.

1.2 Definición del problema

La problemática principal que se pretende solucionar con el presente proyecto, es que los diseños convencionales o tradicionales de redes de distribución de agua a presión, al ampararse en normativa (local, regional o nacional) desactualizada, proporcionan sistemas sobredimensionados que encarecen todo el proyecto. (BENAVIDES H. 2008)



De igual forma, se puede decir que otro problema dentro del presente campo de estudio, es que, la mayoría de profesionales, no todos, desconocen de la existencia de otras herramientas de cálculo que se podrían aprovechar para obtener un “diseño económico de redes”, acorde a la realidad socio-económico y política del entorno. (BENAVIDES H. 2008)

La optimización económica del diseño de redes de aducción (conducir agua desde la captación hasta la planta de tratamiento), y distribución de sistemas hidráulicos presurizados, es otra necesidad imperiosa que nos lleva a realizar el presente trabajo. (BENAVIDES H. 2008)

Los posibles problemas que se pueden generar en las redes de distribución, dependen del tipo y cantidad de demanda que se contemplaron en su diseño; pues, dichas características, está claro que, obedecerán del ordenamiento territorial y del uso futuro que se destine al suelo; si estos se modifican con el paso del tiempo; entonces, podrían dejar inconsistente y poco funcional el diseño planteado inicialmente, y convertir en insuficiente y deplorable el servicio. (BENAVIDES H. 2008)

1.3 Justificación

Al diseñar un sistema de redes de distribución de agua potable se espera que el resultado final para ejecutar la obra sea lo más seguro, eficiente y económico, posibles.

Bajo este contexto, se utiliza en la presente investigación el método de programación lineal-SIMPLEX, que nos permitirá proporcionar al entorno académico-profesional una herramienta informática para el “diseño económico de redes”.

El presente trabajo, plenamente fundamentado y afianzado en los diferentes métodos, estudios, e investigaciones relacionadas con el tema, nace con la idea



de convertirse en un apoyo técnico-profesional de la ingeniería hidráulica de tuberías a presión.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Proponer una herramienta para el diseño económico de redes de agua potable, mediante la aplicación del método de programación lineal SIMPLEX.

1.4.2 Objetivos específicos

- Recopilar, organizar y estructurar la metodología para diseñar y analizar redes de distribución de agua potable mediante programación lineal-Simplex.
- Automatizar los procedimientos de diseño de una red de distribución de agua potable.

1.5 Alcance

- Aportar con un software de aplicación On-line (DERAP V1.0), que permita realizar el diseño económico de redes de agua.
- Permitir el acceso on-line al DERAP V1.0 a través del Laboratorio Virtual de Mecánica de Fluidos, Hidráulica y Eficiencia Energética – LVMFHEE, de la U.C.G.-U.T.P.L.
- Redactar un tutorial del DERAP V1.0 (manual de usuario) para mejor comprensión y fácil uso de la aplicación.



1.6 Actividades

- Recopilar, organizar, analizar y comprender la bibliografía técnica para:
 - Diseñar y analizar redes ramificadas por el método de velocidades y pendiente uniforme.
 - Diseñar y analizar redes malladas por el método de Hardy-Cross con corrección de caudales y de alturas piezométricas.
 - Lenguaje de programación: Visual.net, Visual Basic, Java Script, macros de visual para Excel, entre otros.

- Planteamiento y resolución de un ejemplo de diseño de redes de agua potable con la aplicación del método convencional, el mismo que consiste en proporcionar un diámetro teórico para cada tramo de la red.
- Resolución del mismo ejemplo planteado anteriormente mediante el uso de la metodología Simplex para obtener un diseño económico.
- Comparación de los resultados obtenidos en cada uno de los métodos de diseño de redes.
- Resumen narrativo del trabajo.
- Conclusiones y recomendaciones.



CAPÍTULO II

HIDRÁULICA DE REDES

Un sistema de abastecimiento de agua potable se compone de diversos elementos, tales como: bocatomas, aducciones, estaciones de bombeo, plantas de purificación, conducciones, tanques de almacenamiento y red de distribución agrupadas en sectores, subsectores y/o distritos hidrométricos. Una red se define como el conjunto de tuberías y accesorios cuya función es suministrar agua potable a consumidores de localidades en condiciones de cantidad y calidad aceptables. (SALDARRIAGA 2008)

Desde el punto de vista hidráulico se pueden establecer redes abiertas o ramificadas, redes malladas o mixtas. Las redes cerradas o malladas, se caracterizan por su fiabilidad, debido que casi todos sus nudos se encuentran a una misma cota y por lo que el caudal que entra en un nudo es igual al que sale en el siguiente nudo contiguo.

2.1 Redes ramificadas

Una red ramificada es aquella que se identifica por tener una forma arborescente, posee un conducto o línea principal de la cual nacen varios ramales o líneas hidráulicas. (SALDARRIAGA 2007)

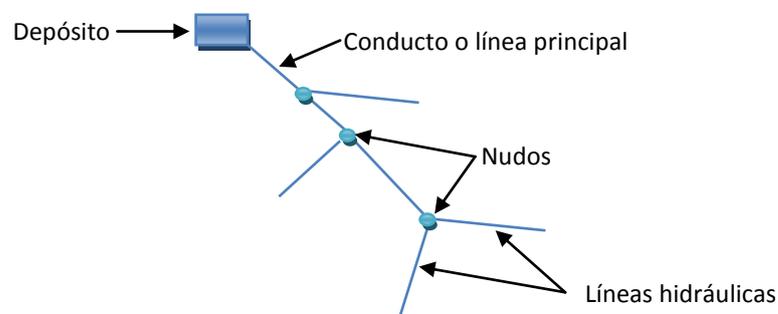


Fig. 1. Red ramificada alimentada por un nudo de cabecera a gravedad

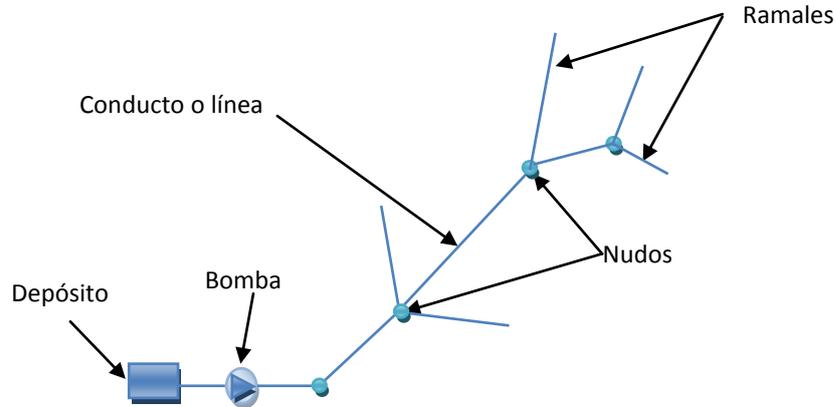


Fig. 2. Red ramificada alimentada por una bomba de impulsión

Algunas de las propiedades y criterios de dimensionamiento de una red ramificada son: ⁽¹⁾

- Posee únicamente un nudo de alimentación o de cabecera para toda la red.
- No posee mallas; es decir, no presenta circuitos cerrados, y todos los nudos del sistema están conectados entre sí.
- Dos nudos contiguos de la red podrán ser conectados solamente por un único trayecto.
- A cada nudo de la red le aportará caudal una línea o ramificación, es decir que aguas arriba de cada nudo sólo existirá una línea.
- Se puede determinar el caudal y su sentido de circulación con la aplicación de la ecuación de continuidad. (Ec. 2.1)

“Se debe tener en cuenta los siguientes criterios para el dimensionamiento de una red ramificada o abierta: ⁽¹⁾

- La distribución de caudal es uniforme a lo largo de cada tramo.

(1)OPS/CEPIS/05.145. Guía para el diseño de redes de distribución de redes rurales de abastecimiento de agua. Pag. 7. Año 2005



- La pérdida de carga del tramo lo produce el caudal que llega al nudo final de la línea.”

Los métodos convencionales existentes a utilizarse en la presente investigación para el diseño de redes ramificadas son los siguientes:

- Por velocidades.
- Por pendiente uniforme.

2.1.1 Método de las velocidades

El dimensionamiento de la red de acuerdo a este método, requiere que todas las tuberías que la conforman posean un diámetro de tal manera que la velocidad con la que circula el caudal no exceda a la máxima velocidad impuesta o permitida para el diseño. “Se recomiendan velocidades que varíen entre 0.5 m/s y 2.0 m/s.”⁽²⁾

Procedimiento.

1. Imponer una velocidad máxima permitida para el diseño de la red, en el presente trabajo luego de realizar varios diseños se ha tomado como un valor óptimo 1,20m/s.
2. Acumular los caudales de la red en todos los nudos, desde el más lejano hasta el nudo fuente (aplicación de la primera ley de Kirchhoff; conservación de masas). (SALDARRIAGA 2007)
3. Con la ecuación de continuidad, calcular los caudales que pueden circular a velocidad máxima permitida, a través de los diferentes diámetros existentes en el mercado.

(2)Área de Mecánica de Fluidos. Departamento Tecnología. Universitat Jaume I. Práctica 2. Simulación de redes de distribución de agua.



$$Q = A \times V \quad (\text{Ec. 2.1})$$

Q : caudal que circulará por la tubería, (m³/s).

A : sección de la conducción (tubería), (m²).

V : velocidad máxima de diseño, (m/s).

4. Determinar los diámetros para cada tramo según el caudal que estos necesiten transportar hasta el nudo aguas abajo del mismo.
5. Calcular las pérdidas por longitud para cada tramo; entre los diversos métodos existentes en la actualidad se recomienda la aplicación de la ecuación de Darcy-Weisbach:

$$hf_L = k_L \times \left(\frac{V^2}{2 \times g} \right)$$
$$hf = \left(\frac{8 \times f \times L}{\pi^2 \times g \times D^5} \right) \times Q^2 \quad (\text{Ec. 2.2})$$

hf_L : pérdidas por longitud, (m).

Q : caudal que circulará por la tubería, (m³/s).

V : velocidad, (m/s).

D : diámetro de la conducción (tubería), (m).

f : factor de fricción.

L : longitud del tramo, (m).

g : gravedad, (m/s²).



6. Calcular las pérdidas menores para cada tramo mediante la Ec. 2.3 :

$$hf_m = k_m \times \left(\frac{V^2}{2 \times g} \right) \quad (\text{Ec. 2.3})$$

hf_m : pérdidas menores, (m).

k_m : coeficiente de pérdidas menores.

V : velocidad con la que circula el caudal por la tubería, (m/s).

g : aceleración de la gravedad, (m/s²).

7. Calcular la pérdida total de cada tramo; se suma las pérdidas por longitud y pérdidas menores.

$$Hf = hf_L + hf_m \quad (\text{Ec. 2.4})$$

8. Calcular las alturas piezométricas y presiones en los nudos del trayecto; para esto, se considera las pérdidas al nudo y la carga en cabecera, principalmente.
9. Chequear si cumple la presión mínima requerida en cada nudo, así como la velocidad en cada tramo.

Las ecuaciones mostradas en el procedimiento anterior, fueron tomadas del libro "Hidráulica de Redes" Saldarriaga 2007.

2.1.2 Método de la pendiente uniforme

El diseño de la red mediante este método consiste principalmente en que todas las tuberías que conformarán la red tengan la misma pendiente hidráulica, que representa la diferencia en elevación de la superficie libre por unidad de longitud, medida en el sentido del flujo. (Saldarriaga 2008)



Procedimiento.

1. Luego de acumular los caudales de todos los nudos (paso 2 del ítem 2.1.1), se chequea la gradiente hidráulico disponible ($J_{\text{disponible}} = J^*$) mediante la siguiente ecuación:

$$J_{\text{disponible}} = \frac{Hc - \left(Z_i - \frac{P_{\min}}{\gamma} \right)}{\sum L_j} \quad (\text{Ec. 2.5})$$

Hc : cota de la superficie libre en cabecera, (m.s.n.m.).

Z_i : cota del nudo crítico, (m.s.n.m.).

P_{\min}/γ : presión mínima requerida en cada nudo, (m c.a.).

$\sum L_j$: sumatoria de las longitudes de todos los tramos necesarios para que el caudal llegue al nudo crítico, (m).

2. Identificar el nudo crítico de la red, aquel de menor gradiente hidráulico ($J_{\text{disponible}}$); es decir, aquel nudo que puede ser el más lejano y cuyo requisito de presión es el más elevado. Ver Ec. 2.5.
3. Calcular diámetros teóricos para cada uno de los trayectos críticos que conforman la red, mediante la siguiente expresión:

$$D_{i(\text{teórico})} = \sqrt[5]{\frac{8 \times f_i \times Q_i^2}{\pi^2 \times g \times J^*}} \quad (\text{Ec. 2.6})$$

Q_i : caudal que circulará por la tubería, (m^3/s).

f_i : factor de fricción.

J^* : gradiente hidráulico disponible.

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



4. Se normaliza los diámetros de acuerdo a los disponibles en el mercado; es decir, se escogen los diámetros inmediatos superiores a los obtenidos teóricamente (mediante la Ec. 2.6).
5. El procedimiento continúa con los pasos del 5to al 9no del ítem 2.1.1.

Las ecuaciones del presente procedimiento se tomaron del libro “Hidráulica de Redes” Saldarriaga 2007.

2.2 Redes malladas

Son aquellas que, como su nombre lo indica, están formadas por mallas o circuitos cerrados. Cualquier nudo de la red mallada puede ser unido por al menos dos trayectos diferentes. (SIMULACION DE REDES – UTPPL 2008)

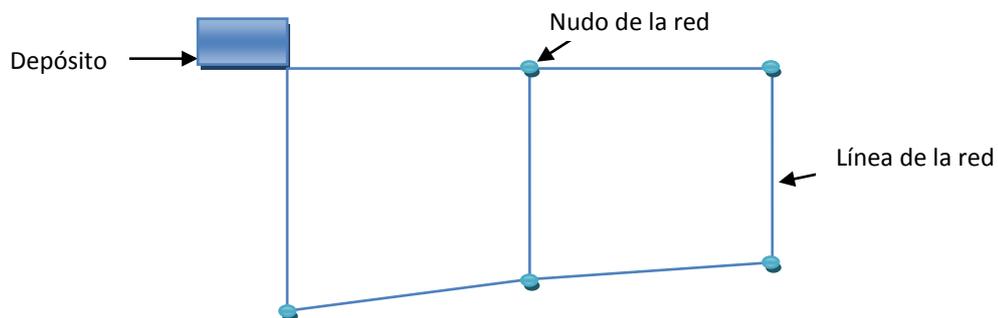


Fig. 3 – Red mallada alimentada por un nudo de cabecera a gravedad

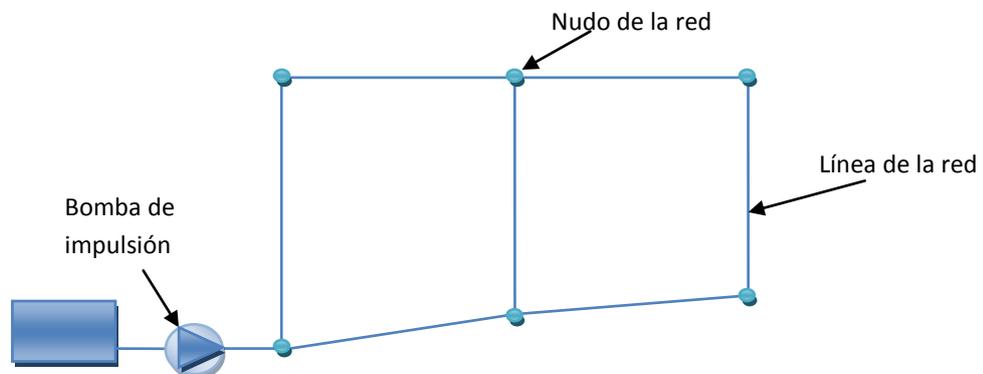


Fig. 4 – Red mallada alimentada por una bomba de impulsión



El flujo de agua a través de una red mallada esta controlado básicamente por dos condiciones: (OPS/CEPIS/05.145. 2005)

- El caudal total que llega a un nudo es igual al que sale del mismo. Primera Ley de Kircchoff.
- La pérdida de carga entre dos nudos a lo largo de cualquier trayecto, es siempre la misma.

Estas dos condiciones junto con la relación de flujo y pérdidas de carga, proporcionan sistemas de ecuaciones, las cuales pueden ser resueltas por cualquiera de los métodos matemáticos para el balance de caudales o presiones, (método de Hardy–Cross, método de Newton–Raphson, entre otros).

“Los caudales circulantes no pueden ser definidos ni tan siquiera en su sentido por el uso exclusivo de la ecuación de continuidad, sino que habrá que añadir otras ecuaciones de la malla. El agua puede seguir distintos caminos para alimentar un mismo nudo. En un sistema compuesto por L líneas, N nudos y M mallas se cumple siempre que $M = L - N + 1$. En M y L están incluidas las mallas y líneas ficticias necesarias para resolver el problema. En el caso de las redes ramificadas $L = N - 1$, y para las redes malladas: $L > N - 1$ ”⁽³⁾; es decir, que en las redes ramificadas como los nudos no están unidos entre sí el número de líneas será igual al número de nudos menos 1; mientras que en las redes malladas como los nudos que forman ésta se unen entre sí, el número de líneas será mayor al número de nudos menos 1, ya que un mismo nudo puede servir para unir diferentes líneas.

2.2.1 Método de Hardy–Cross con corrección de caudales

Este método consiste en suponer la dirección y cantidad de caudal que circulará por los diferentes tramos de la red y mediante

(3)Pérez R. 2000. Diseño de Redes. Universidad Politécnica de Valencia. España.



cálculos matemáticos iterativos (de balance), se corregirá la suposición hecha tanto en dirección como en magnitud.

Procedimiento.

1. Suponer dirección y magnitud de caudal en cada tramo de las mallas que conforman la red. (En el presente proyecto los caudales que circulen en dirección del sentido de las manecillas del reloj se los considerarán positivos y en caso contrario serán negativos).
2. Imponer diámetros a todas las tuberías que conforman la red (se puede aprovechar diferentes metodologías, entre ellas la *esqueletización** de la red o en función del caudal que va a circular, conservar las velocidades óptimas en cada tramo).
3. Calcular las pérdidas por longitud para cada tramo mediante la ecuación de Darcy-Weisbach, Ec. 2.2.
4. Calcular las pérdidas menores para cada tramo mediante la Ec. 2.3:
5. Calcular la pérdida neta de altura piezométrica alrededor del circuito; para esto se suma las pérdidas de altura piezométrica y se resta las “adiciones” de altura piezométrica medidas en el sentido del avance de las agujas del reloj. Si la pérdida neta de altura piezométrica no es cero, se procede a corregir los caudales con la ecuación:

Esqueletización*.- pretende obtener de una red mallada los tramos principales que contenga menos datos del total de la misma, pero que esté sujeta al rastro de la red original.



$$\Delta Q_i = - \frac{\sum (h_{f_{ij}} + \sum h_{m_{ij}})}{2 \times \sum \left(\frac{h_{f_{ij}} + \sum h_{m_{ij}}}{Q_{ij}} \right)} \quad (\text{Ec. 2.7})$$

$Q_{i,j}$: caudal que circulará por el tramo $i - j$, (m^3/s).

hf_{ij} : pérdidas por longitud en el tramo $i - j$

hm_{ij} : pérdidas menores en el tramo $i - j$.

6. El proceso de balance de caudales terminará una vez que todas las pérdidas netas de altura piezométrica de los circuitos que compone la red sean igual ó muy próximos a cero, caso contrario se deberá repetir los pasos del 3 al 5 con los caudales corregidos.

2.2.2 Método de Hardy–Cross con corrección de alturas piezométricas

Consiste en suponer las alturas piezométricas de los diferentes nudos de la red y mediante cálculos matemáticos de balance (métodos de Hardy–Cross, método de Newton–Raphson, etc.) se iterará las veces que sean necesarias para corregir la suposición hecha.

Procedimiento.

1. Se define claramente la geometría de la red; es decir, se identifica en forma coherente los nudos y los circuitos.
2. Se supone la altura piezométrica para todos los nudos de la red, excepto en aquellos en que sea fija (debe existir al menos un nudo con esa característica). Cuanto mejor sea la



estimación inicial de estas alturas, más rápidamente se convergerá al resultado.

3. Se calcula el caudal en cada una de las tuberías mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{ij} = \left(\frac{H_j - H_i}{\sum k_{m_{ij}} + f_{ij} \times \frac{l_{ij}}{D_{ij}}} \right)^{1/2} \sqrt{2 \times g} \times A_{ij} \quad (\text{Ec. 2.8})$$

Q_{ij} : caudal que circulará por el tramo $i - j$, (m^3/s).

H_j, H_i : cota en los nudos $i - j$

f_{ij} : factor de fricción en el tramo $i - j$.

l_{ij} : longitud del tramo $i - j$.

D_{ij} : diámetro de la tubería del tramo $i - j$.

A_{ij} : sección de la tubería del tramo $i - j$.

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

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \times \log_{10} \left(\frac{k_s}{3.7 \times D} + \frac{2.51}{Re \times \sqrt{f}} \right) \quad (\text{Ec. 2.9})$$

k_s : rugosidad absoluta

Re : número de Reynolds

4. Con la ecuación de continuidad (Ec. 2.1), se calcula el caudal para alguno de los nudos. Si el resultado no es similar ó muy cercano a cero, se debe corregir la altura piezométrica hasta que así sea.

$$\Delta H_i = \frac{2(\sum Q_{ij} - Q_{Di} (+ Q_{ei}))}{\sum \frac{Q_{ij}}{H_j - H_i}} \quad (\text{Ec. 2.10})$$



Q_{ei} : suma de caudales que convergen al nudo respectivo.

Los caudales Q_{ij} y las alturas piezométricas ($H_j - H_i$) se consideran positivos, cuando converjan al nudo respectivo; es decir, si el caudal entra y si H_j es mayor que H_i .

Q_{Di} : demanda de caudal en el nudo i

5. Se procederá a realizar las correcciones de altura piezométrica para todos los nudos en la que ésta sea variable; es decir, se debe repetir los pasos 3 y 4.
6. El proceso de balance de alturas piezométricas, concluye una vez que la suma de sus caudales en cada nudo sea aproximadamente cero (se detendrá el proceso cuando el error de balance de caudal en el nudo respectivo sea por lo menos 1×10^{-4}), en el caso de no ser así se debe repetir los pasos 3, 4 y 5 de este ítem.

Las ecuaciones para este procedimiento mostrado anteriormente se tomaron del libro "Hidráulica de Redes" Saldarriaga 2007.

2.3 Válvulas y accesorios

Los accesorios de una red de distribución de agua incluyen las uniones, codos, tees, reducciones, válvulas, anclajes, entre otros.

Las válvulas son utilizadas en las redes de distribución para controlar (regular) el flujo y se pueden clasificar en función de la acción específica que realizan. Las más comunes son las de compuerta (corte) y sirven para aislar segmentos de la misma en caso de rotura de las tuberías o de incendio, y seguir suministrando de agua al resto de la población. (SALDARRIAGA 2007)



Para sectorizar redes de distribución se pueden utilizar válvulas de mariposa a partir de un DN300, por su costo; para diámetros menores bien funcionan válvulas de compuerta



Fig. 5.- Válvula de compuerta 6" acero al carbono 600#.

Fuente: <http://www.petrovex.com.ve/tienda/index.php?act=viewProd&productId=191>

- Válvulas de purga.- son utilizadas en los puntos más bajos de una red de abastecimiento de agua, y sirven para realizar la limpieza de la misma. (CLASES DE HIDRÁULICA I 2008)



Fig. 6.- Válvula Flowserve Edward de purga continua

Fuente: <http://www.flowserve.com/es>

- Válvulas de aire.- son aquellas que se utilizan o se ubican en los puntos más altos de un sistema de abastecimiento de agua y sirven, a veces para expulsar el aire que se encuentra dentro de las tuberías.



Pueden ser de simple, doble o triple acción. (CLASES DE HIDRÁULICA I 2008)



Fig. 7.- Válvula de aire automática.

Fuente: <http://www.aguamarket.com/SQL/productos/index1.asp?searchfield=valvula&go=Buscar&offset=664>

- Válvulas reguladoras de presión.- sirven para que la presión dentro de un punto (tramo) del sistema, no sea superior a la que previamente se fija manualmente sobre el manejo de un tornillo. (Esta actividad se conoce como “tarar la válvula”). (CLASES DE HIDRÁULICA I 2008)



Fig. 8.- Válvula reguladora de presión PRV EB-45

Fuente: http://www.cashacme.com/lang/spanish/prod_prv_eb45.php



CAPÍTULO III

LA HIDRÁULICA DE REDES Y SUS COSTOS

3.1 Componentes hidráulicos

3.1.1 Diámetros de las tuberías que conforman la red

Los diámetros de las tuberías que conforman la red se definen como la variable principal dentro de un diseño económico de redes ya que cuando éstos sean menores, menor será el costo de la misma, sin embargo deben ser elegidos de tal manera que nos lleve a un diseño óptimo, tanto desde el punto de análisis económico como hidráulico. (SALDARRIAGA 2007)

Para ello se establecerá los diámetros candidatos (aquellos que pueden conformar parte de la red), los mismos que serán los cuatro contiguos de aquellos obtenidos en el diseño convencional, y que están sujetos, principalmente, a las dos condiciones siguientes:

- Deben ser diámetros estándar disponibles comercialmente en el mercado; y, (SALDARRIAGA 2007)
- Que la velocidad del agua que circula por las tuberías de diámetros escogidos, esté comprendida entre los valores máximos y mínimos de los establecidos para el diseño de la red. (SALDARRIAGA 2007)



3.1.2 Caudales y presiones de demanda

Los caudales que circularán por las líneas que conforman la red, se establecen de acuerdo a la demanda en cada uno de los puntos (dotación de diseño), y al estudio previo sobre los requerimientos de agua. Así mismo, conviene tomar en cuenta que, además de la cantidad de agua, también se debe satisfacer las presiones; es decir, que la altura de columna de agua en dichos sitios tiene que ser mayor o por lo menos igual a la de diseño.

3.1.3 Topología de la red

Es aquella que determina la conformación (distribución geográfica) más conveniente de la red y la configuración de las conexiones entre los nudos. La topología de una red de distribución de agua para consumo humano, debe satisfacer, además, la fiabilidad de la misma. (SALDARRIAGA 2007)

3.1.4 Materiales y rugosidades de las tuberías

Las tuberías usadas para la construcción de redes de agua potable se fabrican con diferentes materiales. Se debe tomar en cuenta criterios económicos, de duración (vida útil) del tubo y la rugosidad de su interior. (SOTELO 2000)



Cuadro 1 – Valores del coeficiente de rugosidad absoluta

Material	k_s (mm)
Asbesto cemento	0,0250
Asbesto cemento con protección interior de asfalto	0,0015
Plástico PVC	0,0015
Cobre y latón	0,0015
Acero	0,0500
Acero nuevo soldado	0,0015
Tubos industriales de latón	0,0250
Hierro forjado	0,0500
Hierro fundido nuevo	0,2500
Fierro fundido oxidado	0,3000
Fierro galvanizado	0,1500
Acero laminado nuevo	0,0400

Fuente. Sotelo, 2000; Hidráulica General, Volumen 1, México. Pág. 285–286

3.2 Componentes legal y económico

3.2.1 Fabricantes y mercado de tuberías en el país

En nuestro país existen diferentes fabricantes e importadores de tuberías y accesorios (para trabajo a presión) utilizadas en la construcción de redes de abastecimiento de agua.

El software de aplicación creado en el presente trabajo, considera las características geométricas e hidráulicas, así como los precios de las tuberías, según el mercado local (actualizado al 2010). (Fuente: Lista de precios PLASTIGAMA 2010)

3.2.2 Normativa vigente

La norma vigente en nuestro país, para realizar un diseño de redes de agua potable, se denomina: *“Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para*



poblaciones mayores a 1000 habitantes”, la misma que fue creada por el Ex Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias (Ex - I.E.O.S) siendo su última actualización en agosto 1993. (Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes, 1993).

3.2.3 Costos de instalación de redes

“El costo de instalación de redes de agua potable está compuesto por dos rubros principales y que representan aproximadamente un 90% (Saldarriaga, 2007) el costo total de un sistema de distribución; estos son los siguientes:

1. Los costos de las tuberías y accesorios necesarios para conformar la red, varían según los diámetros elegidos. ⁽⁴⁾
2. Los costos de instalación de la red (excavación, cimentación de la tubería, compactación del relleno de la zanja, repavimentación y puesta en marcha del sistema).” ⁽⁴⁾

Es conveniente que cada proyecto se realice con su propio análisis de precios, ya que los costos varían de acuerdo al lugar donde se vaya a construir. Para el presente trabajo los análisis de precios unitarios se formularon de acuerdo a los precios para la ciudad de Loja; tomado como base el A.P.U. (Análisis de Precios Unitarios) de la Cámara de la Construcción de Loja.

3.2.4 Costos de operación y mantenimiento

Los costos de operación son aquellos que se utilizan para cubrir los pagos por el consumo de recursos, tales como eléctrico y del personal que trabaja, como su nombre lo indica, en la operación de todo el sistema de agua potable. Principalmente, se considerarán

(4)Saldarriaga J. Hidráulica de tubería. Abastecimiento de agua, redes y riegos.

CAPÍTULO III

La hidráulica de redes y sus costos



aquellas personas que se ocupan de la operación de válvulas bombas, purgas, “fogueo de hidrantes”, retrolavados, llenado y vaciado de depósitos, entre otros. Mientras que los costos de mantenimiento son aquellos que se necesitan para invertir en la compra de materiales y/o accesorios que ameritan su reemplazo. Estos costos no se incluyen en el software.



CAPÍTULO IV

DIMENSIONADO ECONÓMICO DE REDES

4.1 Metodologías

El dimensionado económico de redes trata de llegar a obtener un diseño óptimo y el más económico, en el cual los diámetros proporcionados sean los menores, tales que permitan cumplir con las características hidráulicas requeridas en el mismo.

Existen diferentes metodologías para obtener un diseño óptimo- económico como: método discontinuo de Labye, algoritmo genético, algoritmo simplex, etc. En el presente trabajo de investigación para llegar a un dimensionado económico de redes utilizaremos programación lineal mediante el método simplex.

4.1.1 Método simplex

Es un método genérico de solución de problemas lineales, desarrollado por George Dantzig en 1947. Como tal, el método simplex es un procedimiento algebraico, pero puede entenderse más fácilmente como un método geométrico.

“El método simplex consiste en efectuar cambios en las variables básicas (obtenidas de las ecuaciones de restricción) las veces que sean necesarias. Se analiza en aquel tramo de tubería en donde la sección se reduce al máximo, hasta que lleguemos a obtener una función óptima (mínimos diámetros para satisfacer caudales y presiones).”⁽⁵⁾

(5)Arya Jagdish C. y Lardner Robin W. Matemática aplicada a la administración y economía. Cuarta edición. Pearson educación. México.



4.1.2 Aplicación del método simplex al dimensionado económico de redes

Con la aplicación del método simplex al dimensionado óptimo-económico de redes de agua potable, se minimizará matemáticamente los diámetros de tuberías que conforman la red de abastecimiento analizada.

Para esto, el software divide el tramo de tubería (i-j) en 2 subtramos; el primero de ellos es aquel que fue el resultado del diseño convencional (D_c), y el segundo, será de diámetro menor a D_c escogido entre tres diámetros contiguos candidatos, cuidando el criterio de telescopía hidrodinámica, y seleccionados de la base de datos que el paquete computacional incluye. Ver figura siguiente.

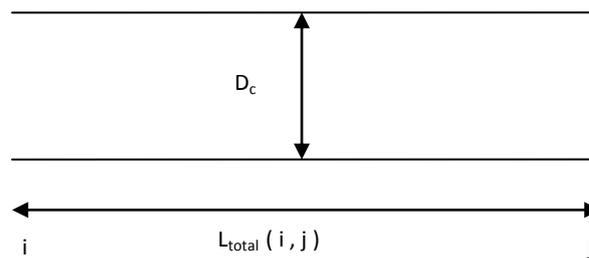


Fig.9.- Tramo i , j con diámetro convencional D_c

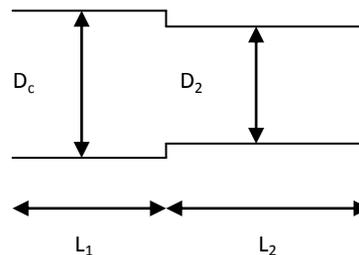


Fig.10.- Tramo i , j ;dividido en 2 subtramos con diámetro menor a D_c .

Las operaciones que comprende el algoritmo simplex consisten fundamentalmente en resolver un sistema de ecuaciones lineales



(función objetivo a optimizar, restricciones de longitud, restricciones de presión), para determinar el valor de las variables básicas (longitud y costo de tubería por metro lineal según su diámetro), con la influencia en la función objetivo de las restricciones (presión mínima de demanda, y pérdidas de cargas totales, variables no básicas que a su vez involucran al caudal, rugosidad, viscosidad cinemática, velocidad, número de Reynolds, coeficiente de fricción, entre otras).

Podemos resumir el procedimiento del algoritmo simplex en los siguientes pasos: (IV SEREA 2006)

1.- Se formula, la función objetivo a minimizar (Ec. 2.11) que estará compuesta por los costos unitarios correspondientes a los diámetros candidatos y la longitud de cada sub-tramo, las restricciones, tanto de presión (Ec. 2.12), como la longitud total del tramo (i – j) (Ec. 2.13). (IV SEREA 2006)

- **Función objetivo a minimizar:**

$$C = L_1 \times Cu_1 + L_2 \times Cu_2 + \dots + L_n \times Cu_n \quad (\text{Ec. 2.11})$$

C : Costo total del sistema de agua potable

$L_1, L_2 \dots L_n$: Longitudes de tuberías en el tramo

$Cu_1, Cu_2 \dots Cu_n$: Costo unitario por metro lineal de tubería, directamente dependiente de cada diámetro. Es decir, al costo Cu_1 le corresponde el diámetro Du_1 .



- **Restricciones.**

$$P_{\min} \geq hfu_1 \times L_1 + hfu_2 \times L_2 + \dots + hfu_n \times L_n \quad (\text{Ec. 2.12})$$

P_{\min} : Presión mínima requerida en sistema de agua potable.

L_1, L_2, L_n : Longitudes de tuberías en el tramo

hfu_1, hfu_2, hfu_n : Pérdida carga unitario por metro lineal de tubería.

$$LT = L_1 + L_2 + \dots + L_n \quad (\text{Ec. 2.13})$$

LT : Longitud total del tramo

L_1, L_2, L_n : Longitudes parciales de tubería en el tramo

2.- La aplicación del algoritmo simplex se consigue con la eliminación de Gauss-Jordan sobre las variables de la solución básica factible inicial. Para cambiar el coeficiente de la nueva variable básica en el renglón pivote 1, se divide todo el renglón entre el número pivote, así: (IV SEREA 2006)

$$\text{Fila del pivote}_{i+1} = \frac{\text{renglón o fila de pivote}_{i-1}}{\text{numero de pivote}_i}$$

Para el resto de filas y renglones tendremos:

$$\text{Fila}_{i+1} = \text{Fila}_{i-1} - [(\text{Coeficiente de la fila}_{i-1} \text{ en la columna de la variable entrante}) \times (\text{Fila del pivote}_{i+1})]$$

$$\text{Renglón}_{i+1} = \text{Renglón}_{i-1} - [\text{Coeficiente de la columna pivote}_i \times \text{Renglón Pivote}_{i+1}]$$

3.- Si todos los coeficientes de costos reducidos de las variables no básicas (son aquellas variables que representan a las longitudes de cada sub-tramo, en un tramo i-j) son negativos, entonces la solución básica actual es la solución óptima, puesto



que no es posible mejorar el valor de la función objetivo al incorporar una nueva variable en la solución. En tal caso, el procedimiento termina. (VI SEREA, 2006).

4.- Si existe algún coeficiente de costo reducido nulo y ninguno negativo, significa que la variable no básica correspondiente puede ser incorporada a la solución sin disminuir el valor de la función objetivo. En tal caso existen infinitas soluciones óptimas además de la actual y el procedimiento finaliza. (VI SEREA, 2006).

5.- Mientras existan coeficientes de costos reducidos positivos, es posible reducir el valor de la función objetivo. La variable no básica que pasará a formar parte de la solución será aquella a la que corresponda el mayor coeficiente de costo reducido. (VI SEREA, 2006).

6.- Si todos los coeficientes reducidos de las restricciones de la columna correspondiente son nulos o negativos, significa que la variable entrante puede tomar un valor tan grande como se quiera y en consecuencia, la función objetivo no estará acotada, de tal manera que permite reducir infinitamente su valor. Esta circunstancia no tiene demasiado sentido cuando se formula un modelo de dimensionado económico, y por ello cabe pensar que si se presenta, significa que tal modelo se formuló incorrectamente. (VI SEREA, 2006).

7.- El máximo valor que puede llegar a adoptar la variable entrante estará condicionado por la restricción de no



negatividad de las variables básicas actuales, y por tanto, acotado por la restricción correspondiente. (VI SEREA, 2006).

El código de programación de los pasos antes mencionados se los puede referir en el **Anexo 1**.

4.2 Costos unitarios

Todos los análisis de precios unitarios fueron realizados en base a los rendimientos tomados de la Cámara de la Construcción de Loja y a precios de tubería de fabricación Plastigama (L.P.P 2010) para los diferentes diámetros con presión igual a 1MPa.

Los costos unitarios referentes a las tuberías con presiones de trabajo distintas a 1 MPa no se incluyen en el presente documento, pero constan organizadas en la base de datos del paquete computacional. Ver **Anexo 2**.



CAPÍTULO V

IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO LINEAL MEDIANTE EL MÉTODO SIMPLEX PARA EL DIMENSIONADO ECONÓMICO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

5.1 Introducción

El propósito de este proyecto, tal como se propuso desde el inicio, es elaborar una herramienta de aplicación on-line para el dimensionado económico de redes de agua potable, basada en la formulación de Programación Lineal – método Simplex.

La implementación informática que se propone consta de dos partes:

- la primera: proporcionar al usuario las herramientas adecuadas para facilitar la entrada, manejo de datos y visualización de resultados; y,
- la segunda parte, plantear y codificar el algoritmo de cálculo que permita desarrollar la metodología Simplex al diseño económico de redes de distribución de agua.

5.2 Lenguaje de programación

La aplicación on-line, DERAP V1.0, se desarrolló en Visual Studio.Net 2008 (Versión 9.0.21022.8 RTM - N° de licencia: 91899-270-3911806-60207), se trabajó con diferentes lenguajes de programación, como:

- a) Visual.Net para la presentación, manejo y proceso interno de los datos que se necesitan para el diseño (nodos: ID - identificación, cota, demanda

CAPÍTULO V

Implementación de un modelo lineal mediante el método simplex para el dimensionado económico de redes de distribución de agua potable



de caudal; líneas: ID, longitud, diámetro, material – rugosidad, nudos de inicio y fin, accesorios; características físicas del fluido: temperatura – viscosidad cinemática; condiciones de frontera: velocidades y presiones máximas y mínimas; principalmente).

- b) Visual Basic, para en la ejecución de los algoritmos de cálculo.
- c) Java Script, destinado a solucionar la aplicación del algoritmo SIMPLEX.
- d) Visual Basic 6.0, como una aplicación del sistema operativo Windows, sirve para la construcción de las gráficas esquemáticas de las redes a diseñar.
- e) C#, para la base de datos, que está organizada mediante ficheros en donde consta la información general de: diámetros comerciales, viscosidad cinemática, rugosidad absoluta, coeficientes de fricción “C” de Hazen-Williams y “n” de Chezy-Manning.

Los diámetros están organizados en el fichero “Diámetros” el mismo que contiene los siguientes datos: diámetro externo, diámetro interno, espesor, presión de trabajo y costo unitario, además de la marca del fabricante.

Los coeficientes de fricción, tanto de Hazen-Williams como Chezy-Manning, se encuentran organizados en los ficheros denominados “Coeficiente Hazen” y “Coeficiente Manning” respectivamente, los mismos que contienen para cada uno de ellos el tipo de material de tubería al que corresponden. (SOTELO 2000)

5.3 Diagramas de flujo y algoritmos

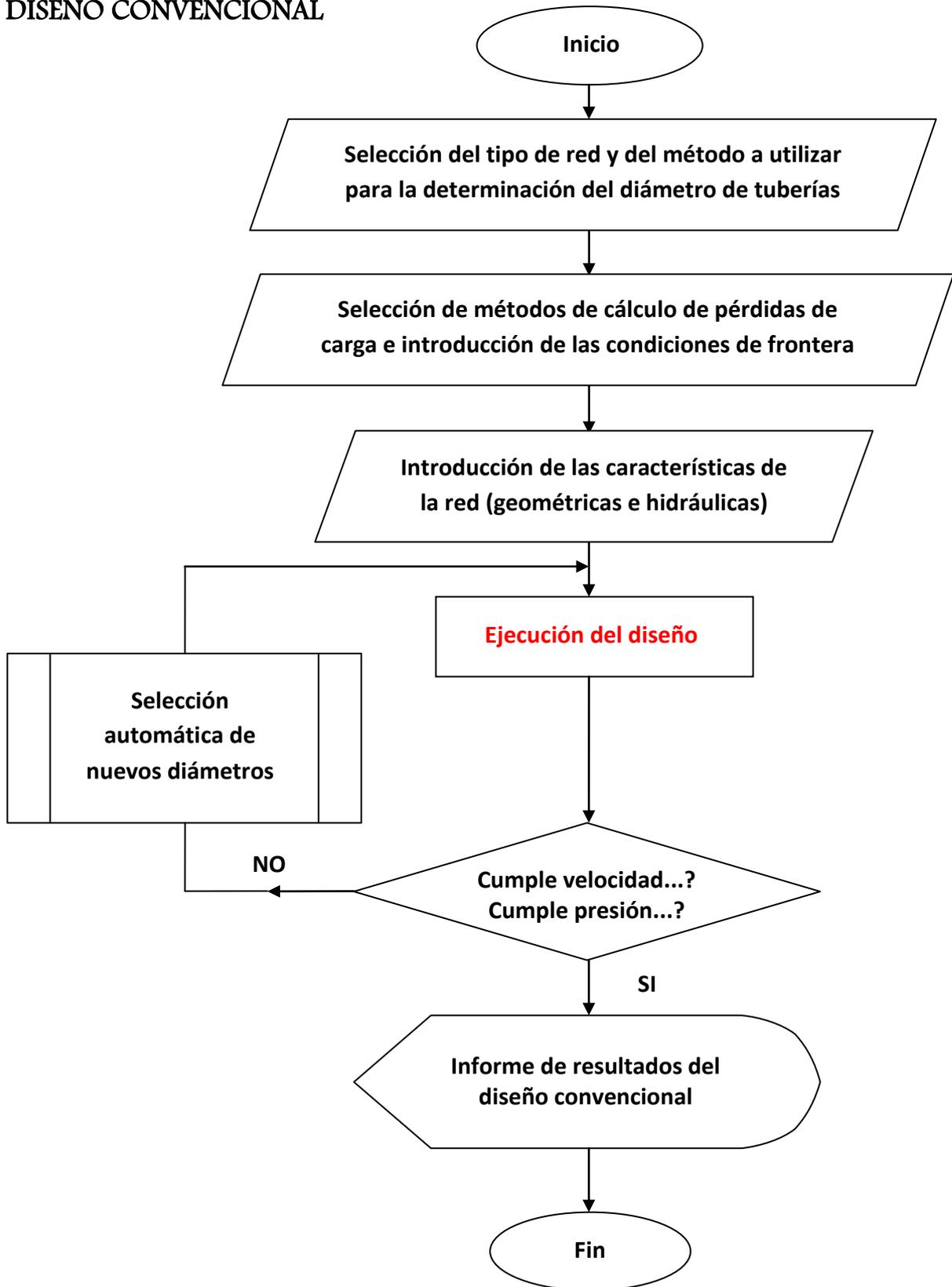
La estructura del algoritmo del software se representa en el diagrama de flujo siguiente.

CAPÍTULO V

Implementación de un modelo lineal mediante el método simplex para el dimensionado económico de redes de distribución de agua potable



DISEÑO CONVENCIONAL

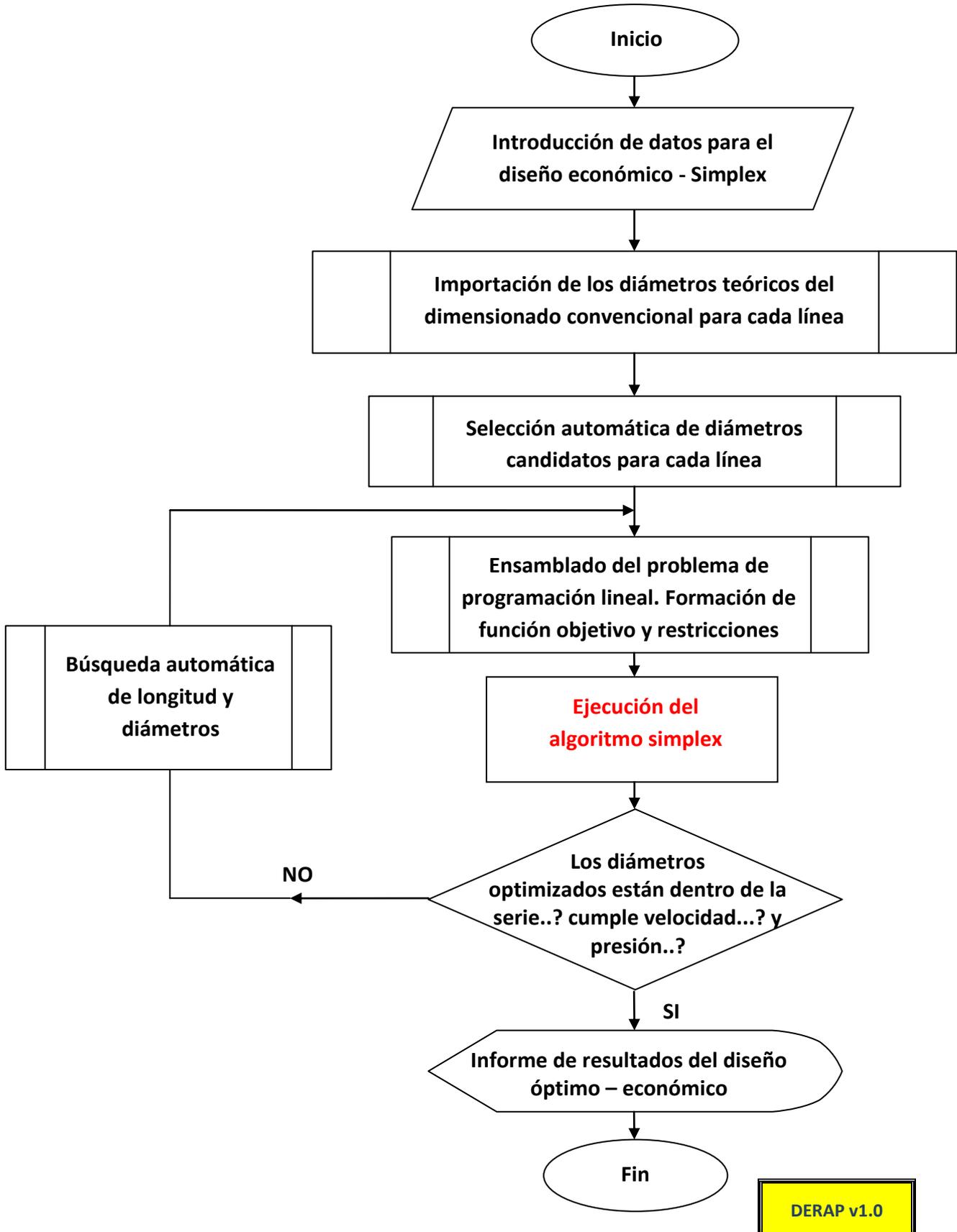


CAPÍTULO V

Implementación de un modelo lineal mediante el método simplex para el dimensionado económico de redes de distribución de agua potable



DISEÑO ECONÓMICO



DERAP v1.0

CAPÍTULO V

Implementación de un modelo lineal mediante el método simplex para el dimensionado económico de redes de distribución de agua potable



5.4 Código

Una vez que ya se obtiene los resultados de los diseños convencionales se procede al arreglo (tomar los diámetros correspondientes a cada tramo) de los datos para que puedan ser procesados mediante el algoritmo del método Simplex; el mismo que a través de los códigos formulados en Visual Studio.Net 2008, permite que Java Script construya las matrices necesarias para realizar los cálculos correspondientes. *Ver anexo 3.*

Para la tarea de programación y desarrollo del código fuente del paquete computacional propuesto fue necesario involucrar a un ingeniero informático.



CAPÍTULO VI

MANUAL DEL USUARIO. DERAP V1.0

CONTENIDO

INTRODUCCION

CAPÍTULO I.- INTERFAZ CON EL USUARIO

- Interfaz con el usuario
- Barra del menú en la ventana principal

CAPÍTULO II.- USO DE MENÚS

MENÚ ARCHIVO

- Menú Archivo > Nuevo
- Menú Archivo > Abrir
- Menú Archivo > Guardar
- Menú Archivo > Cargar ejemplo

MENÚ TIPO DE RED

- Menú Tipo de Red > Redes Abiertas
- Menú Tipo de Red > Redes Malladas

MENÚ GRAFICAR RED

- Menú Graficar Red > Crear Gráfica
- Menú Graficar Red > Importar Gráfica

MENÚ FÓRMULAS

- Menú Fórmulas > Configurar fórmulas de cálculo



MENÚ DIÁMETROS

- Menú Diámetros > Nuevo Diámetro
- Menú Diámetros > Diámetros almacenados

MENÚ INGRESAR NUDOS

- Menú Ingresar Nudos > Agregar Nudo
- Menú Ingresar Nudos > Nudos de la Red

MENÚ INGRESAR LÍNEAS

- Menú Ingresar Líneas > Agregar Línea
- Menú Ingresar Nudos > Líneas de la Red

MENÚ OPCIONES DE CÁLCULOS

- Menú Opciones de Cálculo > Método Convencional
- Menú Opciones de Cálculo > Método Económico (Método Simplex)

MENÚ RESULTADOS

- Menú Resultados > Método Convencional
- Menú Resultados > Presupuesto Método Convencional
- Menú Resultados > Método Económico (M. Simplex)
- Menú Resultados > Presupuesto Método Económico (M. Simplex)

MENÚ AYUDA

- Menú Ayuda > Manual del Usuario

CAPÍTULO III.- CASO PRÁCTICO DE DISEÑO DE UNA RED

- Red ramificada
- Red mallada



INTRODUCCION

El presente documento es una herramienta que nos sirve de guía para el correcto uso y manejo del programa DERAP V1.0 (**Diseño Económico de Redes de Agua Potable, Método Simplex**). En éste se indica como utilizar todos los menús y comandos necesarios para ingresar los datos de una red, seleccionar las opciones de cálculo, y generar el diseño de la misma. Así como el procedimiento a seguir para el diseño de un tipo de red específica (ramificada o mallada).



CAPÍTULO I.– INTERFAZ CON EL USUARIO

El programa DERAP V1.0, es un software de aplicación on-line, cuyo sitio en internet es: <http://vlee.utpl.edu.ec/DerapServidor/>.

La página principal de DERAP V1.0., se visualiza semejante a la figura 11.



Fig.11. – Ventana principal de DERAP V1.0

Barra de menús en la ventana principal

Está conformada por 10 menús: Archivo, Tipo de red, Fórmulas, Diámetros, Ingresar nudos, Ingresar líneas, Opciones de cálculo, Resultados, Programa para graficar red, Ayuda; tal como se muestra en la figura 12. Estos menús a la vez están integrados por diferentes comandos que se despliegan en una lista a dar click en cualquiera de ellos.



Fig.12. – Barra de menús



CAPÍTULO II.- USO DEL MENÚ

MENÚ ARCHIVO

- **Menú Archivo > Nuevo**

Este comando nos sirve para crear un nuevo proyecto. Es decir, cierra el proyecto actual en caso de existirlo y actualiza la página del software.

- **Menú Archivo > Abrir**

Sirve para abrir proyectos existentes. En esta ventana se presenta todas las opciones, como nombre del archivo, tipo de archivo, texto o propiedad, etc. y en la parte superior de la ventana aparece lista de opciones, la cual nos sirve para ubicar el destino donde está almacenado magnéticamente.

- **Menú Archivo > Guardar**

Almacena la información de un proyecto en diseño. Es decir, guarda los datos del proyecto hasta el momento que se requiera. Se guardará información como: tipo de red, método de diseño, datos de nudos, datos de líneas, fórmulas seleccionadas y condiciones iniciales de cálculo.

- **Menú Archivo > Cargar ejemplos**

Nos sirve para cargar los ejemplos tipo, uno de redes ramificadas y el otro de malladas; destinados a complementar la comprensión del funcionamiento del programa.

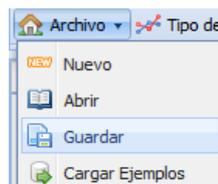


Fig.13. – Menú archivo



MENÚ TIPO DE RED

- **Menú Tipo de Red > Redes abiertas**

Este menú permite seleccionar la opción de diseño de redes abiertas, así como el método para la selección de diámetros. Estos pueden ser: “Método velocidad” y “Método pendiente” (Fig. 14)

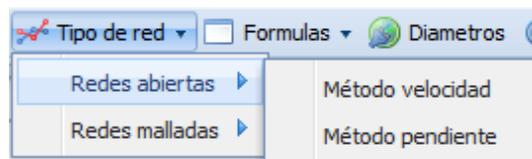


Fig.14. - Redes abiertas

- **Menú Tipo de Red > Redes malladas**

Permite seleccionar para realizar un diseño de redes malladas, así como también el método a utilizar para el diseño de la misma. Estos pueden ser: “Corrección caudales” y “Corrección altura piezométricas”. (Fig. 15)

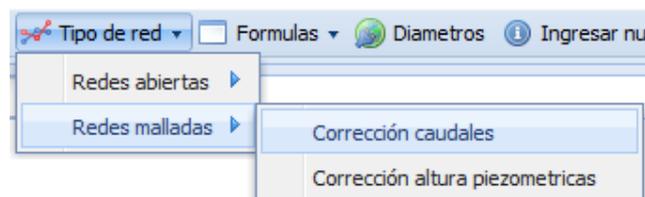


Fig.15. - Redes malladas

MENÚ GRAFICAR RED

- **Menú Graficar Red > Crear red**

Permite graficar un esquema de la red. Al dar click en “Crear Red” se carga y presenta la herramienta de gráficas denominada “Gráfica de Red” que facilita el dibujo del sistema en análisis. Dicha herramienta permite insertar depósitos, nudos y líneas (el ID de cada elemento corresponde al número asignado



automáticamente, según el orden con el que fueron dibujados). Una vez terminada la gráfica debemos guardarla en una carpeta a nuestra elección y de la misma forma con un nombre a elegir.

- **Menú Graficar Red > Importar red**

Una vez que está creada y guardada la gráfica de la red, procedemos a importarla dando un click en “Importar red”, se nos abrirá la ventana “Elegir archivo para cargar” (Fig. 16), en donde debemos ubicar y seleccionar el archivo de la red creado y guardado anteriormente; por último, cuando se localiza el archivo pertinente, se da un click en abrir y se procederá a cargar el esquema. (Fig. 17)

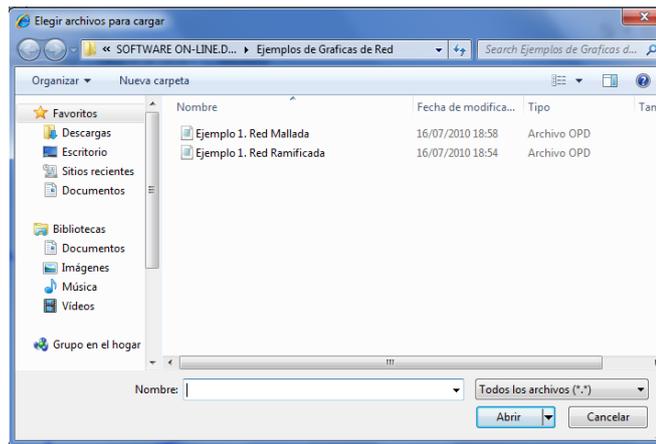


Fig. 16. – Elegir archivo para cargar

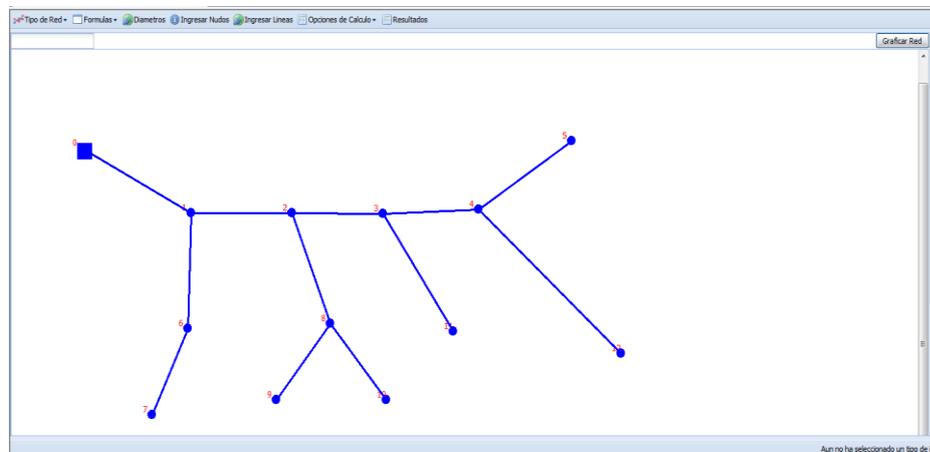


Fig. 17. – Gráfica de red ramificada

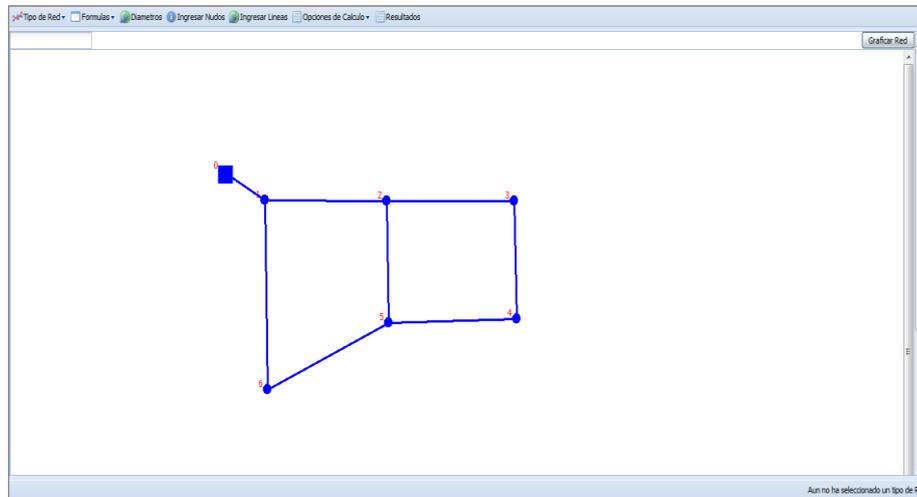


Fig. 17. – Gráfica de red mallada

MENÚ FÓRMULAS

- **Menú Fórmulas > Configurar la fórmula de cálculo**

Sirve para abrir la ventana “Fórmulas de cálculo”, la misma que contiene tres pestañas que nos indican: Red y Método, Fórmulas, y Condiciones. (Fig. 18)



Fig. 18.–Configurar la fórmula de cálculo

Red y método.– Nos muestra el tipo de red y el método a utilizar que se eligió anteriormente para el diseño. (Fig. 19)

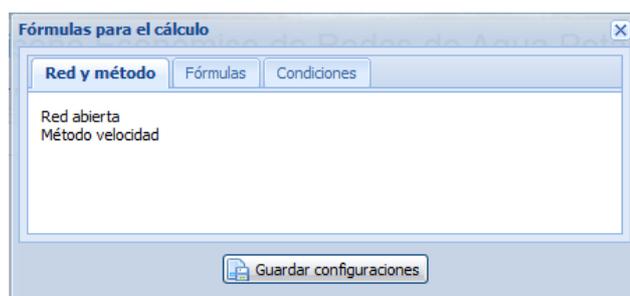


Fig. 19. – Red y método



Fórmulas.– Sirve para escoger la fórmula que se desea utilizar en el cálculo de pérdidas de carga por longitud de la red.

Se visualizarán tres métodos distintos para el cálculo:

- **Darcy-Weisbach.**– existen dos opciones para la aplicación de este método. La primera es ingresar un valor constante del factor de fricción para todas las tuberías que conforman la red; mientras que la segunda (la más apropiada), es calcularlo con la fórmula de Colebrook-White (Ver Ec. 2.9), para esto se seleccionará la opción para que su cálculo sea automático en cada línea; el algoritmo internamente utiliza la rugosidad absoluta y la viscosidad cinemática que dependen del material de la tubería y la temperatura del agua, respectivamente. Para obtener la rugosidad absoluta, se escoge el tipo de material de la tubería en la lista que se desplegará en el casillero *“Rugosidad Absoluta Equivalente-Material”*. De igual manera, para el valor de la viscosidad cinemática, se escoge la temperatura del agua que circulará por la tubería y que consta en la lista que se desplegará en el casillero *“Viscosidad cinemática-Temperatura”* (Fig. 20).

Fig. 20. – Pérdidas por Darcy-Weisbach



- **Hazen-Williams.**– para el cálculo de pérdidas de carga por este método, tendremos que escoger el tipo de material de las tuberías; y, a su vez, el software le asignará el valor correspondiente del coeficiente de Hazen-Williams (C_{HW}) de la base de datos que se incluye en el paquete computacional. (Fig. 21).

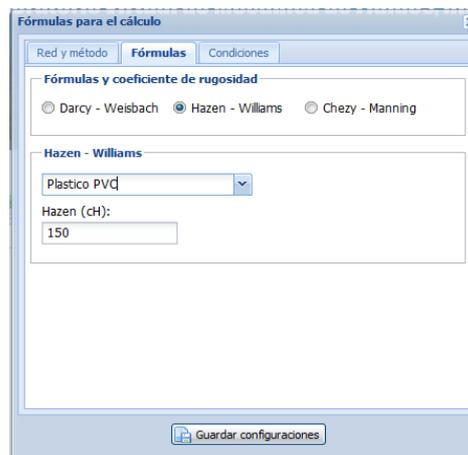


Fig. 21. – Pérdidas por Hazen-Williams

- **Chezy-Manning.**– para la determinación de las pérdidas de carga por este método, al igual que el anterior, el coeficiente de rugosidad de Chezy-Manning (n) se establece automáticamente en función del material fijado (Fig. 22).

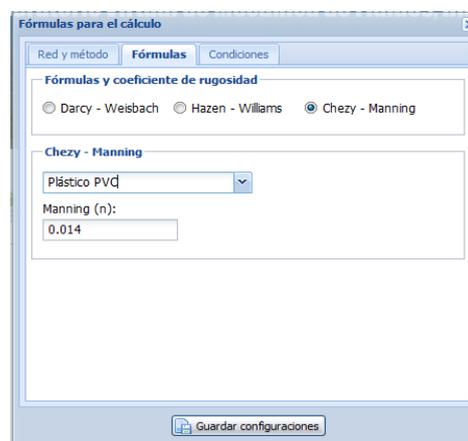


Fig. 22. – Pérdidas por Chezy-Manning



Condiciones de frontera.– Las “Condiciones de frontera” que DERAP V1.0 contempla son: la velocidad máxima y mínima, la presión manométrica mínima requerida y la máxima permitida; valores que deberán ser ingresados por el diseñador (Fig. 23).

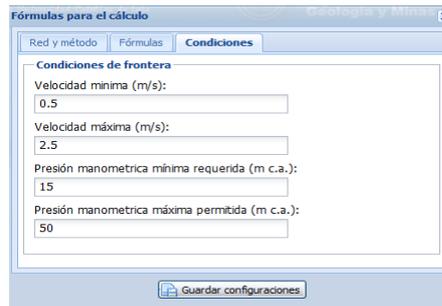


Fig.23. – Condiciones de frontera

*Luego de escoger los métodos de diseño y de contorno, se debe guardar el proyecto, mediante un click en “**Guardar Configuraciones**”.*

MENÚ DIÁMETROS

- **Menú Diámetros > Nuevo diámetro**

Se utiliza para agregar un nuevo diámetro a la base de datos que incluye el software. Para esto, se da un click en la opción “Nuevo diámetro” y se presenta la ventana “Registro de nuevo diámetro” en donde se ingresa los siguientes datos: “Diámetro externo”, “Diámetro interno”, “Espesor”, “Presión”, “Marca” y “Precio”. (Fig. 24)

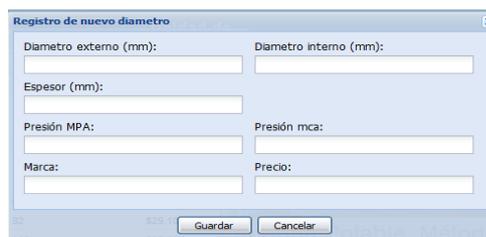


Fig.24 – Registro de nuevo diámetro y ampliación de la base de datos



- **Menú Diámetros > Diámetros almacenados**

Esta ventana presenta todos los diámetros almacenados en la base de datos del paquete computacional. Permite modificar y eliminar. (Fig. 25)

Nuevo diametro							
	D Externo (mm)	D Interno (mm)	Espesor (mm)	Presion MPA	Presion mca	Marca	Precio
Modificar	50	46	2	1	102	PVC	\$13.00
Modificar	50	45.2	2.4	1.25	127	PVC	\$17.20
Modificar	63	59	2	0.8	82		\$15.80
Modificar	63	58	2.5	1	102	PVC	\$18.90
Modificar	63	56.8	3.1	1.25	127		\$22.30
Modificar	90	85.6	2.2	0.63	64		\$22.60
Modificar	90	84.4	2.8	0.8	82		\$29.10
Modificar	90	83	3.5	1	102		\$37.00
Modificar	90	81.6	4.2	1.25	127		\$42.00
Modificar	110	104.6	2.7	0.63	64		\$34.20
Modificar	110	103.2	3.4	0.8	82		\$41.70
Modificar	110	101.4	4.3	1	102		\$53.20
Modificar	110	99.4	5.3	1.25	127		\$61.80
Modificar	160	152	4	0.63	64		\$70.50
Modificar	160	150.2	4.9	0.8	82		\$91.40
Modificar	160	147.6	6.2	1	102		\$123.30

Fig. 25. – Diámetros almacenados

MENÚ INGRESAR NUDOS

- **Menú Ingresar Nudos > Agregar nudo**

Para agregar un nudo de la red se debe dar un click en “Agregar nudo” y se muestra la ventana “Ingreso de nudos” en donde se tiene que ingresar datos de: “Cota”, “Caudal” y “Tipo de nudo” (Fuente, conexión, caudal, presión). (Fig. 26)

Ingreso de nudos

Número:

Cota (msnm):

Caudal (l/s):

Tipo de Nudo:

Fig. 26 – Ingreso de nuevo nudo



- **Menú Ingresar Nudos > Nudos de la red**

Esta ventana permite visualizar todos los nudos de la red que se tiene almacenado en el proyecto. Permite modificar y eliminar, según corresponda. (Fig. 27).

Agregar nudo		Eliminar nudo		
	Numero nudo	Cota (msnm)	Caudal (Vs)	Tipo nudo
Modificar	0	120	0	Fuente
Modificar	1	44	0	Consumo
Modificar	2	46	19	Consumo
Modificar	3	52	21	Consumo
Modificar	4	54	0	Consumo
Modificar	5	67	23	Terminal
Modificar	6	20	22	Consumo
Modificar	7	15	12	Terminal
Modificar	8	24	15	Consumo
Modificar	9	18	15	Terminal
Modificar	10	22	12	Terminal
Modificar	11	36	18	Terminal
Modificar	12	40	31	Terminal

Fig. 27. – Nudos ingresados

MENÚ INGRESAR LÍNEAS

- **Menú Ingresar Líneas > Agregar línea**

Se utiliza para agregar líneas en redes ramificadas. Al dar un click en “Agregar línea”, se visualiza la ventana “Ingreso de líneas”, en donde se ingresan los datos de: “Longitud”, “Nudo inicial” y “Nudo final”. (Fig. 28)

Ingreso de líneas

Número: 13

Longitud (m):

Nudo inicial:

Nudo final:

Ingresar Cancelar

Fig. 28. – Nueva línea. Red ramificada



Para el ingreso de nuevas líneas en redes malladas, además de ingresar los datos antes anotados, también se requiere ingresar el número de circuito al cual corresponde la línea y el caudal que circulará por la misma, éste con el signo correspondiente. El caudal será positivo cuando circule dentro del circuito en el sentido de las manecillas del reloj y será negativo cuando el caudal fluya en sentido contrario al de las manecillas del reloj. (Fig. 29)

0.1815463920: 2
0.09108126401: 3

Fig. 29. – Nueva línea. Red mallada

- **Menú Ingresar Líneas > Líneas de la red**

Permite visualizar todas las líneas de la red que se ingresan y almacenan. Al igual que los anteriores comandos, se puede editar y eliminar. (Fig. 30)

Agregar Linea			
Numero Linea	Longitud (m)	Nudo Inicial	Nudo Final
1	1100	0	1
2	1800	1	2
3	1350	2	3
4	1200	3	4
5	800	4	5
6	1500	1	6
7	450	6	7
8	1400	2	8
9	380	8	9
10	400	8	10
11	1000	3	11
12	1500	4	12

Fig. 30. – Líneas ingresadas



MENÚ OPCIONES DE CÁLCULO

- **Menú Opciones de Cálculo > Cálculo convencional**

Sirve para ejecutar el cálculo de la red por el método convencional y almacena los resultados en una matriz. (Fig. 31)

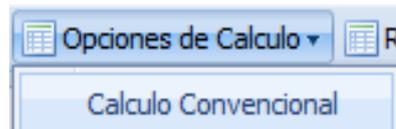


Fig.31. – Generar cálculo convencional

- **Menú Opciones de Cálculo > Cálculo Óptimo-Económico**

Permite ejecutar el cálculo para el diseño económico de la red por el método Simplex (Fig. 32). Esta pestaña se activará, sí y sólo sí, previamente se ejecutó correctamente el diseño convencional.

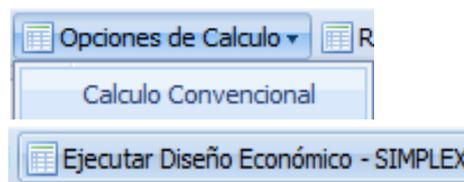


Fig.32. – Generar cálculo económico – SIMPLEX



MENÚ RESULTADOS

- **Menú Resultados > Cálculos convencional**

Nos presentará los resultados del cálculo de la red, correspondiente al diseño convencional, según el tipo de red, métodos escogidos y condiciones de frontera ingresadas para el diseño de la misma. (Fig. 33).

Nudo inicial	Nudo final	Longitud (m)	Cota	Caudal U	Diametro	pt	f	hf	hfnudo	Zhfi	Carga nudo	Velocida
0	1	1100	44	188	0.3756	82	0.01315123542	5.6516	5.6516	49.6516	70.3484	1.6967
1	2	1800	46	154	0.3804	64	0.01365968277	6.0488	11.7004	57.7004	62.2996	1.3550
2	3	1350	52	93	0.3804	64	0.01499910690	1.8167	13.5171	65.5171	54.4829	0.8183
3	4	1200	54	54	0.2996	64	0.01591574080	1.9064	15.4235	69.4235	50.5785	0.7660
4	5	800	67	23	0.1520	64	0.01650779322	7.1144	22.5379	89.5379	30.4621	1.2675
1	6	1500	20	34	0.1502	82	0.01527514454	28.6290	34.2805	54.2805	65.7195	1.9189
6	7	450	15	12	0.0856	64	0.01681011166	19.5838	53.8644	68.8644	51.1356	2.0852
2	8	1400	24	42	0.1520	64	0.01471619541	37.0105	48.7109	72.7109	47.2891	2.3146
8	9	380	18	15	0.1046	64	0.01671412250	9.4300	58.1410	76.1410	43.8590	1.7456
8	10	400	22	12	0.0856	64	0.01681011166	17.4079	66.1188	88.1188	31.8812	2.0852
3	11	1000	36	18	0.1046	64	0.01613120241	34.4885	48.0056	84.0056	35.9944	2.0947
4	12	1500	40	31	0.1520	64	0.01557935821	22.8701	38.2936	78.2936	41.7064	1.7084

Fig. 33. – Resultados cálculo convencional

- **Menú Resultados > Presupuesto convencional**

Presenta el presupuesto del proyecto para el diseño convencional, con base en los precios unitarios ingresados al inicio y con la información que consta en la base de datos. (Fig. 34)

Nudo inicial	Nudo final	Longitud (m)	Diametro (mm)	Diametro comercial (mm)	Costo unitario(\$/m)	Costo total
Nombre: Resultados del Cálculo						
0	1	1100	375.6	375.6	\$663.70	\$730,070.00
1	2	1800	380.4	380.4	\$458.20	\$824,760.00
2	3	1350	380.4	380.4	\$458.20	\$618,570.00
3	4	1200	299.6	299.6	\$278.50	\$334,200.00
4	5	800	152	152	\$70.50	\$56,400.00
1	6	1500	150.2	150.2	\$91.40	\$137,100.00
6	7	450	85.6	85.6	\$22.60	\$10,170.00
2	8	1400	152	152	\$70.50	\$98,700.00
8	9	380	104.6	104.6	\$34.20	\$12,996.00
8	10	400	85.6	85.6	\$22.60	\$9,040.00
3	11	1000	104.6	104.6	\$34.20	\$34,200.00
4	12	1500	152	152	\$70.50	\$105,750.00
						\$2,971,956.00

El presupuesto total en tubería es \$2971956 Dolares

Fig. 34. – Presupuesto cálculo convencional



- **Menú Resultados > Cálculos diseño económico**

A través de esta ventana se visualizan los resultados del cálculo de la red del diseño económico.

- **Menú Resultados > Presupuesto diseño económico**

Esta ventana nos presenta el presupuesto de la red, resultado del diseño económico (ver Fig. 35).

El presupuesto total en tubería es \$2187567,71 Dolares

Nudo inicial	Nudo final	Longitud 1	Longitud 2	Longitud T.	Diametro 1	Diametro 2	Costo unitario(\$/m) 1	Costo unitario(\$/m) 2	Costo total
Nombre: Resultados del Cálculo									
0	1	1100	0	1100.00	375.6	0	\$663.70	\$0.00	\$730,070.00
1	2	976.422	823.578	1800.00	299.6	337.6	\$278.50	\$385.00	\$589,011.06
2	3	1101.88	248.116	1350.00	237.8	299.6	\$174.40	\$278.50	\$261,268.18
3	4	1021.8	178.197	1200.00	190.2	237.8	\$109.40	\$174.40	\$142,862.48
4	5	800	0	800.00	152	0	\$70.50	\$0.00	\$56,400.00
1	6	1500	0	1500.00	150.2	0	\$91.40	\$0.00	\$137,100.00
6	7	450	0	450.00	85.6	0	\$22.60	\$0.00	\$10,170.00
2	8	1400	0	1400.00	152	0	\$70.50	\$0.00	\$98,700.00
8	9	380	0	380.00	104.6	0	\$34.20	\$0.00	\$12,996.00
8	10	400	0	400.00	85.6	0	\$22.60	\$0.00	\$9,040.00
3	11	1000	0	1000.00	104.6	0	\$34.20	\$0.00	\$34,200.00
4	12	1500	0	1500.00	152	0	\$70.50	\$0.00	\$105,750.00
									\$2,187,567.71

Fig. 35. – Presupuesto cálculo económico – SIMPLEX

. MENÚ AYUDA

- **Menú Ayuda > Manual del Usuario**

Nos sirve para descargar el manual del usuario que servirá como ayuda o tutorial (ver Fig. 36)



Fig. 36.- Ayuda (Manual de usuario)



CAPÍTULO III.- CASO PRÁCTICO DE DISEÑO DE UNA RED

El presente capítulo es la aplicación del software propuesto, mediante un caso práctico.

- **Red ramificada**

- **Datos de la red a diseñar**

Para el presente ejemplo utilizaremos los siguientes datos:

Datos

Nudo #	L (m)	Z(m)	Q(m ³ /s)	Q(L/s)
0		120		
1	1100	44		
2	1800	46	0.019	19
3	1350	52	0.021	21
4	1200	54		
5	800	67	0.023	23
6	1500	20	0.022	22
7	450	15	0.012	12
8	1400	24	0.015	15
9	380	18	0.015	15
10	400	22	0.012	12
11	1000	36	0.018	18
12	700	40	0.031	31

Tabla 1.- Datos de la red ramificada a diseñar

- **Material de tubería.** Plástico PVC (e=0.0015mm)
- **Temperatura del agua.** 14 °C (Visco. cinemática = 0.011756 cm²/s)
- **Velocidad máxima.** 2.00 m/s; y **Velocidad mínima.** 0.50 m/s
- **Presión mínima requerida.** 15 m c.a.
- **Presión máxima requerida.** 40 m c.a.



➤ **Selección del tipo de red**

Primeramente se escoge el tipo de red en el menú *“Tipo de red”* así como también se debe seleccionar el método de selección de diámetros a utilizar.

Para este caso se tiene: redes abiertas y el método de velocidad, respectivamente (ver Fig. 14). Posteriormente, en la parte inferior derecha de la pantalla aparecerá el siguiente mensaje “Ejercicio para el tipo de red abierta, usando el método de velocidad” lo que indicará que puede seguir con el ingreso de datos (Fig.36).



Fig.36.- Tipo de red y método escogido para el diseño

➤ **Gráfica de red a modelar**

Seguidamente, se procede a dibujar el esquema que ayuda para el correcto ingreso de datos, tanto de nudos como de líneas. Para realizar la gráfica nos remitiremos al capítulo II del manual, en donde se indican detalladamente los pasos a seguir para crear la misma (Fig37).

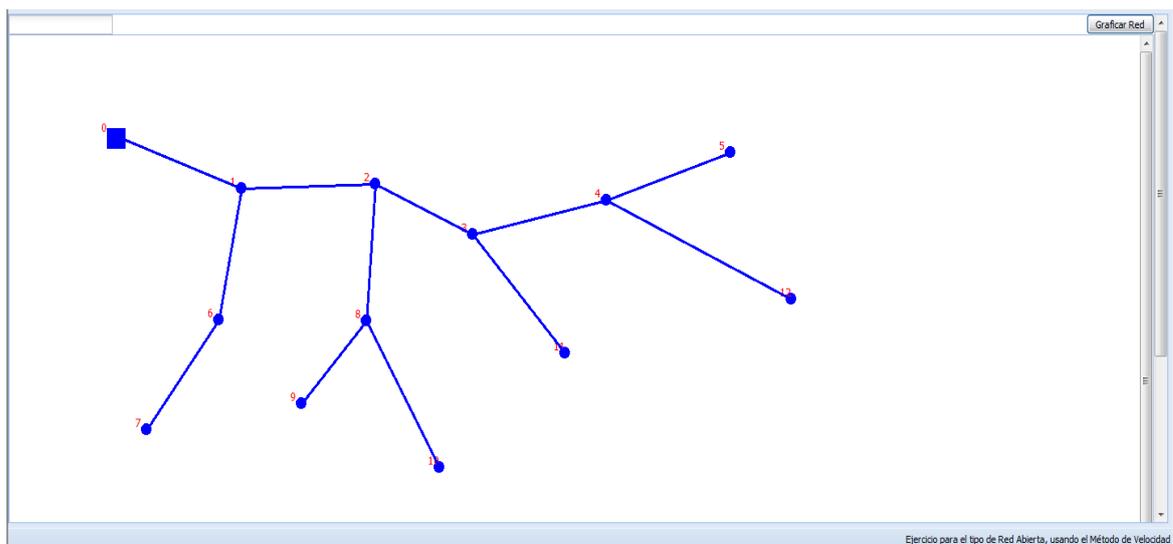


Fig. 37.- Grafica de la red a modelar en el presente ejemplo



➤ **Selección de fórmulas a utilizar**

A continuación se selecciona el método a utilizar para el cálculo de pérdidas de carga, en el menú **“Fórmulas”**; también se ingresan las condiciones de frontera, como son: velocidad máxima y mínima; presión manométrica mínima requerida y máxima permitida. Para el presente ejemplo aplicaremos el procedimiento propuesto por Darcy-Weisbach, incluye el ingreso de los valores de rugosidad, viscosidad cinemática y las condiciones de frontera. (Fig.38 – Fig. 39).

Fig. 38.- Ingreso de datos para cálculo de pérdidas

Fig. 39.- Ingreso de condiciones de frontera



➤ **Ingreso de nudos de la red**

Luego se ingresan los nudos de la red en el menú *“Ingresar nudos – Agregar nudo”*, se registra: la cota, el caudal y tipo de nudo. Estos se numeran automáticamente en forma consecutiva y quedan almacenados en la base de datos respectiva. (Fig.40 – Fig. 41).

Ingreso de nudos

Número: 2

Cota (msnm): 46

Caudal (l/s): 19

Tipo de Nudo: Consumo

Ingresar Cancelar

Fig. 40.- Ingreso de nudos para el diseño de la red

Nudos de la red

Agregar nudo Eliminar nudo

	Numero nudo	Cota (msnm)	Caudal (l/s)	Tipo nudo
Modificar	0	120	0	Fuente
Modificar	1	44	0	Consumo
Modificar	2	46	19	Consumo
Modificar	3	52	21	Consumo
Modificar	4	54	0	Consumo
Modificar	5	67	23	Terminal
Modificar	6	20	22	Consumo
Modificar	7	15	12	Terminal
Modificar	8	24	15	Consumo
Modificar	9	18	15	Terminal
Modificar	10	22	12	Terminal
Modificar	11	36	18	Terminal
Modificar	12	40	31	Terminal

Fig. 41.- Nudos ingresados para el ejercicio



➤ **Ingreso de líneas de la red**

Después se ingresan las líneas que conforman la red en el menú ***“Ingresar líneas – Agregar línea”***, debiéndose incluir: la longitud, nudo inicial y nudo final. Éstas, de igual manera, se enumeran automáticamente y se almacenan en la base de datos creada internamente para cada caso (Fig. 42 – Fig. 43).

Fig. 42.- Ingreso de las líneas para el diseño de red

Agregar línea				
	Numero línea	Longitud (m)	Nudo inicial	Nudo final
	1	1100	0	1
	2	1800	1	2
	3	1350	2	3
	4	1200	3	4
	5	800	4	5
	6	1500	1	6
	7	450	6	7
	8	1400	2	8
	9	380	8	9
	10	400	8	10
	11	1000	3	11
	12	1500	4	12

Fig. 43.- Líneas ingresadas para el presente ejemplo



➤ **Generar diseño convencional de la red**

En este paso, el software selecciona los diámetros de la red desde la base de datos, de tal manera que cumpla con las condiciones ántes ingresadas, para esto es necesario activar el menú *“Opciones de cálculo – Diseño convencional”*, (Fig. 44).

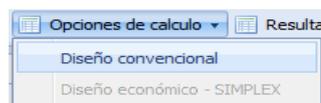


Fig. 44.- Generar diseño convencional

➤ **Generar diseño económico de la red**

Una vez que se tiene el diseño convencional de la red; se efectúa el diseño óptimo-económico de la misma, para esto se activa el menú *“Opciones de cálculo – Diseño económico-SIMPLEX”*. (Fig. 45).

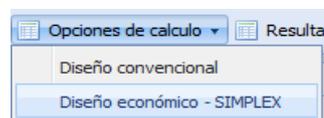


Fig. 45.- Generar diseño económico – SIMPLEX

➤ **Resultados del diseño convencional**

Por último se debe visualizar los resultados del diseño convencional de la red en el menú *“Resultados-cálculos convencional”*, así como también el presupuesto de la misma en *“Resultados-presupuesto convencional”*. (Fig. 46 – Fig. 47)

➤ **Resultados diseño económico**

De igual forma, se debe visualizar los resultados del diseño económico de la red en el menú *“Resultados-cálculos diseño económico”*, y su presupuesto en *“Resultados-presupuesto diseño económico”*. (Fig. 48 – Fig. 49)



Resultados de redes abiertas

Cálculos convencional
 Presupuesto convencional
 Cálculos diseño económico
 Presupuesto diseño económico

Cálculos diseño convencional

Nudo inicial	Nudo final	Longitud (m)	Cota	Caudal U	Diametro	f	hf	hfNudo	Zhfi	Carga nudo	Velocidad
0	1	1100	44	188	0.4000	0.0131708175	4.1318	4.1318	48.1318	71.8682	1.4960
1	2	1800	46	154	0.4000	0.0136503242	4.7019	8.8337	54.8337	65.1663	1.2255
2	3	1350	52	93	0.4000	0.0149893964	1.4122	10.2459	62.2459	57.7541	0.7401
3	4	1200	54	54	0.2996	0.0157522450	1.8868	12.1327	66.1327	53.8673	0.7660
4	5	800	67	23	0.2378	0.0178516065	0.8209	12.9536	79.9536	40.0464	0.5179
1	6	1500	20	34	0.1502	0.0151236124	28.3450	32.4768	52.4768	67.5232	1.9189
6	7	450	15	12	0.1032	0.0172430629	7.8870	40.3638	55.3638	64.6362	1.4346
2	8	1400	24	42	0.1878	0.0151396857	13.2247	22.0584	46.0584	73.9416	1.5162
8	9	380	18	15	0.1032	0.0164991215	9.9575	32.0159	50.0159	69.9841	1.7933
8	10	400	22	12	0.1032	0.0172430629	7.0107	29.0691	51.0691	68.9309	1.4346
3	11	1000	36	18	0.1502	0.0171109527	5.9923	16.2381	52.2381	67.7619	1.0159
4	12	1500	40	31	0.1520	0.0154229974	22.6405	34.7732	74.7732	45.2268	1.7084

Página 1 de 1

Resultados 1 - 12 de 12

Fig. 46.- Resultados cálculo convencional

Resultados de redes abiertas

Cálculos convencional
 Presupuesto convencional
 Cálculos diseño económico
 Presupuesto diseño económico

Presupuesto diseño convencional

Nudo inicial	Nudo final	Longitud (m)	Diametro (mm)	Diametro comercial (mm)	Costo unitario(\$/m)	Costo total
0	1	1100	400	400.001	\$875.00	\$962,500.00
1	2	1800	400	400.001	\$875.00	\$1,575,000.00
2	3	1350	400	400.001	\$875.00	\$1,181,250.00
3	4	1200	299.6	299.6	\$278.50	\$334,200.00
4	5	800	237.8	237.8	\$174.40	\$139,520.00
1	6	1500	150.2	150.2	\$91.40	\$137,100.00
6	7	450	103.2	103.2	\$41.70	\$18,765.00
2	8	1400	187.8	187.8	\$133.00	\$186,200.00
8	9	380	103.2	103.2	\$41.70	\$15,846.00
8	10	400	103.2	103.2	\$41.70	\$16,680.00
3	11	1000	150.2	150.2	\$91.40	\$91,400.00
4	12	1500	152	152	\$70.50	\$105,750.00
						\$4,764,211.00

Nombre: Resultados del Cálculo

El presupuesto total en tubería es \$4764211 Dolares

Fig. 47.- Presupuesto de diseño convencional



CAPÍTULO VI

Manual del usuario. DERAP V1.0



Resultados de redes abiertas

Cálculos convencional Presupuesto convencional Cálculos diseño económico Presupuesto diseño económico

Cálculos diseño económico

Nudo inicial	Nudo final	Cota nudo inicial	Longitud 1	Longitud 2	Longitud T.	Diametro 1	Diametro 2	f1	hf 1	f2	hf 2	hfNudo	Zhfi	Carga nudo	Velocidad 1	Velocidad 2
0	1	44	1100	0	1100.00	400	0	0.0131708175	4.1318	0	0.0000	4.1318	48.1318	71.8682	1.4960	0.0000
1	2	46	976.422	823.578	1800.00	337.6	299.6	0.01311139194	4.8260	0.01283513491	10.1740	15.0000	61.0000	59.0000	1.7204	2.1845
2	3	52	1101.88	248.116	1350.00	299.6	237.8	0.0140755393	1.0339	0.0134868330	13.9660	15.0000	67.0000	53.0000	1.3192	2.0940
4	5	67	800	0	800.00	237.8	0	0.01785160654	0.8209	0	0.0000	0.8209	79.9536	40.0464	0.5179	0.0000
3	4	54	1021.8	178.197	1200.00	237.8	190.2	0.01493383261	0.8432	0.0143133866	14.1568	15.0000	69.0000	51.0000	1.2159	1.9006
2	8	24	157.835	1242.16	1400.00	190.2	152	0.01501441551	10.9208	0.0143868298	4.0792	15.0000	39.0000	81.0000	1.4782	2.3146
4	12	40	1500	0	1500.00	152	0	0.01542299744	22.6405	0	0.0000	22.6405	74.7732	45.2268	1.7084	0.0000
3	11	36	334.47	665.53	1000.00	152	104.6	0.0169833334	3.7294	0.0157609383	11.2706	15.0000	51.0000	69.0000	0.9920	2.0947
1	6	20	1500	0	1500.00	150.2	0	0.0151236124	28.3450	0	0.0000	28.3450	52.4768	67.5232	1.9189	0.0000
8	10	22	323.858	76.1422	400.00	104.6	85.6	0.01709369434	1.2368	0.0164153954	13.7632	15.0000	37.0000	83.0000	1.3965	2.0852
6	7	15	292.925	157.075	450.00	104.6	85.6	0.01709369434	2.5513	0.0164153954	12.4487	15.0000	30.0000	90.0000	1.3965	2.0852
8	9	18	380	0	380.00	103.2	0	0.0164991215	9.9575	0	0.0000	9.9575	50.0159	69.9841	1.7933	0.0000

Página 1 de 1

Resultados 1 - 12 de 12

Fig. 48.- Resultados diseño económico – SIMPLEX

Resultados de redes abiertas

Cálculos convencional Presupuesto convencional Cálculos diseño económico Presupuesto diseño económico

Presupuesto diseño económico

ECONOMÍA : \$2072819 Dolares

Nudo inicial	Nudo final	Longitud 1	Longitud 2	Longitud T.	Diametro 1	Diametro 2	Costo unitario(\$/m) 1	Costo unitario(\$/m) 2	Costo total
0	1	1100	0	1100.00	400	0	\$875.00	\$0.00	\$962,500.00
1	2	976.422	823.578	1800.00	337.6	299.6	\$385.00	\$278.50	\$605,288.94
2	3	1101.88	248.116	1350.00	299.6	237.8	\$278.50	\$174.40	\$350,145.01
3	4	1021.8	178.197	1200.00	237.8	190.2	\$174.40	\$109.40	\$197,696.67
4	5	800	0	800.00	237.8	0	\$174.40	\$0.00	\$139,520.00
1	6	1500	0	1500.00	150.2	0	\$91.40	\$0.00	\$137,100.00
6	7	292.925	157.075	450.00	104.6	85.6	\$34.20	\$22.60	\$13,567.93
2	8	157.835	1242.16	1400.00	190.2	152	\$109.40	\$70.50	\$104,839.43
8	9	380	0	380.00	103.2	0	\$41.70	\$0.00	\$15,846.00
8	10	323.858	76.1422	400.00	104.6	85.6	\$34.20	\$22.60	\$12,796.76
3	11	334.47	665.53	1000.00	152	104.6	\$70.50	\$34.20	\$46,341.26
4	12	1500	0	1500.00	152	0	\$70.50	\$0.00	\$105,750.00
									\$2,691,392.00

El presupuesto total en tubería es \$2691392 Dolares

Fig. 49.- Presupuesto de diseño económico – SIMPLEX



- **Red mallada**

- **Datos de la red a diseñar**

Los datos para el presente ejemplo son los siguientes:

Datos de nudos:

Nudo	Caudal (m ³ /s)	Caudal (L/s)
1	0,00	0,00
2	0,06	60,00
3	0,04	40,00
4	0,03	30,00
5	0,03	30,00
6	0,04	40,00

Datos de conexiones:

Circuito	Nudo inicial	Nudo final	Longitud (m)
1	1	2	500
1	2	5	200
1	5	6	600
1	6	1	300
2	2	3	400
2	3	4	200
2	4	5	400
2	5	2	200

Tabla 2.- Datos de los nudos y conexiones de la red mallada a diseñar

- **Selección del tipo de red**

Primeramente se debe seleccionar el tipo de red en el menú *"Tipo de red"* así como también el método para la selección de diámetros a utilizar. Para el presente caso tenemos: redes malladas – método corrección caudales.



➤ **Gráfica de red a modelar**

Seguidamente, se procede a dibujar el esquema que ayuda para el correcto ingreso de datos, tanto de nudos como de líneas. Para realizar la gráfica nos remitiremos al capítulo II del manual, en donde se indican detalladamente los pasos a seguir para crear la misma (Fig50).

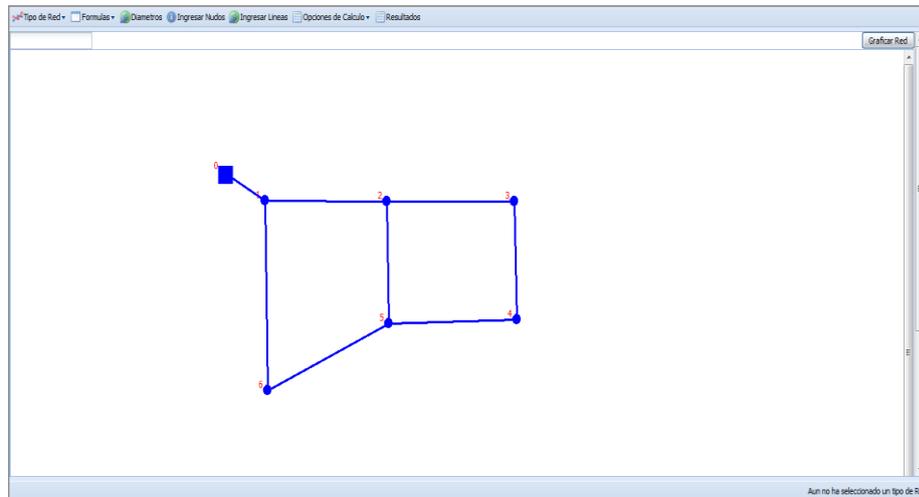


Fig. 50. – Gráfica de red mallada a diseñar

➤ **Selección de fórmulas a utilizar**

Se escoge el método a utilizar para el cálculo de pérdidas de carga en el menú **“Fórmulas”**; también se ingresarán las condiciones de frontera, como son: velocidad máxima y mínima; presión manométrica mínima requerida y máxima permitida.

➤ **Ingreso de nudos de la red**

Se debe ingresar los nudos de la red en el menú **“Ingresar nudos – Agregar nudo”**, se registra: la cota, el caudal, y tipo de nudo. Estos se enumeran automáticamente en forma consecutiva y quedan almacenados en la base de datos para el presente ejemplo.



➤ **Ingreso de líneas de la red**

Posteriormente se debe ingresar las líneas de la red en el menú *“Ingresar líneas – Agregar línea”*, se incluye: el número de circuito a la cual corresponde la línea, la longitud, nudo inicial, nudo final y el caudal que circulará por la línea sin dejar de considerar el signo correspondiente.

➤ **Generar diseño convencional de la red**

En el presente paso se genera el diseño de la red, para esto se da un click en el menú *“Opciones de cálculo – Cálculo convencional”*, y de forma automática el programa realiza los cálculos correspondientes para el diseño convencional de la red.

➤ **Generar diseño económico de la red**

Una vez que se cuenta con el diseño convencional de la red; se genera el diseño óptimo-económico de la misma, para esto, se activa en el menú *“Opciones de cálculo – Cálculo diseño económico”*.



➤ **Resultados diseño convencional**

Se puede visualizar los resultados del diseño convencional de la red en el menú **“Resultados-Cálculos diseño convencional”**, así como también el presupuesto de la misma en **“Resultados-Presupuesto diseño convencional”**. (Fig. 51 – Fig. 52)

Circuito	Numero linea	Longitud (m)	Caudal	Diametro	f	HL	HL_Q	DeltaQ	DeltaQPrima	Nuevo caudal
1	1	500	0.1200	0.2642	0.01327878333974	6.1367	51.1392	0.00187376868338	0	0.1219
1	2	200	0.0100	0.0911	0.01745439306109	4.6016	460.1620	0.00187376868338	0.00055846649907	0.0113
1	3	600	-0.0400	0.1650	0.01492241442603	-9.6818	242.0459	0.00187376868338	0	-0.0381
1	4	300	-0.0800	0.2221	0.01385315118234	-4.0704	50.8795	0.00187376868338	0	-0.0781
2	5	400	0.0500	0.1815	0.01456543213417	6.1025	122.0496	0.00055846649907	0	0.0506
2	6	200	0.0100	0.0911	0.01745439306109	4.6016	460.1620	0.00055846649907	0	0.0106
2	7	400	-0.0200	0.1226	0.01611630904550	-7.6966	384.8286	0.00055846649907	0	-0.0194
2	8	200	-0.0100	0.0911	0.01745439306109	-4.6016	460.1620	0.00055846649907	0.00187376868338	-0.0113
1	1	500	0.1219	0.2642	0.01324256837685	6.3126	51.7961	0.00042312595848	0	0.1223
1	2	200	0.0113	0.0911	0.01702943457970	5.7483	508.0101	0.00042312595848	0.00059137488305	0.0111
1	3	600	-0.0381	0.1650	0.01505692806328	-8.8753	232.7871	0.00042312595848	0	-0.0377
1	4	300	-0.0781	0.2221	0.01391246729830	-3.8985	49.9006	0.00042312595848	0	-0.0777
2	5	400	0.0506	0.1815	0.01453564534306	6.2268	123.1605	0.00059137488305	0	0.0511
2	6	200	0.0106	0.0911	0.01726548569384	5.0744	480.6021	0.00059137488305	0	0.0111
2	7	400	-0.0194	0.1226	0.01620499873185	-7.3128	376.1415	0.00059137488305	0	-0.0189
2	8	200	-0.0113	0.0911	0.01702943457970	-5.7483	508.0101	0.00059137488305	0.00042312595848	-0.0111
1	1	500	0.1223	0.2642	0.01323448939768	6.3526	51.9442	0.00036558013395	0	0.1227

Fig. 51.- Resultados diseño convencional

Nudo inicial	Nudo final	Longitud (m)	Caudal (Vs)	Diametro (mm)	Diametro comercial (mm)	Costo unitario(\$/m)	Costo total
1	2	500	122.94	266.95	284.8	\$526.00	\$263,000.00
5	6	600	-37.06	159.68	180.8	\$225.00	\$135,000.00
6	1	300	-77.06	218.53	226	\$349.00	\$104,700.00
2	3	400	51.56	183.95	184.6	\$175.00	\$70,000.00
3	4	200	11.56	96.92	99.4	\$61.80	\$12,360.00
4	5	400	-18.44	118.39	144.6	\$132.00	\$52,800.00
5	2	200	-11.38	96.26	99.4	\$61.80	\$12,360.00
							\$650,220.00

El presupuesto total en tubería es \$650220 Dolares

Fig. 52.- Presupuesto diseño convencional





➤ **Resultados diseño económico**

De igual manera, se podrá observar los resultados del diseño económico de la red en el menú *“Resultados-Cálculos diseño económico”*, así mismo el presupuesto de la misma en *“Resultados-Cálculos diseño económico”*. (Fig. 53 – Fig. 54)

Nudo inicial	Nudo final	Cota nudo inicial	Longitud 1	Longitud 2	Longitud T.	Diametro 1	Diametro 2	f 1	hf 1	f 2	hf 2	hfNudo	Zhfi	Carga nudo	Velocidad 1	Velocidad 2
1	2	100	500	0	500.00	286.95	0	0.01324589570	4.4143	0	0.0000	4.4143	104.4143	15.5857	1.9298	0.0000
6	1	95	300	0	300.00	218.53	0	0.01383196069	3.4534	0	0.0000	3.4534	98.4534	21.5466	1.9210	0.0000
2	3	92	400	0	400.00	183.95	0	0.01435758579	5.8848	0	0.0000	5.8848	97.8848	22.1152	1.9265	0.0000
5	6	90	471.594	128.406	600.00	152	144.6	0.01473244302	2.6459	0.01459325408	12.3541	15.0000	105.0000	15.0000	2.0423	2.2567
4	5	75	94.2775	305.723	400.00	104.6	99.4	0.01568637149	10.7606	0.01553066776	4.2394	15.0000	90.0000	30.0000	2.1459	2.3763
3	4	80	200	0	200.00	96.92	0	0.01704630949	3.8794	0	0.0000	3.8794	83.8794	36.1206	1.4897	0.0000
5	2	90	200	0	200.00	96.26	0	0.01710091620	3.7716	0	0.0000	3.7716	93.7716	26.2284	1.4665	0.0000

Fig. 53.- Resultados diseño económico – SIMPLEX

Nudo inicial	Nudo final	Longitud 1	Longitud 2	Longitud T.	Diametro 1	Diametro 2	Costo unitario(\$/m) 1	Costo unitario(\$/m) 2	Costo total
1	2	500	0	500.00	286.95	0	\$526.00	\$0.00	\$263,000.00
5	6	471.594	128.406	600.00	152	144.6	\$70.50	\$132.00	\$50,196.94
6	1	300	0	300.00	218.53	0	\$349.00	\$0.00	\$104,700.00
2	3	400	0	400.00	183.95	0	\$175.00	\$0.00	\$70,000.00
3	4	200	0	200.00	96.92	0	\$61.80	\$0.00	\$12,360.00
4	5	94.2775	305.723	400.00	104.6	99.4	\$34.20	\$61.80	\$22,117.97
5	2	200	0	200.00	96.26	0	\$61.80	\$0.00	\$12,360.00
									\$534,734.94

ECONOMÍA : \$115485,06 Dolares

El presupuesto total en tubería es \$534734,94 Dolares

Fig. 54.- Presupuesto diseño económico – SIMPLEX





CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

7.1.1 Actividades cumplidas

- ✓ Se analizó y diseñó por el método convencional.
 - a) redes ramificadas, con selección de diámetros por velocidades y pendiente uniforme; así como,
 - b) redes malladas, por el método de Hardy-Cross con balance de caudales y de alturas piezométricas.
- ✓ Se diseñó redes ramificadas y malladas por el método óptimo-económico, con el empleo de la programación lineal mediante el algoritmo Simplex.
- ✓ Se elaboró un software de acceso libre y aplicación on-line (DERAP V1.0) para el diseño convencional y óptimo-económico de redes ramificadas y redes malladas.

7.1.2 Conclusiones de diseño convencional de redes

- ✓ Se puede ver que en el diseño de redes ramificadas, el método de velocidad proporciona un diseño más económico que el método de pendiente hidráulica.
- ✓ En el diseño de redes malladas, los resultados que se obtienen con la aplicación del método de corrección de caudales son más conservadores, que el método de corrección de alturas piezométricas.



7.1.3 Conclusiones del diseño económico de redes

- ✓ El diseño económico de redes ramificadas es más conservador cuando se realiza el mismo mediante la aplicación del método por velocidad. ya que se obtiene un mejor diseño que con el método de la pendiente uniforme. Ver *Anexo 4*.
- ✓ Se desarrolló e implementó un software de acceso libre y aplicación on-line, para el diseño económico de redes de distribución de agua.
- ✓ El software de aplicación opera directamente con diámetros de tubería disponibles en el mercado local, previamente introducidas en la base de datos, con sus características físicas, según el mercado nacional (Ecuador).
- ✓ La obtención de la solución óptimo-económica consta de dos etapas. La primera que es de un pre-dimensionamiento o cálculo convencional para asignar un primer diámetro comercial a cada línea; y la segunda, es su optimización que implica la aplicación directa del algoritmo Simplex.

7.2 Recomendaciones

7.2.1 Recomendaciones del software

- ✓ DERAP V1.0 requiere que en su próxima versión se le incluya.
 - a) Más versatilidad en el ingreso de datos como: edición de datos, ingreso de coeficientes de rugosidad, función atrás, entre otras, en futuras programaciones.
 - b) Un entorno gráfico en el que permita trabajar directamente desde el dibujo.
 - c) Importar datos desde hojas electrónicas y otros software de análisis y diseño hidráulico.
 - d) Opciones de impresión y exportación de archivos de resultados.



7.2.2 Recomendaciones de las metodologías

- ✓ Realizar el cálculo del factor de fricción mediante el método de Colebrook-White, ya que éste utiliza las características físicas (diámetro, rugosidad de la tubería) e hidráulicas (temperatura del agua) propias del sistema a diseñar
- ✓ Se recomienda la metodología convencional por velocidades, ya que ésta nos proporciona un diseño más conservador que el de pendiente uniforme.
- ✓ De igual manera es recomendable utilizar el método de corrección de caudales para un diseño de una red mallada.



Anexos:

- Anexo 1: Almacenamiento y procesamiento de datos para aplicación del método simplex.
- Anexo 2: Análisis de precios unitarios
- Anexo 3: Código de programación – SIMPLEX
- Anexo 4: Comparación de resultados
- Anexo 5: Nomenclatura utilizada en el software



8.1 Anexo 1: Almacenamiento y procesamiento de datos para la ejecución del método Simplex.

Todos los datos utilizados en el programa se almacenan en lo que se denomina Store, que es una estructura que permite contener a los mismos y que son accedidos desde la ejecución del programa, para almacenar los datos realizar lo indicado anteriormente se tiene el siguiente proceso:

1. Se realiza la definición del Store

```
<ext:Store runat="server" ID="stoDatosNudos">
  <Reader>
    <ext:JsonReader ReaderID="Id">
      <Fields>
        <ext:RecordField Name="Id" />
        <ext:RecordField Name="Numero" />
        <ext:RecordField Name="Cota" Type="Float" />
        <ext:RecordField Name="Caudal" Type="Float" />
        <ext:RecordField Name="TipoNudoId" />
        <ext:RecordField Name="TipoNudo" />
        <ext:RecordField Name="X" Type="Float" DefaultValue="0" />
        <ext:RecordField Name="Y" Type="Float" DefaultValue="0" />
      </Fields>
    </ext:JsonReader>
  </Reader>
</ext:Store>
```

2. Se usa la siguiente función JavaScript para insertar los datos desde el formulario al Store.

```
<script type="text/javascript" language="javascript">
function IngresarNudo(form)
{
  if(form.isValid())
  {
    var tipoNudoId = parseInt(<%=cbxTipoNudo.ClientID %>.getValue());
    var tipoNudo="";
    switch (tipoNudoId)
    {
      case 1: tipoNudo="Fuente";
      break;
      case 2: tipoNudo="Consumo";
      break;
      case 3: tipoNudo="Linea";
      break;
      case 4: tipoNudo="Terminal";
      break;
    }
    var opRecord;
    var opRecordType = dgpNudos.store.recordType;
```



```

opRecord = new opRecordType();
opRecord.data = new Object();
opRecord.set('Numero', <%=nfNumero.ClientID %>.getValue());
opRecord.set('Cota', <%=nfCota.ClientID %>.getValue());
opRecord.set('Caudal', <%=nfCaudal.ClientID %>.getValue());
opRecord.set('TipoNudold', tipoNudold);
opRecord.set('TipoNudo', tipoNudo);
dgpNudos.store.add(opRecord);

<%= fpIngresoNudo.ClientID %>.getForm().reset();
<%= nfNumero.ClientID %>.setValue(<%=stoDatosNudos.ClientID %>.getCount()+1);
}
else
    MostrarMensajeError('Debe ingresar todos los datos');
};
</script>

```

3. Este formulario es usado para ingresar los datos:

```

<ext:Window ID="winIngresoNudo" runat="server" Title="Ingreso de nudos"
ShowOnLoad="false" Modal="true" Width="500" ButtonAlign="Center"
Resizable="false" CenterOnLoad="true" AutoHeight="true" Y="5"
BodyStyle="padding:10px;">
<Body>
<ext:FormPanel ID="fpIngresoNudo" runat="server" Border="false"
BodyStyle="background-color:transparent;" LabelWidth="130">
<Body>
<ext:FormLayout ID="FormLayout1" runat="server">
<ext:Anchor Horizontal="95%">
<ext:NumberField ID="nfNumero" runat="server" FieldLabel="Número"
AllowDecimals="false" AllowBlank="false">
</ext:NumberField>
</ext:Anchor>
<ext:Anchor Horizontal="95%">
<ext:NumberField ID="nfCota" runat="server" AllowBlank="false"
FieldLabel="Cota (msnm)" DecimalPrecision="2" >
</ext:NumberField>
</ext:Anchor>
<ext:Anchor Horizontal="95%">
<ext:NumberField ID="nfCaudal" runat="server" AllowBlank="false"
FieldLabel="Caudal (l/s)" DecimalPrecision="2">
</ext:NumberField>
</ext:Anchor>
<ext:Anchor Horizontal="95%">
<ext:ComboBox runat="server" ID="cbxTipoNudo" Editable="false"
AllowBlank="false" FieldLabel="Tipo de Nudo">
<Items>
<ext:ListItem Text="Fuente" Value="1" />
<ext:ListItem Text="Consumo" Value="2" />
<ext:ListItem Text="Linea" Value="3" />
<ext:ListItem Text="Terminal" Value="4" />
</Items>
</ext:ComboBox>
</ext:Anchor>
</ext:FormLayout>
</Body>
</ext:FormPanel>
</Body>
<Buttons>
<ext:Button ID="btnIngresar" runat="server" Text="Ingresar">
<Listeners>
<Click Handler="IngresarNudo ({fpIngresoNudo}.getForm());" />
</Listeners>
</ext:Button>
<ext:Button ID="btnCancelar" runat="server" Text="Cancelar">
<Listeners>
<Click Handler="#{fpIngresoNudo}.getForm().reset();" />
</Listeners>
</ext:Button>
</Buttons>

```

ANEXOS

Anexo 1: Almacenamiento y procesamiento de datos para la ejecución del método simplex



```
                                #{winIngresoNudo}.hide();" />
    </Listeners>
  </ext:Button>
</Buttons>
<Listeners>
  <Show Handler="#{nfNumero}.setValue("#{stoDatosNudos}.getCount()+1);" />
</Listeners>
</ext:Window>
```

Como podemos apreciar en este último código hace uso de la función de ingresar los datos del nudo así como también usa el Store para almacenar los datos.

Este último código es interpretado por el navegador de la siguiente forma:

De esta forma el usuario va ingresando cada uno cxcaw de los datos que luego serán procesados por la aplicación.

De igual manera ahora mostraremos los pasos que se han programado para aplicar el método Simplex

1. Se realiza el cálculo de las matrices teniendo como datos de entrada los diámetros y el presupuesto obtenido del cálculo convencional.

El siguiente código muestra el proceso antes mencionado.

```
1  protected void Simplex_CC(object sender, AjaxEventArgs e)
2  {
3      hidDatosEntradaSimplex.Text = "";
4      int i = 0;
5      string datosSimplex = "";
6      string jsonDiametros = e.ExtraParams["listaDiametros"];
7      var metodoSimplex = new MetodoSimplex();
8      DsResultadosFinales presupuesto;
9      presupuesto = (DsResultadosFinales)Session["PresupuestoCC"];
10     metodoSimplex.CalculoMatrices(presupuesto, jsonDiametros);
11     foreach (DataRow item in presupuesto.ResultadoFinal.Rows)
12     {
13         i++;
14         datosSimplex = metodoSimplex.ObtenerFuncionObj Restricciones(i, Convert.ToDouble(item[6]),
```

ANEXOS

Anexo 1: Almacenamiento y procesamiento de datos para la ejecución del método simplex



```
15 Convert.ToDouble(item[2]));
16 hidDatosEntradaSimplex.Text += datosSimplex + "|";
17 }
18 Session["MetodoSimplex"] = metodoSimplex;
19 }
```

Como se puede observar en la línea 6 se obtienen los diámetros y en la línea 9 el presupuesto del cálculo convencional; para en la línea 10 enviar a realizar el cálculo de las Matrices.

2. En los dos siguientes métodos se explica el proceso de la formulación de la función objetivo a la que se le empleará el método simplex.

```
1 Public Sub CalculoMatrices(ByVal resultados As DsResultadosFinales, ByVal jsonDiametros As String)
2     datosResultados = New DsResultadosFinales
3     datosDiametros = JSON.Deserialize(Of List(Of Diametro))(jsonDiametros)
4     datosResultados = resultados
5     ND = datosDiametros.Count
6     NN = datosResultados.ResultadoFinal.Rows.Count
7     ContruirMatrizVelocidadesCR()
8     ContruirMatrizReynoldsCR()
9     ContruirMatrizFriccionesCR()
10    ContruirMatrizPerdidasCR()
11 End Sub
12
```

En este método se realizan los cálculos para las matrices de:

- Velocidades
- Reynolds
- Fricciones
- Perdidas

3. La siguiente función permite generar la función objetivo y sus respectivas restricciones.

```
1 Public Function ObtenerFuncionObj_Restricciones(ByVal indice As Integer, ByVal precio As Double,
2 ByVal longitud As Double) As String
3     diametrosSeleccionados = New List(Of Integer)
4     costoDiamSeleccionados = New List(Of Double)
5     perdidasSeleccionadas = New List(Of Double)
6     Dim result As String = "" : Dim res1 As String = "" : Dim res2 As String = ""
7     ND = datosDiametros.Count
8     For index1 As Integer = 1 To ND
9         If MatrizPerdidasR(indice, index1) > 0 And
10            datosDiametros(index1 - 1).Precio <= precio Then
11            diametrosSeleccionados.Add(index1 - 1)
12            costoDiamSeleccionados.Add(datosDiametros(index1 - 1).Precio)
```

ANEXOS

Anexo 1: Almacenamiento y procesamiento de datos para la ejecución del método simplex



```
13     perdidasSeleccionadas.Add(MatrizPerdidasR(indice, index1))
14     End If
15 Next
16 If (diametrosSeleccionados.Count > 0) Then
17     result = String.Format("{0}Minimize p = ", result)
18 Else
19     result = "No hay diametros candidatos"
20 End If
21 For index As Integer = 0 To costoDiamSeleccionados.Count - 1
22     If index = costoDiamSeleccionados.Count - 1 Then
23         result = String.Format("{0} {1}l{2} subject to {3}", result,
24             costoDiamSeleccionados(index), diametrosSeleccionados(index),
25             Environment.NewLine)
26         res1 = String.Format("{0} l{1} = {2} {3}", res1,
27             diametrosSeleccionados(index), longitud, Environment.NewLine)
28         res2 = String.Format("{0} {1}l{2} = {3} {4}", res2,
29             perdidasSeleccionadas(index), diametrosSeleccionados(index), PMin,
30             Environment.NewLine)
31     Else
32         result = String.Format("{0} {1}l{2} + ", result,
33             costoDiamSeleccionados(index), diametrosSeleccionados(index))
34         res1 = String.Format("{0}l{1} + ", res1, diametrosSeleccionados(index))
35         res2 = String.Format("{0}{1}l{2} + ", res2,
36             perdidasSeleccionadas(index), diametrosSeleccionados(index))
37     End If
38 Next
39 result = String.Format("{0}{1}{2}", result, res1, res2).Replace(",", ".")
40 Return result
41 End Function
```

En la línea 9 solo se selecciona las pérdidas que son mayores a cero, ya que si cumple esta condición, no se lograría tener una optimización con el método simplex, debido a que no existirían diámetros candidatos con los cuales probar.

4. Para finalizar, se aplica el código de programación, que sirve para enviar a ejecutar el método Simplex y luego la recuperación de los resultados

```
1 function EjecutarSimplex()
2     {
3         <%=this.stoDiametrosSeleccionados.ClientID %>.removeAll();
4         var resMS = "";
5         var valores = "";
6         valores = hidDatosEntradaSimplex.getValue();
7
8         var datosS = valores.split('|');
9         for (var i = 0; i < datosS.length-1; i++)
10            {
11                if(datosS[i].search('No')== -1)
12                    {
13                        dolt(2);
14
15                        dolt(1, datosS[i]);
16                        resMS=resMS.concat(respuestaMetodo);
17                        resMS=resMS.concat('|');
18                        dolt(3);
19                    }
20                else
21                    {
```



```
22     resMS=resMS.concat('No hay diámetros candidatos');
23     resMS=resMS.concat('|');
24 }
25 }
26 hidRespuestas.setValue(resMS);
27
28 var respuestas = hidRespuestas.getValue().split('|');
29 var conAux=0;
30 for(var i =0 ;i<respuestas.length-1;i++)
31 {
32     var nf=<%=this.stoDiametrosSeleccionados.ClientID %>.getCount();
33     var newrec = <%=this.stoDiametrosSeleccionados.ClientID %>.insertRecord(nf, {});
34     newrec.newRecord = true;
35     newrec.set('d1', 0);
36     newrec.set('d2', 0);
37     newrec.set('l1', 0);
38     newrec.set('l2', 0);
39     if(respuestas[i].search('No')== -1)
40     {
41         var itemRespuesta = respuestas[i].split(';');
42         var solucionLongitudes = itemRespuesta[1].replace(' ','').split(',');
43
44         conAux=0;
45         for(var j = 0; j<solucionLongitudes.length;j++)
46         {
47             var valoresLongitud = solucionLongitudes[j].split('=');
48             if(parseInt(valoresLongitud[1])>0)
49             {
50                 if(conAux==0)
51                 {
52                     newrec.set('d1', valoresLongitud[0].replace('l',''));
53                     newrec.set('l1', valoresLongitud[1]);
54
55                                     conAux=1;
56                                     }
57                                     else
58                                     {
59                                         newrec.set('d2', valoresLongitud[0].replace('l',''));
60                                         newrec.set('l2', valoresLongitud[1]);
61                                         conAux=1;
62                                     }
63             }
64         }
65     }
66 }
```

En la línea 11 se verifica si existen diámetros candidatos, si este es el caso se envía a ejecutar el método simplex, caso contrario mostrará un mensaje informando que no hay diámetros candidatos.

En la línea 15 enviamos la función objetivo al método Simplex y en la línea siguiente se obtiene el resultado de la ejecución del método.

Desde la línea 26 en adelante, se realiza un tratamiento a los resultados para que puedan ser mostrados en las tablas de resultados de la ejecución del Método Simplex

ANEXOS

Anexo 1: Almacenamiento y procesamiento de datos para la ejecución del método simplex



Este es el procedimiento principal que el software realiza internamente para el ingreso de datos, lectura de los mismos y ejecución del método simplex aplicado al diseño económico de redes de agua potable.



8.2 Anexo 2: Análisis de precios unitarios

Los análisis de precios unitarios que se crearon para el presente proyecto se basan en los A.P.U. que presenta la Cámara de la Construcción de Loja, especialmente en lo que se refiere a los rendimientos; los salarios de mano de obra se tomaron de la tabla que nos proporciona la Contraloría General del Estado; y por último los precios de tubería fueron tomados de la lista de precios de la marca PLASTIGAMA.

Estos precios, principalmente nos sirven para conseguir el valor del costo por metro lineal de tubería instalada en un sistema de agua potable; una vez obtenido este costo, y multiplicado por los metros lineales totales que consta dicho sistema, se obtiene el costo total del proyecto.

ANEXOS

Anexo 2: Análisis de precios unitarios



Análisis de precios unitarios

Rubro:	Excavación manual sin clasificar	Unidad:	Rendimiento (H/U):
		m ³	2.100

Equipo

Descripción	Cantidad	Tarifa	Rend. / Hora	Costo total
Herramientas manuales(5% M.O.)	1.000			0,512
Subtotal (A)				0.512

Mano de obra

Descripción	Cantidad	Jornal./Hora	Rend. H/U	Costo total
Albañil	1.00	2.44	2.100	5,124
Peón	1.00	2.44	2.100	5,124
Subtotal (B)				10.248

Materiales

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo total
Subtotal (C)				0.000

Transporte

Descripción	Unidad	Cantidad	C. Transporte	Costo total
Subtotal (D)				0.000

Costo unitario directo(A+B+C+D) 10.760
Indirectos y utilidades (20%) 2.152

Precio calculado en dólares 12.912

Precio unitario adoptado **12.91**

ANEXOS

Anexo 2: Análisis de precios unitarios



Análisis de precios unitarios

Rubro:	Excavación a máquina	Unidad:	Rendimiento (H/U):	
		m ³	0.083	
Equipo				
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Tarifa</i>	<i>Rend. H/U</i>	<i>Costo total</i>
Herramientas manuales(5% M.O.)	1.000			0,031
Retroexcavadora	1.000	25.0000	0.083	2,083

Subtotal (A) 2.114

Mano de obra				
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Jornal / Hora</i>	<i>Rend. H/U</i>	<i>Costo total</i>
Operador de retroexcavadora	1.00	2.56	0.083	0,213
Ayudante de maquinaria pesada	1.00	2.44	0.083	0,203
Peón	1.00	2.44	0.083	0,203

Subtotal (B) 0.619

Materiales				
<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio unitario</i>	<i>Costo total</i>

Subtotal (C) 0.000

Transporte				
<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>C. Transporte</i>	<i>Costo total</i>

Subtotal (D) 0.000

Costo unitario directo(A+B+C+D) 2.733

Indirectos y utilidades (20%) 0.547

Precio calculado en dólares 3.280

Precio unitario adoptado 3.28

ANEXOS

Anexo 2: Análisis de precios unitarios



Análisis de precios unitarios

Rubro:	Razanteo de zanja	Unidad:	Rendimiento (H/U):	
		m	0.125	
Equipo				
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Tarifa</i>	<i>Rend. H/U</i>	<i>Costo total</i>
Herramientas manuales(5% M.O.)	1.000			0.031

Subtotal (A) 0.031

Mano de obra				
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Jornal / Hora</i>	<i>Rend. H/U</i>	<i>Costo total</i>
Albañil	1.00	2.44	0.125	0,305
Peón	1.00	2.44	0.125	0,305

Subtotal (B) 0.610

Materiales				
<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio unitario</i>	<i>Costo total</i>

Subtotal (C) 0.000

Transporte				
<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>C. Transporte</i>	<i>Costo total</i>

Subtotal (D) 0.000

Costo unitario directo(A+B+C+D) 0.614

Indirectos y utilidades(20%) 0.128

Precio calculado en dólares 0.769

Precio unitario adoptado 0.77

ANEXOS

Anexo 2: Análisis de precios unitarios



Análisis de precios unitarios

Rubro:	Relleno compactado con material de mejoramiento. <i>No incluye material de mejoramiento</i>	Unidad:	Rendimiento (H/U):	
		m ³	0.550	
Equipo				
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Tarifa</i>	<i>Rend. H/U</i>	<i>Costo total</i>
Herramientas manuales(5% M.O.)	1.000			0,202
Compactador mecánico	1.000	3.0000	0.550	1,650

Subtotal (A) 1.852

Mano de obra				
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Jornal / Hora</i>	<i>Rend. H/U</i>	<i>Costo total</i>
Operador de equipo liviano	1.00	2.47	0.550	1,359
Peón	2.00	2.44	0.550	2,684

Subtotal (B) 4.043

Materiales				
<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio unitario</i>	<i>Costo total</i>
Agua	l	20.0000	0.0011	0.022

Subtotal (C) 0.022

Transporte				
<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>C. Transporte</i>	<i>Costo total</i>

Subtotal (D) 0.000

Costo unitario directo(A+B+C+D) 5.917

Indirectos y utilidades(20%) 1.183

Precio calculado en dólares 7.101

Precio unitario adoptado 7.10

ANEXOS

Anexo 2: Análisis de precios unitarios



Análisis de precios unitarios

Rubro:	Desalojo de material a máquina	Unidad:	Rendimiento (H/U):	
		m ³ /km	0.008	
Equipo				
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Tarifa</i>	<i>Rend. H/U</i>	<i>Costo total</i>
Herramientas manuales(5% M.O.)	1.000			0,004
Retroexcavadora	1.000	25.0000	0.008	0,208
Volquete 8m ³	1.000	30.0000	0.008	0,249
Subtotal (A)				0.461

Mano de obra				
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Jornal / Hora</i>	<i>Rend. H/U</i>	<i>Costo total</i>
Operador de retroexcavadora	1.00	2.56	0.008	0,021
Chofer licencia tipo E	1.00	3.68	0.008	0,031
Peón	1.00	2.44	0.008	0,020
Subtotal (B)				0.072

Materiales				
<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio unitario</i>	<i>Costo total</i>
Subtotal (C)				0.000

Transporte				
<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>C. Transporte</i>	<i>Costo total</i>
Subtotal (D)				0.000

Costo unitario directo(A+B+C+D) 0.533

Indirectos y utilidades(20%) 0.107

Precio calculado en dólares 0.639

Precio unitario adoptado **0.64**

ANEXOS

Anexo 2: Análisis de precios unitarios



Análisis de precios unitarios

Rubro:	Tubería PVC UPSE D=50mm*6.00m. P=1.00Mpa <i>Suministro e instalación</i>	Unidad:	Rendimiento (H/U):	
		m	0.021	
Equipo				
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Tarifa</i>	<i>Rend. H/U</i>	<i>Costo total</i>
Herramientas manuales(5% M.O.)	1.000			0.005

Subtotal (A) 0.005

Mano de obra				
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Jornal / Hora</i>	<i>Rend. H/U</i>	<i>Costo total</i>
Plomero	1.00	2.47	0.021	0.051
Ayudante de plomero	1.00	2.44	0.021	0.051

Subtotal (B) 0.102

Materiales				
<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio unitario</i>	<i>Costo total</i>
Tubería PVC UPSE D=50mm*6.00m	U	0.1667	13.0000	2.167
Grasa vegetal	Kg	0.0010	2.0000	0.002

Subtotal (C) 2.169

Transporte				
<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>C. Transporte</i>	<i>Costo total</i>

Subtotal (D) 0.000

Costo unitario directo(A+B+C+D) 2.275

Indirectos y utilidades(20%) 0.455

Precio calculado en dólares 2.731

Precio unitario adoptado 2.73

ANEXOS

Anexo 2: Análisis de precios unitarios



Análisis de precios unitarios

Rubro:	Tubería PVC UPSE D=63mm*6.00m. P=1.00Mpa Suministro e instalación	Unidad:	Rendimiento (H/U):	
		m	0.021	
Equipo				
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Tarifa</i>	<i>Rend. H/U</i>	<i>Costo total</i>
Herramientas manuales(5% M.O.)	1.000			0.005

Subtotal (A) 0.005

Mano de obra				
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Jornal / Hora</i>	<i>Rend. H/U</i>	<i>Costo total</i>
Plomero	1.00	2.47	0.021	0.051
Ayudante de plomero	1.00	2.44	0.021	0.051

Subtotal (B) 0.102

Materiales				
<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio unitario</i>	<i>Costo total</i>
Tubería PVC UPSE D=63mm*6.00m	U	0.1667	18.9000	3.151
Grasa vegetal	Kg	0.0010	2.0000	0.002

Subtotal (C) 3.153

Transporte				
<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>C. Transporte</i>	<i>Costo total</i>

Subtotal (D) 0.000

Costo unitario directo(A+B+C+D) 3.260

Indirectos y utilidades(20%) 0.652

Precio calculado en dólares 3.912

Precio unitario adoptado **3.91**

ANEXOS

Anexo 2: Análisis de precios unitarios



Análisis de precios unitarios

Rubro:	Tubería PVC UPSE D=75mm*6.00m. P=1.00Mpa Suministro e instalación	Unidad:	Rendimiento (H/U):	
		M	0.021	
Equipo				
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Tarifa</i>	<i>Rend. H/U</i>	<i>Costo total</i>
Herramientas manuales(5% M.O.)	1.000			0.005

Subtotal (A) 0.005

Mano de obra				
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Jornal / Hora</i>	<i>Rend. H/U</i>	<i>Costo total</i>
Plomero	1.00	2.47	0.021	0.051
Ayudante de plomero	1.00	2.44	0.021	0.051

Subtotal (B) 0.102

Materiales				
<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio unitario</i>	<i>Costo total</i>
Tubería PVC UPSE D=75mm*6.00m	U	0.1667	26.9000	4.484
Grasa vegetal	Kg	0.0010	2.0000	0.002

Subtotal (C) 4.486

Transporte				
<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>C. Transporte</i>	<i>Costo total</i>

Subtotal (D) 0.000

Costo unitario directo(A+B+C+D) 4.593

Indirectos y utilidades(20%) 0.919

Precio calculado en dólares 5.512

Precio unitario adoptado 5.51

ANEXOS

Anexo 2: Análisis de precios unitarios



Análisis de precios unitarios

Rubro:	TUBERÍA PVC UPSE D=90mm*6,00m. P=1,00Mpa Suministro e instalación	Unidad:	Rendimiento (H/U):
		ml	0,024

Equipo

Descripción	Cantidad	Tarifa	Rend./Hora	Costo total
Herramientas manuales(5% M.O.)	1,00			0,005

Subtotal (A) 0,005

Mano de obra

Descripción	Cantidad	Jornal./Hora	Rend./Hora	Costo total
Plomero	1,00	1,93	0,024	0,046
Ayudante de plomero	1,00	1,93	0,024	0,046

Subtotal (B) 0,092

Materiales

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo total
Tubería PVC UPSE D=90mm*6,00m	U	0,1667	37,0000	6,168
Grasa vegetal	U	0,0010	2,0000	0,002

Subtotal (C) 6,170

Transporte

Descripción	Unidad	Cantidad	C. transporte	Costo total

Subtotal (D) 0,000

Costo unitario directo (A+B+C+D) 6,267

Indirectos y utilidades (20%) 1,253

Precio calculado en dólares 7,520

Precio unitario adoptado 7,52

ANEXOS

Anexo 2: Análisis de precios unitarios



Análisis de precios unitarios

Rubro:	Tubería PVC UPSE D=110mm*6.00m. P=1.00Mpa Suministro e instalación	Unidad:	Rendimiento (H/U):	
		M	0.027	
Equipo				
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Tarifa</i>	<i>Rend. H/U</i>	<i>Costo total</i>
Herramientas manuales(5% M.O.)	1.000			0.007

Subtotal (A) 0.007

Mano de obra				
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Jornal / Hora</i>	<i>Rend. H/U</i>	<i>Costo total</i>
Plomero	1.00	2.47	0.027	0.067
Ayudante de plomero	1.00	2.44	0.027	0.066

Subtotal (B) 0.133

Materiales				
<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio unitario</i>	<i>Costo total</i>
Tubería PVC UPSE D=110mm*6.00m	U	0.1667	53.2000	8.868
Grasa vegetal	Kg	0.0010	2.0000	0.002

Subtotal (C) 8.870

Transporte				
<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>C. Transporte</i>	<i>Costo total</i>

Subtotal (D) 0.000

Costo unitario directo(A+B+C+D) 9.010

Indirectos y utilidades(20%) 1.802

Precio calculado en dólares 10.812

Precio unitario adoptado 10.81

ANEXOS

Anexo 2: Análisis de precios unitarios



Análisis de precios unitarios

Rubro:	Tubería PVC UPSE D=160mm*6.00m. P=1.00Mpa Suministro e instalación	Unidad:	Rendimiento (H/U):	
		M	0.028	
Equipo				
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Tarifa</i>	<i>Rend. H/U</i>	<i>Costo total</i>
Herramientas manuales(5% M.O.)	1.000			0.007

Subtotal (A) 0.007

Mano de obra				
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Jornal / Hora</i>	<i>Rend. H/U</i>	<i>Costo total</i>
Plomero	1.00	2.47	0.028	0.068
Ayudante de plomero	1.00	2.44	0.028	0.068

Subtotal (B) 0.136

Materiales				
<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio unitario</i>	<i>Costo total</i>
Tubería PVC UPSE D=160mm*6.00m	U	0.1667	123.3000	20.554
Grasa vegetal	Kg	0.0010	2.0000	0.002

Subtotal (C) 20.556

Transporte				
<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>C. Transporte</i>	<i>Costo total</i>

Subtotal (D) 0.000

Costo unitario directo(A+B+C+D) 20.699

Indirectos y utilidades(20%) 4.140

Precio calculado en dólares 24.839

Precio unitario adoptado 24.84

ANEXOS

Anexo 2: Análisis de precios unitarios



Análisis de precios unitarios

Rubro:	Tubería PVC UPSE D=200mm*6.00m. P=1.00Mpa Suministro e instalación	Unidad:	Rendimiento (H/U):	
		M	0.028	
Equipo				
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Tarifa</i>	<i>Rend. H/U</i>	<i>Costo total</i>
Herramientas manuales(5% M.O.)	1.000			0.007

Subtotal (A) 0.007

Mano de obra				
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Jornal / Hora</i>	<i>Rend. H/U</i>	<i>Costo total</i>
Plomero	1.00	2.47	0.028	0.068
Ayudante de plomero	1.00	2.44	0.028	0.068

Subtotal (B) 0.136

Materiales				
<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio unitario</i>	<i>Costo total</i>
Tubería PVC UPSE D=200mm*6.00m	U	0.1667	175.0000	29.173
Grasa vegetal	Kg	0.0010	2.0000	0.002

Subtotal (C) 29.175

Transporte				
<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>C. Transporte</i>	<i>Costo total</i>

Subtotal (D) 0.000

Costo unitario directo(A+B+C+D) 29.318

Indirectos y utilidades(20%) 5.864

Precio calculado en dólares 35.181

Precio unitario adoptado 35.18

ANEXOS

Anexo 2: Análisis de precios unitarios



Análisis de precios unitarios

Rubro:	Tubería PVC UPSE D=250mm*6.00m. P=1.00Mpa Suministro e instalación	Unidad:	Rendimiento (H/U):	
		M	0.028	
Equipo				
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Tarifa</i>	<i>Rend. H/U</i>	<i>Costo total</i>
Herramientas manuales(5% M.O.)	1.000			0.007

Subtotal (A) 0.007

Mano de obra				
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Jornal / Hora</i>	<i>Rend. H/U</i>	<i>Costo total</i>
Plomero	1.00	2.47	0.028	0.068
Ayudante de plomero	1.00	2.44	0.028	0.068

Subtotal (B) 0.136

Materiales				
<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio unitario</i>	<i>Costo total</i>
Tubería PVC UPSE D=250mm*6.00m	U	0.1667	274.0000	45.676
Grasa vegetal	Kg	0.0010	2.0000	0.002

Subtotal (C) 45.678

Transporte				
<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>C. Transporte</i>	<i>Costo total</i>

Subtotal (D) 0.000

Costo unitario directo(A+B+C+D) 45.821

Indirectos y utilidades(20%) 9.164

Precio calculado en dólares 54.985

Precio unitario adoptado **54.99**

ANEXOS

Anexo 2: Análisis de precios unitarios



Análisis de precios unitarios

Rubro:	Tubería PVC UPSE D=315mm*6.00m. P=1.00Mpa Suministro e instalación	Unidad:	Rendimiento (H/U):	
		M	0.028	
Equipo				
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Tarifa</i>	<i>Rend. H/U</i>	<i>Costo total</i>
Herramientas manuales(5% M.O.)	1.000			0.007

Subtotal (A) 0.007

Mano de obra				
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Jornal / Hora</i>	<i>Rend. H/U</i>	<i>Costo total</i>
Plomero	1.00	2.47	0.028	0.068
Ayudante de plomero	1.00	2.44	0.028	0.068

Subtotal (B) 0.136

Materiales				
<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio unitario</i>	<i>Costo total</i>
Tubería PVC UPSE D=315mm*6.00m	U	0.1667	450.2000	75.048
Grasa vegetal	Kg	0.0010	2.0000	0.002

Subtotal (C) 75.050

Transporte				
<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>C. Transporte</i>	<i>Costo total</i>

Subtotal (D) 0.000

Costo unitario directo(A+B+C+D) 75.193

Indirectos y utilidades(20%) 15.039

Precio calculado en dólares 90.231

Precio unitario adoptado 90.23

ANEXOS

Anexo 2: Análisis de precios unitarios



Análisis de precios unitarios

Rubro:	TUBERÍA PVC UPSE D=355mm*6,00m. P=0,63Mpa Suministro e instalación	Unidad:	Rendimiento (H/U):	
		ml	0,029	
Equipo				
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Tarifa</i>	<i>Rend. H/U</i>	<i>Costo total</i>
Herramientas manuales(5% M.O.)	1,000			0,006

Subtotal (A) 0,006

Mano de obra				
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Jornal / Hora</i>	<i>Rend. H/U</i>	<i>Costo total</i>
Plomero	1,00	1,93	0,029	0,056
Ayudante de plomero	1,00	1,93	0,029	0,056

Subtotal (B) 0,112

Materiales				
<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio unitario</i>	<i>Costo total</i>
Tubería PVC UPSE D=355mm*6,00m	U	0,1667	626,0000	104,354
Grasa vegetal	U	0,0010	2,0000	0,002

Subtotal (C) 104,356

Transporte				
<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>C. Transporte</i>	<i>Costo total</i>

Subtotal (D) 0,000

Costo unitario directo (A+B+C+D) 104,474

Indirectos y utilidades (20%) 20,895

Precio calculado en dólares 125,368

Precio unitario adoptado 125,37

ANEXOS

Anexo 2: Análisis de precios unitarios



Análisis de precios unitarios

Rubro:	Tubería PVC UPSE D=400mm*6.00m. P=1.00Mpa Suministro e instalación	Unidad:	Rendimiento (H/U):	
		m	0.029	
Equipo				
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Tarifa</i>	<i>Rend. H/U</i>	<i>Costo total</i>
Herramientas manuales(5% M.O.)	1.000			0.007

Subtotal (A) 0.007

Mano de obra				
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Jornal / Hora</i>	<i>Rend. H/U</i>	<i>Costo total</i>
Plomero	1.00	2.47	0.029	0.072
Ayudante de plomero	1.00	2.44	0.029	0.071

Subtotal (B) 0.143

Materiales				
<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio unitario</i>	<i>Costo total</i>
Tubería PVC UPSE D=400mm*6.00m	U	0.1667	875.0000	145.863
Grasa vegetal	Kg	0.0010	2.0000	0.002

Subtotal (C) 145.865

Transporte				
<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>C. Transporte</i>	<i>Costo total</i>

Subtotal (D) 0.000

Costo unitario directo(A+B+C+D) 146.015

Indirectos y utilidades(20%) 29.203

Precio calculado en dólares 175.218

Precio unitario adoptado 175.22

ANEXOS

Anexo 2: Análisis de precios unitarios



Análisis de precios unitarios

Rubro:	Tubería PVC UPSE D=500mm*6.00m. P=1.00Mpa Suministro e instalación	Unidad:	Rendimiento (H/U):	
		m	0.029	
Equipo				
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Tarifa</i>	<i>Rend. H/U</i>	<i>Costo total</i>
Herramientas manuales(5% M.O.)	1.000			0.007

Subtotal (A) 0.007

Mano de obra				
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Jornal / Hora</i>	<i>Rend. H/U</i>	<i>Costo total</i>
Plomero	1.00	2.47	0.029	0.072
Ayudante de plomero	1.00	2.44	0.029	0.071

Subtotal (B) 0.143

Materiales				
<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio unitario</i>	<i>Costo total</i>
Tubería PVC UPSE D=500mm*6.00m	U	0.1667	1.175.0000	195.873
Grasa vegetal	Kg	0.0010	2.0000	0.002

Subtotal (C) 195.875

Transporte				
<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>C. Transporte</i>	<i>Costo total</i>

Subtotal (D) 0.000

Costo unitario directo(A+B+C+D) 196.025

Indirectos y utilidades(20%) 39.205

Precio calculado en dólares 235.230

Precio unitario adoptado 235.23

ANEXOS

Anexo 2: Análisis de precios unitarios



Análisis de precios unitarios

Rubro:	Tubería PVC UPSE D=630mm*6.00m. P=1.00Mpa Suministro e instalación		Unidad:	Rendimiento (H/U):
			m	0.029
Equipo				
Descripción	Cantidad	Tarifa	Rend. H/U	Costo total
Herramientas manuales(5% M.O.)	1.000			0.007
Subtotal (A)				0.007
Mano de obra				
Descripción	Cantidad	Jornal / Hora	Rend. H/U	Costo total
Plomero	1.00	2.47	0.029	0.072
Ayudante de plomero	1.00	2.44	0.029	0.071
Subtotal (B)				0.143
Materiales				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo total
Tubería PVC UPSE D=630mm*6.00m	U	0.1667	1.900.0000	316.730
Grasa vegetal	Kg	0.0010	2.0000	0.002
Subtotal (C)				316.732
Transporte				
Descripción	Unidad	Cantidad	C. Transporte	Costo total
Subtotal (D)				0.000

Costo unitario directo(A+B+C+D) 316.882

Indirectos y utilidades(20%) 63.376

Precio calculado en dólares 380.259

Precio unitario adoptado **380.26**

ANEXOS

Anexo 2: Análisis de precios unitarios



TUBERIA PVC UPSE PARA PRESION

FABRICANTE: PLASTIGAMA

DIAMETRO (mm)	PRESIÓN (MPA)	COSTOS EN U.S.D.						MATERIAL DE MEJORAMIENTO	TOTAL (U.S.D.)
		EXCAVACION MANUAL (30%)	EXCAVACION A MAQUINA (70%)	RASANTEO DE ZANJA	RELLENO COMPACTADO	DESALOJO DE MATERIAL	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA		
50	0,80	3,87	2,30	0,77	7,10	0,64	2,36	8,40	25,44
50	1,00	3,87	2,30	0,77	7,10	0,64	2,73	8,40	25,81
50	1,25	3,87	2,30	0,77	7,10	0,64	3,54	8,40	26,62
63	0,80	3,87	2,30	0,77	7,10	0,64	3,26	8,40	26,34
63	1,00	3,87	2,30	0,77	7,10	0,64	3,91	8,40	26,99
63	1,25	3,87	2,30	0,77	7,10	0,64	4,56	8,40	27,64
75	1,00	3,87	2,30	0,77	7,10	0,64	5,51	8,40	28,59
90	0,63	3,87	2,30	0,77	7,10	0,64	4,92	8,40	28,00
90	0,80	3,87	2,30	0,77	7,10	0,64	5,94	8,40	29,02
90	1,00	3,87	2,30	0,77	7,10	0,64	7,52	8,40	30,60
90	1,25	3,87	2,30	0,77	7,10	0,64	8,52	8,40	31,60
110	0,63	3,87	2,30	0,77	7,10	0,64	6,97	8,40	30,05
110	0,80	3,87	2,30	0,77	7,10	0,64	8,47	8,40	31,55
110	1,00	3,87	2,30	0,77	7,10	0,64	10,81	8,40	33,89
110	1,25	3,87	2,30	0,77	7,10	0,64	12,50	8,40	35,57
160	0,63	3,87	2,30	0,77	7,10	0,64	14,24	8,40	37,32
160	0,80	3,87	2,30	0,77	7,10	0,64	18,42	8,40	41,50
160	1,00	3,87	2,30	0,77	7,10	0,64	24,84	8,40	47,92
160	1,25	3,87	2,30	0,77	7,10	0,64	29,14	8,40	52,22
200	0,63	3,87	2,30	0,77	7,10	0,64	22,02	8,40	45,10
200	0,80	3,87	2,30	0,77	7,10	0,64	26,74	8,40	49,82
200	1,00	3,87	2,30	0,77	7,10	0,64	35,18	8,40	58,26
200	1,25	3,87	2,30	0,77	7,10	0,64	45,15	8,40	68,22
250	0,63	3,87	2,30	0,77	7,10	0,64	35,02	8,40	58,10
250	0,80	3,87	2,30	0,77	7,10	0,64	44,41	8,40	67,48
250	1,00	3,87	2,30	0,77	7,10	0,64	54,99	8,40	78,07
250	1,25	3,87	2,30	0,77	7,10	0,64	69,95	8,40	93,03
315	0,63	3,87	2,30	0,77	7,10	0,64	55,85	8,40	78,92
315	0,80	3,87	2,30	0,77	7,10	0,64	72,49	8,40	95,57
315	1,00	3,87	2,30	0,77	7,10	0,64	90,23	8,40	113,31
315	1,25	3,87	2,30	0,77	7,10	0,64	105,36	8,40	128,43
355	0,63	3,87	2,30	0,77	7,10	0,64	77,16	8,40	100,24
355	0,80	3,87	2,30	0,77	7,10	0,64	105,56	8,40	128,64
355	1,00	3,87	2,30	0,77	7,10	0,64	125,37	8,40	148,45
355	1,25	3,87	2,30	0,77	7,10	0,64	167,18	8,40	190,26

ANEXOS

Anexo 2: Análisis de precios unitarios



TUBERIA PVC UPSE PARA PRESION

FABRICANTE: PLASTIGAMA

DIAMETRO (mm)	PRESIÓN (MPA)	COSTOS EN U.S.D.						MATERIAL DE MEJORAMIENTO	TOTAL (U.S.D.)
		EXCAVACION MANUAL (30%)	EXCAVACION A MAQUINA (70%)	RASANTEO DE ZANJA	RELLENO COMPACTADO	DESALOJO DE MATERIAL	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA		
400	0,63	3,87	2,30	0,77	7,10	0,64	91,80	8,40	114,88
400	0,80	3,87	2,30	0,77	7,10	0,64	132,91	8,40	155,99
400	1,00	3,87	2,30	0,77	7,10	0,64	175,22	8,40	198,30
400	1,25	3,87	2,30	0,77	7,10	0,64	199,18	8,40	222,26
500	0,63	3,87	2,30	0,77	7,10	0,64	176,82	8,40	199,90
500	0,80	3,87	2,30	0,77	7,10	0,64	191,18	8,40	214,26
500	1,00	3,87	2,30	0,77	7,10	0,64	235,23	8,40	258,31
500	1,25	3,87	2,30	0,77	7,10	0,64	285,40	8,40	308,48
630	0,63	3,87	2,30	0,77	7,10	0,64	248,19	8,40	271,27
630	0,80	3,87	2,30	0,77	7,10	0,64	310,21	8,40	333,28
630	1,00	3,87	2,30	0,77	7,10	0,64	380,26	8,40	403,34
630	1,25	3,87	2,30	0,77	7,10	0,64	470,24	8,40	493,32

Estos son los costos que se utiliza en el Software DERAP V1.0 para el cálculo del costo total de una red de agua potable.



8.3 Anexo 3: Código de programación – SIMPLEX

Código para preparación de matrices

```
Public Class MetodoSimplex
    Public datosResultados As New DsResultadosFinales
    Dim datosNudos As New List(Of Nudo)
    Dim datosConexiones As New List(Of Conexion)
    Dim datosDiametros As New List(Of Diametro)
    Dim diametrosSeleccionados As New List(Of Integer)
    Dim perdidasSeleccionadas As New List(Of Double)
    Dim costoDiamSeleccionados As New List(Of Double)
    Dim MatrizPerdidas(,) As Double
    Dim MatrizVelocidades(,) As Double
    Dim MatrizReynolds(,) As Double
    Dim MatrizFricciones(,) As Double
    Public MatrizPerdidasR(,) As Double
    Public MatrizVelocidadesR(,) As Double
    Public MatrizReynoldsR(,) As Double
    Public MatrizFriccionesR(,) As Double
    Dim ND, NN As Integer
    Dim resultadoCalculo As Double
    Public e As Double = 0.000015
    Public viscosidad As Double = 0.00000114
    Public VMax = 2.5, VMin = 0.5, PMin = 15, dddd As Double

    Public Sub CalculoMatrices(ByVal jsonNudos As String, ByVal jsonDiametros As String)
        datosNudos = JSON.Deserialize(Of List(Of Nudo))(jsonNudos)
        datosDiametros = JSON.Deserialize(Of List(Of Diametro))(jsonDiametros)
        ND = datosDiametros.Count
        NN = datosNudos.Count
        ContruirMatrizVelocidades()
        ContruirMatrizReynolds()
        ContruirMatrizFricciones()
        ContruirMatrizPerdidas()
    End Sub

    Public Sub CalculoMatrices(ByVal resultados As DsResultadosFinales, ByVal
jsonDiametros As String)
        'datosNudos = JSON.Deserialize(Of List(Of Nudo))(jsonNudos)

        datosResultados = New DsResultadosFinales
        datosDiametros = JSON.Deserialize(Of List(Of Diametro))(jsonDiametros)
        datosResultados = resultados
        ND = datosDiametros.Count
        'NN = datosNudos.Count
        NN = datosResultados.ResultadoFinal.Rows.Count
        'ContruirMatrizVelocidades()
        'ContruirMatrizReynolds()
        'ContruirMatrizFricciones()
        'ContruirMatrizPerdidas()
        ContruirMatrizVelocidadesCR()
        ContruirMatrizReynoldsCR()
        ContruirMatrizFriccionesCR()
        ContruirMatrizPerdidasCR()
    End Sub

    Public Function ObtenerFuncionObj_Restricciones(ByVal indice As Integer, ByVal precio As
Double, ByVal longitud As Double) As String
        diametrosSeleccionados = New List(Of Integer)
        costoDiamSeleccionados = New List(Of Double)
        perdidasSeleccionadas = New List(Of Double)
        Dim resultados As String = ""
    End Function
End Class
```

ANEXOS

Anexo 3: Código de Programación - SIMPLEX



```
Dim restriccion1 As String = ""
Dim restriccion2 As String = ""
ND = datosDiametros.Count
'NN = datosNudos.Count
For index1 As Integer = 1 To ND

    If MatrizPerdidasR(indice, index1) > 0 And datosDiametros(index1 - 1).Precio
    <= precio Then
        diametrosSeleccionados.Add(index1 - 1)
        costoDiamSeleccionados.Add(datosDiametros(index1 - 1).Precio)
        perdidasSeleccionadas.Add(MatrizPerdidasR(indice, index1))
    End If

Next

If (diametrosSeleccionados.Count > 0) Then
    resultados = String.Format("{0}Minimize p = ", resultados)
Else
    resultados = "No hay diametros candidatos"
End If

For index As Integer = 0 To costoDiamSeleccionados.Count - 1
    If index = costoDiamSeleccionados.Count - 1 Then
        resultados = String.Format("{0} {1}l{2} subject to {3}", resultados,
        costoDiamSeleccionados(index), diametrosSeleccionados(index), Environment.NewLine)
        restriccion1 = String.Format("{0} l{1} = {2} {3}", restriccion1,
        diametrosSeleccionados(index), longitud, Environment.NewLine)
        restriccion2 = String.Format("{0} {1}l{2} = {3} {4}", restriccion2,
        perdidasSeleccionadas(index), diametrosSeleccionados(index), PMin, Environment.NewLine)
    Else
        resultados = String.Format("{0} {1}l{2} + ", resultados,
        costoDiamSeleccionados(index), diametrosSeleccionados(index))
        restriccion1 = String.Format("{0}l{1} + ", restriccion1,
        diametrosSeleccionados(index))
        restriccion2 = String.Format("{0}{1}l{2} + ", restriccion2,
        perdidasSeleccionadas(index), diametrosSeleccionados(index))
    End If
Next

    resultados = String.Format("{0}{1}{2}", resultados, restriccion1,
    restriccion2).Replace(",", ".")

    Return resultados

End Function

Private Sub ContruirMatrizVelocidades()

'=((datosNudos(index).Caudal/1000))/((Math.PI*Math.Pow(datosDiametros(index1).DiametroI
nterno,2))/4)
'==(($G94/1000))/((PI()*I$89^2)/4)
ReDim MatrizVelocidades(NN, ND)

For index As Integer = 1 To NN
    For index1 As Integer = 1 To ND
        resultadoCalculo = ((CDB1(datosResultados.ResultadoFinal.Rows(index -
1)(3)) / 1000)) / ((Math.PI * Math.Pow(datosDiametros(index1 - 1).DiametroInterno, 2)) /
4)
        MatrizVelocidades(index, index1) = resultadoCalculo
    Next
Next

End Sub

Private Sub ContruirMatrizReynolds()
```

ANEXOS

Anexo 3: Código de Programación - SIMPLEX



```
'=(MatrizVelocidades(index,index1)*datosDiametros(index1-
1).DiametroInterno)/viscosidad
'==(I122*I$89)/F$132
ReDim MatrizReynolds(NN, ND)

For index As Integer = 1 To NN
  For index1 As Integer = 1 To ND
    resultadoCalculo = (MatrizVelocidades(index, index1) *
datosDiametros(index1 - 1).DiametroInterno) / viscosidad
    MatrizReynolds(index, index1) = resultadoCalculo
  Next
Next

End Sub

Private Sub ContruirMatrizFricciones()

  'FactorDeFricción(e,MatrizReynolds(index, index1),datosDiametros(index1-
1).DiametroInterno)
  'FactorDeFricción($F$146,I133,$I$89)
  ReDim MatrizFricciones(NN, ND)

  For index As Integer = 1 To NN
    For index1 As Integer = 1 To ND
      resultadoCalculo = CalculoFriccion(MatrizReynolds(index, index1),
datosDiametros(index1 - 1).DiametroInterno, e)
      MatrizFricciones(index, index1) = resultadoCalculo
    Next
  Next

End Sub

Private Sub ContruirMatrizPerdidas()
  Dim perdida As Double
  '((8*MatrizFricciones(index,
index1))/(Math.Pow(Math.PI,2)*9.81))*(Math.Pow((datosNudos(index).Caudal/1000),2)/Math.P
ow(datosDiametros(index1).DiametroInterno,5))
  '=(8*I146)/(PI()^2*9.81))*((G94/1000)^2)/($I$89^5)
  ReDim MatrizPerdidas(NN, ND)

  For index As Integer = 1 To NN
    For index1 As Integer = 1 To ND
      perdida = ((8 * MatrizFricciones(index, index1)) / (Math.Pow(Math.PI, 2)
* 9.81)) * (Math.Pow((CDB1(datosResultados.ResultadoFinal.Rows(index - 1)(3)) / 1000),
2) / Math.Pow(datosDiametros(index1).DiametroInterno, 5))
      MatrizPerdidas(index, index1) = perdida
    Next
  Next

End Sub

#Region "Construccion de las matrices que cumplen las restricciones"

Private Sub ContruirMatrizVelocidadesCR()

  '=((datosNudos(index).Caudal/1000))/((Math.PI*Math.Pow(datosDiametros(index1).DiametroI
nterno,2))/4)
  '==(G94/1000)/((PI()*I$89^2)/4)
  ReDim MatrizVelocidadesR(NN, ND)

  For index As Integer = 1 To NN
    For index1 As Integer = 1 To ND
      resultadoCalculo =
((Math.Abs(CDB1(datosResultados.ResultadoFinal.Rows(index - 1)(3))) / 1000)) / ((Math.PI
* Math.Pow(datosDiametros(index1 - 1).DiametroInterno / 1000, 2)) / 4)
      If resultadoCalculo >= VMin And resultadoCalculo <= VMax Then
        MatrizVelocidadesR(index, index1) = resultadoCalculo
      Else

```

ANEXOS

Anexo 3: Código de Programación - SIMPLEX



```
        MatrizVelocidadesR(index, index1) = 0
    End If
Next
End Sub

Private Sub ContruirMatrizReynoldsCR()
    ''=(MatrizVelocidades(index,index1)*datosDiametros(index1-
1).DiametroInterno)/viscosidad
    ''==(I122*I$89)/F$132
    ReDim MatrizReynoldsR(NN, ND)

    For index As Integer = 1 To NN
        For index1 As Integer = 1 To ND
            resultadoCalculo = (MatrizVelocidadesR(index, index1) *
datosDiametros(index1 - 1).DiametroInterno / 1000) / viscosidad
            MatrizReynoldsR(index, index1) = resultadoCalculo
        Next
    Next

End Sub

Private Sub ContruirMatrizFriccionesCR()
    ''=FactorDeFricción(e,MatrizReynolds(index, index1),datosDiametros(index1-
1).DiametroInterno)
    ''=FactorDeFricción($F$146,I133,$I$89)
    ReDim MatrizFriccionesR(NN, ND)

    For index As Integer = 1 To NN
        For index1 As Integer = 1 To ND

            If MatrizReynoldsR(index, index1) <> 0 Then
                resultadoCalculo = CalculoFriccion(MatrizReynoldsR(index, index1),
datosDiametros(index1 - 1).DiametroInterno / 1000, e)
            Else
                resultadoCalculo = 0
            End If

            MatrizFriccionesR(index, index1) = resultadoCalculo
        Next
    Next

End Sub

Private Sub ContruirMatrizPerdidasCR()
    Dim perdida As Double
    ''((8*MatrizFricciones(index,
index1)/(Math.Pow(Math.PI,2)*9.81))* (Math.Pow((datosNudos(index).Caudal/1000),2)/Math.P
ow(datosDiametros(index1).DiametroInterno,5))
    ''= ((8*I146)/(PI())^2*9.81))*(((G94/1000)^2)/($I$89^5))
    ReDim MatrizPerdidasR(NN, ND)

    For index As Integer = 1 To NN
        For index1 As Integer = 1 To ND
            perdida = ((8 * MatrizFriccionesR(index, index1)) / (Math.Pow(Math.PI,
2) * 9.81)) * (Math.Pow((Math.Abs(CDb1(datosResultados.ResultadoFinal.Rows(index -
1)(3))) / 1000), 2) / Math.Pow(datosDiametros(index1 - 1).DiametroInterno / 1000, 5))
            MatrizPerdidasR(index, index1) = perdida
        Next
    Next

End Sub

#End Region
```



```
Private Function CalculoFriccion(ByVal reinols As Double, ByVal diam As Double,
ByVal rug As Double) As Double
    Dim res As Double = 0.0
    Dim f1, f2, f3 As Double
    'Calculo del valor de friccion por Colebrook

    f = 0.001

Do
    f1 = 1 / Math.Pow(f, 0.5)
    sol = ((rug / 1000) / (3.7 * diam)) + (2.51 / (reinols * Math.Pow(f, 0.5)))

    solbase = Math.Log10(sol)

    f2 = -2 * solbase
    f3 = Math.Pow(1 / f2, 2)

    If Math.Abs(f1 - f2) <= 0.0001 Then
        res = f
        'Return f
    Else
        f = f3
    End If
Loop While (Math.Abs(f1 - f2) > 0.0001)

Return res
End Function
End Class
```

Ejecución del método Simplex

```
<script type="text/javascript" language="javascript">
function EjecutarSimplex()
{
    <%=this.stoDiametrosSeleccionados.ClientID %>.removeAll();
    var resMS = "";
    var valores = "";
    valores = hidDatosEntradaSimplex.getValue();

    var datosS = valores.split('|');
    for (var i =0; i < datosS.length-1;i++)
    {
        if(datosS[i].search('No')===-1)
        {
            doIt(2);

            doIt(1,datosS[i]);
            resMS=resMS.concat(respuestaMetodo);
            resMS=resMS.concat('|');
            doIt(3);
        }
        else
        {
            resMS=resMS.concat('No hay diametros candidatos');
            resMS=resMS.concat('|');
        }
    }
    hidRespuestas.setValue(resMS);

    var respuestas = hidRespuestas.getValue().split('|');
    var conAux=0;
```



```
for(var i =0 ;i<respuestas.length-1;i++)
{
    var nf=<%=this.stoDiametrosSeleccionados.ClientID %>.getCount();
    var newrec = <%=this.stoDiametrosSeleccionados.ClientID
%>.insertRecord(nf, {});
    newrec.newRecord = true;
    newrec.set('d1', 0);
    newrec.set('d2', 0);
    newrec.set('l1', 0);
    newrec.set('l2', 0);
    if(respuestas[i].search('No')===-1)
    {
        var itemRespuesta = respuestas[i].split(';');
        var solucionLongitudes = itemRespuesta[1].replace('
','').split(',');

        conAux=0;
        for(var j = 0; j<solucionLongitudes.length;j++)
        {
            var valoresLongitud = solucionLongitudes[j].split('=');
            if(parseInt(valoresLongitud[1])>0)
            {
                if(conAux==0)
                {
                    newrec.set('d1',
valoresLongitud[0].replace('1',''));
                    newrec.set('l1', valoresLongitud[1]);
                    conAux=1;
                }
                else
                {
                    newrec.set('d2',
valoresLongitud[0].replace('1',''));
                    newrec.set('l2', valoresLongitud[1]);
                    conAux=1;
                }
            }
        }
    }
}
</script>
```



8.4 Anexo 4: Comparación de resultados

Los siguientes cuadros de resultados nos demuestran, que cuando realizamos un diseño de redes ramificadas por el método de velocidades obtenemos un diseño más conservador que cuando realizamos este mismo diseño por el método de la pendiente uniforme.

- Resultados mediante la aplicación del método de las velocidades.

Resultados de redes abiertas

Cálculos convencional
 Presupuesto convencional
 Cálculos diseño económico
 Presupuesto diseño económico

Presupuesto diseño convencional

Nudo inicial	Nudo final	Longitud.	Diametro (mm)	Diametro comercial (m...)	Costo unitario(\$/m)	Costo total
Nombre: Resultados del Cálculo						
0	1	1100	400	400.001	\$875.00	\$962,500.00
1	2	1800	400	400.001	\$875.00	\$1,575,000.00
2	3	1350	400	400.001	\$875.00	\$1,181,250.00
3	4	1200	380.4	380.4	\$458.20	\$549,840.00
4	5	800	190.2	190.2	\$109.40	\$87,520.00
1	6	1500	150.2	150.2	\$91.40	\$137,100.00
6	7	450	85.6	85.6	\$22.60	\$10,170.00
2	8	1400	152	152	\$70.50	\$98,700.00
8	9	380	104.6	104.6	\$34.20	\$12,996.00
8	10	400	104.6	104.6	\$34.20	\$13,680.00
3	11	1000	104.6	104.6	\$34.20	\$34,200.00
4	12	1500	152	152	\$70.50	\$105,750.00
						\$4,768,706.00

Resultados de redes abiertas

Cálculos convencional
 Presupuesto convencional
 Cálculos diseño económico
 Presupuesto diseño económico

Presupuesto diseño económico

ECONOMÍA : \$2153842.62 Dolares

Nudo inicial	Nudo final	Longitud 1	Longitud 2	Longitud T.	Diametro 1	Diametro 2	Costo unitario(\$/m) 1	Costo unitario(\$/m) 2	Costo total
Nombre: Resultados del Cálculo									
0	1	1100	0	1100.00	400	0	\$875.00	\$0.00	\$962,500.00
1	2	976.422	823.578	1800.00	337.6	299.6	\$385.00	\$278.50	\$605,288.94
2	3	1101.88	248.116	1350.00	299.6	237.8	\$278.50	\$174.40	\$350,145.01
3	4	1021.8	178.197	1200.00	237.8	190.2	\$174.40	\$109.40	\$197,696.67
4	5	800	0	800.00	190.2	0	\$109.40	\$0.00	\$87,520.00
1	6	1500	0	1500.00	150.2	0	\$91.40	\$0.00	\$137,100.00
6	7	450	0	450.00	85.6	0	\$22.60	\$0.00	\$10,170.00
2	8	1400	0	1400.00	152	0	\$70.50	\$0.00	\$98,700.00
8	9	380	0	380.00	104.6	0	\$34.20	\$0.00	\$12,996.00
8	10	323.858	76.1422	400.00	104.6	85.6	\$34.20	\$22.60	\$12,796.76
3	11	1000	0	1000.00	104.6	0	\$34.20	\$0.00	\$34,200.00
4	12	1500	0	1500.00	152	0	\$70.50	\$0.00	\$105,750.00
									\$2,614,863.38

El presupuesto total en tubería es \$2614863.38 Dolares

ANEXOS

Anexo 4: Comparación de resultados



- Resultados mediante la aplicación del método de pendiente uniforme.

Resultados de redes abiertas

Cálculos convencional Presupuesto convencional Cálculos diseño económico Presupuesto diseño económico

Presupuesto diseño convencional

Nudo inicial	Nudo final	Longitud.	Diametro (mm)	Diametro comercial (m...	Costo unitario(\$/m)	Costo total
Nombre: Resultados del Cálculo						
0	1	1100	500	500.002	\$1,426.00	\$1,568,600.00
1	2	1800	400	400.001	\$875.00	\$1,575,000.00
2	3	1350	380.4	380.4	\$458.20	\$618,570.00
3	4	1200	299.6	299.6	\$278.50	\$334,200.00
4	5	800	190.2	190.2	\$109.40	\$87,520.00
1	6	1500	150.2	150.2	\$91.40	\$137,100.00
6	7	450	85.6	85.6	\$22.60	\$10,170.00
2	8	1400	187.8	187.8	\$133.00	\$186,200.00
8	9	380	103.2	103.2	\$41.70	\$15,846.00
8	10	400	85.6	85.6	\$22.60	\$9,040.00
3	11	1000	104.6	104.6	\$34.20	\$34,200.00
4	12	1500	152	152	\$70.50	\$105,750.00
						\$4,682,196.00

El presupuesto total en tubería es \$4682196 Dolares

Resultados de redes abiertas

Cálculos convencional Presupuesto convencional Cálculos diseño económico Presupuesto diseño económico

Presupuesto diseño económico

ECONOMÍA : \$1732099.95 Dolares

Nudo inicial	Nudo final	Longitud 1	Longitud 2	Longitud T.	Diametro 1	Diametro 2	Costo unitario(\$/m) 1	Costo unitario(\$/m) 2	Costo total
Nombre: Resultados del Cálculo									
0	1	1100	0	1100.00	500	0	\$1,175.00	\$0.00	\$1,292,500.00
1	2	976.422	823.578	1800.00	337.6	299.6	\$385.00	\$278.50	\$605,288.94
2	3	1101.88	248.116	1350.00	299.6	237.8	\$278.50	\$174.40	\$350,145.01
3	4	1021.8	178.197	1200.00	237.8	190.2	\$174.40	\$109.40	\$197,696.67
4	5	800	0	800.00	190.2	0	\$109.40	\$0.00	\$87,520.00
1	6	1500	0	1500.00	150.2	0	\$91.40	\$0.00	\$137,100.00
6	7	450	0	450.00	85.6	0	\$22.60	\$0.00	\$10,170.00
2	8	157.835	1242.16	1400.00	190.2	152	\$109.40	\$70.50	\$104,839.43
8	9	380	0	380.00	103.2	0	\$41.70	\$0.00	\$15,846.00
8	10	400	0	400.00	85.6	0	\$22.60	\$0.00	\$9,040.00
3	11	1000	0	1000.00	104.6	0	\$34.20	\$0.00	\$34,200.00
4	12	1500	0	1500.00	152	0	\$70.50	\$0.00	\$105,750.00
									\$2,950,096.05

El presupuesto total en tubería es \$2950096.05 Dolares

Como podemos observar en el diseño económico, mediante el método de velocidad obtenemos un presupuesto de \$2614863.38 mientras que con el método de la pendiente uniforme obtenemos \$2950096.05; existiendo un ahorro de \$335232.67; por lo que deducimos que el método de velocidad es más conservador.

ANEXOS

Anexo 4: Comparación de resultados



De igual manera, estos cuadros de resultados nos demuestran, que cuando realizamos un diseño de redes malladas por el método de velocidades obtenemos un diseño más conservador que cuando realizamos este mismo diseño por el método de la pendiente uniforme.

- Resultados mediante la aplicación del método de corrección de caudales:

Resultados de redes malladas - AR DE LOJA - Ingeniería Civil

Cálculos convencional
 Presupuesto convencional
 Cálculos diseño económico
 Presupuesto diseño económico

Presupuesto diseño convencional

Nudo inicial	Nudo final	Longitud (m)	Caudal (l/s)	Diametro (mm)	Diametro comercial (mm)	Costo unitario(\$/m)	Costo total
Nombre: Resultados del Cálculo							
1	2	500	122.94	266.95	284.8	\$526.00	\$263,000.00
5	6	600	-37.06	159.68	180.8	\$225.00	\$135,000.00
6	1	300	-77.06	218.53	226	\$349.00	\$104,700.00
2	3	400	51.56	183.95	184.6	\$175.00	\$70,000.00
3	4	200	11.56	96.92	99.4	\$61.80	\$12,360.00
4	5	400	-18.44	118.39	144.6	\$132.00	\$52,800.00
5	2	200	-11.38	96.26	99.4	\$61.80	\$12,360.00
							\$650,220.00

El presupuesto total en tubería es \$650220 Dolares

Resultados de redes malladas - AR DE LOJA - Ingeniería Civil

Cálculos convencional
 Presupuesto convencional
 Cálculos diseño económico
 Presupuesto diseño económico

Presupuesto diseño económico

ECONOMÍA : \$115485.06 Dolares

Nudo inicial	Nudo final	Longitud 1	Longitud 2	Longitud T.	Diametro 1	Diametro 2	Costo unitario(\$/m) 1	Costo unitario(\$/m) 2	Costo total
Nombre: Resultados del Cálculo									
1	2	500	0	500.00	266.95	0	\$526.00	\$0.00	\$263,000.00
5	6	471.594	128.406	600.00	152	144.6	\$70.50	\$132.00	\$50,196.97
6	1	300	0	300.00	218.53	0	\$349.00	\$0.00	\$104,700.00
2	3	400	0	400.00	183.95	0	\$175.00	\$0.00	\$70,000.00
3	4	200	0	200.00	96.92	0	\$61.80	\$0.00	\$12,360.00
4	5	94.2775	305.723	400.00	104.6	99.4	\$34.20	\$61.80	\$22,117.97
5	2	200	0	200.00	96.26	0	\$61.80	\$0.00	\$12,360.00
									\$534,734.94

El presupuesto total en tubería es \$534734.94 Dolares

ANEXOS

Anexo 4: Comparación de resultados



- Resultados mediante la aplicación del método de corrección de alturas piezométricas:

Resultados de redes malladas

Presupuesto diseño convencional

Nudo inicial	Nudo final	Longitud (m)	Caudal (l/s)	Diametro (mm)	Diametro comercial (mm)	Costo unitario(\$/m)	Costo total
1	2	500	122.86	266.88	284.8	\$526.00	\$263,000.00
5	6	600	-37.14	159.82	180.8	\$225.00	\$135,000.00
6	1	300	-77.14	218.62	226	\$349.00	\$104,700.00
2	3	400	51.52	183.89	184.6	\$175.00	\$70,000.00
3	4	200	11.52	96.78	99.4	\$61.80	\$12,360.00
4	5	400	-18.48	118.5	144.6	\$132.00	\$52,800.00
5	2	200	-11.34	96.13	99.4	\$61.80	\$12,360.00
							\$650,220.00

El presupuesto total en tubería es \$650220 Dolares

Resultados de redes malladas

Presupuesto diseño económico

ECONOMÍA : \$114676.99 Dolares

Nudo inicial	Nudo final	Longitud 1	Longitud 2	Longitud T.	Diametro 1	Diametro 2	Costo unitario(\$/m) 1	Costo unitario(\$/m) 2
1	2	500	0	500.00	266.88	0	\$526.00	\$0.00
5	6	461.142	138.858	600.00	152	144.6	\$70.50	\$132.00
6	1	300	0	300.00	218.62	0	\$349.00	\$0.00
2	3	400	0	400.00	183.89	0	\$175.00	\$0.00
3	4	200	0	200.00	96.78	0	\$61.80	\$0.00
4	5	88.2878	311.712	400.00	104.6	99.4	\$34.20	\$61.80
5	2	200	0	200.00	96.13	0	\$61.80	\$0.00

El presupuesto total en tubería es \$535543.01 Dolares

Como podemos observar en el diseño económico, mediante el método de corrección de caudales obtenemos un presupuesto de \$534734.94 mientras que con el método de corrección de alturas piezométricas obtenemos \$535543.01; existiendo un ahorro de \$808.07; por lo que deducimos que el método de corrección de caudales es más conservador.



8.5 Anexo 5: Nomenclatura utilizada en el software – DERAP V1.0

f:	factor de fricción
ks:	rugosidad absoluta equivalente
hf :	pérdidas por longitud en un tramo de la red
hfNudo:	pérdidas acumuladas al nudo
Zhfi:	sumatoria de la cota más las pérdidas de un nudo
Carga nudo:	diferencia entre cota del depósito y Zhfi
Longitud T:	longitud total correspondiente a un tramo de la red
Longitud 1:	longitud correspondiente al sub-tramo 1 de un tramo de la red
Longitud 2:	longitud correspondiente al sub-tramo 2 de un tramo de la red
Diámetro 1:	diámetro de la tubería que corresponde al sub-tramo 1
Diámetro 2:	diámetro de la tubería que corresponde al sub-tramo 2
Costo unitario (\$/m)1:	costo en dólares por metro lineal del suministro e instalación que corresponde a la tubería con diámetro 1
Costo unitario (\$/m)2:	costo en dólares por metro lineal del suministro e instalación que corresponde a la tubería con diámetro 2



Bibliografía:

- Área Mecánica de Fluidos. Departamento Tecnología. Universitat Jaume I. Práctica 2. Simulación de redes de distribución de agua.
- Arya Jagdish C. y Lardner Robin W. Año 2002. Matemática aplicada a la administración y economía. Cuarta edición. Pearson educación. México.
- López Alfredo. Año 2003. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. Segunda edición. Escuela colombiana de ingeniería.
- Método simplex
<http://www.telefonica.net/web2/pgestevez/Metodo%20Simplex.pdf>
(Fecha consulta: Feb. 2009; Estado: Activa)
- OPS/CEPIS/05.145. Año 2005. Guía para el diseño de redes de distribución de redes rurales de abastecimiento de agua. Pág. 7.
- Papers y publicaciones del tema.1
- Pérez R. Año 2000. Diseño de Redes. Universidad Politécnica de Valencia. España.
- Rafael Pérez García. Año 2000. Diseño de redes.. Capítulo 5
<http://personales.upv.es/~rperez/C5-lineal.pdf> (Fecha consulta: Dic. 2008; Estado: Activa)
- Saldarriaga J. Año 2007. Hidráulica de tuberías. Abastecimiento de agua, redes y riegos. Alfaomega – Colombia.
- VI – SEREA. Año 2006. Método de la pendiente económica – Resolución mediante el algoritmo Simplex.
[http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/serea/6serea/TRABALHOS/trabalhoM%20\(2\).pdf](http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/serea/6serea/TRABALHOS/trabalhoM%20(2).pdf) (Fecha consulta: Jul. 2010; Estado: Activa)
- VI-SEREA. Año 2006. Seminário Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Água João Pessoa (Brasil), 5 a 7 de junio de 2006