0 1162

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

SIMULACIÓN DE FLUJO LAMINAR Y CRÍTICO EN REDES DE DISTRIBUCIÓN : APLICACIÓN AL MODELO INTEGRAL DE REDES DE AGUA POTABLE

MARTHA PATRICIA HANSEN RODRÍGUEZ

TESIS

COMO REQUISITO PARA OBTENER
EL GRADO DE

MAESTRA EN INGENIERÍA
(HIDRÁULICA)

MÉXICO, D.F. 1997

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

UNAM
Universidad Nacional Autónoma de México
Biblioteca Central
Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Dedicada especialmente a mi mamá:
Martha Luz,
y mis hermanos:
Ivette Reneé y José Antonio.

AGRADECIMIENTOS

A mis sinodales, por el tiempo dedicado para la revisión de este trabajo.

Dr. Felipe I. Arreguín Cortés
Dr. Velitchko G. Tzatchkov
Dra. Alejandra Martín Domínguez
M.I. José Oscar Guerrero Angulo
M.I. Arturo González Herrera

Y a todos los que me ayudaron en la realización de la misma, en especial a Gabby.

A mis amigos y familiares, por su apoyo incondicional.

RESUMEN

Se presenta el análisis de la red de agua potable del fraccionamiento "El Paraje" ubicado en Jiutepec, Morelos, en donde se encontró que el número de Reynolds calculado en varios tramos pertenecía a un flujo de tipo laminar ($Re < 4000$), hecho que regularmente se desprecia.

Mediante un experimento realizado *in situ se* verificó que los resultados obtenidos con el sistema que se propone son congruentes con los reales. Se incluyen fotografías tomadas en el lugar, donde se observa que el flujo presente en el tramo analizado es de tipo laminar.

El comprobar en campo la existencia del flujo laminar dio origen a la simulación de éste en un sistema de modelación hidráulica de redes, a través de un propuesta que evita problemas de convergencia.

Se presentan los distintos ensayos efectuados para resolver la discontinuidad existente entre las ecuaciones de Colebrook-White y Poiseuille, las ventajas y desventajas de cada una de las tentativas. Finalmente se presenta una propuesta que resuelve adecuadamente el problema.

Se propuso una ecuación que permite encontrar el factor de pérdida f para cualquier tipo de flujo. Ésta es continua y explícita, de tal forma que puede integrarse en cualquier sistema de cómputo que necesite de dicho valor en sus análisis. El factor de pérdida se obtiene de una forma fácil y rápida, sin la necesidad de aplicar un método numérico para su cálculo.

Se realiza el análisis de la influencia del flujo laminar y crítico en las redes de agua potable y se dan los resultados obtenidos al modelar una red de tamaño mediano considerando, por un lado, flujo laminar, crítico y turbulento y por otro, solamente flujo turbulento. Para comprobar si los resultados tienen un comportamiento parecido a la realidad, se compararon los obtenidos con la ecuación propuesta y los medidos en campo en la red de agua potable de la población de Chalco, en el Estado de México.

ANEXOS

ILUSTRACIONES

CUADROS

INTRODUCCIÓN

Los modelos convencionales de simulación hidráulica de redes de tubos consideran únicamente la existencia de flujos turbulentos. Algunos autores (Binder[5], Roberson[27], Crowne[27]) afirman que este tipo de flujo es poco frecuente en redes de agua potable y por lo tanto despreciable. Sin embargo, al utilizar un sistema de modelación para el análisis de la red de agua potable del fraccionamiento "El Paraje" ubicado en Jiutepec, Morelos, se encontró que el número de Reynolds calculado en varios tramos pertenecía a un flujo de tipo laminar.

OBJETIVOS

Lo antes mencionado motivó el interés de modelar la existencia de flujos laminares en redes de distribución y resolver los problemas de convergencia que pudieran presentarse.

Los objetivos particulares que permitieron llevar a cabo este trabajo son los siguientes :

- ***Comprobar la existencia de este tipo de flujo en una red real;***
- ***Conocer la influencia en las redes de flujos de tipo laminar y crítico;***
- ***Obtener una ecuación que permita calcular los factores de pérdida por cortante y que reúna las siguientes características :***
    - ***De fácil solución,***
    - ***Continua, para utilizarse en sistemas de cómputo,***
    - ***Congruente con los resultados obtenidos en el uso de las ecuaciones de Colebrook-White y Poiseuille.***

Es importante que esta ecuación reúna las características señaladas anteriormente, lo que permitirá conocer el valor del factor de pérdida por cortante f de cualquier tipo de flujo, dicha relación funcional podrá aplicarse tanto en redes de agua potable como también en las diferentes ramas de la ingeniería en las que se trabaje con redes de distribución, donde se presenten flujos de tipo laminar, crítico y turbulento.

Para cumplir con el objetivo planteado, en este trabajo de tesis se propuso una ecuación que permite encontrar el factor de pérdida f para cualquier tipo de flujo. Ésta es continua y explícita, de tal forma que puede integrarse en cualquier sistema de cómputo que necesite de dicho valor en sus análisis. El factor de pérdida se obtiene de una forma fácil y rápida, sin aplicar un método numérico para su cálculo.

El trabajo se encuentra dividido en cuatro capítulos. En el primero se muestra el estudio efectuado en el fraccionamiento "El Paraje". En dicho estudio se obtiene un porcentaje de tramos con un flujo laminar y turbulento que se presentaron al simular su sistema de agua potable con el programa de cómputo ***MIRAP***[13] (Modelación Integral de Redes de Agua Potable), considerando el cálculo del coeficiente de pérdidas por cortante f, con la ecuación de Colebrook-White que modela únicamente flujos turbulentos, como normalmente se realiza en los sistemas de cálculo convencionales. En esta red se encontró que un 66.58% de los tubos tienen un $Re < 4000$ (flujo laminar y crítico) y un 33.42% con $Re \geq 4000$ (flujo turbulento) en un lapso de siete horas (11:00 A.M. a 6:00 P.M.).

En el primer capítulo también se muestra el experimento realizado en el lugar para verificar si los resultados obtenidos con el sistema son congruentes con los reales. Para ello se incluyen fotografías tomadas *in situ*, donde se observa que el flujo presente en el tramo analizado es de tipo laminar.

Para modelar a los flujos laminar, crítico y turbulento en redes de tubos, es necesario obtener una ecuación que permita encontrar el valor de coeficiente de pérdidas f de forma fácil, simulando una continuidad en la zona crítica. Para ello es importante conocer las características de estos tres tipos de flujos. Así, en el capítulo II se explica la diferencia entre ellos, se muestran las ecuaciones y métodos utilizados actualmente para el cálculo del factor de pérdida por cortante f (Colebrook-White, Poiseuille y el diagrama de Moody), de pérdida de carga h_f, así como sus ventajas y desventajas.

En el capítulo III se presentan los distintos ensayos efectuados para resolver la discontinuidad existente entre las ecuaciones de Colebrook-White y Poiseuille, las ventajas y desventajas de cada una de las tentativas. Finalmente se presenta una propuesta que resuelve adecuadamente el problema.

En el capítulo IV se muestra la influencia del flujo laminar y crítico en las redes de agua potable y se dan los resultados obtenidos al modelar una red de tamaño mediano considerando, por un lado, flujo laminar, crítico y turbulento y por otro, solamente flujo turbulento. Para comprobar si los resultados tienen un comportamiento parecido a la realidad, se compararon los obtenidos con la ecuación propuesta y los medidos en campo en la red de agua potable de la población de Chalco, en el Estado de México.

Al final del trabajo se presentan las conclusiones y recomendaciones que se creen pertinentes para enriquecer y mejorar el contenido del mismo.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

El sistema de cómputo ***MIRAP***, en proceso de desarrollo en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, realiza la modelación hidráulica de redes de agua potable empleando un procedimiento diferente a los convencionales, ya que incorpora en su análisis elementos importantes como las tomas domiciliarias, la red secundaria y los tubos de distribución con un gasto espacialmente variado, sin la necesidad de aumentar el número de ecuaciones que sería necesario resolver en un modelo convencional. En este sistema el cálculo del coeficiente de pérdida, f, se efectúa utilizando la ecuación de Colebrook-White, es decir, se considera que en la red existe únicamente flujo de tipo turbulento.

En un principio, con el fin de evaluar la convergencia de solución del modelo hidráulico usado en el sistema de cómputo ***MIRAP*** y de comparar los resultados con el funcionamiento real, se propuso modelar el sistema de agua potable del fraccionamiento "El Paraje". Al analizar los datos obtenidos se observó que en algunos tramos de tubo el número de Reynolds correspondía a un flujo laminar o crítico ($Re < 4000$), con lo cual nació la inquietud de estudiar este tipo de flujos en las redes de distribución.

I. 1 SIMULACIÓN DE LA RED DE AGUA POTABLE DEL FRACCIONAMIENTO "EL PARAJE", JIUTEPEC, MORELOS

El sistema de agua potable del fraccionamiento "El Paraje" (ilustración 1.1) se compone de una *red primaria*[1] y ocho *redes secundarias*[1] . Con el fin de analizar cada una de éstas se realizó un estudio detallado de los datos obtenidos por el programa ***MIRAP***, considerando que se presentaban únicamente flujos de tipo turbulento. De esta manera, el valor del factor de pérdida por cortante f, se calculó utilizando la ecuación modificada de Colebrook-White[12]. Al analizar los resultados se encontró que los números de Reynolds calculados en la red primaria así como en las redes secundarias pertenecían a flujos de tipo laminar y crítico, lo cual fue la base para iniciar una investigación más detallada con la finalidad de encontrar la forma de simular este tipo de flujo en las redes de distribución.

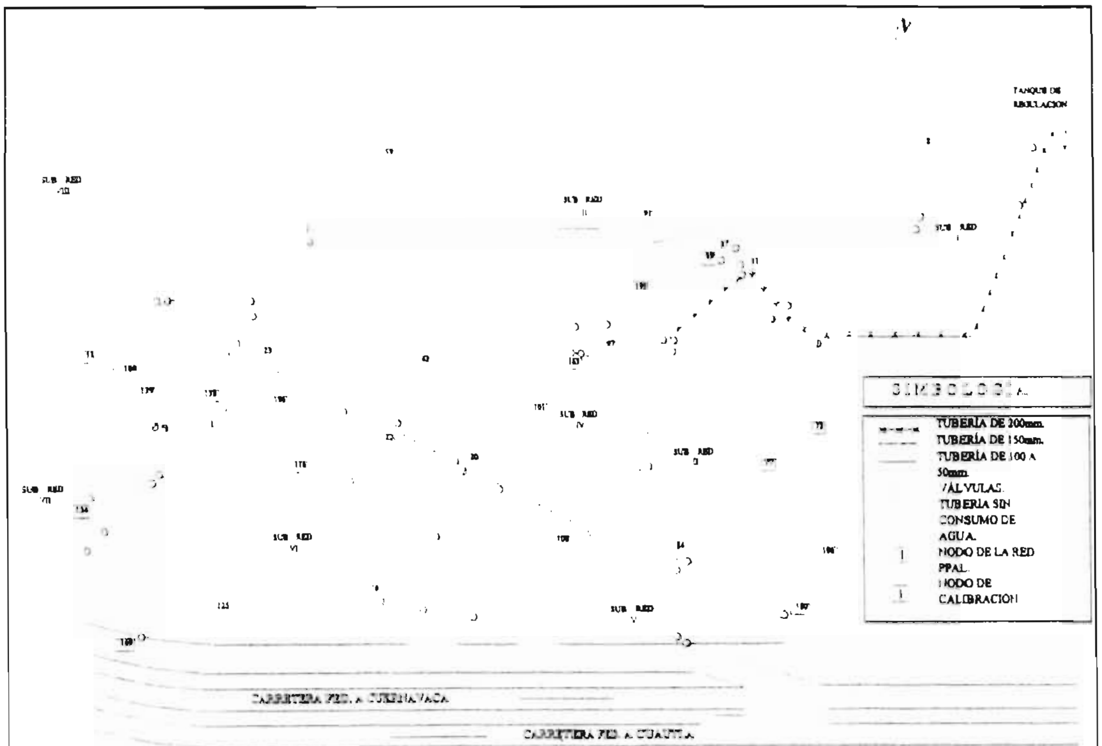


Ilustración I.1 *Red de agua potable del fraccionamiento El Paraje, Jiutepec, Morelos.*

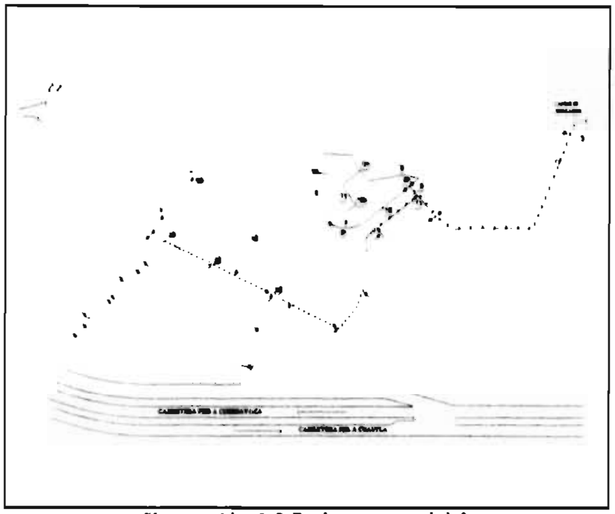
En los siguientes subcapítulos se muestran los estudios realizados en la red primaria y en las redes secundarias que integran el sistema de agua potable del fraccionamiento, se presentan gráficas que permiten distinguir el porcentaje de flujos de tipo laminar ($Re < 4000$) y turbulento ($Re \geq 4000$) que se tienen en cada una de éstas, así como en todo el sistema.

[1] En un sistema de agua potable los tubos de distribución pueden ser de dos tipos: *primarios* y *secundarios*. Los *secundarios* tienen conectados únicamente a las tomas y en los *primarios* se conectan los tubos de distribución secundarios, pudiendo además existir tomas conectadas, (Referencia 13).

Los datos con los que se realizaron las gráficas se encuentran el anexo B, en el cual se presentan los resultados obtenidos por el programa ***MIRAP***, el análisis de los mismos para obtener el número de Reynolds, en los *nodos*[2] de cada tramo o *cuerdas*[3] de la red.

I. 1. 1 *Red primaria*

La Red primaria del Paraje (ilustración 1.2) se encuentra constituida por 12 cuerdas de diferentes diámetros interiores: cinco cuerdas de 0.0785m, tres de 0.1009m, dos de 0.1485m y dos de 0.1933m.



RED PRINCIPAL			DIAM. (m)
CUERDA	NODO		
	1	2	
1	11	1	0.1933
2	11	87	0.0785
3	20	11	0.1933
4	22	20	0.1485
5	23	22	0.1485
6	45	23	0.1009
7	23	20	0.0785
8	87	91	0.0785
9	97	91	0.0785
10	97	87	0.0785
11	97	91	0.0785
12	42	22	0.1009

Ilustración 1.2 *Red primaria del fraccionamiento El Paraje y características principales.*

En el análisis de los resultados obtenidos por el programa ***MIRAP,*** se observó que en la red primaria se obtuvo un promedio de 16.67% de flujos de tipo laminar y de un 83.33% de tipo turbulento, como se muestra en la ilustración 1.2 y en el cuadro 1.1. Este estudio se realizó durante un periodo de siete horas (11h. a 18 h.).

En los próximos subcapítulos se muestran los resultados del análisis sobre cada uno de los tramos de tubo de la red secundaria. En este caso, la presencia de flujo laminar es mayor lo cual constituye una justificación de mayor peso para contemplar este tipo de flujo en redes.

[2] **Nodo.-** Es un punto de la red donde se conectan dos o más elementos, o solamente un elemento si es un punto extremo de la red, Anexo A, pag. 68.

[3] **Cuerda.-** Es un conjunto de elementos internos conectados en serie, donde se puede transportar, derivar y controlar el flujo. Anexo A, pag. 68.

RED PRIMARIA			REYNOLDS PROMEDIO (11-18 H.)
CUERDA	NODO		
	1	2	
1	11	1	54908
2	11	87	15675
3	20	11	35405
4	22	20	20898
5	23	22	19168
6	45	23	6505
7	23	20	19998
8	87	91	6844
9	97	91	5488
10	97	87	7077
11	97	91	961
12	42	22	10

FLUJO LAMINAR (%)= 16.67
FLUJO TURBULENTO (%)= 83.33

Cuadro 1.1 *Números de Reynolds en la red primaria.*

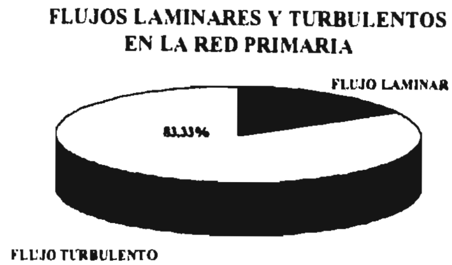
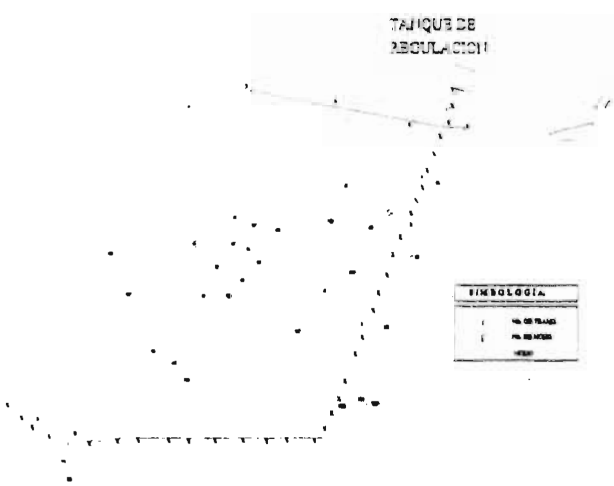


Ilustración 1.3 *Representación gráfica de los números de Reynolds obtenidos.*

I. 1. 2 *Red Secundaria No. 1*

La Red Secundaria No. 1 (ilustración 1.4) consta de 18 tramos de los cuales 6 tramos tienen un diámetro interior de 0.0531m y los otros 12 restantes de 0.0785m.



RED SEC. No. 1			DIAM. (m)
TRAMO	NODO		
	1	2	
45	5	62	0.0785
46	7	173	0.0785
47	174	64	0.0785
48	175	65	0.0531
49	67	176	0.0785
50	69	177	0.0785
51	63	66	0.0785
71	3	8	0.5310
121	159	160	0.0531
123	62	156	0.0785
124	156	157	0.0785
128	160	161	0.0531
129	160	162	0.0531
138	173	63	0.0785
139	7	174	0.0785
140	63	175	0.0531
141	176	68	0.0785
142	177	70	0.0785

Ilustración 1.4 *Red Secundaria No. 1 del fraccionamiento El Paraje y características principales.*

En esta red se realizó el análisis de cada uno de los tramos, encontrándose que el promedio de flujos de tipo laminar y turbulento era de 88.89% y 11.11% respectivamente (cuadro 1.2), lo cual se muestra en la ilustración 1.5.

RED SEC. No. 1			REYNOLDS PROMEDIO (11-18 H.)
TRAMO	NODO 1	NODO 2	
45	5	62	6158
46	7	173	5566
47	174	64	790
48	175	65	387
49	67	176	1950
50	69	177	754
51	63	66	3399
71	3	8	754
121	159	160	3399
123	62	156	1593
124	156	157	1199
128	160	161	3405
129	160	162	382
138	173	63	1593
139	7	174	1199
140	63	175	3405
141	176	68	382
142	177	70	389

FLUJO LAMINAR (%)= 88.89
FLUJO TURBULENTO (%)= 11.11

Cuadro 1.2 *Números de Reynolds en la red secundaria 1.*

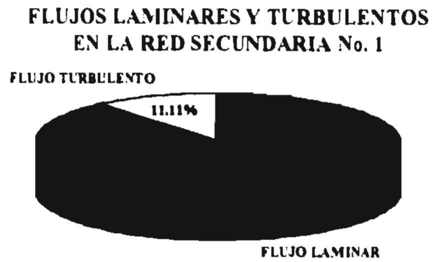


Ilustración 1.5 *Representación gráfica de los números de Reynolds obtenidos.*

I. 1. 3 *Red Secundaria No. 2*

La Red Secundaria No.2 (ilustración 1.6) se encuentra constituida por 15 tramos de los cuales seis tienen un diámetro interior de 0.0531m y los otros nueve de 0.0785m. En la ilustración 1.6 se muestra un croquis de la misma y las características principales de cada tramo.

RED SEC. No. 2			DIAM. (m)
TRAMO	NODO 1	NODO 2	
52	72	178	0.0785
53	72	179	0.0785
54	74	75	0.0785
55	75	76	0.0785
56	76	77	0.0785
57	76	77	0.0785
58	77	78	0.0785
72	72	10	0.0531
73	200	12	0.0531
74	103	186	0.0531
75	105	187	0.0531
143	178	71	0.0785
144	179	73	0.0785
153	186	104	0.0531
154	187	106	0.0531

Ilustración 1.6 *Red Secundaria No. 2 del fraccionamiento El Paraje y características principales*

En el cuadro 1.3 y en la ilustración 1.7, se muestran los promedios obtenidos al estudiar la presencia de flujos de tipo laminar (66.67%) y turbulento (33.33%).

RED SEC. No. 2			REYNOLDS PROMEDIO (11-18 H.)
TRAMO	NODO		
	1	2	
52	72	178	5391
53	72	179	*1507*
54	74	75	9470
55	75	76	7844
56	76	77	*2047*
57	76	77	*2708*
58	77	78	7844
72	72	10	*2047*
73	200	12	*2708*
74	103	186	*158*
75	105	187	*3127*
143	178	71	*1639*
144	179	73	*2353*
153	186	104	*3245*
154	187	106	6448

FLUJO LAMINAR (%)= 66.67
FLUJO TURBULENTO (%)= 33.33

Cuadro 1.3 *Números de Reynolds en la red secundaria 2.*

FLUJOS LAMINARES Y TURBULENTOS EN LA RED SECUNDARIA No. 2

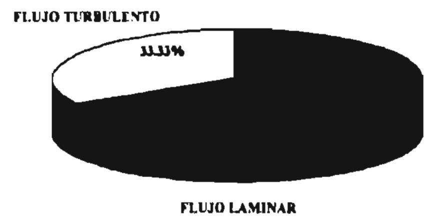
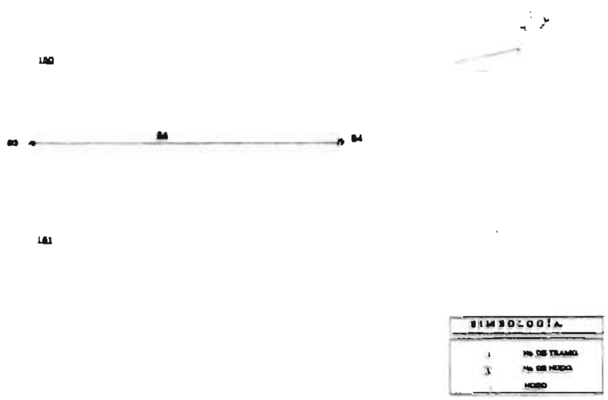


Ilustración 1.7 *Representación gráfica de los números de Reynolds obtenidos.*

I. 1. 4 *Red Secundaria No. 3*

La Red Secundaria No. 3 (ilustración 1.8) es la más pequeña de todas ya que sólo consta de un tramo, al cual también se le realizó el análisis de los resultados, como puede apreciarse en el cuadro 1.4 y la ilustración 1.9. En este tramo se encontró la presencia única de flujo de tipo laminar.



RED SEC. No. 3			DIAM. (m)
TRAMO	NODO		
	1	2	
64	94	93	0.0785

Ilustración 1.8 *Red Secundaria No. 3 del fraccionamiento El Paraje y características principales.*

RED SEC. No. 3			REYNOLDS PROMEDIO (11-18 H.)
TRAMO	NODO		
	1	2	
64	94	93	1099

FLUJO LAMINAR (%)= 100
FLUJO TURBULENTO (%)= 0

Cuadro 1.4 *Números de Reynolds en la red secundaria 3.*

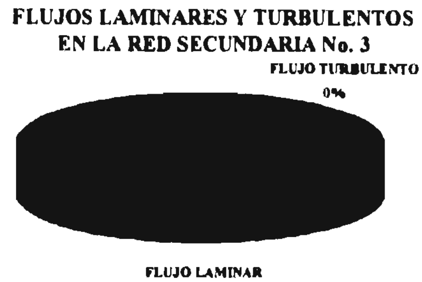
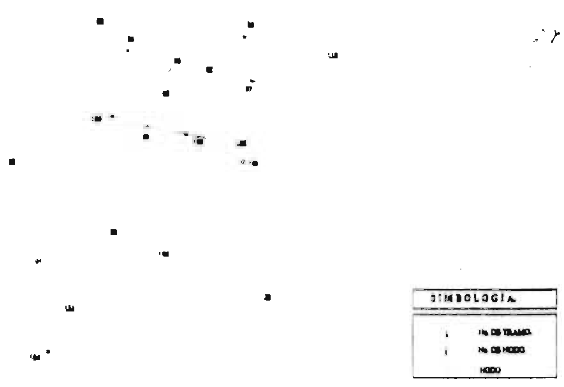


Ilustración 1.9 *Representación gráfica de los números de Reynolds obtenidos.*

I. 1. 5 *Red Secundaria No. 4*

En la ilustración 1.10 se presenta el croquis de la Red Secundaria No. 4 y los diámetros de cada tramo. Ésta consta de seis tramos, de los cuales uno tiene un diámetro interior de 0.0531m y los cinco restantes de 0.0785m. En el cuadro 1.5 se muestran los números de Reynolds promedios obtenidos en el análisis de cada uno de los tramos. Así, se tiene una presencia de flujo laminar del 83.33% y 16.67% de turbulento. Su representación se encuentra en la ilustración 1.11.



RED SEC. No. 4			DIAM. (m)
TRAMO	NODO		
	1	2	
68	99	96	0.0785
69	101	163	0.0785
70	184	185	0.0785
82	102	101	0.0531
151	101	184	0.0785
152	185	100	0.0785

Ilustración 1.10 *Red Secundaria No. 4 del fraccionamiento El Paraje y características principales.*

RED SEC. No. 4			REYNOLDS PROMEDIO (11-18 H.)
TRAMO	NODO		
	1	2	
68	99	96	4912
69	101	163	2260
70	184	185	1448
82	102	101	445
151	101	184	1008
152	185	100	2491

FLUJO LAMINAR (%)= 83.33
FLUJO TURBULENTO (%)= 16.67

Cuadro I.5 *Números de Reynolds en la red secundaria 4.*

FLUJOS LAMINARES Y TURBULENTOS EN LA RED SECUNDARIA No. 4

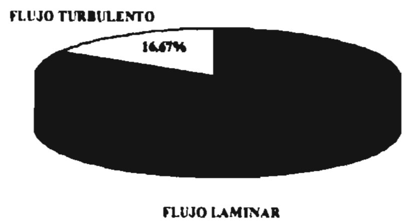
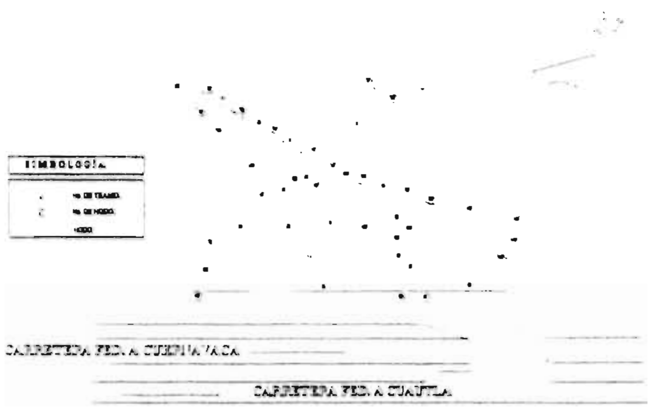


Ilustración I.11 *Representación gráfica de los números de Reynolds obtenidos.*

I. 1. 6 *Red Secundaria No. 5*

La Red Secundaria No.5 (ilustración 1.12) consta de 15 tramos, de los cuales ocho tienen un diámetro interior de 0.0531m y los siete restantes de 0.0785m. Al hacer el análisis de los resultados obtenidos por el programa ***MIRAP***, se encontró la presencia de un 46.67% de flujo laminar y 53.33% de flujo turbulento, como se observa en la ilustración 1.13. Estos porcentajes fueron calculados a partir de los datos mostrados en el cuadro 1.6.



RED SEC. No. 5			DIAM. (m)
TRAMO	NODO		
	1	2	
59	79	198	0.0785
60	81	180	0.0785
61	84	199	0.0785
76	108	107	0.0531
77	108	109	0.0531
78	110	108	0.0531
79	110	111	0.0531
80	112	110	0.0531
81	80	188	0.0531
120	155	18	0.0531
145	198	82	0.0785
146	180	181	0.0785
147	83	181	0.0785
148	199	16	0.0785
155	188	112	0.0531

Ilustración I.12 *Red Secundaria No. 5 del fraccionamiento El Paraje y características principales.*

RED SEC. No. 5			REYNOLDS PROMEDIO (11-18 H.)
TRAMO	NODO 1	NODO 2	
59	79	198	5110
60	81	180	*2265*
61	84	199	12998
76	108	107	10194
77	108	109	*836*
78	110	108	8522
79	110	111	*1355*
80	112	110	*836*
81	80	188	8522
120	155	18	*1355*
145	198	82	4253
146	180	181	4088
147	83	181	*3061*
148	199	16	6294
155	188	112	*3785*

FLUJO LAMINAR (%)= 46.67
FLUJO TURBULENTO (%)= 53.33

Cuadro 1.6 *Números de Reynolds en la red secundaria 5.*

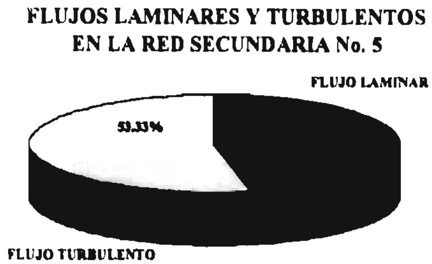
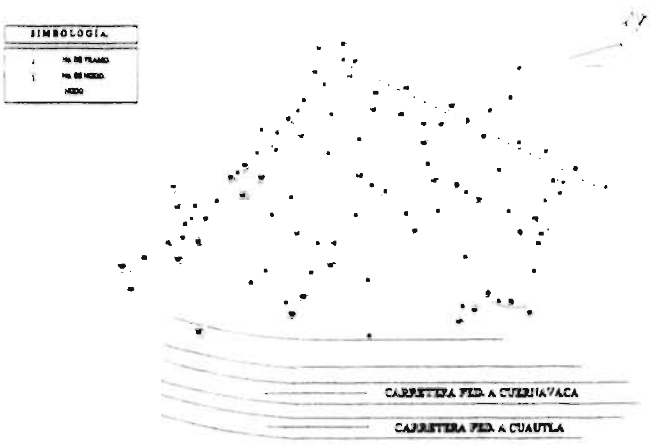


Ilustración 1.13 *Representación gráfica de los números de Reynolds obtenidos.*

I. 1. 7 *Red Secundaria No. 6*

Esta red (ilustración 1.14) es la más grande de todas y se encuentra integrada por 24 tramos, de los cuales 18 tienen un diámetro interior de 0.0531m y los seis restantes de 0.0785m. Al hacer el análisis de los resultados se encontró que en un 58.33% los números de Reynolds pertenecían a flujos de tipo laminar y el 41.67% restante estaba en el rango de turbulento (cuadro 1.7). Estos porcentajes se encuentra representados en la ilustración 1.15.



RED SEC. No. 6			DIAM. (m)
TRAMO	NODO 1	NODO 2	
24	35	36	0.0785
25	37	36	0.0785
26	38	37	0.0785
27	39	38	0.0785
28	85	39	0.0785
29	39	40	0.0785
83	165	113	0.0531
84	115	116	0.0531
85	117	116	0.0531
86	116	118	0.0531
87	118	37	0.0531
88	119	118	0.0531
89	120	121	0.0531
90	122	121	0.0531
91	121	123	0.0531
92	197	123	0.0531
93	123	125	0.0531
94	126	125	0.0531
95	128	127	0.0531
96	125	128	0.0531
131	167	165	0.0531
132	196	165	0.0531
163	114	196	0.0531
164	124	197	0.0531

Ilustración 1.14 *Red Secundaria No. 6 del fraccionamiento El Paraje y características principales.*

TRAMO	RED SEC. No. 6 NODO 1	2	REYNOLDS PROMEDIO (11-18 H.)
24	35	36	5744
25	37	36	2074
26	38	37	6965
27	39	38	8202
28	85	39	2594
29	39	40	8351
83	165	113	995
84	115	116	2143
85	117	116	1346
86	116	118	957
87	118	37	4321
88	119	118	1600
89	120	121	2074
90	122	121	6965
91	121	123	8202
92	197	123	2594
93	123	125	8351
94	126	125	8351
95	128	127	995
96	125	128	2143
131	167	165	1346
132	196	165	957
163	114	196	4321
164	124	197	1600

FLUJO LAMINAR (%)= 58.33
FLUJO TURBULENTO (%)= 41.67

Cuadro 1.7 *Números de Reynolds en la red secundaria 6.*

FLUJOS LAMINARES Y TURBULENTOS EN LA RED SECUNDARIA No. 6

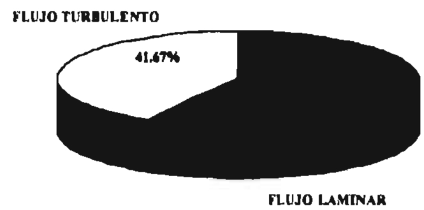
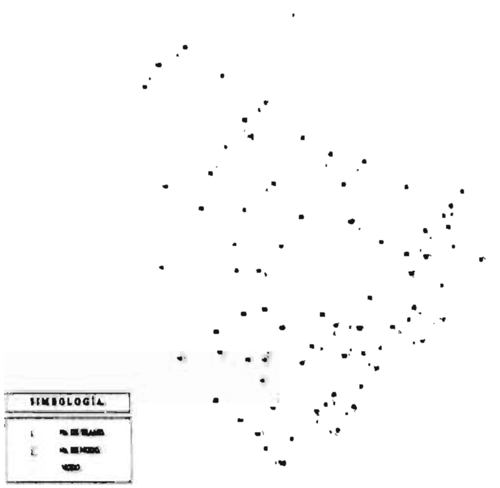


Ilustración 1.15 *Representación gráfica de los números de Reynolds obtenidos.*

I. 1.8 *Red Secundaria No. 7*

Como se observa en la ilustración 1.16, esta red consta de 12 tramos con un diámetro interior de 0.0531m. El análisis de los resultados se muestra en el cuadro 1.8, arrojando un porcentaje de flujo laminar y turbulento de 75% y 25%, respectivamente (ilustración 1.17).



TRAMO	RED SEC. No. 7 NODO 1	2	DIAM. (m)
97	130	27	0.0531
98	133	30	0.0531
99	135	136	0.0531
100	135	137	0.0531
101	135	138	0.0531
102	131	139	0.0531
103	139	140	0.0531
104	139	141	0.0531
105	141	142	0.0531
106	141	143	0.0531
107	132	144	0.0531
108	134	145	0.0531

Ilustración 1.16 *Red Secundaria No. 7 del fraccionamiento El Paraje y características principales.*

TRAMO	RED SEC No. 7 NODO 1	2	REYNOLDS PROMEDIO (11-18 H.)
97	130	27	8547
98	133	30	8988
99	135	136	*543*
100	135	137	5236
101	135	138	*1899*
102	131	139	*3967*
103	139	140	*1594*
104	139	141	*572*
105	141	142	*233*
106	141	143	*72*
107	132	144	*418*
108	134	145	*1645*

FLUJO LAMINAR (%)= 75.00
FLUJO TURBULENTO (%)= 25.00

Cuadro 1.8 *Números de Reynolds en la red secundaria 7.*

FLUJOS LAMINARES Y TURBULENTOS EN LA RED SECUNDARIA No. 7

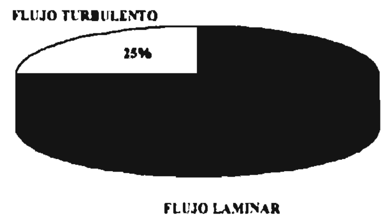
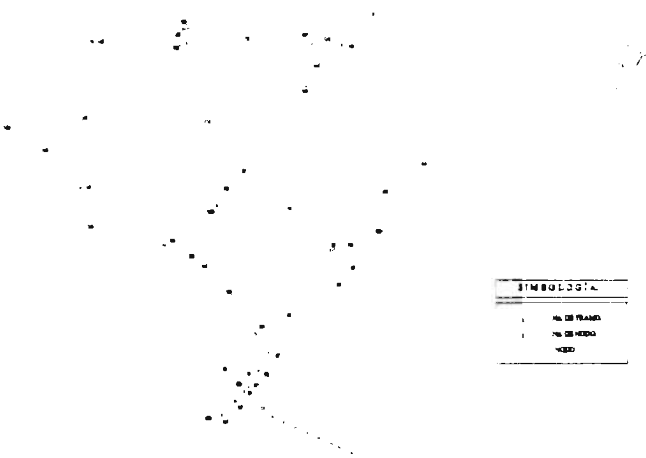


Ilustración 1.17 *Representación gráfica de los números de Reynolds obtenidos.*

I. 1. 9 *Red Secundaria No. 8*

La última red del fraccionamiento El Paraje consta de 11 tramos (ilustración 1.18), de los cuales dos tienen un diámetro interior de 0.0531m y los nueve restantes de 0.0731m. Los números de Reynolds proporcionados por el programa, arrojan un porcentaje de 63.64% de flujo de tipo laminar y 36.36% de tipo turbulento (cuadro 1.9 e ilustración 1.19).



TRAMO	RED SEC. No. 8 NODO 1	2	DIAM. (m)
35	46	45	0.0785
36	48	49	0.0785
37	50	171	0.0785
38	51	164	0.0785
39	52	51	0.0785
40	49	53	0.0785
41	55	172	0.0785
109	146	51	0.0531
110	53	54	0.0531
136	171	47	0.0785
137	172	49	0.0785

Ilustración 1.18 *Red Secundaria No. 8 del fraccionamiento El Paraje y características principales.*

RED SEC. No. 8			REYNOLDS
TRAMO	NODO		PROMEDIO
	1	2	(11-18 H.)
35	46	45	6540
36	48	49	*63*
37	50	171	5694
38	51	164	5081
39	52	51	*712*
40	49	53	*112*
41	55	172	*74*
109	146	51	*2412*
110	53	54	*52*
136	171	47	6166
137	172	49	*112*

FLUJO LAMINAR (%)= 63.64
FLUJO TURBULENTO (%)= 36.36

Cuadro 1.9 *Números de Reynolds en la red secundaria 8.*

FLUJOS LAMINARES Y TURBULENTOS EN LA RED SECUNDARIA No. 8

Ilustración 1.19 *Representación gráfica de los números de Reynolds obtenidos.*

I. 2 TIPO DE FLUJO EXISTENTE EN TODO EL SISTEMA

En el subcapítulo anterior se estudió la presencia de flujo de tipo laminar y turbulento en la red primaria y las redes secundarias que a la red.

Con base en estos datos se observa que en toda la red se tiene un promedio de 66.58% de flujo laminar y 33.42% de flujo turbulento (cuadro 1.10 e ilustración 1.20). Esto prueba la necesidad de encontrar un procedimiento que permita simular cualquier tipo de flujo en una red de distribución, ya que en los casos como el que fue analizado la presencia de flujo laminar es muy notable y por lo tanto es importante identificar su influencia en la red.

TIPO DE RED	FLUJO LAMINAR (%)	FLUJO TURBULENTO (%)
RED PRIMARIA	16.67	83.33
RED SECUNDARIA No 1	88.89	11.1
RED SECUNDARIA No.2	66.67	33 33
RED SECUNDARIA No.3	100.00	0 00
RED SECUNDARIA No 4	83.33	16.67
RED SECUNDARIA No.5	46 67	53.33
RED SECUNDARIA No.6	58.33	41 67
RED SECUNDARIA No 7	75 00	25.00
RED SECUNDARIA No.8	63.64	36.36
PROMEDIO TOTAL (%)	66.58	33.42

Cuadro 1.10 *Números de Reynolds en la todo el sistema.*

TIPO DE FLUJO PROMEDIO EN LA RED DE LAS 11H. A LAS 18 H.

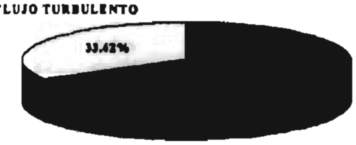


Ilustración 1.20 *Representación gráfica de los números de Reynolds obtenidos en el sistema.*

A continuación se presenta la red de agua potable del fraccionamiento El Paraje, donde se indican los tramos en los que el número de Reynolds calculado corresponde al de un flujo de tipo laminar o turbulento.

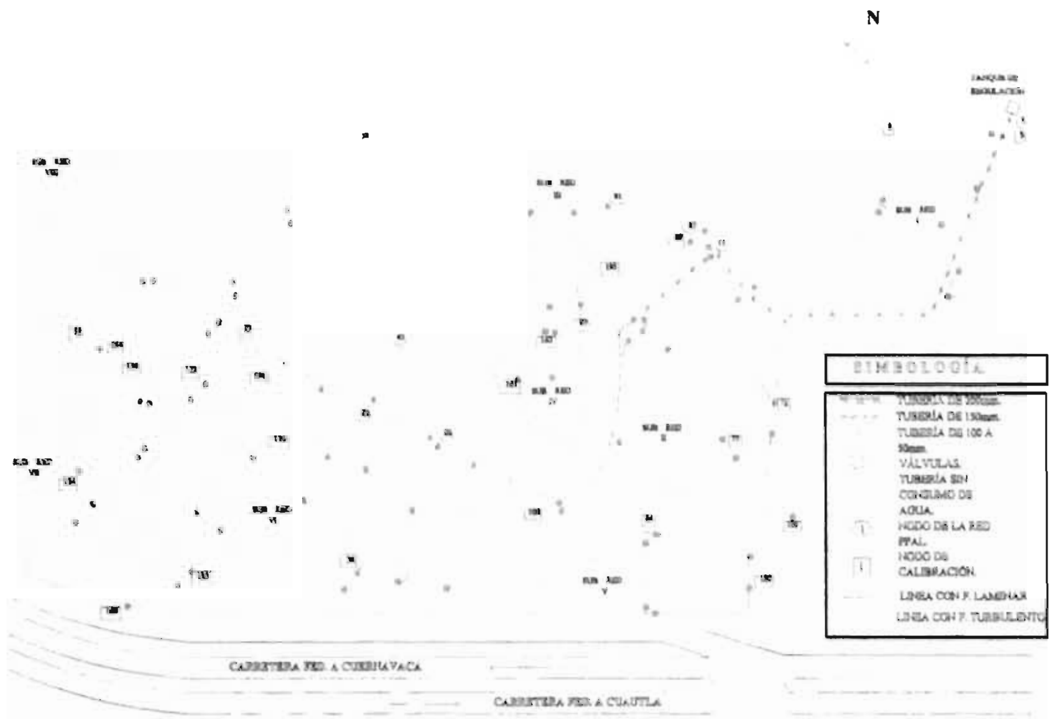


Ilustración 1.21 *Flujo laminar y turbulento en la red de agua potable del fraccionamiento "El Paraje*

Cabe hacer notar que para obtener una ecuación o procedimiento para el cálculo del coeficiente de pérdidas por cortante es necesario salvar la discontinuidad existente entre las ecuaciones de Poiseuille y de Colebrook-White en la zona conocida como crítica.

En este subcapítulo se proporcionaron los resultados obtenidos en la modelación hidráulica de una red existente, en la cual se encontró que en varios tramos los números de Reynolds calculados pertenecían a flujos de tipo laminar y turbulento. Con el propósito de complementar éste estudio y comprobar que este tipo de flujo existe en la red, se desarrolló un experimento de campo el cual se describe en el siguiente subcapítulo.

I. 3 COMPROBACIÓN DE CAMPO

En 1883 Osborne Reynolds[17], presentó un extenso trabajo titulado ***"An experimental investigation of the circumstances which determine whether the motion of water shall be direct or sinuous, and of the law of resistence in parallel channels"*** en donde afirmaba que "Aunque las ecuaciones de la hidrodinámica sean aplicables al *movimiento directo*, o sea sin remolinos, mostrando que entonces la resistencia es proporcional a la velocidad, no ha arrojado hasta ahora ninguna luz sobre las circunstancias de las cuales dicho movimiento depende....".

Para ello aclara que : "Las circunstancias que determinan si el movimiento de tropas será una marcha o confusión se parece mucho a aquellas que determinan si el movimiento del agua será directo o sinuoso. En ambos casos existe cierta influencia necesaria para el orden: con las tropas es la disciplina, con el agua su viscosidad o aglutinación........"

Así, se propuso determinar bajo qué condiciones se producen el escurrimiento "directo" y el "sinuoso". La primera idea que se le ocurrió fue inyectar un colorante en el agua para visualizar el movimiento del fluido. Para ello construyó un modelo[4] , el cual se esquematiza en la ilustración 1.22.

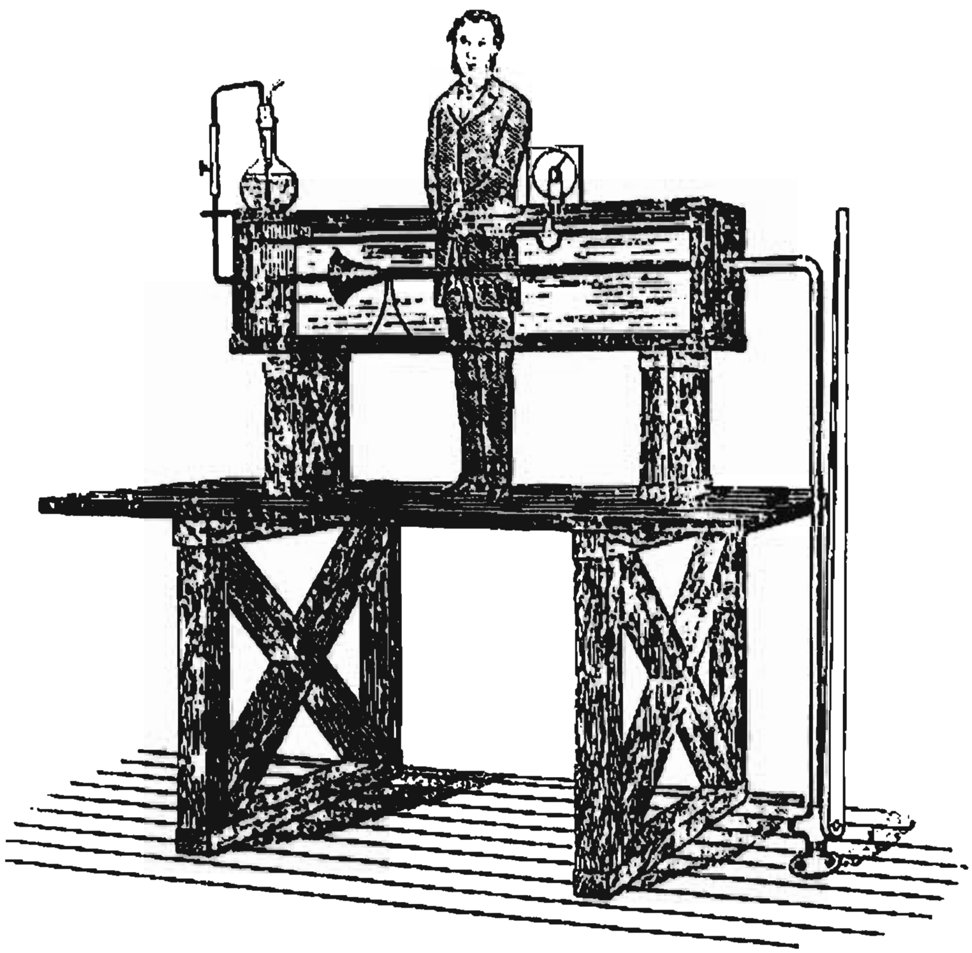


Ilustración 1.22 *Modelo utilizado por Reynolds para visualizar el comportamiento de un flujo en tramo de tubo.*

[4] Este aparato se encuentra en los Simon Engineering Laboratories of Manchester, utilizándose para demostraciones estudiantiles.

El primer ensayo lo realizó con ayuda de Foster[17] el 22 de febrero de 1880. "....Se permitió al tinte fluir muy despacio, y se abrió un poco la válvula para aumentar la velocidad del agua en el sifón. El filamento coloreado se estableció como un hilo (ilustración 1.23-a-) y permaneció muy estable al crecer la velocidad; hasta que de repente, con una leve apertura ulterior de la válvula, en un punto situado poco más o menos dos pies antes del tubo de hierro, el filamento se expandió y se mezcló con el agua, ... (ilustración 1.23 -b-). Sin embargo, un examen más cuidadoso reveló la naturaleza de esa nube ......, apareció una secuencia de remolinos aislados y perfectamente claros (ilustración 1.23-c-)......"

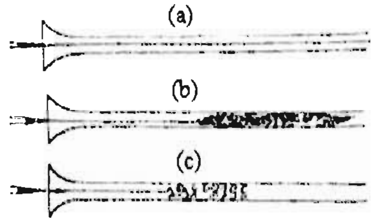


Ilustración 1.23 *Comportamiento del colorante en el experimento.*

Así pudo producir en un mismo tubo, con solo variar la velocidad, tanto el régimen "directo" como el "sinuoso", llamados actualmente "laminar" y "turbulento" respectivamente.

Los principios de este experimento se llevaron a cabo en dos tramos de la red del fraccionamiento "El Paraje", con la finalidad de hacer una observación *in situ* y verificar de esta manera que el régimen de flujo que se había calculado correspondía al que se presentaba en la realidad. Para ello se cambiaron dos tramos de la red por tubos de acrílico transparente.

Primeramente, se inyectó en el tramo una mezcla de aceite comestible y colorante vegetal (ilustración 1.24). Al realizar esto, se observó que las gotas de colorante corrían unas atrás de las otras siguiendo la misma trayectoria, lo cual indicó que no existía turbulencia, es decir, que las líneas de corriente eran paralelas, siendo ésta una característica de los flujos de tipo laminar.

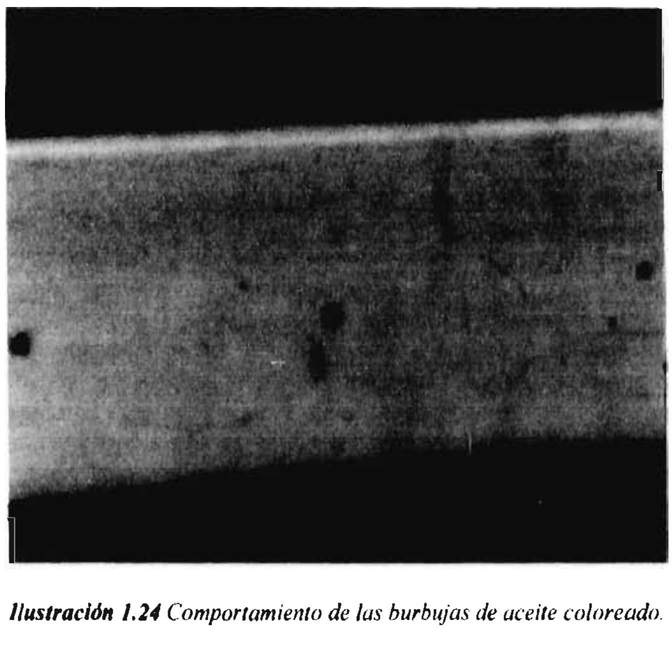


Ilustración 1.24 *Comportamiento de las burbujas de aceite coloreado.*

Posteriormente se inyectó a la tubería extracto de betabel. Se observó que el frente de avance se encontraba muy bien definido, es decir, no se presentaban torbellinos además, de conservar ésta forma en todo su recorrido a lo largo del tubo, siendo ésta una de las características que definen a un flujo laminar. Dicha prueba puede ser verse en la ilustración 1.25.

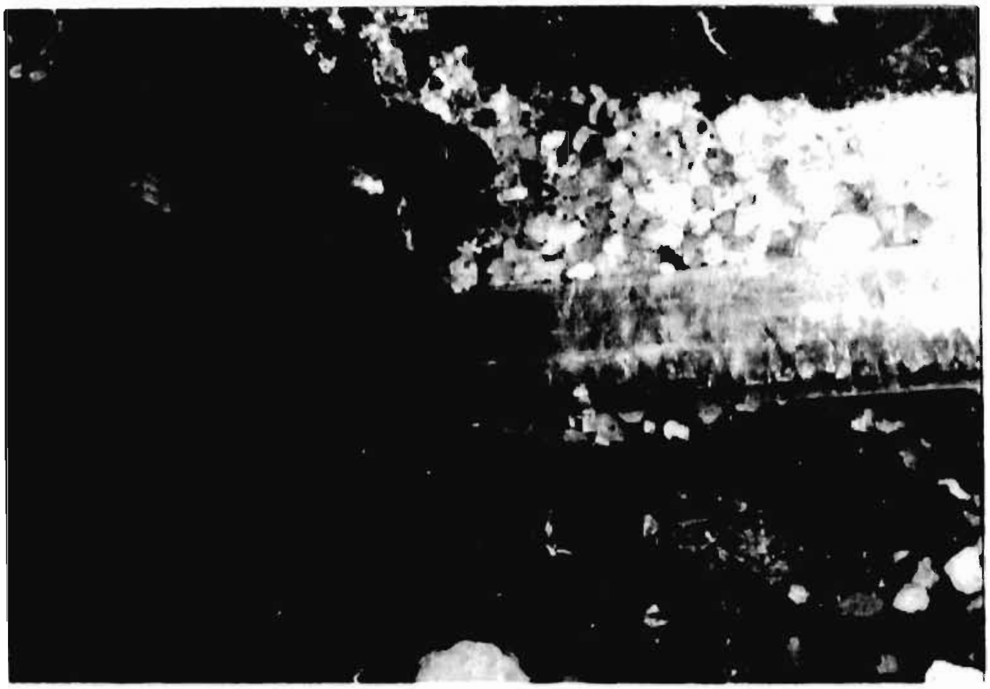


Ilustración 1.25 *Frente de avance del colorante*

CAPÍTULO II

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

Para comprender y resolver el problema planteado en el capítulo anterior, es importante recordar los conceptos establecidos por la hidráulica.

En el presente capitulo se describen los tipos de flujo existentes en las redes de tubos y las diferencias entre uno y otro, se muestra la ecuación para obtener la pérdida de carga, el factor de pérdida por cortante en flujos laminares y turbulentos.

II. 1 TIPOS DE FLUJO

Osborne Reynolds[29] (1883), con base en sus experimentos, fue el primero en proponer un criterio para distinguir los tipos de flujo al evaluar la preponderancia de las fuerzas viscosas sobre las de inercia.

En el caso de un conducto cilíndrico a presión, el número de Reynolds se define como :

$$Re = \frac{V D}{\nu} \tag{2.1}$$

donde,

Re	número de Reynolds.
V	velocidad media.
D	diámetro interno del conducto.
ν	viscosidad cinemática del fluido.

II. 1. 1 FLUJO LAMINAR Y TURBULENTO

De acuerdo con la referencia 21, el *flujo turbulento* se caracteriza por la acción de mezclado de las partículas. Este mezclado se debe a los remolinos o torbellinos de tamaño variable que se forman en el fluido. Por otro lado, el *flujo laminar* carece del intenso fenómeno de mezclado y de los torbellinos que caracterizan al flujo turbulento y tiene una apariencia muy suave.

La ilustración 2.1 presenta las diferencias que existen entre un flujo laminar *(a)* y un flujo turbulento *(b)*.

(a) Flujo laminar *(b) Flujo turbulento*

Ilustración 2.1 *Flujos laminar y turbulento en un tubo.*

Reynolds establece que el flujo laminar se presenta si $Re \leq 2000$ y el turbulento cuando $Re \geq 4000$. También encontró que en un tubo el flujo laminar se vuelve inestable cuando Re ha rebasado un valor crítico, para tornarse después en turbulento.

II. 1. 2 *Flujo Crítico*

Se observa la existencia de una zona ($2000 < Re < 4000$), conocida como *Zona Crítica*, a la que no se le ha asignado un tipo de flujo en especial. A los flujos que se encuentran en esta se les denomina *flujos críticos* y se dice que en ésta no se puede predecir el tipo de flujo existente, ya que presentan constantemente cambios de laminar a turbulento y viceversa, por lo cual no se tiene una ecuación que modele el comportamiento de factor de pérdida por cortante (f) en ella.

II. 2 FÓRMULA DE DARCY-WEISBACH

Muchos investigadores han tratado de determinar las leyes que rigen el flujo o la circulación de los fluidos en las tuberías. Una de las primeras expresiones de la pérdida de energía en una tubería fue desarrollada por Chezy en 1775. Se han desarrollado muchas otras fórmulas empíricas a partir de datos obtenidos en ensayos y en la mayoría de ellas parten de la hipótesis de que la pérdida de energía sólo depende de la velocidad, las dimensiones del conducto y la rugosidad de la pared. Los trabajos de Hagen (1839), Poiseuille (1840) y Reynolds (1883) demostraron que la densidad y la viscosidad del fluido influyen en la pérdida de energía. Más tarde, principalmente como deducción del trabajo de Nikuradse (1933), se reconoció que el efecto de la rugosidad no depende del valor absoluto de ésta sino de su relación al diámetro del tubo.

Para un flujo permanente en un tubo de diámetro constante, la línea de carga piezométrica es paralela a la línea de energía e inclinada en la dirección del movimiento. En 1850, Darcy, Weisbach y colaboradores, dedujeron experimentalmente una fórmula (ecuación 2.2) para calcular en un tubo la pérdida por fricción :

$$hf = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \tag{2.2}$$

donde

hf	pérdida por cortante, en m;
f	factor de pérdida, adimensional;
g	aceleración de la gravedad, en m/seg^2;
D	diámetro del tubo, en m;
L	longitud del tubo, en m;
V	velocidad media, en m/seg.

El factor de pérdida f es función de la rugosidad absoluta ε y del número de Reynolds Re en el tubo.

II. 3 CÁLCULO DEL FACTOR DE PÉRDIDA (f)

Como se vio anteriormente, el flujo o corriente en las tuberías se divide en dos tipos generales : laminar y turbulento. Cuando la corriente es laminar, las capas adyacentes del fluido se desplazan paralelas entre sí y no hay velocidades transversales de la corriente. La corriente turbulenta se caracteriza por la presencia de velocidades transversales que originan remolinos (ilustración 2.1). Si se inyecta una pequeña cantidad de colorante en una corriente laminar, el colorante se extenderá aguas abajo como un hilo bien marcado de color, mientras que en la corriente turbulenta, se mezclará rápidamente por toda la sección transversal de la tubería. Se tiene corriente laminar cuando $Re < 2000$ y turbulenta cuando $Re > 4000$.

II. 3. 1 *Ecuación de Poiseuille*

Las leyes de la corriente laminar en tuberías rectas se determinaron experimentalmente, en forma independiente, por Hagen y Poiseuille. En 1846 obtuvieron una ecuación para obtener el factor de pérdida f. Esta expresión matemática está dada por:

$$f = \frac{64}{Re} \tag{2.3}$$

El trabajo experimental de Hagen y Poiseuille y los ensayos efectuados por muchos investigadores posteriores han establecido la exactitud de esta relación dejándola fuera de duda.

La ley de Hagen - Poiseuille (ecuación 2.3) se aplica cuando $Re < 2000$. En el intervalo de números de Reynolds de 2000 a 4000, la corriente pasa de laminar a turbulenta. Los valores de f son inciertos en este periodo. Según la referencia 17, para el cálculo de una tubería que trabaje en esta zona, el único procedimiento seguro es suponer que la corriente es turbulenta y elegir f prolongando las curvas ilustradas en la ilustración 2.2.

II. 3. 2 *Ecuación de Colebrook-White*

Colebrook y White presentaron la siguiente fórmula empírica para la zona de transición de flujo laminar a turbulento en tubos comerciales:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log\left(\frac{\varepsilon / D}{3.71} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}}\right) \tag{2.4}$$

donde ε/D es la rugosidad relativa del material.

Algunas ventajas de esta ecuación es que permite el estudio del comportamiento de la corriente en la zona con flujo turbulento totalmente desarrollado, por lo que es válida para $Re \geq 4000$, además de que es aplicable en tubos comerciales lisos y rugosos.

La desventaja que presenta el uso de esta relación funcional, es que el valor de pérdida f se encuentra en forma ***implícita***. Esta dificultad ha impedido aprovechar las ventajas de la ecuación de Darcy-Weisbach (para el cálculo de las pérdidas de energía hf), principalmente en redes de tubos y ha motivado el uso generalizado de fórmulas empíricas menos precisas pero más fáciles de aplicar. No obstante, a menudo se abusa de éstas, inclusive en los sistemas sencillos donde puede aplicarse la de Colebrook-White.

En el caso de cálculos manuales en tubos sencillos, para estimar el valor de f generalmente se emplea el diagrama de Moody (ilustración 2.2).

II. 3. 3 *Diagrama de Moody*

L. F. Moody[21], con base a los resultados de Colebrook y White, preparó el *diagrama universal* para determinar el coeficiente de pérdida f en tuberías de rugosidad comercial que transportan cualquier líquido (ilustración 2.2).

Cuando la corriente se presenta en números de Reynolds mayores de 4000, los valores de f en la ecuación 2.2, varían con la rugosidad, la viscosidad y la densidad. La corriente turbulenta se divide en tres categorías: en tubos lisos, en tubos relativamente rugosos a velocidades grandes y en la zona de transición comprendida entre las dos primeras categorías.

En la corriente en tubos muy lisos, los valores de f varían con *Re*, como lo muestra la curva inferior de la ilustración 2.2. Puede observarse que nunca llega a convertirse en una recta horizontal, lo cual demuestra que las propiedades de los líquidos influyen sobre la corriente en todo el intervalo de números de Reynolds. Los tubos de vidrio y los de metal estirado con superficie muy lisa se encuentran en esta categoría.

En la ilustración 2.2, se ilustra la corriente en tuberías rugosas a valores grandes de *Re* por medio de la zona situada arriba y a la derecha de la línea de trazos, llamada zona de turbulencia completamente establecida o plena. En esta zona, las curvas f se vuelven horizontales, demostrando así que la corriente es completamente independiente de las propiedades de los líquidos. Nikuradse demostró que los valores de f situados en dicha zona sólo dependen de la rugosidad relativa (ε /D) siendo ε la rugosidad absoluta y D el diámetro del tubo. La rugosidad fue producida artificialmente con arena de tamaño uniforme.

La tercera categoría de corriente turbulenta se presenta cuando los valores de f se encuentran en la zona comprendida entre la curva para tuberías lisas y la línea de trazos de la ilustración 2.2. El flujo en los tubos comerciales se produce generalmente dentro de esta categoría. En esta zona, las curvas de f para diversos valores de la rugosidad relativa se separan en puntos sucesivos de aquellas para tuberías lisas y se vuelven horizontales cuando entran en la zona de turbulencia plena. Al principio fue difícil aplicar el concepto de la rugosidad relativa al tubo comercial porque sólo un número pequeño de puntos experimentales se extendían hasta la zona de turbulencia plena. Esta dificultad fue vencida por Colebrook y White, quienes establecieron la relación entre f y *Re*, por medio de la ecuación 2.4, la cual se aplica con buena aproximación a todas las curvas de transición.

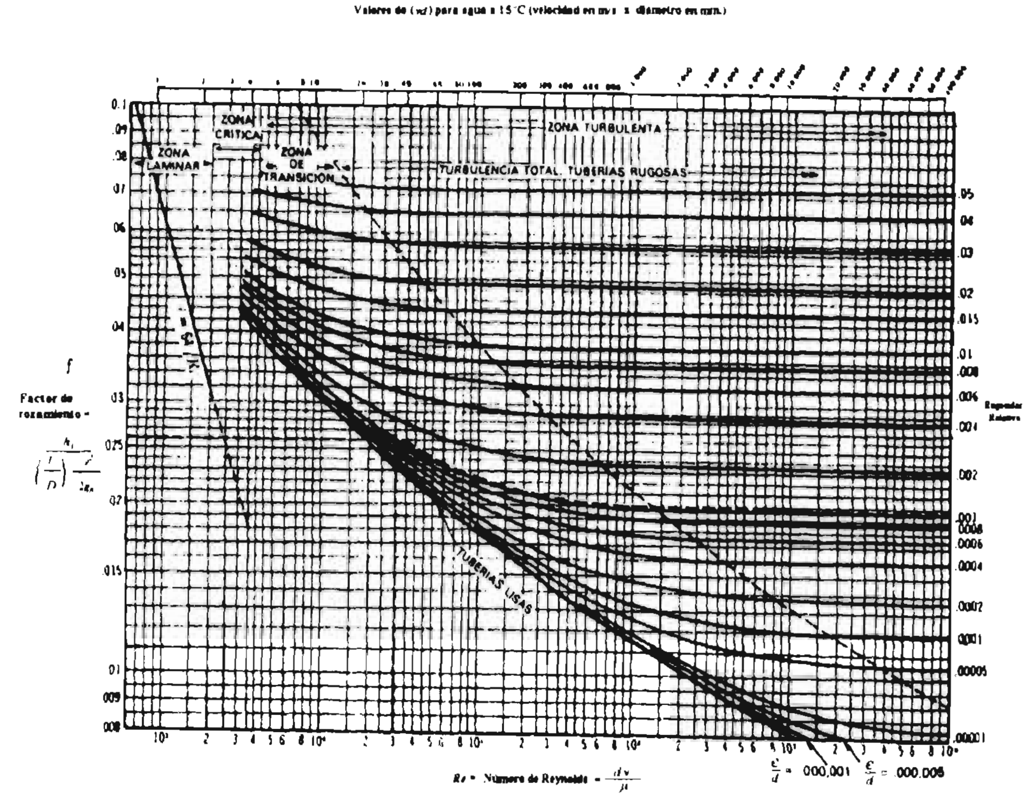


Ilustración 2.2 *Diagrama de Moody.*

II. 4 ECUACIONES PARA EL CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE ENERGÍA

Con la ecuación de Darcy-Weisbach y las vistas anteriormente para encontrar el valor del factor de pérdida *f*, se puede efectuar el cálculo de las pérdidas de energía para flujos laminares, turbulentos y de transición.

La ecuación de Darcy-Weisbach para el cálculo de energía por conducción *hf* en función del gasto es la siguiente:

$$hf = f \, \frac{0.81 \, L}{g \, D^5} \, Q^2 \qquad (2.5)$$

II. 4. 1 *Pérdida de Energía en Flujos Laminares*

Sustituyendo la ecuación de Poiseuille (2.3) en la ecuación de pérdidas de Darcy-Weisbach (2.5) se tiene que :

$$hf = \frac{51.84\,L}{Re\,g\,D^5}\,Q^2 \qquad (2.6)$$

la cual es válida para el cálculo de pérdidas de energía en flujos laminares, es decir, con $Re \leq 2000$.

II. 4. 2 *Pérdida de Energía en Flujos Turbulentos*

Conociendo el valor del coeficiente de pérdida f en la ecuación de Colebrook-White (2.4), se puede obtener la pérdida de energía sustituyendo éste en la fórmula de Darcy-Weisbach (2.5).

Para ello es necesario utilizar un método numérico ya que el coeficiente de pérdida de la ecuación (2.4) es implícito.

CAPÍTULO III

PROPUESTAS DE SOLUCIÓN

Como se vio en el capítulo anterior, la obtención del coeficiente *f* es de suma importancia en el cálculo de la pérdida de carga o del gasto (ecuación 2.5). Si se considera la existencia de flujos de tipo laminar, crítico y turbulento en redes de tubos es muy probable que se presenten problemas de convergencia, provocados por la discontinuidad existente entre las ecuaciones de Poiseuille y de Colebrook-White. Para resolver esto, se propusieron diferentes métodos, los cuales fueron mejorando la convergencia en la solución de la red de tubos. En el capítulo II se dieron a conocer las relaciones funcionales para el cálculo del coeficiente de pérdida *f*, señalando que para flujos turbulentos, la ecuación a utilizar es la de Colebrook-White (2.4) pero ésta presenta el problema de ser implícita.

En este capítulo se muestra el desarrollo de los métodos de solución propuestos. Cada uno de ellos fue mejorando la convergencia hasta llegar a la propuesta final, la cual obtiene el valor del coeficiente de pérdidas por cortante *f*, en cualquier régimen de flujo debido a que simula una unión entre las ecuaciones de Poiseuille y de Colebrook-White, además de que presenta la particularidad de ser explícita.

III.1 ECUACIÓN MODIFICADA DE COLEBROOK-WHITE

Guerrero[12] en 1995, propone la ecuación modificada de Colebrook-White (3.1), para el cálculo del coeficiente de pérdidas en flujos turbulentos. Ésta presenta la particularidad de ser explícita y los resultados obtenidos por ella se ajustan suficientemente bien a los calculados con fórmula implícita de Colebrook-White.

$$f = \frac{0.25}{\left(\log\left(\frac{\varepsilon / D}{3.71} + \frac{G}{Re^{T}}\right)\right)^{2}} \tag{3.1}$$

donde

ε / D rugosidad relativa del tubo

G y T parámetros de ajuste

$G = 4.555$	$T = 0.8764$	para $4000 \leq Re \leq 10^5$
$G = 6.732$	$T = 0.9104$	para $10^5 \leq Re \leq 3 \times 10^6$
$G = 8.982$	$T = 0.93$	para $3 \times 10^6 \leq Re \leq 10^8$

Sustituyendo la ecuación modificada de Colebrook-White (3.1) en la de Darcy-Weisbach (2.2), se tiene :

$$hf = \frac{0.203\, L}{g\, D^{5} \left[log \left(\frac{\varepsilon / D}{3.71} + \frac{G}{Re^{T}} \right) \right]^{2}} Q^{2} \tag{3.2}$$

con la cual se puede obtener la pérdida de energía que existente en un flujo turbulento, es decir cuando $Re > 4000$.

III. 2 CÁLCULO SIN ETAPAS Y SIN *INTERLAPE* PREVIO

Se considera que una *etapa* consiste en completar un ciclo de cálculo del coeficiente pérdida f para flujo laminar o turbulento, es decir, si éste inicia utilizando la ecuación para flujo laminar habrá terminado cuando dentro de este intervalo se encuentre la raíz. Al final del procedimiento se verificará si el Reynolds encontrado está dentro del rango de validez de la fórmula elegida. De lo contrario, la siguiente etapa comenzará utilizando la relación funcional que sea válida en el intervalo correspondiente.

En este trabajo se considera que un *interlape* consiste en aumentar la validez de las ecuaciones del flujo laminar y turbulento en un cierto intervalo.

En la propuesta de solución sin etapas y sin *interlape* previo, se modeló a los tubos considerando flujo laminar en $Re \leq 2000$ y flujo turbulento con $Re > 2000$, como se muestra en la ilustración 3.1. Esto es, cuando $Re \leq 2000$, la fórmula a utilizar para el cálculo de pérdidas f es la 1.3 y si $Re > 2000$ se utiliza la ecuación modificada de Colebrook-White (3.1).

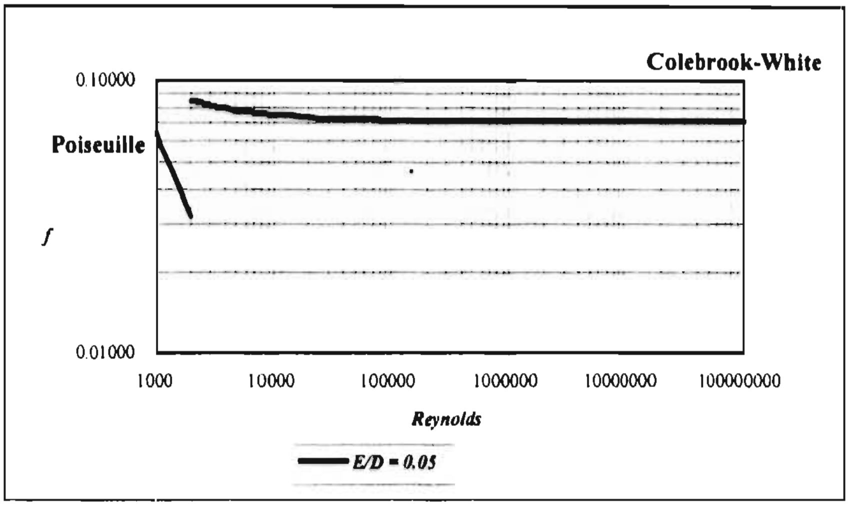


Ilustración 3.1 *Cálculo sin etapas y sin traslape previo.*

Para probar esta propuesta de solución, se utilizó el programa de cómputo ***MIRAP*** y el procedimiento de simulación queda modificado en parte comprendida por el anexo A.7, de la siguiente forma :

1. En la ecuación A.23, se tiene que:

$$M = f \, \frac{0.81\,L}{g\,D^5} \tag{3.3}$$

2. Si el número de Reynolds nos indica que el flujo es laminar ($Re \leq 2000$), en la ecuación 3.3 el coeficiente de pérdidas f será calculado con la fórmula 2.3 de Poiseuille.

$$f = \frac{64}{Re}$$

3. Si el flujo es turbulento ($Re > 2000$), el coeficiente de pérdida f en la fórmula 3.3 será calculado con la ecuación modificada de Colebrook-White propuesta por Guerrero (3.1).

$$f = \frac{0.25}{\left(\log\left(\frac{\varepsilon / D}{3.71} + \frac{G}{Re^T}\right)\right)^2}$$

donde

$G = 4.555$	$T = 0.8764$	para $4000 \leq Re \leq 10^5$
$G = 6.732$	$T = 0.9104$	para $10^5 \leq Re \leq 3 \times 10^6$
$G = 8.982$	$T = 0.93$	para $3 \times 10^6 \leq Re \leq 10^8$

4. Si no se ha encontrado la solución al término del procedimiento descrito en el Anexo A.7, se repetirá el proceso hasta llegar a ella.

En el anexo C.1 se muestra la subrutina utilizada para el cálculo del gasto en el tramo. Al emplear esta alternativa en el programa, se encontró que los valores del número de Reynolds empezaban a fluctuar cuando estaban muy próximos a *Re = 2000*. Esto impedía darle solución al problema, por lo que se aplicó en esa zona, para ambas ecuaciones, el método numérico de la falsa posición, pero no se logró salvar la discontinuidad presentada.

III. 3 CÁLCULO CON ETAPAS Y SIN *INTERLAPE* PREVIO

El siguiente procedimiento surge de la necesidad de resolver el problema de convergencia del método descrito anteriormente y consiste en que para cada una de las etapas, las relaciones funcionales de Poiseuille y de Colebrook-White para el cálculo del factor de pérdida *f*, se consideran válidas en todos los números de Reynolds, es decir, que la ecuación se utilizará hasta completar una etapa y sólo al final de ésta se observará si es la adecuada para el cálculo del factor de pérdida *f*.

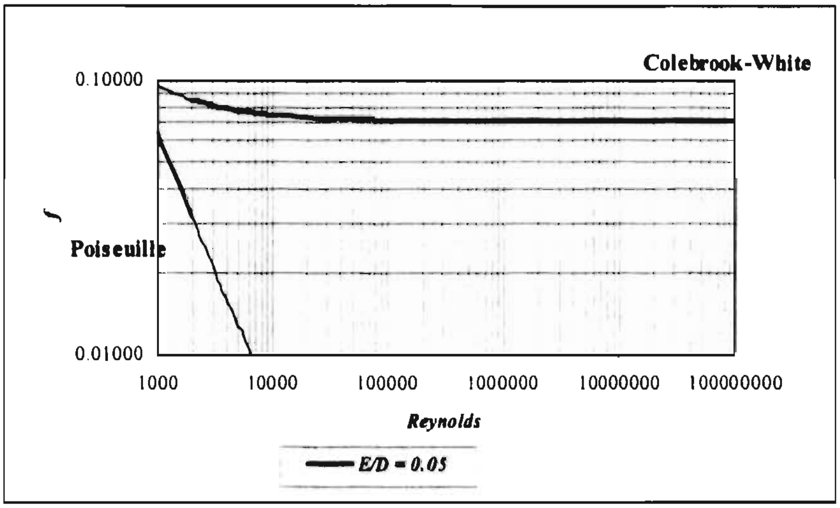


Ilustración 3.2 *Cálculo con etapas y sin traslape previo.*

Al igual que la propuesta anterior, está fue probada (anexo A.7), de la siguiente forma:

1. El procedimiento comienza con el cálculo del valor del número de Reynolds en el tubo; si $Re \leq 2000$ la ecuación a utilizar es la 2.3. En caso contrario, es decir, cuando $Re > 2000$ se empleará la 3.1.

2. Elegida la ecuación se continua el procedimiento con la misma para cualquier número de Reynolds que se obtenga, sin importar si en éste la fórmula utilizada es la válida. Se prosigue el cálculo hasta encontrar la solución correspondiente en esa etapa.

3. Encontrado el valor final de esa etapa se verifica si $Re \leq 2000$ o $Re > 2000$.

4. Si $Re \leq 2000$, la próxima etapa de cálculo se realizará utilizando la ecuación 2.3 y en caso contrario se empleará la 3.1.

5. El cálculo se detiene cuando en los tubos no existe un cambio de régimen, es decir, la solución se encuentra al no cumplirse el paso 4.

Estas nuevas modificaciones se integraron al programa y la subrutina que las incluye se presenta en el anexo C.2.

Con este método se encontraron soluciones en los casos en que el régimen del flujo era turbulento. Sin embargo, se observó que en unos nodos no existía convergencia debido a la presencia de flujo laminar o crítico en algunos tramos de la cuerda.

III. 4 CÁLCULO SIN ETAPAS Y CON *INTERLAPE* PREVIO

Con base en el método de calculo sin etapas y sin *interlape* previo, se pensó que si las ecuaciones de Poiseuille y de Colebrook-White se interlapaban en un rango (en este caso, se propuso $2000 \leq Re \leq 4000$), se podría salvar el problema de la convergencia que se presentaba (ilustración 3.3).

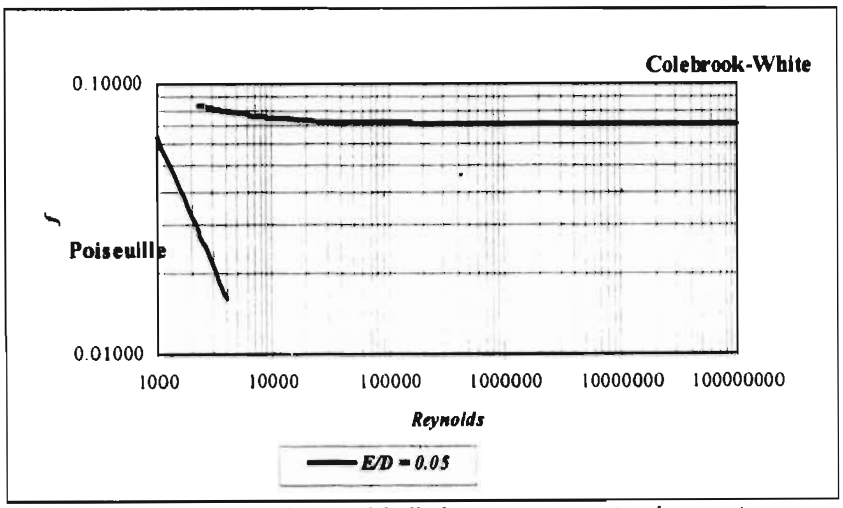


***Ilustración 3.3** Procedimiento del cálculo sin etapas y con interlape previo.*

El procedimiento a seguir en esta propuesta es el siguiente :

1. Dependiendo del valor del número de Reynolds se determina la ecuación que se va a utilizar para el cálculo del coeficiente de pérdida f (ecuación 3.3). Si $Re \leq 2000$, la fórmula a emplear es la 2.3 y si $Re > 2000$ será la 3.1.

2. Una vez iniciado el cálculo, el rango de validez de la ecuación 2.3 será hasta $Re \leq 4000$ y el de la 3.1 comenzará desde $Re \geq 2000$, es decir, existe una zona donde ambas fórmulas se interlapan, de 2000 a *4000*. Esto se propone con la intención de encontrar el valor del coeficiente de pérdida cuando se localice muy próximo a los puntos críticos ($Re = 2000$ o $R\ e= 4000$), tratando así de salvar los problemas provocados por la discontinuidad.

Este método logró mejorar el anterior, debido a que en algunos casos se encontró la solución de algunos nodos principales. Sin embargo, no en todos fue posible calcular el valor del gasto. El algoritmo de solución que contiene estos pasos se encuentra en el anexo C.3.

III. 5 CÁLCULO POR ETAPAS Y CON *INTERLAPE* PREVIO

La propuesta de solución es muy semejante a la anterior, con la diferencia de que se obtiene por etapas, es decir, en cada una de éstas las ecuaciones de Poiseuille y de Colebrook-White se consideran válidas para todos los números de Reynolds. Además, en este procedimiento se incluye una zona interlapada en $Re = 2000$ y $Re = 4000$, como se muestra en la ilustración 3.4.

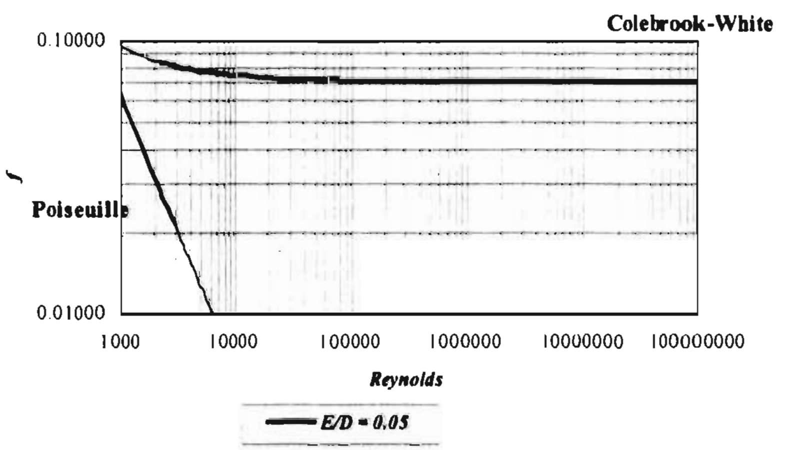


Ilustración 3.4 *Cálculo por etapas con interlape previo.*

El procedimiento de cálculo propuesto para la solución del problema es el siguiente:

1. Dependiendo del valor del número de Reynolds se determina la ecuación que se va a utilizar para el cálculo del coeficiente de pérdidas de la 3.3. Si $Re \leq 2000$, la fórmula a emplear es la 2.3 y si $Re>2000$ será la número 3.1.

2. Se sigue calculando el gasto con la misma ecuación hasta encontrar el valor final.

3. Cuando se cumple el paso anterior, se revisa el valor del número de Reynolds.

4. En la siguiente etapa los flujos que al inicio son laminares, se considera que seguirán siendo del mismo tipo hasta un $Re \leq 4000$. Así mismo, los flujos que al inicio son turbulentos permanecerán en este régimen hasta un $Re \geq 2000$.

5. El procedimiento termina cuando el tipo de flujo calculado es igual al obtenido en el ciclo anterior.

En el anexo C.4 se presentan las modificaciones hechas a la subrutina del programa, donde se incluyen estos pasos de modelación. Este procedimiento se comportó de igual forma que el anterior, por lo que se determinó que era de suma importancia simular una unión entre las ecuaciones de Poiseuille y de Colebrook-White para superar los problemas que se presentan por la discontinuidad existente entre ellas.

III. 6 UNIÓN DE LAS ECUACIONES DE POISEUILLE Y DE COLEBROOK-WHITE POR MEDIO DE UNA RECTA.

A continuación se propone un método que pretende mejorar la convergencia, en el cálculo de las pérdidas de energía en la tubería. En el Diagrama de Moody (ilustración 2.2), se puede apreciar que las ecuaciones de Poiseuille y de Colebrook-White para un valor de $\varepsilon/D=0.05$ tienen el comportamiento que se muestra en la ilustración 3.5.

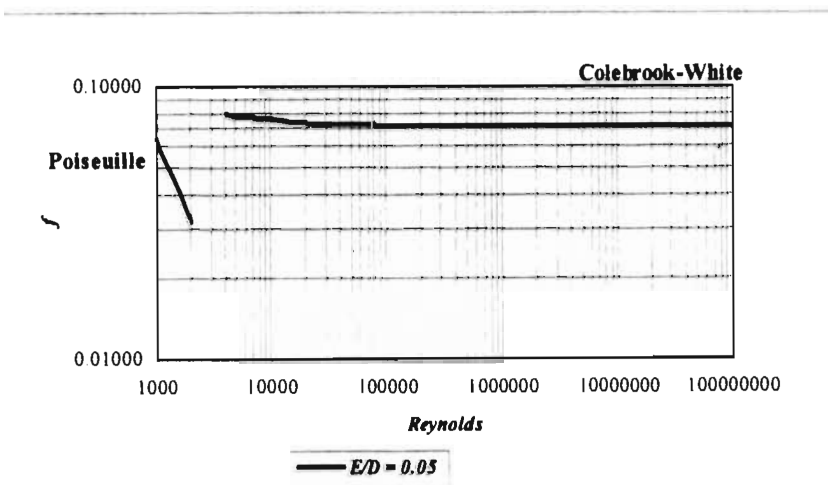


Ilustración 3.5. Diagrama de Moody, (Poiseuille es válida para Re≤2000 y Colebrook-White para Re ≥ 4000).

Esta propuesta consiste en unir la discontinuidad existente entre las ecuaciones de Poiseuille y de Colebrook-White utilizando una recta en escala logarítmica, según se muestra en la ilustración 3.6.

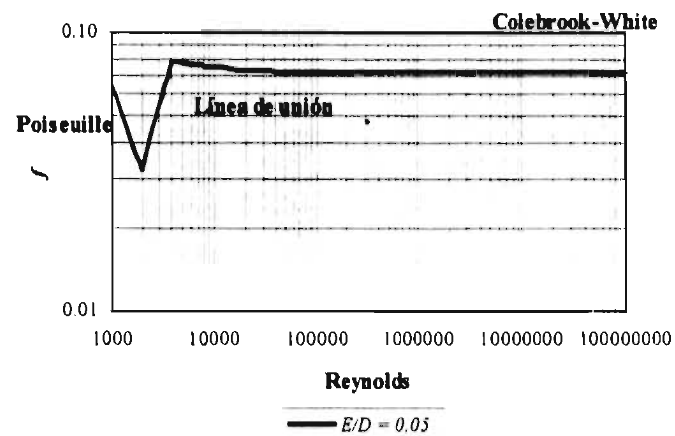


Ilustración 3.6. *Unión de las ecuaciones, utilizando para esto una recta en escala logarítmica.*

III. 6. 1 ECUACIÓN QUE PERMITE LA UNIÓN

Como se puede observar en la ilustración 3.6, la nueva propuesta consiste en la unión de la ecuación de Poiseuille (2.3) y la modificada de Colebrook-White (3.1) utilizando una recta en escala logarítmica. A continuación se presenta el procedimiento que se utilizó para lograr lo antes mencionado.

La recta que nos permite dicha unión, está dada por:

$$f_{ZC} = \frac{\mathrm{B}}{\mathrm{Re}^{\mathrm{C}}} \tag{3.4}$$

donde

f_{CZ} f en la zona crítica
Re Número de Reynolds ($\mathrm{Re}_1 \approx 2000 \leq \mathrm{Re} \leq \mathrm{Re}_2 \approx 4000$)
B y C Parámetros de ajuste que dependen del factor de ε/D de la tubería y de las ecuaciones de Poiseuille y Colebrook-White

Se aplican logaritmos a la fórmula 3.4 para obtener la ecuación de una recta en escala logarítmica.

$$\log f = \log B - C \log Re \tag{3.5}$$

La finalidad de la ecuación 3.5, es unir la de Poiseuille (2.3) cuando $Re=Re_1$ con la modificada de Colebrook-White (3.1) cuando $Re=Re_2$, como se aprecia en la ilustración 3.6.

Definiendo como

$$a = \log f$$
$$b = \log B$$
$$c = \log Re$$

La ecuación 3.5 puede ser expresada como

$$a = b - Cc \qquad (3.6)$$

Para obtener los parámetros de b y C se formará un sistema de dos ecuaciones aplicando la 3.5 en los puntos 1 y 2 (ilustración 3.6), es decir:

$$\log [\, f_1 (\mathrm{Re}_1) \,] = b - C \log (\mathrm{Re}_1) \qquad (3.7)$$

$$\log [\, f_2 (\mathrm{Re}_2) \,] = b - C \log (\mathrm{Re}_2) \qquad (3.8)$$

Las funciones f_1 y f_2 se obtienen de las ecuaciones 2.3 y 3.1 respectivamente. Re_1 es el número de Reynolds donde termina la validez de la relación de Poiseuille y en Re_2 da principio la ecuación modificada de Colebrook-White.

$$\log \left(\frac{64}{\mathrm{Re}_1} \right) = b - C \log (\mathrm{Re}_1) \qquad (3.9)$$

$$\log \left\{ \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{\varepsilon / D}{3.71} + \frac{G}{\mathrm{Re}_2^{\,T}} \right) \right]^2} \right\} = b - C \log (\mathrm{Re}_2) \qquad (3.10)$$

Sea

$$K = \log \left\{ \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{\varepsilon / D}{3.71} + \frac{G}{\mathrm{Re}_2^{\,T}} \right) \right]^2} \right\}$$

Las relaciones funcionales 3.9 y 3.10, pueden ser expresadas como:

$$\log (64/\mathrm{Re}_1) = b - C \log (\mathrm{Re}_1) \qquad (3.11)$$

$$K = b - C\,log(\mathrm{Re}_2) \qquad (3.12)$$

Para encontrar los valores de b y C en 3.11 y 3.12 se utiliza el método de Cramer[1] , que para un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas queda:

$$b = \frac{\log\left[(64/\mathrm{Re}_1)(\log \mathrm{Re}_2) - (K)(\log \mathrm{Re}_1)\right]}{\log \mathrm{Re}_2 - \log \mathrm{Re}_1} \qquad (3.13)$$

$$C = \frac{K - \log(64/\mathrm{Re}_1)}{\log \mathrm{Re}_2 - \log \mathrm{Re}_1} \qquad (3.14)$$

Sustituyendo los valores de $Re_1 = 2000$ y $Re_2 = 4000$ en las ecuaciones 3.13 y 3.14

$$b = \frac{\left[(-1.49485)(-3.60206)\right] - \left[(K)(-3.30103)\right]}{\left[(1)(-3.60206)\right] - \left[(-3.30103)(1)\right]}$$

$$C = \frac{\left[(K)(1)\right] - \left[(-1.49485)(1)\right]}{\left[(1)(-3.60206)\right] - \left[(-3.30103)(1)\right]}$$

$$b = \frac{[5.384539391 - (-3.30103K)]}{-0.30103} \qquad (3.15)$$

$$C = \frac{(K + 1.49485)}{-0.30103} \qquad (3.16)$$

K está en función de la rugosidad relativa ε/D de la tubería a analizar, por lo que b y C pueden obtenerse de una forma fácil. Estos valores permitirán realizar la unión de las ecuaciones de Poiseuille (2.3) y de la modificada de Colebrook-White (3.1).

III. 6. 1. 1 *Ejemplo de Aplicación*

Si se tiene una tubería con una rugosidad relativa $\varepsilon/D = 0.05$, se puede calcular el coeficiente de pérdida por cortante f con la ecuación de ajuste en la zona crítica (número 3.4) cuando se hayan obtenido los valores de b y C. Esto se logra a través del siguiente procedimiento:

1. **Cálculo de la variable K**

$$K = \log \left\{ \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{0.05}{3.71} + 0.003174263 \right) \right]^2} \right\} = -1.1021943$$

2. Se sustituye este valor en las ecuaciones 3.15 y 3.16 para obtener b y C, quedando finalmente:

$$b = -5.800627648$$
$$C = -1.304373983$$

El valor necesario para encontrar el factor de pérdida en la zona crítica es B y como $b = \log B$, se obtiene :

$$B = 10^{\,b} = 10^{-5.800627648} = \boldsymbol{1.5826 \times 10^{-6}}$$

3. Con los valores de B y C se puede encontrar el coeficiente de pérdida por cortante f. Para ejemplificar se calcularán a continuación diferentes valores de f en una tubería con $\varepsilon/D = 0.05$:

- Para $Re = 2000$ y $\varepsilon/D = 0.05$, utilizando la ecuación de Poiseuille (2.3) $f = 0.032$. Esto se comprueba sustituyendo los datos en la fórmula propuesta para el análisis de la zona crítica (3.4)

$$f = \frac{B}{Re^C} = \frac{1.5826 * 10^{-6}}{2000^{-1.304374}} = 0.032$$

- Para $Re = 3000$ y $\varepsilon/D = 0.05$, sobre la recta que se forma en el Diagrama de Moody, para los puntos 1 y 2 correspondientes, se estima que $f \approx 0.053$, usando la ecuación (3.4), se obtiene:

$$f = \frac{B}{Re^C} = \frac{1.5826 * 10^{-6}}{3000^{-1.304374}} = 0.0543047$$

- Para $Re = 4000$ y $\varepsilon/D = 0.05$, con la ecuación modificada de Colebrook-White (3.1), $f = 0.079$. Por otro lado con la ecuación (3.4) resulta:

$$f = \frac{B}{Re^C} = \frac{1.5826 * 10^{-6}}{4000^{-1.304374}} = 0.079$$

Como se puede apreciar, la fórmula 3.4 propuesta para la unión de las ecuaciones de Poiseuille y de Colebrook-White da los resultados esperados.

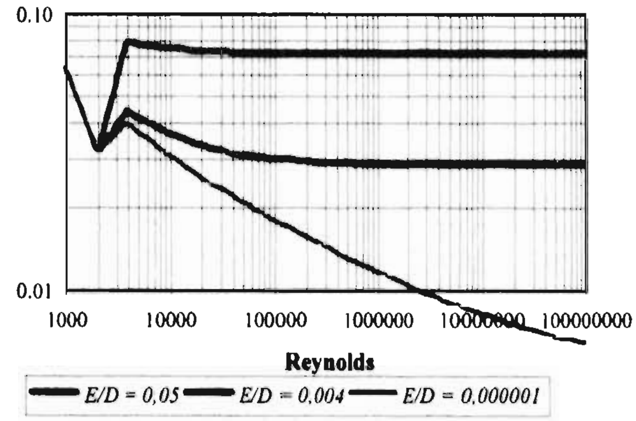


Ilustración 3.7. *Unión de las ecuaciones utilizando una línea recta.*

En la ilustración 3.7 se presentan los resultados obtenidos por el método propuesto de unión en la zona crítica, en ésta se puede observar que los resultados son congruentes a los calculados con el uso de las ecuaciones de Colebrook-White y de Poiseuille, para tres casos particulares de *ε/D*.

El procedimiento anterior se integró al programa de cómputo ***MIRAP*** (anexo C.5), reflejando una gran mejoría en la convergencia de los *nodos principales*. Sin embargo, el cálculo de toda la red presentaba problemas de convergencia. Se pensó que esto se debía al cambio tan fuerte de pendiente en los puntos de unión y se propuso encontrar la forma de suavizarla.

III. 7 PROPUESTA FINAL

S. H. Chue[7]en 1984, con base en los estudios de Barr[3], propone una nueva opción para el cálculo del coeficiente de pérdidas *f*, la cual es aplicable para ambos regímenes de flujo, así como para el paso por la zona de transición o flujo crítico. Todo esto basado en un factor de intermitencia para establecer la "unión" entre el flujo laminar y turbulento. Esta unión facilita la evaluación del factor de pérdidas del flujo en tuberías usando solamente una ecuación para cubrir completamente todos los números de Reynolds. La propuesta de Chue tiene la desventaja de ser de tipo.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -4 \log \left[\phi_1 \, 10^{\left(\sqrt{Re}/16\right)} + \phi_2 \left(\frac{1.256}{Re\sqrt{f}} + \frac{k}{3.7\,d} \right) \right]$$

Este problema puede ser resuelto debido a que se cuenta con la ecuación modificada de Colebrook-White propuesta por Guerrero (3.1) la cual es explícita. Si se sigue el procedimiento expuesto por Chue, se obtendrá la siguiente relación funcional que permitirá conocer el valor del coeficiente de pérdidas por cortante de la siguiente manera :

$$f = \left\{ \phi_1 \frac{64}{\text{Re}} + \phi_2 \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{\varepsilon / D}{3.71} + \frac{G}{\text{Re}^{T}} \right) \right]^2} \right\} \tag{3.17}$$

donde: $\phi_1 = 1 - \gamma$ y $\phi_2 = \gamma$, siendo

$$\gamma = \frac{1}{1 + exp\left(- \frac{Re - A}{B} \right)} \tag{3.18}$$

La fórmula 3.17, representa una combinación convexa de los regímenes laminar y turbulento. De acuerdo con Chue el factor de peso (γ) depende del número de Reynolds, cuya representación empírica está dada por la ecuación 3.18, en donde aparecen dos constantes A y B. El autor propone los valores numéricos de $A = 3057.2516$ y $B = 227.52765$.

Sin embargo, en el análisis de los sitemas de redes de distribución, la conservación de la energía conduce, después de realizar simulaciones por aproximaciones sucesivas para diferentes tamaños de redes, a los siguientes valores $A = 3335.87744$ y $B = 341.29148$.

Nótese que los valores no difieren significativamente de los propuestos por Chue, pero los aquí obtenidos aseguran la convergencia del modelo ***MIRAP***.

La ilustración 3.8 muestra la unión de las ecuaciones que rigen el flujo laminar y turbulento .En ésta se presentan los valores de f calculados con la fórmula 3.17 para diferentes rugosidades relativas.

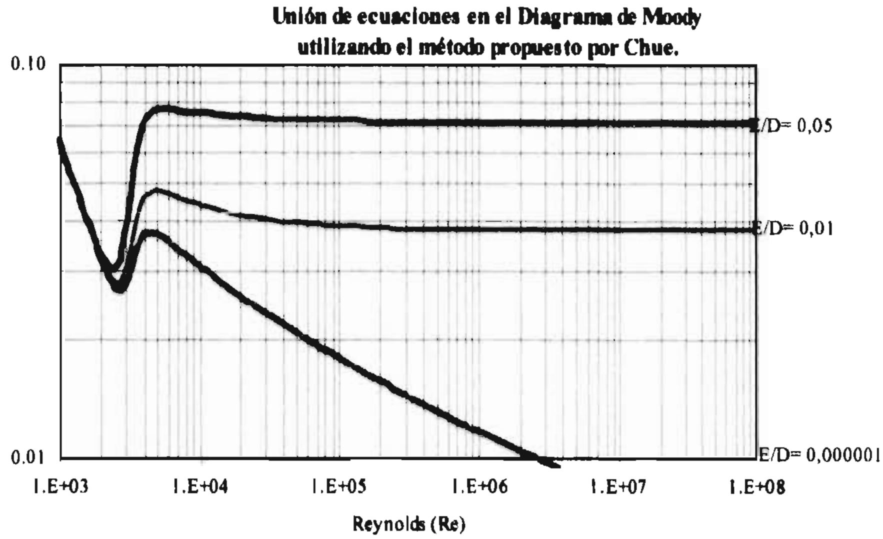


Ilustración 3.8 *Propuesta final para salvar la discontinuidad.*

De esta manera, el gasto de la cuerda se calcula utilizando la ecuación A.23 (Anexo A), donde el valor del factor de pérdida *f* se obtiene con la relación funcional 3.17.

Para integrar la propuesta de solución antes mencionada al procedimiento de solución, se siguieron los siguientes pasos:

1. Se calcula el número de Reynolds de cada uno de los tramos y dependiendo de éste se elige el valor de G y T.

   $G = 4.555$, $T = 0.8640$ para $4000 \leq Re \leq 10^5$
   $G = 6.732$, $T = 0.9104$ para $10^5 \leq Re \leq 3 \times 10^6$
   $G = 8.982$, $T = 0.9300$ para $3 \times 10^6 \leq Re \leq 10^8$

2. Se obtiene el valor de γ con la ecuación 3.18 utilizando las constantes de $A = 3335.87744$ y $B = 341.29148$.

3. Se calcula el factor de pérdida *f*, con la relación funcional 3.17.

4. Se integra el valor obtenido en la fórmula A.23.

5. Se sigue con el proceso descrito en el anexo A.7 para obtener el gasto en el tramo.

El desarrollo anterior se integró al programa de cómputo ***MIRAP*** (anexo C.6), encontrándose que el sistema convergía en todos los casos que se probaron.

CAPÍTULO IV

INFLUENCIA DE FLUJO LAMINAR Y CRÍTICO EN REDES DE AGUA POTABLE

Es importante comparar los resultados obtenidos al modelar una red de agua potable considerando, por un lado, solamente la presencia de flujo turbulento y por otro la influencia con flujo laminar y turbulento. Esto con el fin de observar si resultados se aproximan aún más a los medidos en la realidad, así como encontrar las ventajas y desventajas que se pudieran tener al considerar la presencia de estos flujos en ella.

Para analizar las diferencias que pudieran presentarse en los valores de los gastos y las presiones en un sistema de distribución, se resolvieron varios ejemplos con el programa de cómputo ***MIRAP.*** Esto se llevo a cabo en dos etapas : en la primera se consideró, que el flujo en todo el sistema era de tipo turbulento, es decir, se empleó la ecuación modificada de Colebrook-White (3.1), para el cálculo del factor de pérdidas f. En la segunda se tomó en cuenta la presencia de cualquiera de los tres tipos de flujo existentes, utilizándose para ello la ecuación propuesta en este trabajo (3.17).

IV. 1 METODOLOGÍA GENERAL

Con el propósito de analizar las diferencias al calcular una red de agua potable, considerando la existencia de flujos laminares y turbulentos. Se resolvieron ocho ejemplos teóricos y dos reales : la red de agua potable del fraccionamiento "El Paraje" en Jiutepec, Morelos y la del municipio de Chalco en el Estado de México.

Una vez que es integrada la ecuación propuesta (3.17) a un sistema de modelación de redes, es de suma importancia verificar que los resultados obtenidos por el programa, sean congruentes con las mediciones realizadas en campo, ya que esto nos permitirá decidir si es importante integrar en la simulación cualquier tipo de flujo que se presente. Para ello se hizo una comparación de los datos obtenidos por el modelo y los medidos en campo en la red de agua potable de la población de Chalco, Estado de México.

IV. 2 EJEMPLOS DE REDES FICTICIAS

A continuación se da una breve explicación sobre cada uno de los ejemplos resueltos. Se presentan ilustraciones que permiten comparar los resultados, considerando: *1) la existencia de flujo turbulento* y *2) la de flujo laminar, crítico y turbulento.*

Los datos obtenidos de cada uno de los ejemplos se tienen en el anexo D. En este capítulo se presentan ilustraciones, basadas en esos datos, para hacer más fácil la comprensión.

IV. 2. 1 *Red de agua potable integrada de una red primaria y ocho redes secundarias*

La red de agua potable que se muestra en la ilustración 4.1 consta de 8 redes secundarias cuyos diámetros son de 2 pulgadas y cada tramo tiene 20 tomas conectadas. Los tubos de la red primaria son de 6 pulgadas de diámetro con tomas domiciliarias conectadas en algunos de los tramos. El material de los tubos es polietileno de alta densidad en toda la red.

Los resultados que se obtuvieron al modelar la red anterior se encuentran en el anexo D.1. Para hacer más fácil la interpretación de los mismos se presentan la ilustración 4.2, en la izquierda se tienen los del nodo aguas arriba (1) y en la derecha los del nodo aguas abajo (2), para cada uno de los tramos de la ocho redes.

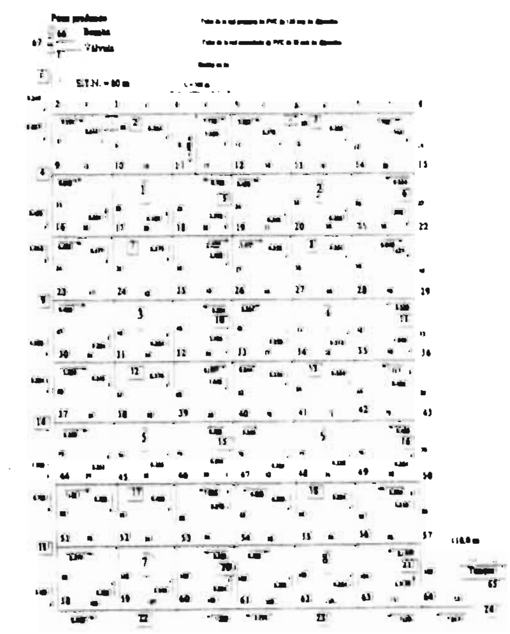
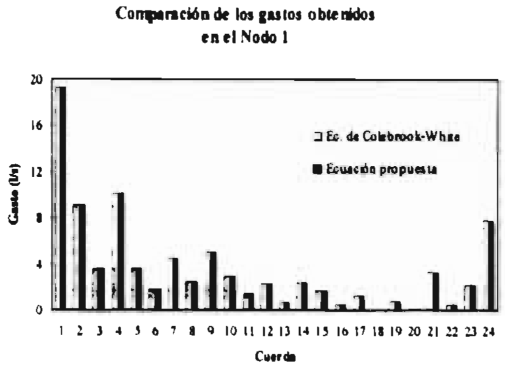


Ilustración 4.1 *Red de agua potable del ejemplo IV. 2. 1.*

IV. 2. 1. 1. *Resultados de las cuerdas de la red primaria*



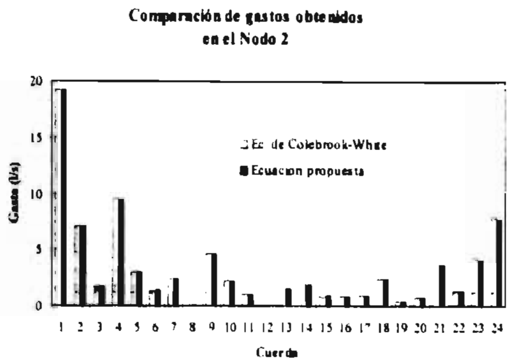
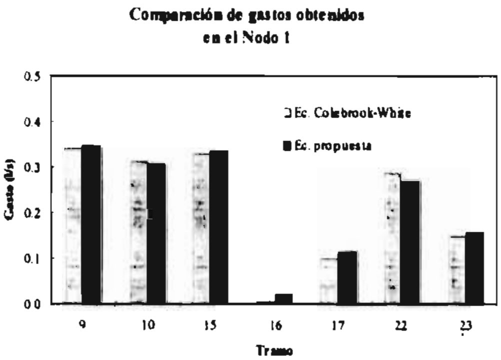


Ilustración 4. 2 *Resultados de las cuerdas de la red primaria, obtenidos en los nodos 1 y 2 al modelar la red utilizando la ecuación de Colebrook-White y la propuesta.*

IV 2. 1. 2. *Resultados de los tramos de la red secundaria número 1*



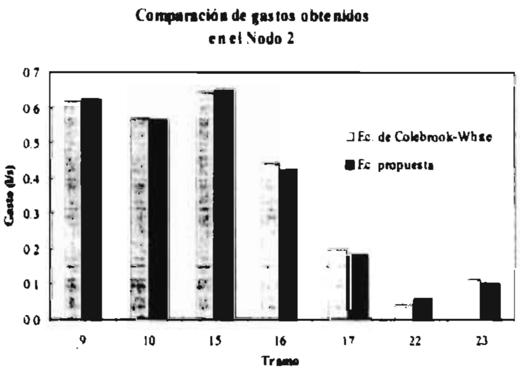
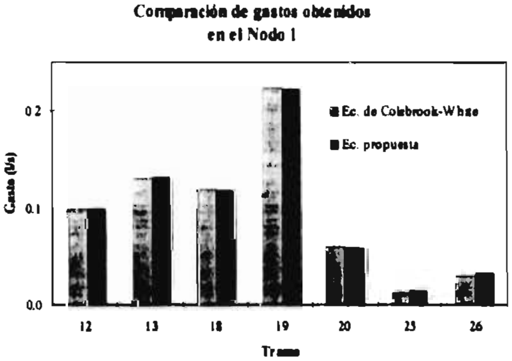


Ilustración 4. 3 *Resultados de los tramos de la red secundaria número 1, obtenidos en los nodos 1 y 2 al modelar la red utilizando la ecuación de Colebrook-White y la propuesta.*

IV. 2. 1. 3. *Resultados de los tramos de la red secundaria número 2*



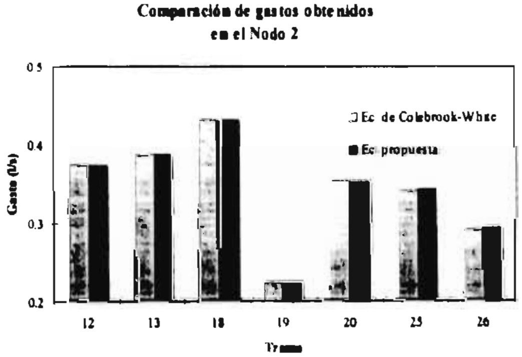
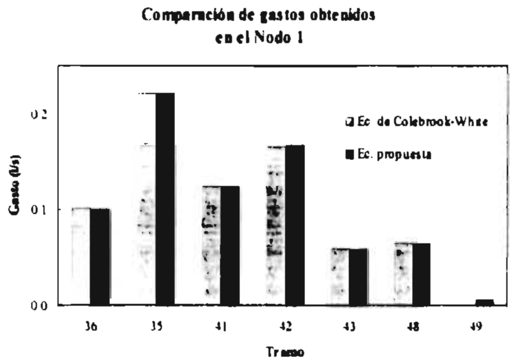


Ilustración 4. 4 *Resultados de los tramos de la red secundaria número 2, obtenidos en los nodos 1 y 2 al modelar la red utilizando la ecuación de Colebrook-White y la propuesta.*

IV. 2. 1. 4. *Resultados de los tramos de la red secundaria número 3*



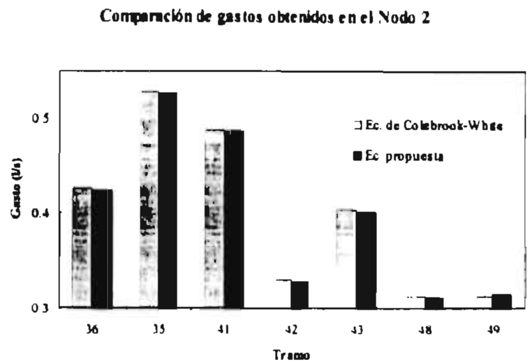
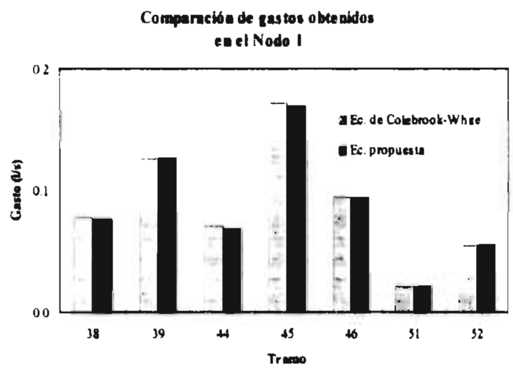


Ilustración 4. 5 *Resultados de los tramos de la red secundaria número 3, obtenidos en los nodos 1 y 2 al modelar la red utilizando la ecuación de Colebrook-White y la propuesta.*

IV. 2. 1. 5. *Resultados de los tramos de la red secundaria número 4*



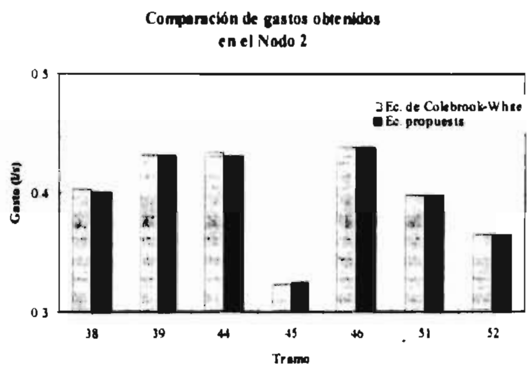
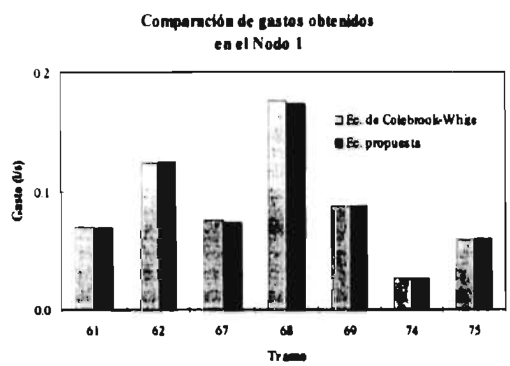


Ilustración 4. 6 *Resultados de los tramos de la red secundaria número 4, obtenidos en los nodos 1 y 2 al modelar la red utilizando la ecuación de Colebrook-White y la propuesta.*

IV. 2. 1. 6. *Resultados de los tramos de la red secundaria número 5*



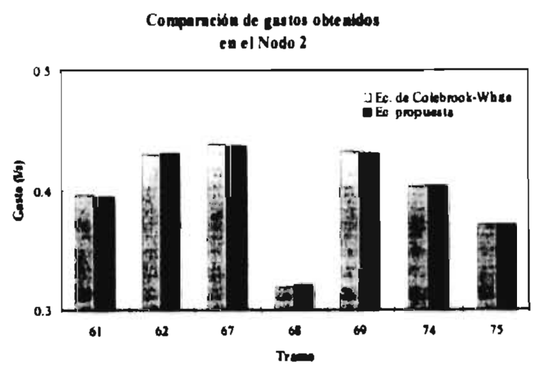


Ilustración 4. 7 *Resultados de los tramos de la red secundaria número 5, obtenidos en los nodos 1 y 2 al modelar la red utilizando la ecuación de Colebrook-White y la propuesta.*

IV. 2. 1. 7. *Resultados de los tramos de la red secundaria número 6*

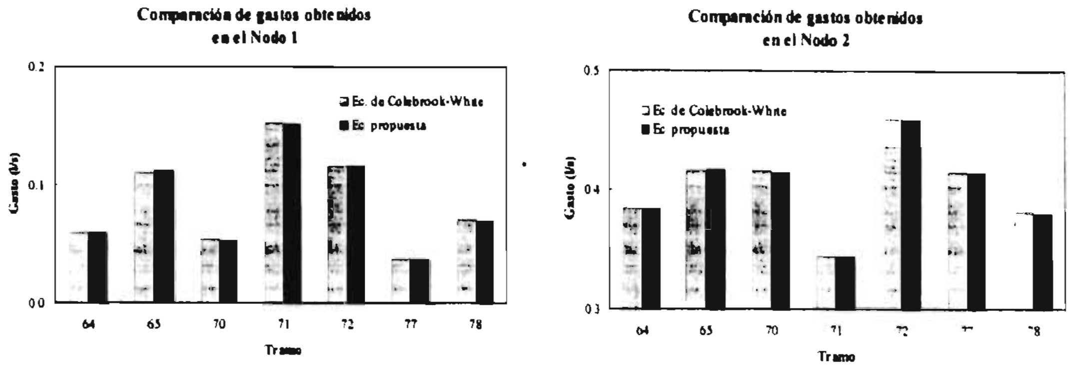


Ilustración 4. 8 *Resultados de los tramos de la red secundaria número 6, obtenidos en los nodos 1 y 2 al modelar la red utilizando la ecuación de Colebrook-White y la propuesta.*

IV. 2. 1. 8. *Resultados de los tramos de la red secundaria número 7*

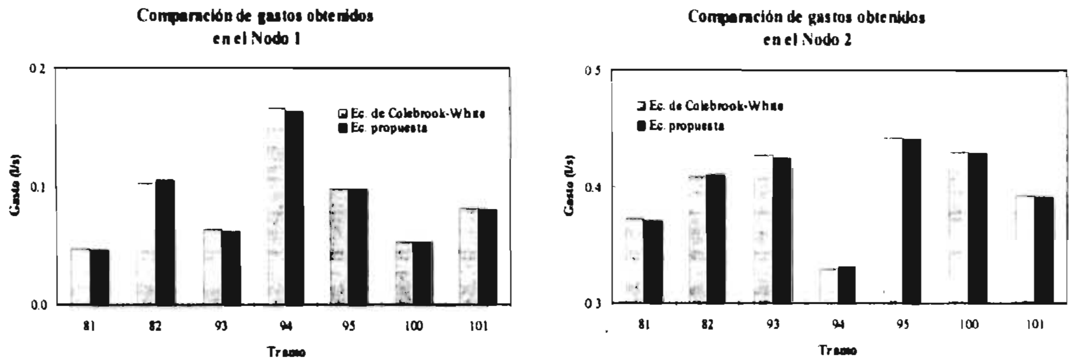


Ilustración 4. 9 *Resultados de los tramos de la red secundaria número 7, obtenidos en los nodos 1 y 2 al modelar la red utilizando la ecuación de Colebrook-White y la propuesta.*

IV. 2. 1. 9. *Resultados de los tramos de la red secundaria número 8*

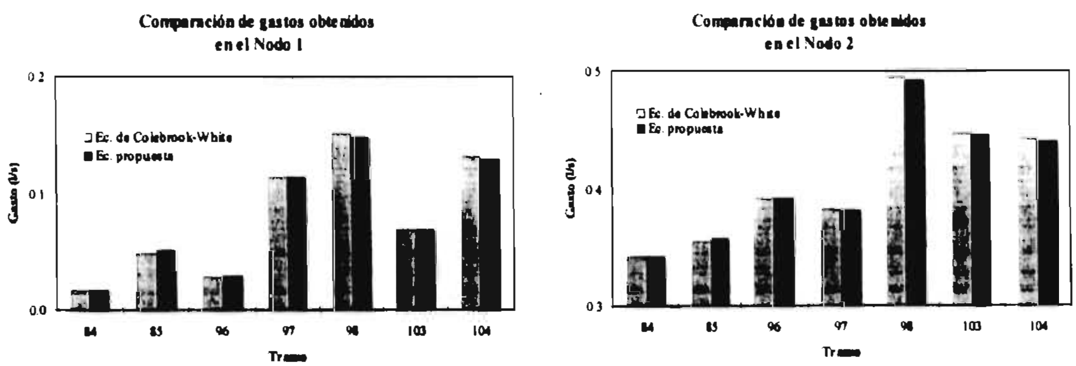


Ilustración 4. 10 *Resultados de los tramos de la red secundaria número 8, obtenidos en los nodos 1 y 2 al modelar la red utilizando la ecuación de Colebrook-White y la propuesta.*

IV. 2. 2 *Red de agua potable integrada únicamente de la red primaria*

La red de agua potable que se muestra en la ilustración 4.11 es una variante del ejemplo IV.2.1 eliminando en la simulación a las tomas y a la red secundaria, tal como se haría con el procedimiento empleado en los modelos actuales. Con el propósito de poder comparar los dos procedimientos, se tomó un consumo total de 27.17 l/s igual al que se tiene en el ejemplo número 1.

Al igual que en el ejemplo anterior se realizó el estudio y se presentan las ilustraciones que muestran los resultados obtenidos utilizando para el cálculo la ecuación de Colebrook-White y la propuesta. Los datos se encuentran en el anexo D.2.

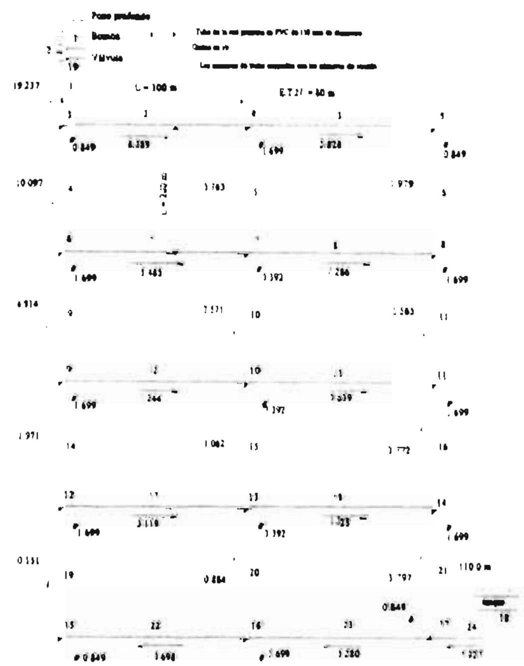


Ilustración 4.11 *Red de agua potable del ejemplo IV. 2. 2.*

IV. 2. 2. 1. *Resultados de las cuerdas de la red primaria*

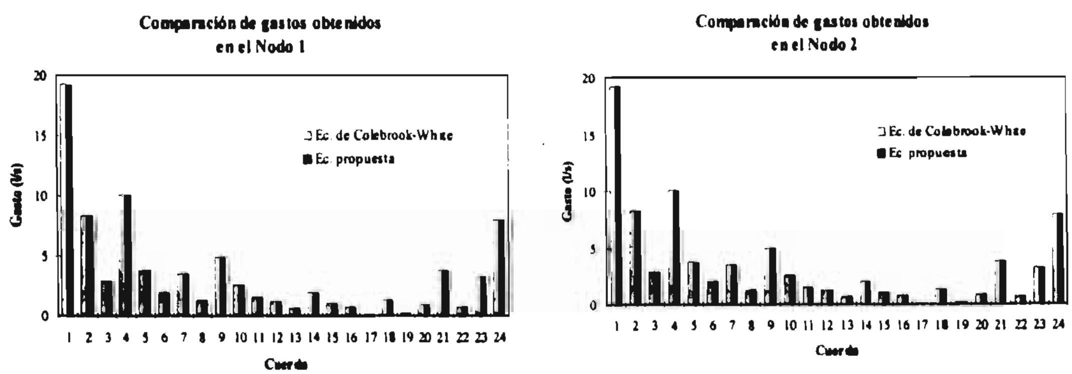


Ilustración 4. 12 *Resultados de las cuerdas de la red primaria, obtenidos en los nodos 1 y 2 al modelar la red utilizando la ecuación de Colebrook-White y la propuesta.*

IV. 2. 3 *Red de agua potable con tomas domiciliarias y extremos alejados a los puntos donde ingresa el agua*

La red de agua potable cuyas características geométricas se muestran en la ilustración 4.13 representa el caso cuando existen extremos de la red relativamente alejados de los puntos por donde ingresa el agua a la red. En cada uno de los tramos 2 y 4, existen 70 tomas domiciliarias y un mismo número de habitantes.

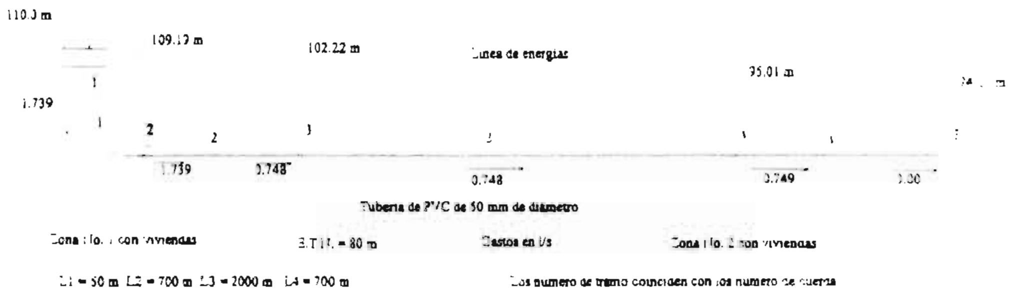


Ilustración 4.13 *Red de agua potable del ejemplo IV. 2. 3.*

Los resultados se encuentran en el anexo D.3. A continuación se presentarán las ilustraciones que contienen esos valores.

IV. 2. 3. 1. *Resultados de las cuerdas de la red primaria*

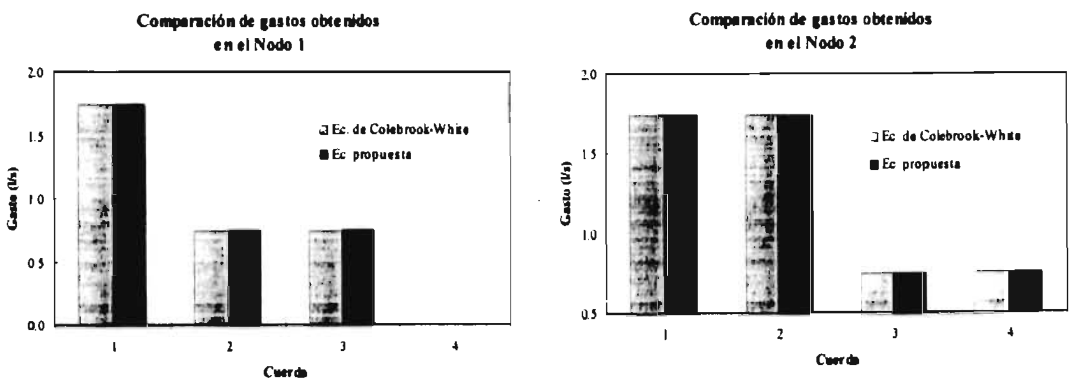


Ilustración 4. 14 *Resultados de las cuerdas de la red primaria, obtenidos en los nodos 1 y 2 al modelar la red utilizando la ecuación de Colebrook-White y la propuesta.*

IV. 2. 4 *Red de agua potable sin tomas domiciliarias y extremos alejados a los puntos donde ingresa el agua*

La ilustración 4.15 es una variante de la red del ejemplo número IV. 2. 3 eliminando en la simulación las tomas domiciliarias, tal como se procede en los modelos actuales. Asimismo, en los tramos 2 y 4 se tomó un mismo consumo ya que en los dos existe un mismo número de habitantes. El consumo total de 1.74 l/s es igual al que se obtiene en el ejemplo anterior.

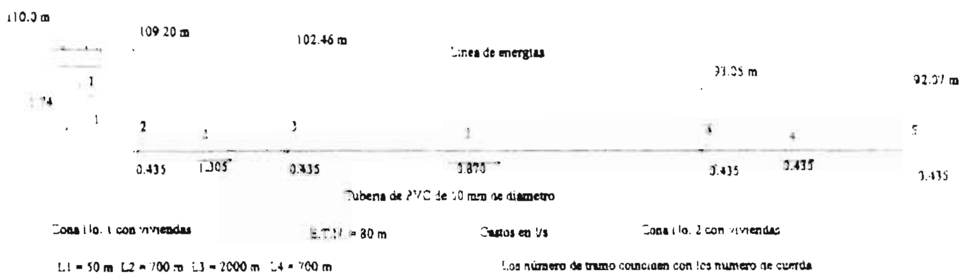


Ilustración 4.15 *Red de agua potable del ejemplo IV. 2. 4.*

Los resultados obtenidos se encuentran en el anexo D.4. A continuación se presenta la representación ilustración de los mismos.

IV. 2. 4. 1. *Resultados de las cuerdas de la red primaria*

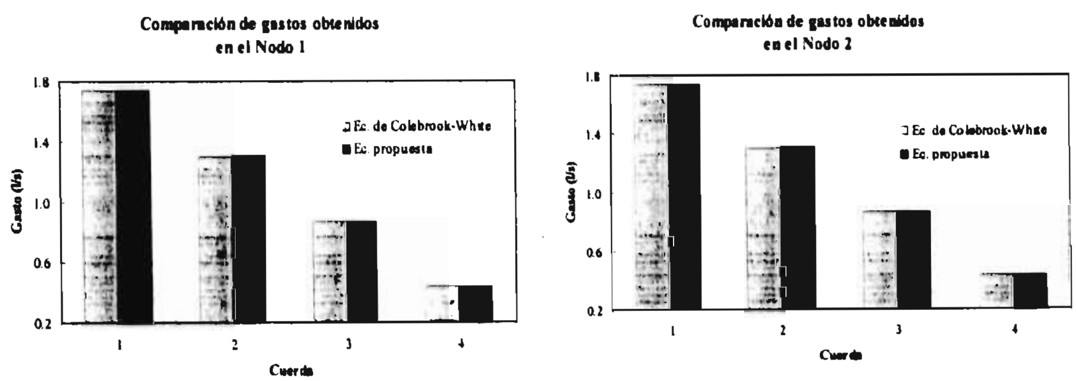


Ilustración 4. 16 *Resultados de las cuerdas de la red primaria, obtenidos en los nodos 1 y 2 al modelar la red utilizando la ecuación de Colebrook-White y la propuesta.*

IV. 2. 5 *Red de tubos con una sola cuerda en la red primaria, con un nodo principal*[5] *y con redes secundarias*

La red de tubos de la ilustración 4.17 es un caso especial. En ella sólo existe una cuerda en la red primaria en la cual hay un punto extremo de la red, por lo que en ella no hay nodo principal. Los tubos 4 y 6 pertenecen a la red secundaria número 1. Los dos extremos del tubo número 4 se conectan a la cuerda de la red primaria. Debido a esto, el nodo número 6 es el único nodo principal de la red secundaria.

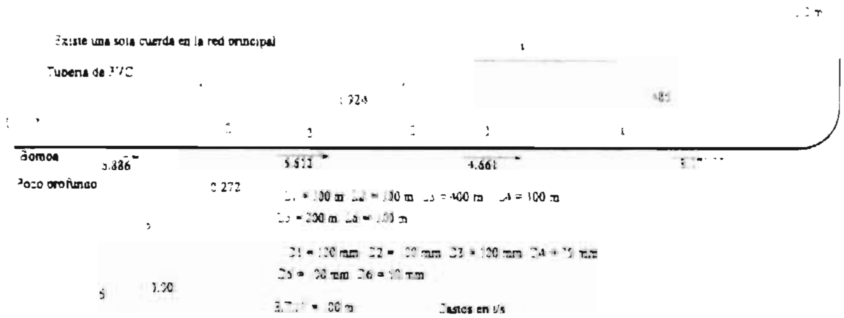
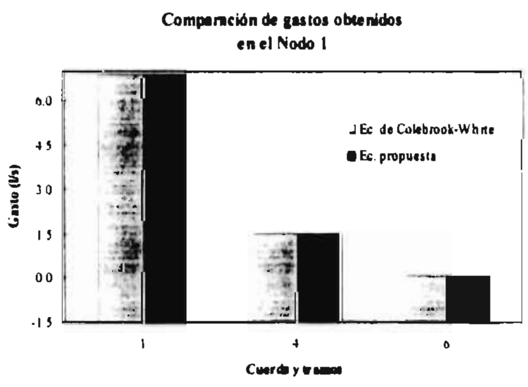


Ilustración 4.17 *Red de agua potable del ejemplo IV. 2. 5.*

Los datos obtenidos al modelar esta red se encuentran en el anexo D.5. A continuación se presentan ilustraciones que contienen estos resultados.

IV. 2. 5. 1. *Resultados de la cuerda de la red primaria y de los tramos de la red secundaria*



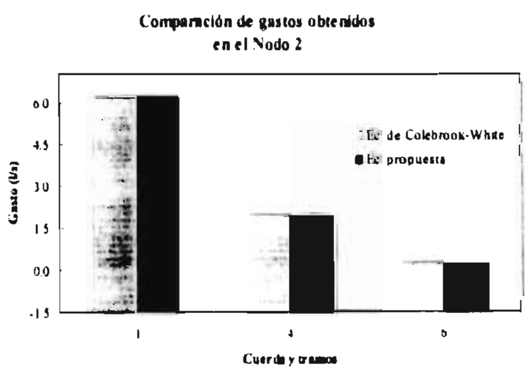


Ilustración 4. 18 *Resultados de la cuerda de la red primaria y en los tramos de la red secundaria, obtenidos en los nodos 1 y 2 al modelar la red utilizando la ecuación de Colebrook-White y la propuesta.*

5 **Nodo Principal.**- Es el punto de unión de tres o más cuerdas o solamente una cuerda si es un punto extremo de la red, Anexo A, pag. 68.

IV. 2. 6 *Red de tubos con una sola cuerda en la red primaria, sin nodo principal y con una red secundaria desconectada*

En la ilustración 4.19 se muestra una variante del ejemplo número IV. 2. 5. Los tubos número 4 y 5 pertenecen a la red secundaria número 1 y forman una red desconectada.

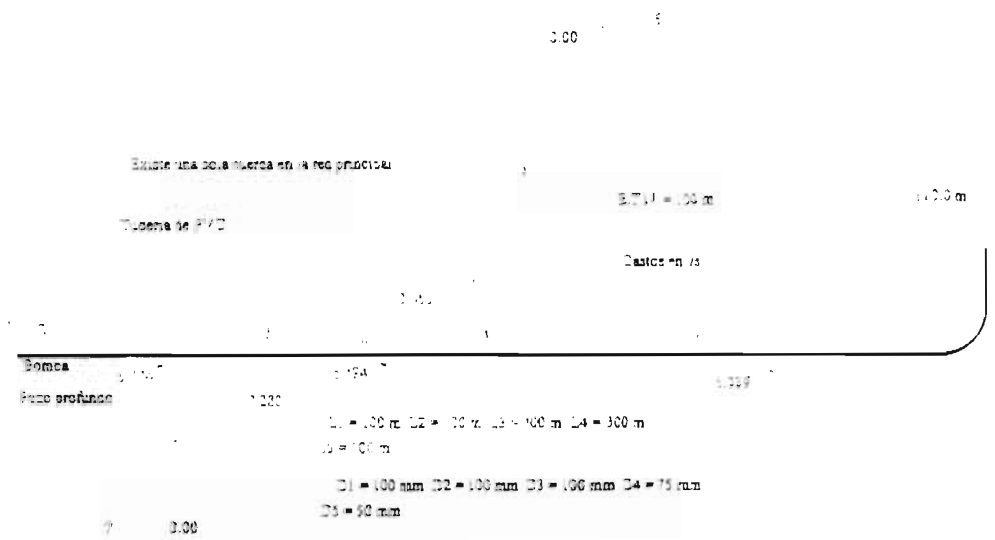


Ilustración 4.19 *Red de agua potable del ejemplo IV. 2. 6.*

Los resultados obtenidos al realizar la modelación de esta red se encuentran en el anexo D.6. A continuación se presentan ilustraciones en las que se incluyen los valores dados por la simulación.

IV. 2. 6. 1. *Resultados de la cuerda de la red primaria y de los tramos de la red secundaria*

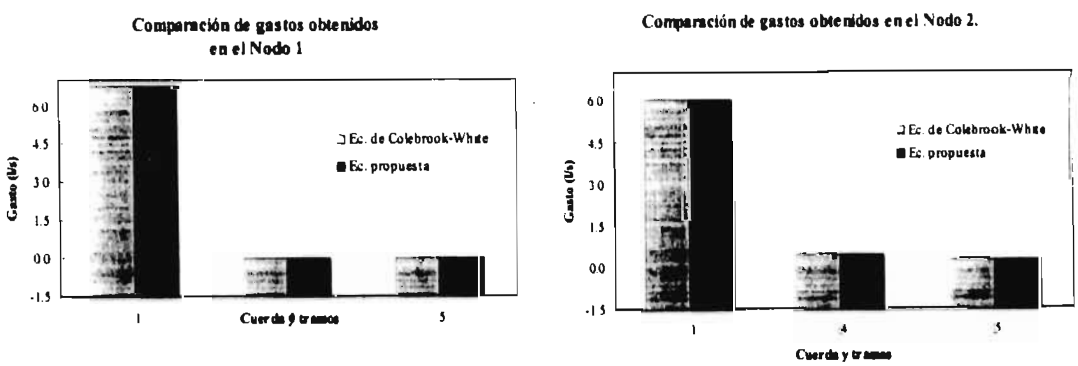


Ilustración 4. 20 *Resultados de la cuerda de la red primaria y en los tramos de la red secundaria, obtenidos en los nodos 1 y 2 al modelar la red utilizando la ecuación de Colebrook-White y la propuesta.*

IV. 2. 7 *Red en donde existe un tanque hidroneumático o una descarga libre con dos tipos de frontera diferentes*

La red que se muestra en la ilustración 4.21 tiene el propósito de mostrar la aplicación del modelo en caso de que haya un tanque hidroneumático o una descarga libre, ya que se trata de dos tipos de elementos de frontera diferentes a los pozos profundos y tanques atmosféricos existentes en los ejemplos anteriores (IV. 2. 1 a IV. 2. 6).

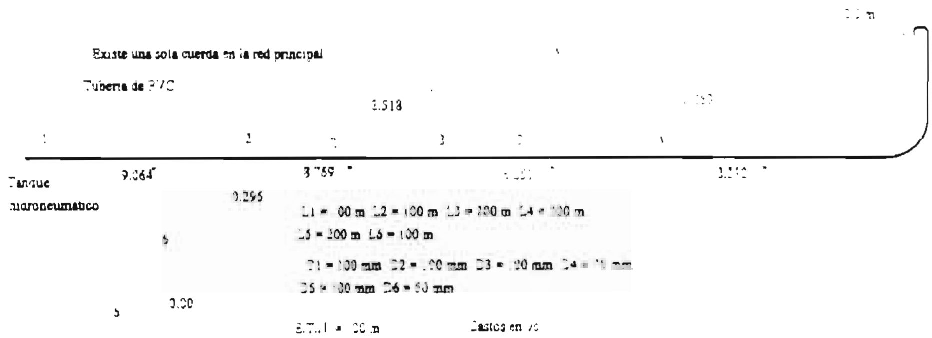


Ilustración 4.21 *Red de agua potable del ejemplo IV. 2. 7*

Al modelar la red con las ecuaciones de Colebrook-White y la propuesta se encontraron los resultados que se muestran en el anexo D.7. A continuación se presenta una representación ilustración de los mismos.

IV. 2. 7. 1. *Resultados de la cuerda de la red primaria y de los tramos de la red secundaria*

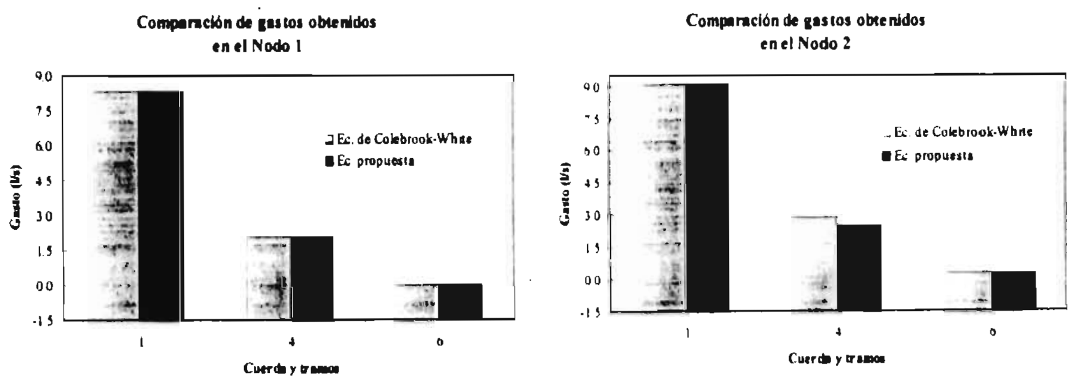


Ilustración 4. 22 *Resultados de la cuerda de la red primaria y en los tramos de la red secundaria, obtenidos en los nodos 1 y 2 al modelar la red utilizando la ecuación de Colebrook-White y la propuesta.*

Los ejemplos anteriores fueron modelados considerando flujos laminares y críticos, utilizando para ello la ecuación propuesta. Como las diferencias presentadas son relativamente pequeñas, se decidió buscar una red de tamaño mediano que pudiera presentar diferencias significativas en los resultados. Esto propició la propuesta del ejemplo que se presenta a continuación.

IV. 2. 8 *Red primaria de agua potable de tamaño mediano con 100 redes*

En la ilustración 4.23 se muestra el esquema de una red primaria de agua potable que consta de 100 redes secundarias, con un total de 2,470 tramos, 25,500 tomas y 1,271 nodos.

Con el propósito de simplificar la captura de datos, se consideró que cada una de las redes secundarias tiene la misma geometría (ilustración 4.24) con tramos de tubo de 76 mm de diámetro en los cuales se conectan 15 tomas domiciliarias.

En la red primaria se consideró que en el circuito externo los tramos de tubo son de 400 mm de diámetro y de 200 mm en el resto.

T									
1	2	3	4	17	31	43	57	73	91
5	6	7	8	22	32	44	58	74	92
9	10	11	12	23	33	45	59	75	93
13	14	15	16	24	34	46	60	76	94
18	19	20	21	25	35	47	61	77	95
26	27	28	29	30	36	48	62	78	96
37	38	39	40	41	42	49	63	79	97
50	51	52	53	54	55	56	64	80	98
65	66	67	68	69	70	71	72	81	99
82	83	84	85	86	87	88	89	90	100

***Ilustración 4.23** Red primaria de agua potable del ejemplo IV. 2. 8*

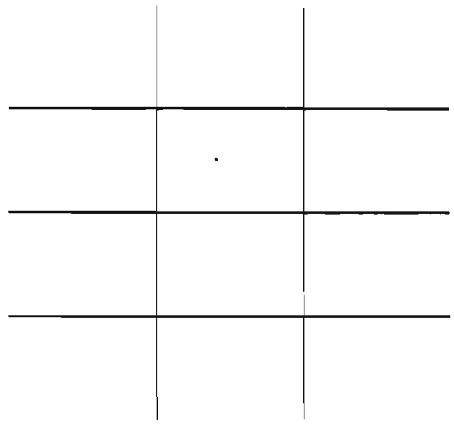


Ilustración 4.24 Geometría de cada una de las redes secundarias del ejemplo número IV. 2. 8.

El ejemplo de la red del inciso IV. 2. 8 se resolvió con el método propuesto. Para comparar las diferencias que pudieran existir entre simular la red con flujo turbulento y con flujo laminar, crítico y turbulento, se hizo un estudio de las diferencias de las energías en los nodos y de los gastos de los tramos y cuerdas de tres redes (1, 25 y 100).

En las ilustraciones 4.25, 4.26 y 4.27, se muestran las diferencias de energías en los nodos. Éstas son una clara muestra de la importancia de considerar la existencia de flujos laminares y críticos en las redes de agua potable, pues los resultados presentan diferencias considerables que deben de tomarse en cuenta para lograr una mayor precisión en la simulación del sistema.

Los resultados de la simulación se presentan en el anexo D.8.

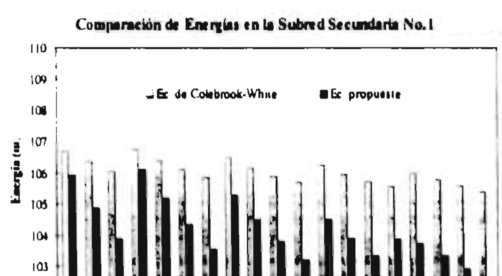


Ilustración 4.25. *Comparación de las energías calculadas con la ecuación de Colebrook-White y la propuesta en los nodos de la red.*

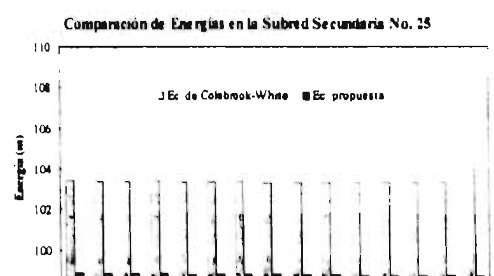


Ilustración 4.26. *Comparación de las energías calculadas con la ecuación de Colebrook-White y la propuesta en los nodos de la red.*

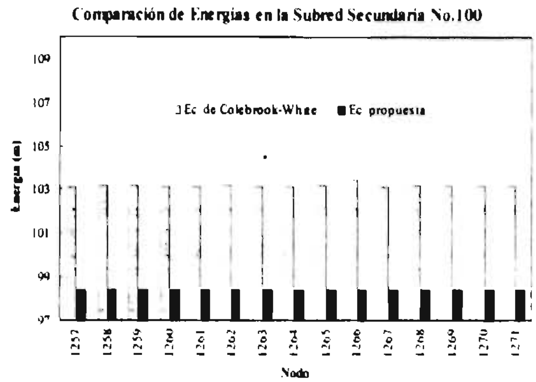


Ilustración 4.27. Comparación de las energías calculadas con la ecuación de Colebrook-White y la propuesta en los nodos de la red.

Lo anteriormente visto indica que en una red de tamaño mediano en la que se considere la existencia de flujos laminares y turbulentos se pueden presentar pérdidas mayores (ilustraciones 4.25, 4.26 y 4.27), debido a que se considera el efecto de las fuerzas viscosas.

También se realizó un estudio de los gastos en las cuerdas de la red primaria y se presentaron diferencias considerables de ellos. Éstas se muestran en las ilustraciones 4.28, 4.29 y 4.30.

Las mayores diferencias se presentan en las cuerdas de la red secundaria número 1 debido a que en éstas se inicia la circulación de agua al sistema.

IV. 2. 8. 1. *Gastos obtenidos en las cuerdas de la red primaria número 1*

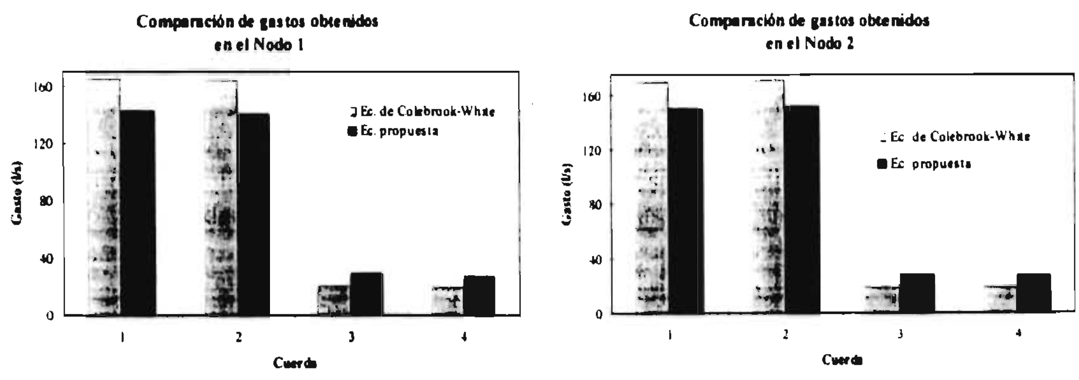


Ilustración 4.28. *Comparación de gastos calculados con la ecuación de Colebrook-White y la propuesta en los nodos aguas arriba (Nodo 1) y aguas abajo (Nodo 2) de las cuerdas de la red.*

IV. 2. 8. 2. *Gastos obtenidos en las cuerdas de la red primaria número 25*

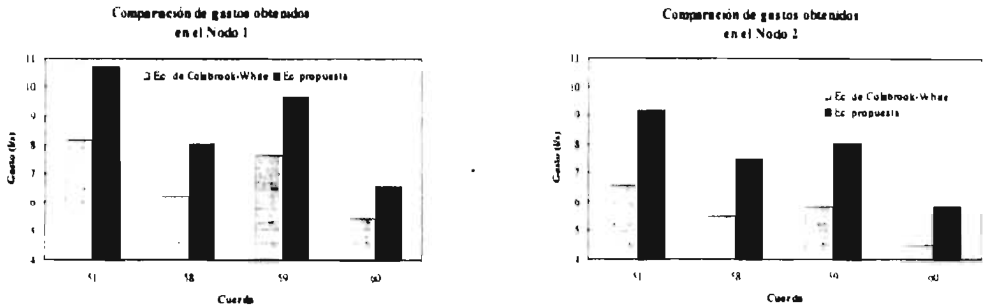


Ilustración 4.29. *Comparación de gastos calculados con la ecuación de Colebrook-White y la propuesta en los nodos aguas arriba (Nodo 1) y aguas abajo (Nodo 2) de las cuerdas de la red.*

IV. 2. 8. 3. *Gastos obtenidos en las cuerdas de la red primaria número 100*

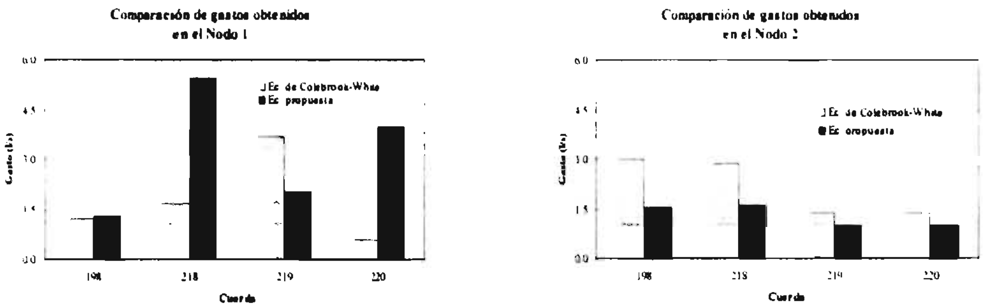


Ilustración 4.30. *Comparación de gastos calculados con la ecuación de Colebrook-White y la propuesta en los nodos aguas arriba (Nodo 1) y aguas abajo (Nodo 2) de las cuerdas de la red.*

Así mismo, se realizó un estudio con los gastos obtenidos en los tramos de las tres redes secundarias escogidas. En éstos también se presentaron diferencias importantes (ilustraciones 4.31, 4.32 y 4.33).

IV. 2. 8. 4. *Gastos obtenidos en los tramos de la red primaria número 1*

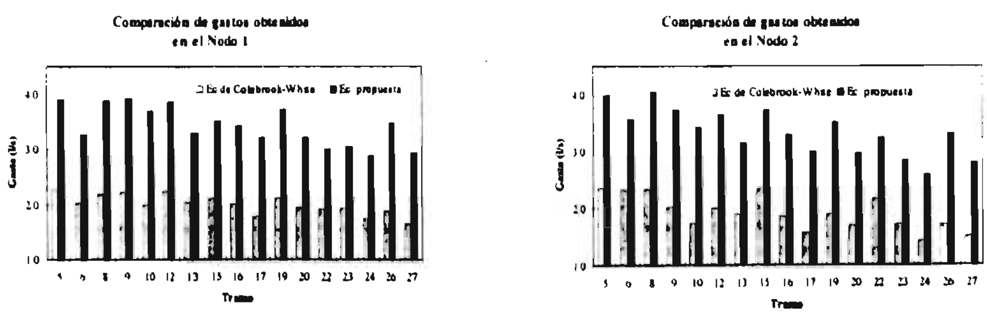


Ilustración 4.31. *Comparación de gastos calculados con la ecuación de Colebrook-White y la propuesta en los nodos aguas arriba (Nodo 1) y aguas abajo (Nodo 2) de los tramos de la red.*

IV. 2. 8. 5. *Gastos obtenidos en los tramos de la red primaria número 25*

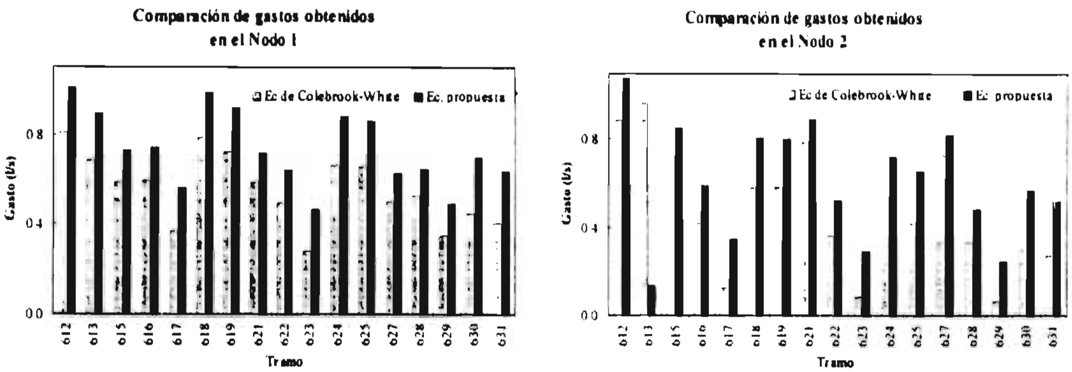


Ilustración 4.32. *Comparación de gastos calculados con la ecuación de Colebrook-White y la propuesta en los nodos aguas arriba (Nodo 1) y aguas abajo (Nodo 2) de los tramos de la red.*

IV. 2. 8. 6. *Gastos obtenidos en los tramos de la red primaria número 100*

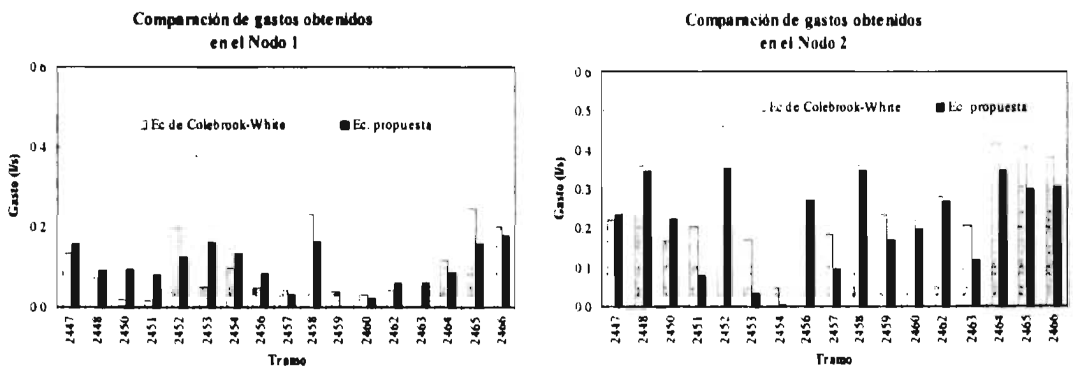


Ilustración 4.33. *Comparación de gastos calculados con la ecuación de Colebrook-White y la propuesta en los nodos aguas arriba (Nodo 1) y aguas abajo (Nodo 2) de los tramos de la red.*

Estos resultados permiten confirmar la importancia de considerar la existencia de flujos laminares y turbulentos en redes de agua potable de tamaño mediano. Las diferencias se deben a que en ésta, las pérdidas de energía son mayores y al sumarse todas, hacen que la pérdida total en el sistema sea importante. Debido a esto, es necesario considerar cualquier tipo de flujo existente en redes de agua potable y aún más si se trata de redes de este tipo.

IV. 3 EJEMPLOS DE REDES REALES

IV. 3. 1 *Fraccionamiento "El Paraje", Jiutepec, Morelos*

En el capítulo I se presentó el estudio de la red de agua potable del fraccionamiento "El Paraje" (ilustración 4.34). Este estudio considera que el flujo es totalmente turbulento, por lo que para el cálculo del factor de pérdidas f se empleó la ecuación de Colebrook-White.

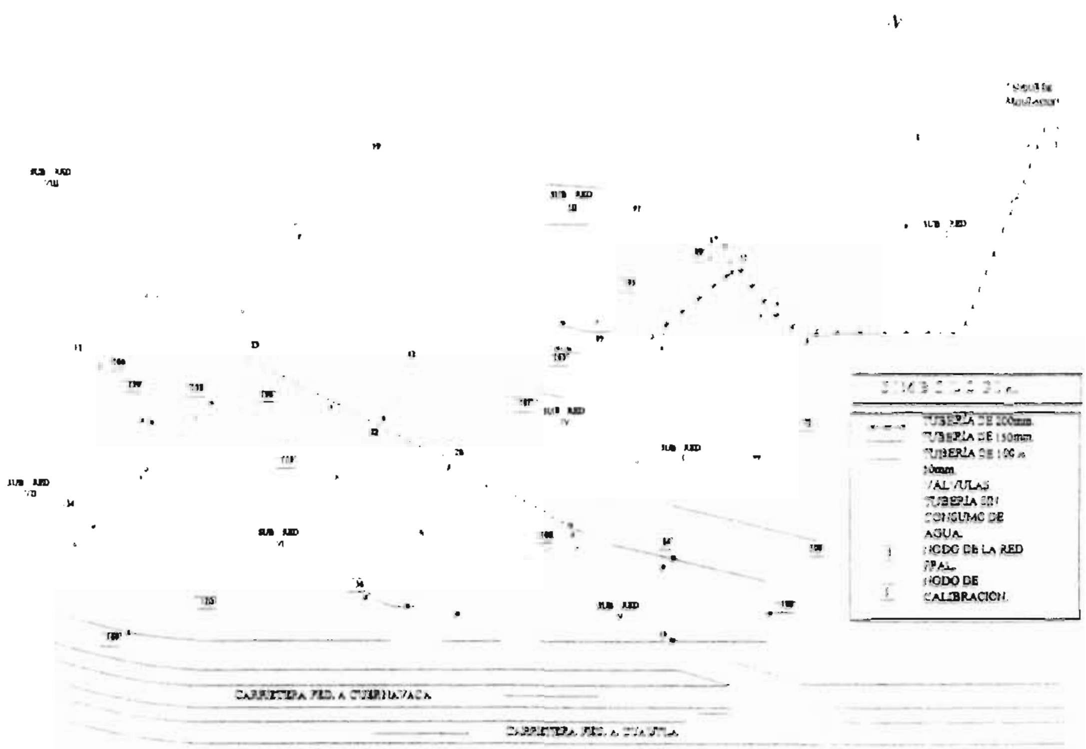


Ilustración 4.34 *Croquis del Fraccionamiento "El Paraje", Jiutepec, Morelos*

Debido a que los resultados observados indican la existencia de flujo de tipo laminar, en este subcapítulo se presentarán los obtenidos tomando en cuenta la ecuación propuesta en este trabajo a fin de compararlos.

Se presentan los resultados de las cuerdas de la red primaria y de la red secundaria número seis. Se tomó esta red debido a que las diferencias presentadas en cada una de las redes analizadas no fueron significativas, por lo que se eligió una sola red para ejemplificarlos. Los datos obtenidos en la simulación de este problema se encuentran en el anexo D.9.

IV. 3. 1. 1. *Gastos obtenidos en la red primaria*

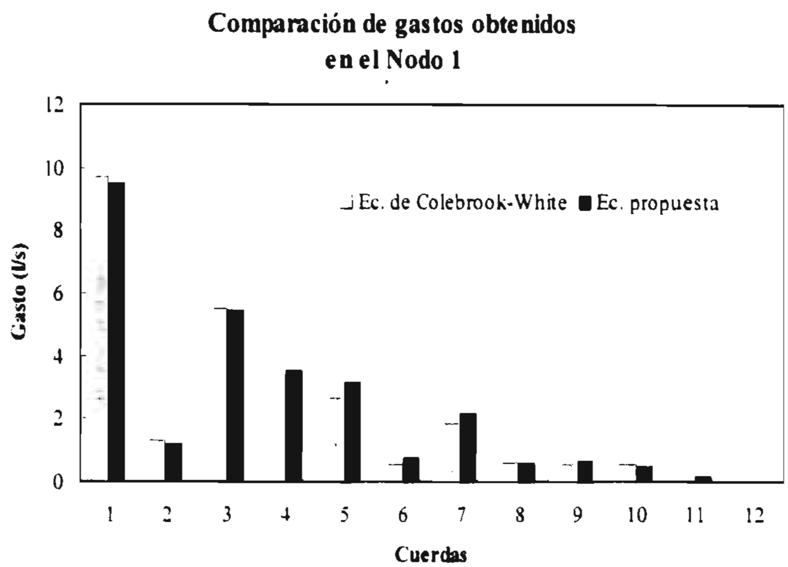


Ilustración 4.35. *Comparación de gastos calculados con la ecuación de Colebrook-White y la propuesta en los nodos aguas arriba de varias cuerdas.*

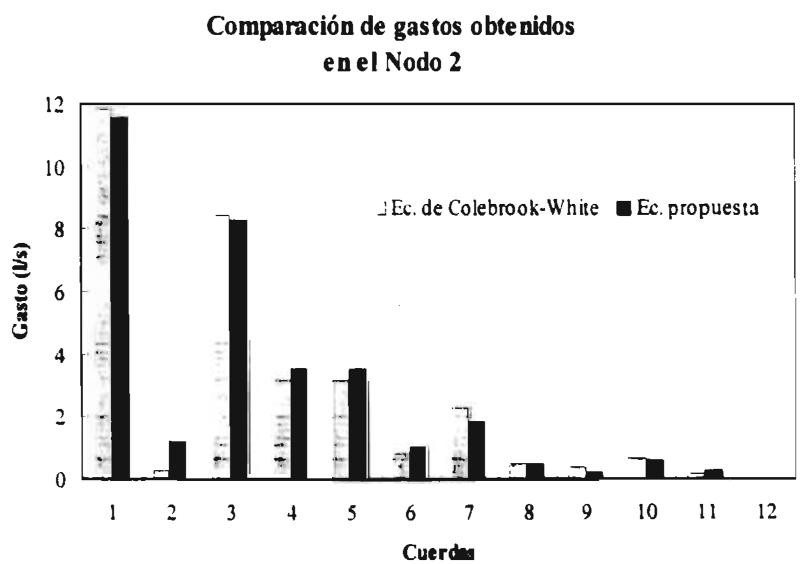


Ilustración 4.36. *Comparación de gastos calculados con la ecuación de Colebrook-White y la propuesta en los nodos aguas abajo de varias cuerdas.*

IV. 3. 1. 2. *Gastos obtenidos en la red secundaria número seis*

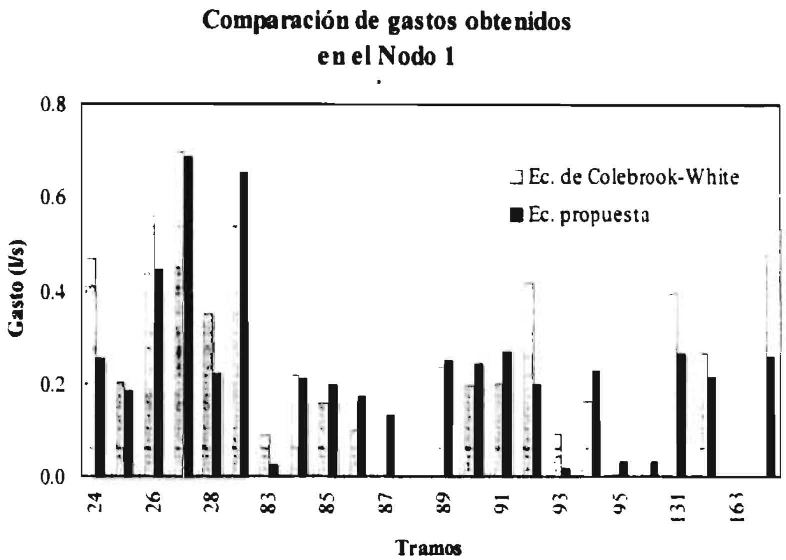


Ilustración 4.37. *Comparación de gastos calculados con la ecuación de Colebrook-White y la propuesta en los nodos aguas arriba de los tramos de la red.*

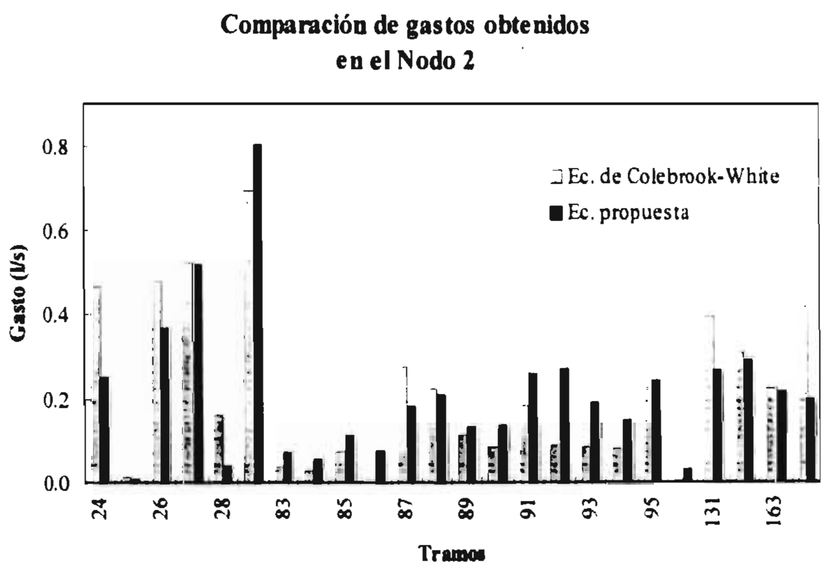


Ilustración 4.38. *Comparación de gastos calculados con la ecuación de Colebrook-White y la propuesta en los nodos aguas abajo de los tramos de la red.*

IV. 3. 2 *Red de agua potable de Chalco, Edo. de México.*

Utilizando la propuesta final de solución presentada en el capítulo anterior, se simuló la red de agua potable de Chalco (ilustración 4.39). El propósito de aplicar esta propuesta en la red fue evaluar la convergencia en un sistema de mediana dimensión, además de comparar los valores calculados por el programa utilizando la ecuación propuesta y los medidos en campo y así verificar si estos resultados son semejantes.

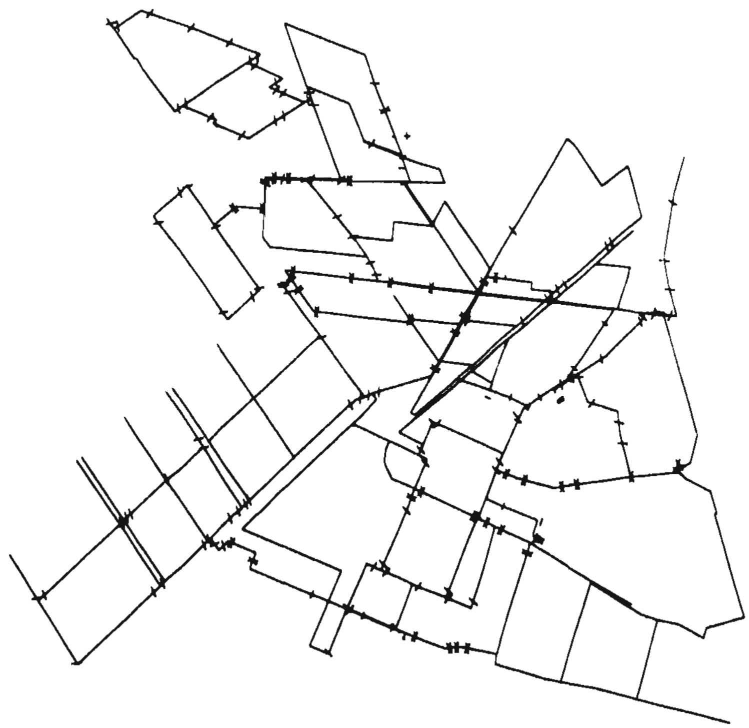


Ilustración 4.39 *Croquis de la red de agua potable de Chalco, Edo. de México.*

El organismo operador de la red de Chalco y la empresa EPSCOM, S.C. proporcionaron información sobre la población actual, la geometría y el tendido de la red primaria y parte de la red secundaria, la ubicación, las alturas y las capacidades de los tanques de regulación, los gastos en las fuentes de abastecimiento y las horas de operación de los equipos de bombeos.

Se estima que la población de Chalco (1996) es de 150,000 habitantes. La red de tubos se conforma con diámetros nominales que van de 76 a 350 mm en materiales de cloruro de polivinilo (PVC), fibrocemento y fierro fundido (Fo Fo).

El suministro de agua proviene de 6 pozos profundos que se encuentran distribuidos dentro de la misma área del poblado. También hay un pozo que hasta el momento del estudio (1996) se encontraba fuera de servicio.

Existen 3 tanques elevados de regulación metálicos, cada uno con capacidad de 250 m^3 y 15 m de altura, ubicados a unos 20 m de distancia de un determinado pozo. Es decir, en tres de los pozos existentes hay un tanque a un lado del pozo y en los otros tres pozos no existe ningún tanque, con su descarga directa a la red de distribución. Los tanques se localizan en los pozos número 1, 2 y 5.

El Pozo número 1 tiene su descarga de agua a la red y al tanque por la parte superior del mismo. De la parte inferior del tanque se conecta un tubo para la bajada del agua que se utiliza únicamente para el llenado de camiones transportadores de agua.

El pozo número 2 tiene su descarga de agua a la red y al tanque por la parte inferior del mismo. A este tanque llega una descarga, por la parte superior de éste, proveniente del pozo número 4.

El pozo número 5 tiene su descarga de agua al tanque por la parte superior de éste. De la parte inferior del tanque se conecta un tubo para la bajada del agua hacia la red de distribución.

La red de Chalco se encuentra desconectada por medio de una válvula de seccionamiento formando dos sectores, cada uno con una operación independiente. En uno de ellos se localiza el pozo numero 7, donde no existe tanque de regulación. En el otro sector se localiza el resto de pozos y es la zona donde se encuentran los tres tanques de regulación.

IV. 3. 2. 1. *Presiones medidas y calculadas con ambos modelos en distintos puntos de la red de Chalco.*

NODO	PRESIÓN MEDIDA -1- (mca)	PRESIÓN CALC. -2- (mca)	PRESIÓN CALC. -3- (mca)	DIFERENCIA DE PRESIÓN (2 - 1) (mca)
Sector de los pozos numero 2, 5 y 6				
171	5.50	5.72	5.68	0.22
184	0.00	0.11	0.07	0.11
160	6.60	6.79	6.76	0.19
128	5.17	6.64	6.61	1.47
145	2.33	3.19	3.14	0.86
151	1.50	2.02	1.96	0.52
115	10.90	11.91	11.88	1.01
140	3.94	5.56	5.52	1.62
112	9.77	10.67	10.64	0.90
53	24.30	23.75	23.75	-0.55
40	9.00	10.07	10.04	1.07
56	12.43	11.90	11.87	-0.53
166	6.61	5.91	5.87	-0.70
250	19.78	20.90	20.89	1.12
Sector del pozo número 7				
26	27.63	27.57	27.58	-0.06
19	21.83	20.47	20.47	-1.36
22	17.48	18.05	18.05	0.57

- 1 - Presión medida en campo
- 2 - Presión calculada utilizando la ecuación propuesta
- 3 - Presion calculada utilizando la ecuacion de Colebrook-White

Cuadro 4.1 *Presiones medidas en campo(1) y presiones obtenidas con el programa de cómputo MIRAP, utilizando la ecuación propuesta (2) y la ecuación de Colebrook-White (3).*

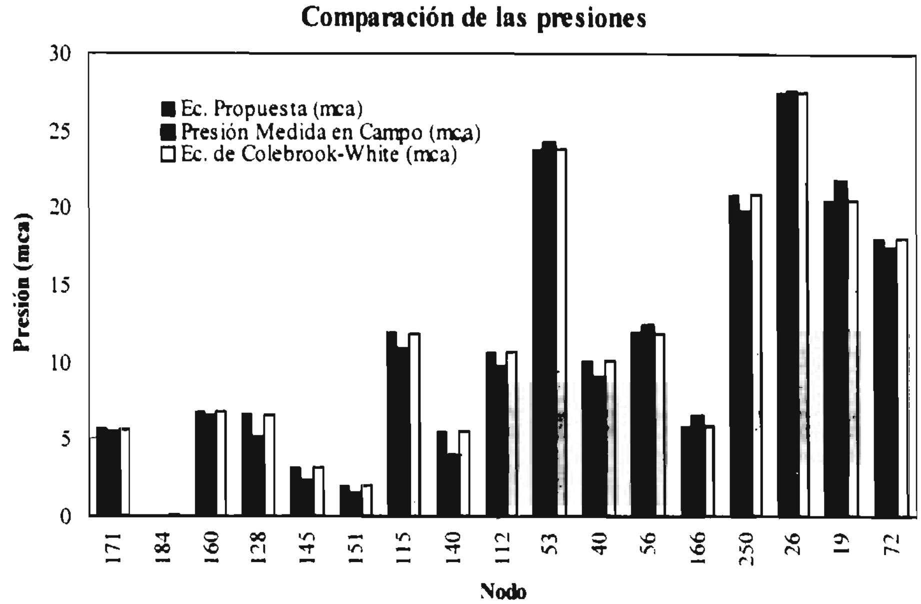


Ilustración 4.40 *Comparación de las presiones medidas en campo y calculadas con el método tradicional (Colebrook-White) y el propuesto, en distintos puntos de la red de agua potable de Chalco.*

En la ilustración 4.40 se muestran las presiones medidas y calculadas, tanto con un modelo convencional (Colebrook-White), así como con el propuesto. Se observa que los resultados obtenidos por la simulación proporcionan resultados muy aproximados a los medidos en la realidad, ya que las diferencias de alturas promedio son relativamente pequeñas.

Esto refleja que la ecuación propuesta es confiable y que puede ser utilizada en la simulación de redes y muy posiblemente en diferentes problemas de ingeniería en donde sea necesario conocer el valor del coeficiente de pérdidas por cortante *f*.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Hasta hoy, los modelos de simulación hidráulica de redes de tubos han considerado únicamente la existencia de flujos turbulentos. Sin embargo, el análisis realizado mostró la presencia de flujo de tipo laminar en redes de distribución, lo cual dio lugar a la formulación de las siguientes conclusiones:

1. Se analizaron los resultados obtenidos al modelar de manera convencional la red de agua potable del fraccionamiento "El Paraje". Se consideró únicamente la presencia de flujo de tipo turbulento, y se encontró que aproximadamente el 65% de los flujos en la red tenían un $Re \leq 4000$, mientras que el resto presentaba $Re > 4000$. De esta manera se comprobó matemáticamente que sí es posible la presencia de flujos laminares en redes de distribución, contrariamente a lo que afirman algunos autores (Binder, Roberson, Crowne), con respecto a que ésta es muy poco probable o casi nula.

2. Se logró identificar el régimen del flujo de un tramo mediante un experimento en campo: se observaron líneas de corriente paralelas, lo cual, indica que el flujo se encontraba en régimen laminar, es decir, no presentó mezcla entre las partículas suspendidas y el frente de velocidades del colorante no mostró torbellinos.

3. Se llegó a una ecuación que permite establecer la correspondencia entre el fenómeno real y la simulación numérica.

4. La ecuación propuesta tiene la particularidad de ser explícita y de simular una unión suavizada entre las ecuaciones de Poiseuille y de Colebrook-White, lo que permite utilizarla eficientemente en sistemas de simulación numérica ya que no existe discontinuidad. Esta ecuación calcula el valor del coeficiente de pérdidas por cortante, f, para cualquier número de Reynolds.

5. Las constantes propuestas por Chue fueron modificadas. Los nuevos valores fueron obtenidos mediante simulaciones de aproximaciones sucesivas y no presentaron problemas de convergencia en el modelo de simulación ***MIRAP***.

6. Se demostró que los resultados obtenidos con el uso de la ecuación propuesta se asemejan mucho a los medidos en campo en un sistema de distribución de agua potable (Chalco).

El campo de aplicación de la ecuación propuesta no se limita al estudio de redes de distribución de agua potable: puede ser utilizada en otras áreas de la ingeniería en las que se necesite el valor del coeficiente de pérdidas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Academia Hütte de Berlín, *"**Manual del Ingeniero**"*, Editorial Gustavo Gili. S.A., 1965.

2. Barr, D. I. H., *"**Explicit Working for Turbulent Pipe Flow Problems**"*. Journal of the Hydraulics Division, ASCE, vol. 102, No. HY5, May 1976, págs. 667-673.

3. Barr, D. I. H., *"**The Transition from Laminar to Turbulent Flow**"*, Proc. Instn. Civil Engrs., Part 2, december 1975, 59.

4. Barr, D. I. H., *"**Two Additional Methods of Direct Solution of the Colebrook-White Function**"*, Proc. Instn. Civil Engrs., Part 2, 1980, 69, June, pp. 555-562, Nota técnica número 260.

5. Binder, R. C., *"**Mecánica de Fluidos**"*, Editorial Trillas, Primera Edición, México, 1978.

6. Chen, J. J., *"**A Simple Explicit Formula for the Estimation of Pipe Friction Factor**"*, Proc. Instn. Civil Engrs., Part 2, 1984, 77, Mar., pp. 49-55, Nota técnica número 400.

7. Chue, S. H., *"A Pipe Skin Friction Factor Law of Universal Applicability"*, Proc. Instn. Civil Engrs., Part 2, 1984, 77, Mar., pp. 43-48, Nota técnica número 339.

8. División de Ingeniería de CRANE, *"Flujo de Fluidos en Válvulas, Accesorios y tuberías"*, Editorial Mc Graw Hill, Primera Edición, 1992.

9. Fox, R. W., McDonald, A. T., *"Introduction to Fluid Mechanics"*, John Wiley and Sons, U.S.A., 1978.

10. Fuentes Mariles, O. A., Martínez Austria, P. F., *"Métodos Numéricos Aplicados a la Hidráulica"*, SARH-IMTA, Septiembre 1988.

11. Giles V., Ranald, B. S., *"Mecánica de Fluidos e Hidráulica"*, Editorial Mc Graw Hill, Serie Shaum, Segunda Edición.

12. Guerrero Angulo, J. O., *"Ecuación Modificada de Colebrook-White"*, Revista de Ingeniería Hidráulica de México, Vol. X, págs. 43-48, Enero-Abril 1995.

13. Guerrero Angulo, J. O., *"Modelación Integral de Sistemas de Agua Potable"*, Informe Técnico, Proyecto TC-9513, IMTA, México, 1995.

14. Guerrero Angulo, J. O., *"Sistemas de Conducción de Agua en Tuberías"*, Editorial U.A.S., febrero de 1985.

15. Guerrero Angulo, J. O., *"Una Ecuación General para Pérdidas de Energía por Conducción en Tubos"*, Onceavo Congreso Nacional de Hidráulica, Asociación Mexicana de Hidráulica, Zacatecas, Zac., octubre de 1990.

16. Hansen R., M. P., Arreguín C, F. I. y Guerrero A., J. O, *"Evaluación del Modelo Integral de Redes de Agua Potable"*, Resumen de los Trabajos Presentados en el Congreso del V Verano de la Investigación Científica, Cd. del Carmen, Campeche, 1996, en prensa.

17. Levi, E., *"El Agua Según la Ciencia"*, CONACyT, Ediciones Castell Mexicana, S.A., México, 1989.

18. Lipschutz Seymour, *"Algebra Lineal"*, Editorial Mc Graw Hill, Serie Schaum, 1994.

19. Lunt, W. T., *"Matemáticas Básicas"*, Centro Regional de Ayuda Tecnológica, México-Buenos Aires, Editorial Mc Graw Hill, Primera Edición, 1973.

20. Massey, B. S., *"Mecánica de Fluidos"*, Compañía Editorial Continental, S. A., México, 1979.

21. Moody, L. F., *"Friction Factors for Pipe Flow"*, Transactions, American Society of Mechanical Engineers, Vol. 66, 1944, pág. 671.

22.Morrough P., O'Brien, H. Hickox, George, ***"Applied Fluid Mechanics"***, Editorial Mc Graw Hill, Primera Edición, 1937.

23.Murray R. Spiegel, ***"Manual de Fórmulas y Tablas Matemáticas"***, Editorial Mc Graw Hill, Serie Schaum, Primera Edición, 1985.

24.Ochoa A., L. H. y Arreguín C., F. I, ***"Método para Evaluar Pérdidas de Agua en Redes de Distribución de Agua Potable"***, Memorias del Primer Seminario Internacional Sobre Uso Eficiente de Agua, octubre de 1991, pág., 612-619.

25.Ochoa A., L. H. y Arreguín C., F. I, ***"Evaluación de Pérdidas en Redes de Distribución de Agua Potable"***, IMTA, CNA, marzo de 1993.

26.Organización Panamericana para la Salud, ***"Apuntes del Curso Intensivo de Bombas para Agua Potable"***, Washington, D. C., USA, 1966.

27.Roberson, J. A., Crowe, C. T., ***"Mecánica de Fluidos"***, Editorial Mc Graw Hill, Segunda Edición, 1991.

28.Silvestre Paschoal, ***"Fundamentos de Hidráulica General"***, Editorial Limusa, México, 1983.

29.Sotelo Ávila ,G., ***"Hidráulica General, Volumen I, Fundamentos"***, Limusa Noriega Editores, 1995, Décimo Sexta Reimpresión.

30.Streeter, Victor L., ***"Mecánica de Fluidos"***, Editorial Mc Graw Hill, Tercera Edición.

31.Thompson, J. M. T., Steward, H. B., ***"Non Lineal Dynamics an Chaos"***, Editorial John Willey and Sons, Gran bretaña, 1978.

32.Trautwine, John C., ***"Manual del Ingeniero"***, Imprimerie Paul Dupont, Segunda Edición, París, 1921.

33.Williams, Horace, ***"Manual de Hidráulica"***, Limusa Noriega Editores, Tercera Reimpresión, 1995.

ANEXO A

MODELACIÓN INTEGRAL DE REDES DE AGUA POTABLE

Con el fin de apoyar este trabajo se utilizó el sistema de cómputo MIRAP, el cual fue elaborado por el M.I. Oscar Guerrero Angulo.

El propósito principal es de contar con una herramienta confiable para validar las hipótesis formuladas de manera sencilla y práctica.

El sistema de cómputo *MIRAP* (Modelación Integral de Redes de Agua Potable) efectúa la simulación hidráulica de las redes de agua potable empleando un procedimiento diferente al usado en los modelos convencionales, incorporando la modelación de elementos importantes como las tomas domiciliarias, la red secundaria y los tubos de distribución con el gasto espacialmente variado, sin la necesidad de aumentar el número de ecuaciones que sería necesario resolver en un modelo convencional. En las tomas domiciliarias se considera que pueden o no existir tinacos o cisternas, y su funcionamiento depende de las presiones y la forma como los usuarios operan las llaves de las mismas.

Este planteamiento permite conocer mejor el funcionamiento de las redes de abastecimiento de agua potable, con un impacto directo sobre los problemas que requieren de simulación hidráulica más precisa, como los aspectos de calidad del agua en las redes.
Este programa de cómputo se compone de tres módulos principales: *captura de datos*, *cálculo*, e *impresión de datos y resultados*.

El módulo de cálculo establece primeramente la conectividad y la información ordenada de cada elemento interno de la red con el propósito de agilizar y optimizar el cálculo hidráulico. Posteriormente, simula el funcionamiento hidráulico de todos los elementos mediante la solución de sistemas de ecuaciones implícitas no lineales.

En la red pueden existir diferentes elementos de frontera como son pozos profundos, tanques atmosféricos (norias y tanques en contacto con la atmósfera), tanques hidroneumáticos y descargas libres. Pueden existir también diferentes elementos internos, como los tramos de tubo, tomas domiciliarias, bombas y válvulas.

Se pueden resolver varios casos como redes con o sin *nodos principales*, redes conectadas y no conectadas, tramos de tubo con o sin tomas domiclliarias y sistemas de agua potable con o sin red secundaria de tal suerte que también se puede modelar de la manera convencional asignando las demandas en los nodos, tomando en cuenta ya sea únicamente a la red primaria o incluyendo a la red secundaria pero con la ventaja de que no se incrementa el número de ecuaciones que se forman en los modelos actuales de simulación hidráulica.

A. 1 CONCEPTOS HIDRÁULICOS

En la red de tubos existen *elementos internos* y *de frontera*. Los *elementos internos* son: tramos de tubos, bombas y válvulas de diferente tipo (seccionamiento, de no retorno, reductoras y sostenedoras de presión, etc.). Los *elementos de frontera* son: tanques en contacto con la atmósfera, norias (ambos identificables como tanques atmosféricos), tanques hidroneumáticos, pozos profundos, y descargas libres.

Los *elementos internos* quedan localizados en medio de dos nodos, y los *elementos de frontera* conectados en un solo nodo.

En los tramos de tubo, pueden o no existir tomas domiciliarias conectadas y fugas de agua. Si es que existen, el tubo se llama *tubo de distribución* y si no existen el tubo se llama *tubo sin distribución.*

El elemento de frontera proporciona entrada o salida de agua al sistema. La energía en el punto donde se conecta un elemento de frontera debe obtenerse aplicando su ley particular que describe su funcionamiento.

Un *nodo* es un punto de la red donde se conectan dos o más elementos o solamente un elemento si es un punto extremo de la red.

Con el propósito de evitar el mayor número posible de ecuaciones de nodo, sin la necesidad de eliminar las variables, se propone enseguida los conceptos de: *cuerda* y *nodo principal.*

Cuerda. Es un conjunto de elementos internos conectados en serie, donde se puede transportar, derivar y controlar diferentes flujos y modelarse con una sola ecuación. En las uniones de los elementos internos pueden o no existir conexiones de tubos secundarios (ilustración A.1).

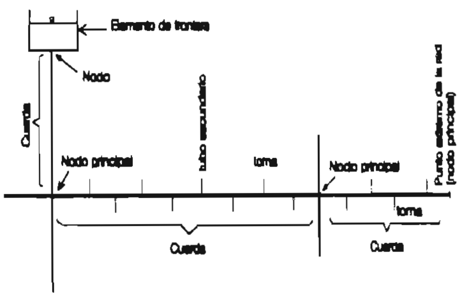


Ilustración A.1 *Cuerdas y nodos principales en una red de agua potable.*

Las conexiones de tubos secundarios pueden efectuarse únicamente en las cuerdas de la red primaria.

Si en la cuerda se conectan tubos de distribución o tubos secundarios, la cuerda se llama *cuerda de distribución,* en el caso de que no suceda esto la cuerda se llama *cuerda sin distribución* (figuras A.2 y A.3).

Nodo principal. Es el punto donde se unen tres o más cuerdas o solamente una cuerda si es un punto extremo de la red. No se considera un nodo principal el punto donde se une un elemento de frontera (ilustración A.1).

Con el propósito de eliminar al máximo el número de *nodos principales* en una red de agua potable es conveniente definir a las *cuerdas* de tal manera que sus *nodos principales,* que no sean puntos extremos de la red, unan a tres o más cuerdas.

En los extremos de una cuerda puede existir ya sea un *nodo principal* o un elemento de frontera. Puede suceder que una cuerda no se conecte a ningún nodo principal si sus dos extremos son elementos de frontera.

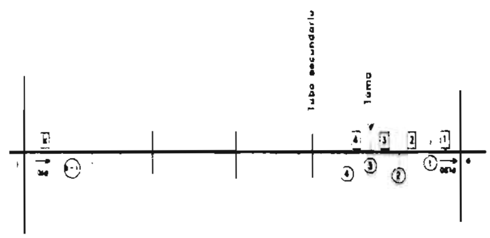


Ilustración A.2 *Cuerda de distribución donde el gasto es espacialmente variado.*

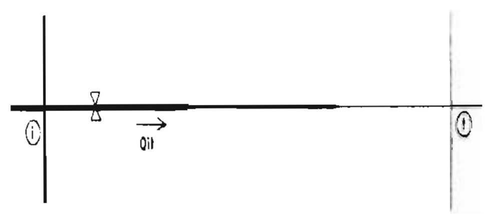


Ilustración A.3 *Cuerda sin distribución donde el gasto es constante.*

La cuerda puede ser *común* o *no común.* Es común si los dos extremos son nodos principales y es no común si en alguno de sus extremos se conecta un elemento de frontera.

El nodo principal puede ser interior o exterior. Es interior si cada una de las cuerdas que se conecta al nodo principal es una cuerda común. Si esto no se cumple el nodo principal es exterior.

El sistema de ecuaciones que se forma con la ecuación de continuidad, no necesita incluir a los nodos donde se conecta un elemento frontera. El gasto de este elemento se obtiene aplicando la ecuación de continuidad, una vez resuelto el sistema. En la ilustración A.4 se muestran varios casos de nodos donde se une un elemento de frontera y que no es necesario plantear la ecuación de continuidad.

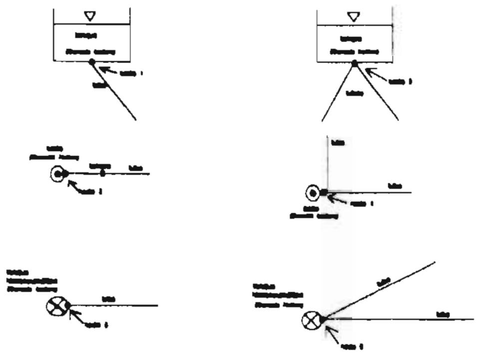


Ilustración A.4 *Nodos en los cuales no es necesario aplicar la ecuación de continuidad para resolver el sistema de ecuaciones de la red.*

En toda red de tubos debe existir al menos un elemento de frontera que proporcione ingreso de agua al sistema, tal como sucede con los tanques y pozos. Asimismo, debe existir algún elemento o punto por donde sale el agua del sistema. Por ejemplo, en el sistema de la ilustración A.5 existan 6 nodos, sin embargo, en el nodo 1 debe existir un elemento de frontera por donde entra el agua al sistema, por lo que la ecuación en ese nodo no es necesario, teniéndose en este caso 5 ecuaciones de nodo.

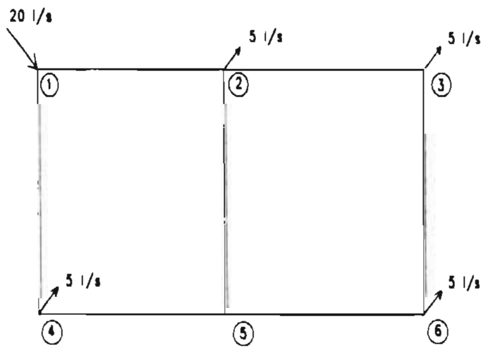


Ilustración A.5 *Sistema de tuberías cerrado en el cual es necesario definir un elemento de frontera.*

El modelo de simulación hidráulica para redes de agua potable que a continuación se plantea, es válido tanto para la red secundaria como para la red primaria. ***Se considera que las tomas domiciliarias son calibradas previamente en forma directa y que las fugas de agua pueden calibrarse también en forma directa o emplear este mismo modelo para calibrarlas en forma indirecta. En este último caso se considera que la fuga de agua se concentra en los nodos principales.***

Se tiene la ecuación de continuidad para todo nodo principal i existente en la red de tubos.

$$\sum_{d=1}^{g} Q_{id} + \sum_{t=1}^{h} Q_{it} + Q_i = - Qc_i \qquad \text{(A.1)}$$

donde Q_{id} son los gastos de las *cuerdas de distribución* conectadas al nodo principal i. Q_{it} son los gastos de las *cuerdas sin distribución*, Q_i es el gasto de las fugas de agua concentradas en los nodos principales, y Qc_i es un gasto conocido en el nodo principal i. La letra g es el número de cuerdas de distribución que confluyen en el nodo principal i, y h es el número de cuerdas sin distribución que se conectan en el nodo principal i.

El tercer término de la ecuación A.1 corresponde al caso cuando la fuga se va a calibrar en forma indirecta, mediante la medición de las energías de los nodos principales. Si se dispone de una calibración directa de fugas de agua, las fugas se calculan dentro de las cuerdas de distribución y desaparece el tercer término de la ecuación A.1.

Los gastos Q_{id} son función del valor de la energía H_i en el nodo principal i, del valor de la energía H_d en el extremo de la cuerda (ilustración A.2) y de los valores de la rugosidad relativa ε/D de cada uno de los tramos de la cuerda. Es decir,

$$Q_{id} = F_1\left(H_i,\ H_d,\ (\varepsilon/D)^1_{id},\ (\varepsilon/D)^2_{id},\ldots,(\varepsilon/D)^k_{id}\right) \qquad \text{(A.2)}$$

Los gastos Q_{it} son función de la diferencia de energías en los extremos de la cuerda (ilustración A.3) y de los valores de rugosidad relativa ε/D de cada uno de los tramos

$$Q_{it} = F_2\left((H_i - H_t),\ (\varepsilon/D)^1_{it},\ (\varepsilon/D)^2_{it},\ldots,(\varepsilon/D)^k_{it}\right) \qquad \text{(A.3)}$$

Resulta evidente que los gastos en una cuerda de distribución son espacialmente variados, mientras que en una cuerda sin distribución el gasto es constante.

El problema de revisión consiste en encontrar todos los valores de energía para una geometría conocida del sistema de agua potable, y el problema de calibración básicamente es encontrar condiciones geométricas para algunos valores de energía tomadas en los nodos, con el sistema en operación. La medición de las energías difícilmente se puede lograr en cada uno de los nodos, es por ello que dentro del modelo de calibración también es necesario obtener los valores de energía que no fueron medidos.

Cuando el problema es de revisión, con el sistema de ecuaciones A.1 se pueden obtener todos los valores de energía en cada uno de los nodos. Si el problema es de calibración de las fugas y rugosidades relativas ε/D se debe tomar en cuenta que la suma de variables que pueden obtenerse debe ser igual al número de nodos principales de la red de tubos. En este caso es necesario tomar un determinado número de mediciones de energías en los nodos principales. Este número de mediciones debe ser igual o mayor al número de fugas y rugosidades relativas por calibrar.

Los gastos de las fugas de agua son función de la altura de presión (H_i - z_i) existente en el nodo principal y de la geometría del orificio de la fuga (K_i).

$$Q_i = F_i\left((H_i - z_i), K_i\right) \qquad \text{(A.4)}$$

donde z_i es la altura de posición del nodo principal i. La ecuación de un orificio es igual a

$$Q_i = K_i\,(H_i - z_i)^{1/2} \qquad \text{(A.5)}$$

Sustituyendo la ecuación A.5 en la A.1 se tiene

$$\sum_{j=1}^{n} Q_{ij} - \sum_{i=1}^{n} Q_{ij} + K_i(H_i - z_i)^{1/2} = -Qc_i \qquad \text{(A.6)}$$

A.2 EC. DE LAS TOMAS DOMICILIARIAS

Para modelar el funcionamiento hidráulico de las tomas domiciliarias considerando la existencia del tubo alimentador se aplica la ecuación de la energía (ilustración A.6), del punto donde se conecta la toma domiciliaria al punto donde se ubica el orificio de descarga.

$$H_f = hf_{alimentador} + \frac{p_{vivienda}}{\gamma} + \frac{1}{2gA^2}Q^2 \qquad \text{(A.7)}$$

donde Q y A son el gasto y el área del tubo alimentador de la toma respectivamente, g es la constante gravitacional terrestre.

Si en la toma existe descarga directa a una cisterna o un tinaco, H_f es igual a la energía hidráulica total que existe en el nodo de conexión de la toma menos la elevación de la válvula de flotador y $hf_{alimentador}$ es la suma de pérdidas de energía que se generan desde el punto de conexión de la toma hasta un punto inmediatamente antes de la válvula de flotador.

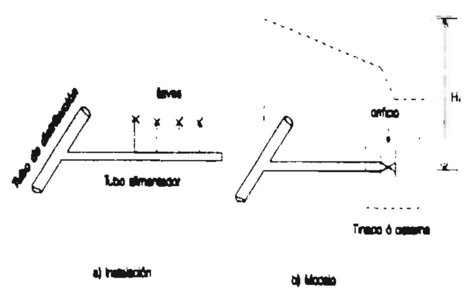


Ilustración A.6 Toma domiciliaria

Si en la toma no existe tinaco o cisterna, o si este existe pero la descarga no es directa, H_f es igual a la energía hidráulica total existente en el nodo de conexión de la toma menos la elevación promedio de las llaves de servicio de la vivienda y $hf_{alimentador}$ es la suma de pérdidas de energía que se presentan desde el punto de conexión de la toma hasta un punto inmediatamente antes de las llaves referidas.

El valor de $p_{vivienda}$ se refiere a la presión manometrica en el punto donde se ubica el orificio de descarga el cual se obtiene

$$\frac{p_{vivienda}}{\gamma} = \left(\frac{1}{K}\right)^2 Q^2 \qquad \text{(A.8)}$$

Definiendo a

$$K_o = \left(\frac{1}{K}\right)^2 \qquad \text{(A.9)}$$

la ecuación A.8 es igual a

$$\frac{p_{vivienda}}{\gamma} = K_o\,Q^2 \qquad \text{(A.10)}$$

El valor de $p_{vivienda}/\gamma$, puede interpretarse como una pérdida local de energía y la variable K_o servirá para medir la operación y condiciones geométricas dentro de la vivienda, cuyo valor varía de acuerdo al grado de abertura del orificio. Este término también incluye las fugas internas de agua en la vivienda.

Las pérdidas totales de energía en el tubo alimentador, considerando las pérdidas menores por accesorios, son:

$$hf_{alimentador} = hf_{conducto} + \frac{\sum k}{2gA^2}Q^2 \qquad \text{(A.11)}$$

donde k es un factor de pérdida local el cual se obtiene experimentalmente y se puede tomar de cualquier referencia de hidráulica general.

Con las ecuaciones A.10, A.11 y A.5 en la A.7 se tiene

$$H_f = \left(f\frac{0.81\,L}{g\,D^5} + \frac{1 + \Sigma k}{2\,g\,A^2} + K_o \right) Q^2 \qquad (A.12)$$

La ecuación A.12 modela el funcionamiento de la toma domiciliaria a partir del punto de conexión con la red para valores de H_f positivos. Si H_f es negativo, entonces el gasto es igual a cero, pues no debe existir suministro de agua de la toma hacia la red de distribución.

El gasto de la ecuación A.12 no puede despejarse en forma directa; para obtenerse, será necesario emplear un método numérico disponible o implementar uno que ofrezca buenos resultados.

En el caso de efectuar calibraciones indirectas de las tomas empleando un modelo hidráulico, se recomienda obtener el valor de K_o de la ecuación A.12. Si se obtiene el valor de K_o, la calibración directa tiene mayor generalidad, (estos resultados pueden utilizarse para propósitos de diseño en ciudades sin estudios con características que se consideren similares) ya que las características geométricas del tubo alimentador pueden cambiar de una toma a otra y esta también puede ser calibrada en forma directa.

A. 3 CUERDA DE DISTRIBUCION

Para obtener la ecuación que modela a una cuerda de distribución (ilustración A.2), se aplica la ecuación de la energía del nodo principal i al nodo principal d,

$$H_i = H_d + \sum_{j=1}^{k} \left(ht_{jd} - hb_{jd} + hl_{jd} \right) \qquad (A.13)$$

donde ht_{id} es la pérdida de energía distribuida en un subtramo de tubo, hb_{id} la carga de la bomba si es que esta existe en el subtramo de tubo, y hl_{id} la suma de pérdidas locales de energía en un subtramo de tubo de la cuerda, producidas por cualquier tipo de válvula o conexión. La letra k es el número de subtramos de tubo de la cuerda, j inicia con el número 1 en el subtramo de tubo conectado al nodo principal d y termina con el número k en el subtramo de tubo conectado al nodo principal i.

El flujo en cada subtramo de tubo de una cuerda de distribución puede tener cualquier sentido; si este es hacia el nodo d, los valores del segundo término del lado derecho de la ecuación A.13 correspondiente al subtramo de tubo, toman un signo positivo, de lo contrario el signo es negativo.

En las cuerdas de distribución puede presentarse el caso en que los dos gastos de los tramos extremos tengan un sentido hacia adentro de la cuerda, para abastecer únicamente a los consumos de las tomas domiciliarias o tubos secundarios que se conectan.

Cabe señalar que este caso no puede modelarse con los métodos actuales de simulación ya que suponen concentradas las demandas en los nodos extremos.

Las cargas de las bombas se obtienen de los datos que proporciona el fabricante (ilustración A.7).

La suma de pérdidas locales de energía se calculan, como es normal, con la ecuación

$$hl_{jd} = \frac{\Sigma k}{2g\,A^2} Q^2 \qquad (A.14)$$

donde k es un factor de pérdida local que depende del tipo de accesorio, mismo que puede obtenerse de cualquier libro de hidráulica general.

La ecuación 2.5 puede expresarse en forma general como

$$h = M\,Q^2 \qquad (A.15)$$

donde

$$M = f\frac{0.81\,L}{g\,D^5} \qquad (A.16)$$

Sustituyendo las ecuaciones A.14 y A.15 en la A.13 se obtiene

$$H_i = H_d + \sum_{j=1}^{k} \left(M\,Q_{jd}\,|Q_{jd}| - hb_{jd} + \frac{\Sigma k}{2g\,A^2} Q_{jd}\,|Q_{jd}| \right) \qquad (A.17)$$

donde M toma el valor de la ecuación A.16.

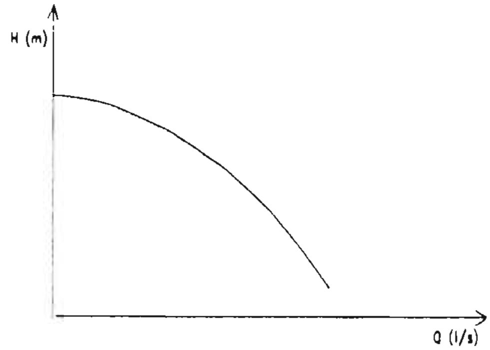


***Ilustración** A.7 Curva característica de la bomba.*

A. 4 PROCEDIMIENTO DE SIMULACIÓN

El orden de enumeración de los subtramos de tubo, indicado en la ilustración A.2, es importante en la evaluación del segundo término del lado derecho de la ecuación A.17 puesto que los cálculos para el subtramo de tubo j permiten conocer la energía en el punto donde se conecta el subtramo de tubo $j + 1$. Con este valor de la energía, se calcula el gasto de la toma domiciliaria, el gasto del tubo secundario o el gasto de la fuga de agua, y enseguida, aplicando la ecuación de continuidad se conoce el gasto del subtramo de tubo $j + 1$. Las pérdidas o ganancias de energía en el subtramo de tubo son función del gasto calculado en ese subtramo de tubo, no obstante, este gasto depende del gasto QE_{id} del subtramo de tubo conectado al nodo principal d. Se procede de esta manera hasta llegar al subtramo de tubo k que le corresponde el gasto Q_{id}.

Para valuar con la ecuación A.17 a la energía H_i en el nodo principal i, el procedimiento es el siguiente:

1. Se calcula el término derecho de la ecuación A.17 para $j = 1$. Este valor corresponde a la energía en el nodo j.

2. Si en el nodo j se conecta una toma domiciliaria, se calcula el gasto en la en forma iterativa, empleando la ecuación:

$$Q = \left(\frac{H_j}{f \frac{0.81 L}{g D^5} + \frac{1 + \Sigma k}{2 g A^2} + K_o} \right)^{1/2} \quad \text{(A.18)}$$

que se obtiene de la ecuación A.12, y en donde f, es el factor de pérdida y en los próximos capítulos se verá como se solucionó el problema de la discontinuidad existente entre las ecuaciones que rigen al flujo laminar y al turbulento.

3. Si en el nodo j se conecta un tubo secundario, su gasto se obtiene de los datos obtenidos de la simulación de la subred correspondiente.

4. Si en el nodo j existe una fuga de agua, en las conexiones de las tomas domiciliarias y en cualquier punto de la red de distribución, su gasto se puede obtener aplicando la ecuación del orificio:

$$Q = \beta \, (H - z)^{1/2} \quad \text{(A.19)}$$

donde $(H - z)$ es la presión en el orificio y b es un factor que depende de las condiciones geométricas del orificio. H es la altura de presión y z la altura de posición del orificio.

5. Se aplica la ecuación de continuidad en el nodo j y se calcula el gasto en el tramo $j + 1$.

6. Se repite el proceso desde el paso 2 al paso número 5, hasta llegar al nodo principal i.

A.5 CUERDA CON VALVULAS DE CONTROL

Si en las cuerdas de distribución o cuerdas sin distribución, existe algún tipo de válvula como pueden ser: reductoras de presión, sostenedoras de presión, de no retorno, de altitud, etcétera, se debe tomar en cuenta que estos elementos son diseñados para lograr un determinado funcionamiento de la red estableciendo ciertos valores de energías, presiones y sentidos del flujo.

Normalmente este tipo de válvulas no son abundantes en la red, permitiendo así que se pueda realizar la revisión hidráulica en dos etapas. En la primera, se realiza la revisión sin considerar que la válvula esta operando para su función principal y sólo se consideran las pérdidas locales que provoca. Si en la primera etapa se encuentran condiciones de funcionamiento que provoquen el trabajo de las válvulas, en una segunda etapa se corrigen los valores de energía y gastos encontrados en la primer etapa, considerando ahora las energías y gastos que generan dichos elementos.

Para las válvulas que implican presiones y energías establecidas de funcionamiento, para no provocar cambios de flujo, se recomienda modificar estos valores en forma gradual hasta llegar al valor establecido. Este procedimiento permite observar si es o no posible obtener al valor de energía establecido. Si no es posible, el flujo se invierte y es otro el funcionamiento de la válvula.

A. 6 SOLUCION DEL MODELO

El sistema de ecuaciones A.6 no es lineal y para encontrar la solución se utiliza la serie de Taylor con derivadas hasta de primer orden para transformar a un sistema de ecuaciones lineales.

Se tiene así:

$$\sum Q_{i} - \sum \frac{\partial Q_{d}}{\partial H} \Delta H - \sum \frac{\partial Q_{d}}{\partial H_{i}} \Delta H_{i} - \sum \frac{\partial Q_{d}}{\partial (\varepsilon \; D)_{i}} \Delta (\varepsilon \; D)_{i} -$$

$$- \sum \frac{\partial Q_{d}}{\partial (\varepsilon \; D)_{i}} \Delta (\varepsilon \; D)_{i} - \quad - \sum \frac{\partial Q_{d}}{\partial (\varepsilon \; D)_{i}} \Delta (\varepsilon \; D)_{i} -$$

$$- \sum Q_{i} - \sum \frac{\partial Q_{d}}{\partial (H - H_{i})} \Delta (H - H_{i}) - \sum \frac{\partial Q_{d}}{\partial (\varepsilon \; D)_{i}} \Delta (\varepsilon \; D)_{i} -$$

$$- \sum \frac{\partial Q_{d}}{\partial (\varepsilon \; D)_{i}} \Delta (\varepsilon \; D)_{i} - \quad - \sum \frac{\partial Q_{d}}{\partial (\varepsilon \; D)_{i}} \Delta (\varepsilon \; D)_{i} -$$

$$- K (H - z_{i}) - \frac{1}{2} K (H - z_{i}) \Delta E -$$

$$- (H - z_{i}) \Delta K = - Qc$$

(A. 20)

Arreglando, la ecuación A.20 queda

$$\sum \frac{\partial Q_{d}}{\partial H_{i}} \Delta H_{i} - \sum \frac{\partial Q_{d}}{\partial H_{d}} \Delta H_{d} - \sum \frac{\partial Q_{d}}{\partial (\varepsilon \; D)_{d}} \Delta (\varepsilon \; D)_{d} -$$

$$- \sum \frac{\partial Q_{d}}{\partial (\varepsilon \; D)_{d}} \Delta (\varepsilon \; D)_{d} - \quad - \sum \frac{\partial Q_{d}}{\partial (\varepsilon \; D)_{d}} \Delta (\varepsilon \; D)_{d} -$$

$$- \sum \frac{\partial Q_{d}}{\partial (H - H)} \Delta H - \sum \frac{\partial Q_{d}}{\partial (H - H)} \Delta H -$$

$$- \sum \frac{\partial Q_{d}}{\partial (\varepsilon \; D)_{i}} \Delta (\varepsilon \; D)_{i} - \sum \frac{\partial Q_{d}}{\partial (\varepsilon \; D)_{i}} \Delta (\varepsilon \; D)_{i} - \quad - \qquad \text{(A.21)}$$

$$- \sum \frac{\partial Q_{d}}{\partial (\varepsilon \; D)_{i}} \Delta (\varepsilon \; D)_{i} - \frac{1}{2} K_{i} (H_{i} - z_{i}) \Delta H -$$

$$- (H_{i} - z_{i}) \Delta K_{i} = - Qc_{i} - \sum Q_{d} - \sum Q_{i} - K_{i} (H - z_{i})$$

A. 7 PROCEDIMIENTO PARA VALUAR LOS TERMINOS DEL MODELO EN LAS CUERDAS DE DISTRIBUCIÓN.

Para valuar los términos de la ecuación A.21 correspondientes a las cuerdas de distribución, se propone el siguiente procedimiento:

1. De la ecuación A.16 se obtienen los valores del gasto QE'_{id} y Q'_{id}, donde el segundo es función del primero.

No es posible obtener en forma directa el valor de Qe_{id}, sin embargo, se puede utilizar el método de Newton-Raphson.

$$QE_{id} = QE'_{id} - \frac{F(QE'_{id})}{\frac{\partial F(QE'_{id})}{\partial QE_{id}}} \qquad \text{(A.22)}$$

Para ello se transforma a la ecuación A.16 de la siguiente manera

$$F(QE_{id}) = H_{d} - H_{i} - \sum \left(M Q_{d} Q_{d} - hb_{id} - \frac{\Sigma k}{2 g A^{2}} Q_{d} Q_{d} \right) \qquad \text{(A.23)}$$

En la ecuación A.22, el valor

$$\frac{\partial F(QE_{id})}{\partial QE_{id}} = \frac{F_{2}(QE'_{id} + \Delta QE_{id}) - F_{1}(QE'_{id} - \Delta QE_{id})}{2 \Delta QE_{id}} \qquad \text{(A.24)}$$

se obtiene en este caso con la ecuación A.16 evaluando las funciones $F_{1}(QE'_{id} - DQE_{id})$ y $F_{2}(QE'_{id} + DQE_{id})$. De esta forma se tiene

Se repite el proceso hasta que QE_{id} sea aproximadamente igual al valor anterior o cuya diferencia sea menor o igual a una tolerancia permitida.

Una vez que se ha calculado QE'_{id}, el valor de Q'_{id} correspondiente es el que se tiene en el elemento que esta conectado al nodo principal *i*.

2. En la ecuación A.21, el valor de

$$\frac{\partial Q_{id}}{\partial H_{i}}$$

correspondiente al nodo principal *i*, se obtiene de la ecuación A.16 calculando dos valores de H_i alrededor de H_i', uno para ($QE'_{id} + DQE_{id}$, H'_{d}) y el otro para ($QE'_{id} - DQE_{id}$, H'_{d})

$$\frac{\partial Q_{d}}{\partial H_{i}} = \frac{Q_{d}(QE_{id} + \Delta QE_{d}, H_{d}) - Q_{d}(QE_{id} - \Delta QE_{d}, H_{d})}{H_{i}(QE_{id} + \Delta QE_{d}, H_{d}) - H_{i}(QE_{id} - \Delta QE_{d}, H_{d})} \qquad \text{(A.25)}$$

Los resultados de aplicar la ecuación A.16 del nodo principal *i* al nodo principal *d*, se pueden aprovechar para obtener el valor

$$\frac{\partial Q_{id}}{\partial H_d}$$

para cuando se aplica la ecuación A.21 en el nodo principal *d*. Se tiene entonces

$$\frac{\partial Q_{id}}{\partial H_d} = - \frac{2\,\Delta QE_{id}}{H_i\left(QE_{id} + \Delta QE_{id}\,,\ H_d'\right) - H_i\left(QE_{id} - \Delta QE_{id}\,,\ H_d'\right)} \qquad \text{(A.26)}$$

donde el signo menos del lado derecho de debe al signo contrario de los gastos.

3. Para obtener el valor

$$\frac{\partial Q_{id}}{\partial H_{di}}$$

y aplicar la ecuación A.21 en el nodo principal *i*, la ecuación A.16 se aplica en sentido contrario, asignando nodo principal *i* al que fue nodo principal *d*, y nodo principal *d* al que fue nodo principal *i*; por consiguiente, también gasto QE_{id} al que fue gasto Q_{id} y gasto Q_{id} al que fue gasto QE_{id}. De esta manera se puede utilizar la misma ecuación A.26.

Los resultados de aplicar la ecuación en este sentido contrario, se aprovechan para calcular también el valor

$$\frac{\partial Q_{id}}{\partial H_i}$$

con la ecuación A.25, para cuando se aplica la ecuación A.21 en el nuevo nodo principal *i*.

4. Para obtener el valor

$$\frac{\partial Q_{id}}{\partial(\varepsilon / D)_{id}}$$

y aplicar la ecuación A.21 en el nodo principal *i*, se obtiene de la ecuación A.16 calculando dos valores de Q_{id} alrededor de Q_{id}', uno para (H_i', H_d', e/D_{id}' + D e/D_{id}) y el otro para (H_i' , H_d' , e/D_{id}' - D e/D_{id}). Ambos casos utilizando el procedimiento del paso número 1.

Una vez que se encuentran estos valores, entonces

$$\frac{\partial Q_{id}}{\partial(\varepsilon / D)_{id}} = \frac{Q_{id}\left(H_i',\ H_d',\ (\varepsilon / D)_{id}' + \Delta(\varepsilon / D)_{id}\right)}{2\,\Delta(\varepsilon / D)_{id}} - \qquad \text{(A.27)}$$

$$- \frac{Q_{id}\left(H_i',\ H_d',\ (\varepsilon / D)_{id}' - \Delta(\varepsilon / D)_{id}\right)}{2\,\Delta(\varepsilon / D)_{id}}$$

Cuando se aplica la ecuación A.21 en el nodo principal *d*, con los resultados de aplicar la ecuación A.16 del nodo principal *i* al nodo principal *d* se obtiene

$$\frac{\partial Q_{id}}{\partial(\varepsilon / D)_{id}} = - \frac{QE_{id}\left(H_i',\ H_d',\ (\varepsilon / D)_{id}' + \Delta(\varepsilon / D)_{id}\right)}{2\,\Delta(\varepsilon / D)_{id}} - \qquad \text{(A.28)}$$

$$- \frac{QE_{id}\left(H_i',\ H_d',\ (\varepsilon / D)_{id}' - \Delta(\varepsilon / D)_{id}\right)}{2\,\Delta(\varepsilon / D)_{id}}$$

ANEXO B

RESULTADOS DEL FRACCIONAMIENTO "EL PARAJE"

B. 1 INTRODUCCIÓN

Como se vio en el capítulo I, se determinó la presencia de flujos de tipo laminar , tomando en consideración para ello el valor del número de Reynolds, en este anexo se presentarán todos los resultados obtenidos al modelar la red de agua potable del fraccionamiento "El Paraje", con el programa de cómputo ***MIRAP***, es importante recordar que para el cálculo del factor de pérdida *f*, se utilizó la ecuación de modificada de Colebrook-White, es decir, se consideró que en la red solamente existían flujos de tipo turbulento.

A continuación se verán un gran número de cuadros e ilustraciones donde se exponen los resultados obtenidos de una simulación desde las 11 A.M. hasta las 6 P.M. de un mismo día. En los cuadros se presentan los números de Reynolds calculados, en estos se observa con letras cursivas los números de Reynolds encontrados por debajo del valor crítico de 4000, es decir que según este calculo el tipo de flujo que se presenta es laminar o crítico.

Primero se observará el comportamiento de cada uno de los nodos de la red primaria, y después de las ocho redes secundarias restantes, también se mostrarán gráficas de cada nodo, donde se aprecia a través de un periodo de tiempo el comportamiento de cada uno de los tramos de la red o red que en ese momento se está estudiando. Para apreciar más claramente el comportamiento del flujo en cada una de las cuerdas o tramos se mostrarán figuras en las cuales las líneas de color rojo representan que el flujo en ese tramo o cuerda fue de tipo laminar durante las siete horas de análisis, mientras que las de color verde indican que el flujo es de tipo turbulento.

B. 2 RED PRIMARIA

A continuación se mostrarán ocho cuadros, en los primeros siete, cuadro B.1, se da a conocer los resultados obtenidos en la red primaria de "El Paraje", esta red consta de 12 cuerdas; y en la octava, cuadro B.2, se presentan los números de Reynolds obtenidos en el periodo de tiempo en que se realizó el cálculo.

Para mostrar más claramente los resultados obtenidos se dibujaron dos gráficas, figura B.1, en las que se observa que en esta red el tipo de flujo que se presentó fue generalmente de tipo turbulento, con excepción de dos tramos.

RESULTADOS OBTENIDOS:				11 A 12 HRS.				12 A 13 HRS.				13 A 14 HRS.			
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	GASTO (lps)		V.CALC. (m/s)		GASTO (lps)		V.CALC. (m/s)		GASTO (lps)		V.CALC. (m/s)	
				NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2
1	11	1	0.1933	-9.723	-11.847	-0.331	-0.404	-8.853	-10.615	-0.302	-0.368	-7.726	-9.498	-0.263	-0.324
2	11	87	0.0785	1.200	1.200	0.266	0.266	1.162	1.162	0.240	0.240	1.001	1.001	0.207	0.207
3	20	11	0.1933	5.4[illegible]	-8.435	-0.187	-0.287	-4.979	-7.[illegible]	-0.176	-0.262	-4.301	-6.725	-0.149	-0.229
4	22	20	0.1405	3.5[illegible]	-5.190	-0.183	-0.184	2.870	2.890	-0.166	-0.167	-2.531	-2.547	-0.146	-0.147
5	23	22	0.1405	-2.671	3.169	-0.154	[illegible]	2.409	1.877	-0.138	[illegible]	2.122	-2.331	-0.121	-0.146
6	43	23	0.1059	-0.323	-0.001	0.065	[illegible]	[illegible]	-0.746	[illegible]	-0.093	-0.418	[illegible]	-0.052	-0.063
7	23	20	0.0785	1.870	2.296	[illegible]	[illegible]	1.649	2.479	0.100	-0.430	1.458	-1.832	0.101	-0.175
8	87	91	0.0785	0.627	0.499	0.130	[illegible]	0.566	0.445	0.117	0.092	0.487	0.502	0.101	0.079
9	97	91	0.0785	0.527	0.362	0.109	[illegible]	0.402	-0.325	0.103	-0.067	0.409	0.280	[illegible]	[illegible]
10	97	87	0.0785	-0.339	[illegible]	-0.111	[illegible]	-0.470	-0.397	-0.099	-0.123	-0.488	-0.514	-0.084	-0.106
11	97	91	0.0785	0.004	-0.144	[illegible]	[illegible]	-0.014	-0.129	-0.003	-0.027	0.001	-0.106	0.001	-0.101
12	42	22	0.1059	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

RESULTADOS OBTENIDOS:	14 A 15 HRS.				15 A 16 HRS.				16 A 17 HRS.				17 A 18 HRS.			
	GASTO (lps)		V.CALC. (m/s)		GASTO (lps)		V.CALC. (m/s)		GASTO (lps)		V.CALC. (m/s)		GASTO (lps)		V.CALC. (m/s)	
	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2
1	-7.1[illegible]	-8.807	-0.245	-0.3[illegible]	5.[illegible]	-7.158	-0.201	-0.244	-6.2[illegible]	-7.643	-0.213	-0.260	-6.871	-8.395	-0.234	-0.286
2	0.862	0.862	0.178	0.178	0.744	0.744	0.154	0.154	0.807	0.807	0.167	0.167	0.900	0.900	0.186	0.186
3	-4.[illegible]	-6.326	-0.140	0.216	3.314	5.142	-0.113	-0.175	-3.424	-5.000	-0.117	-0.187	-3.780	5.971	-0.129	-0.201
4	2.337	-2.394	-0.135	-0.138	1.909	1.925	-0.110	-0.111	-1.973	-1.985	-0.114	-0.115	-2.182	-2.195	-0.126	-0.127
5	-1.998	2.377	-0.115	0.117	1.598	1.909	-0.092	[illegible]	1.651	-1.973	-0.095	-0.114	-1.852	-2.182	-0.107	-0.126
6	-0.994	[illegible]	-0.049	0.079	-0.309	[illegible]	-0.039	-0.062	-0.314	-0.308	-0.039	-0.063	-0.351	-0.500	[illegible]	-0.073
7	1.267	[illegible]	0.202	-0.154	1.392	1.[illegible]	0.226	-0.287	1.147	1.419	0.237	-0.297	1.271	1.565	0.263	-0.327
8	0.421	0.345	[illegible]	[illegible]	0.362	0.284	0.075	0.059	0.392	0.314	0.087	0.065	0.437	0.356	0.090	0.074
9	0.339	-0.234	[illegible]	-0.052	0.316	-0.246	[illegible]	-0.043	0.354	-0.221	[illegible]	[illegible]	0.396	-0.266	0.082	-0.055
10	-0.363	-0.441	[illegible]	-0.071	-0.308	-0.382	-0.064	-0.079	-0.341	-0.414	-0.070	[illegible]	-0.385	-0.462	-0.080	-0.095
11	0.009	-0.093	0.002	[illegible]	0.012	[illegible]	[illegible]	[illegible]	-0.016	-0.097	[illegible]	[illegible]	-0.021	-0.102	-0.005	-0.021
12	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Cuadro B.1 *Resultados de la Red primaria del fraccionamiento el Paraje, en un periodo de siete horas (11:00 A.M. a 6:00 P.M.).*

NÚMEROS DE REYNOLDS CALCULADOS EN LA RED DE LAS 11:00 A.M. A LAS 6:00

RED PRINCIPAL			11-12 HRS.		12-13 HRS.		13-14 HRS.		14-15 HRS.		15-16 HRS.		16-17 HRS.		17-18 HRS.	
INTERV. DE			1		2		3		4		5		6		7	
CUERDA	NODO		REYNOLDS		REYNOLDS		REYNOLDS		REYNOLDS		REYNOLDS		REYNOLDS		REYNOLDS	
	1	2	NODO 1	NODO2	NODO1	NODO2	NODO1	NODO2	NODO1	NODO2	NODO1	NODO2	NODO1	NODO2	NODO1	NODO2
1	11	1	64044	78035	58307	71224	50890	62562	47346	58010	38770	47149	41471	50343	45258	55297
2	11	87	20907	20907	18847	18847	16236	16236	13981	13981	12067	12067	13089	13089	14598	14598
3	20	11	36135	55560	32796	50653	28857	44297	27059	41668	21829	33870	22553	36162	24898	39330
4	22	20	27171	27351	24767	24847	21701	21838	20037	20526	16168	16505	16917	17019	18708	18820
5	23	22	22901	27171	20483	24667	18194	21701	17131	20380	13701	16368	14156	16917	15879	18708
6	45	23	6600	16108	6057	9414	5275	8404	4972	7988	3899	6259	3962	6160	4454	7319
7	23	20	23597	28973	20758	26235	18298	23118	17250	21616	13906	17528	14474	18158	16064	20001
8	87	91	10170	8094	9180	7218	7899	6196	6828	5434	5871	4606	6358	5093	7088	5774
9	97	91	8548	5871	7818	5271	6634	4541	5498	4120	5125	3141	5742	3585	6423	4314
10	97	87	8742	10721	7753	9683	6618	8337	5888	7153	4996	6196	5531	6715	3243	7493
11	97	91	63	2336	227	2092	47	1622	146	1511	195	1311	260	1575	373	1654
12	42	22	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

Cuadro B.2 *Números de Reynolds obtenidos en la Red primaria del fraccionamiento "El Paraje", en un período de siete horas (11:00 A.M. a 6:00 P.M.).*

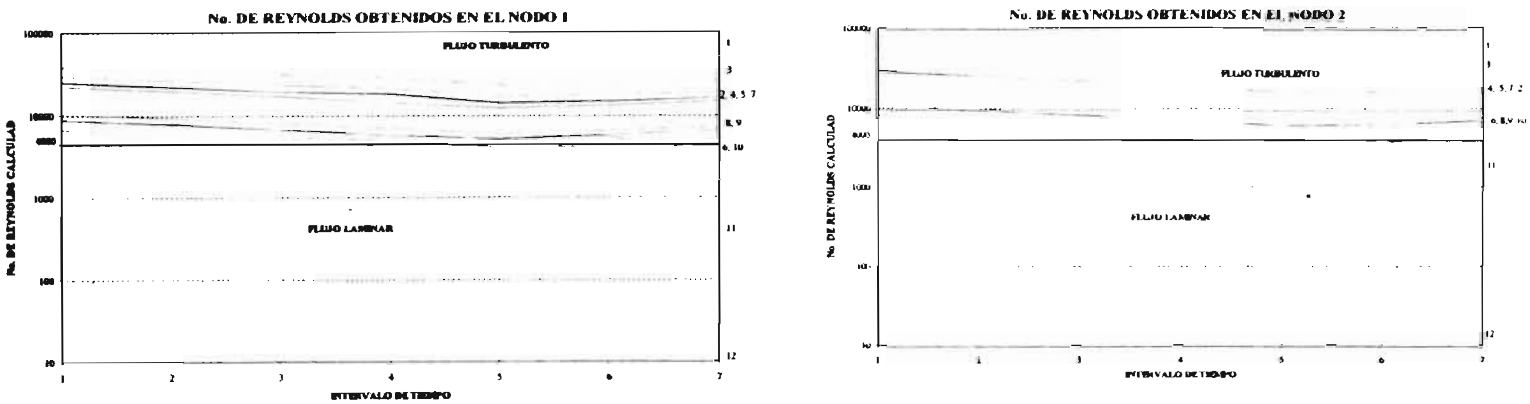


Ilustración B.1 *Números de Reynolds calculados en la red primaria, en distintos intervalos de tiempo, la gráfica de la izquierda muestra los datos obtenidos en el nodo aguas arriba (Nodo 1) y la de la derecha en el nodo agua abajo (Nodo 2).*

B. 3 RED SECUNDARIA No. 1

La Red Secundaria No.1 consta de 18 tramos, al igual que con la red primaria se realizó el análisis de cada uno de los tramos encontrándose la presencia de flujos de tipo laminar y turbulento.

Los resultados obtenidos en esta red se presentarán de igual forma que en el estudio de ña red primaria, la cual observamos en el subcapítulo anterior y así de hará con todas las redes restantes.

RESULTADOS OBTENIDOS				11 A 12 HRS				12 A 13 HRS				13 A 14 HRS			
TRAMO	NODO		DIÁM.	GASTO (lps)		V.CALC. (m/s)		GASTO (lps)		V.CALC. (m/s)		GASTO (lps)		V.CALC. (m/s)	
	1	2	(m)	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2
45	5	62	0.0785	0.490	0.476	0.101	0.098	0.481	0.467	0.099	0.096	0.392	0.378	0.081	0.078
46	7	173	0.0785	0.425	0.422	0.088	0.087	0.401	0.398	0.083	0.082	0.378	0.374	0.078	0.077
47	174	64	0.0785	0.113	[illegible]	0.023	[illegible]	0.101	[illegible]	0.021	[illegible]	0.099	[illegible]	[illegible]	[illegible]
48	175	65	0.0531	0.041	[illegible]	0.019	[illegible]	0.039	0.012	0.018	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
49	67	176	0.0785	0.152	0.148	0.031	0.031	0.137	0.134	0.028	0.028	0.134	0.131	0.028	0.027
50	69	177	0.0785	0.105	0.012	0.022	[illegible]	0.099	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.095	[illegible]	[illegible]	[illegible]
51	63	66	0.0785	0.257	0.257	0.053	[illegible]	0.239	0.239	0.049	0.049	0.233	0.233	0.048	0.048
71	3	8	0.5310	0.195	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.157	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.178	[illegible]	[illegible]	[illegible]
121	159	160	0.0531	[illegible]	[illegible]	0.031	0.031	0.099	0.099	0.027	0.027	0.055	0.055	0.025	0.025
123	62	156	0.0785	0.476	0.073	0.098	0.015	0.467	0.073	[illegible]	0.015	0.378	0.041	0.078	[illegible]
124	156	157	0.0785	0.077	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.074	[illegible]	0.015	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
128	160	161	0.0531	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
129	160	162	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
138	173	63	0.0785	0.422	0.305	0.087	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.059	0.374	0.367	[illegible]	[illegible]
139	7	174	0.0785	0.214	0.113	0.044	0.023	0.198	0.140	0.041	0.027	0.188	0.097	[illegible]	[illegible]
140	63	175	0.0531	[illegible]	0.041	0.022	0.019	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.017	0.035	[illegible]	[illegible]	[illegible]
141	176	68	0.0785	0.148	[illegible]	0.031	[illegible]	0.133	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.131	[illegible]	[illegible]	[illegible]
142	177	70	0.0785	[illegible]	[illegible]	0.002	[illegible]	0.029	0.017	[illegible]	[illegible]	0.029	0.017	[illegible]	[illegible]

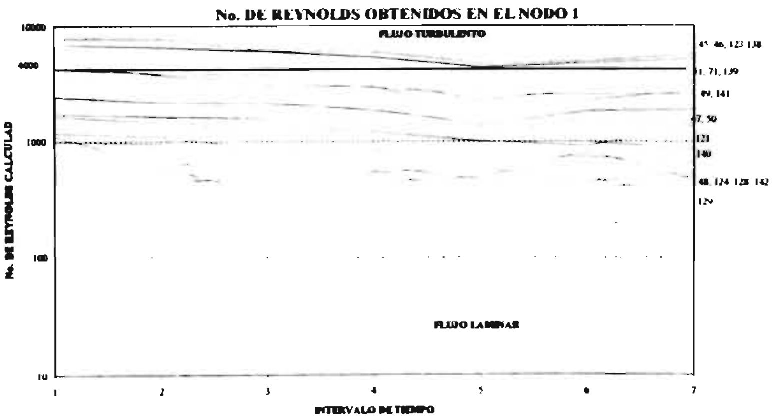
TRAMO	14 A 15 HRS				15 A 16 HRS				16 A 17 HRS				17 A 18 HRS			
	GASTO (lps)		V.CALC. (m/s)		GASTO (lps)		V.CALC. (m/s)		GASTO (lps)		V.CALC. (m/s)		GASTO (lps)		V.CALC. (m/s)	
	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2
45	0.375	0.365	0.077	[illegible]	[illegible]	0.287	[illegible]	[illegible]	0.310	0.299	0.064	[illegible]	0.354	0.344	0.073	0.071
46	0.331	0.328	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.292	0.289	[illegible]	[illegible]	0.317	[illegible]	[illegible]	[illegible]
47	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
48	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.021	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
49	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.113	[illegible]	0.023	0.023	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
50	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
51	0.198	0.198	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
71	0.122	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
121	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
123	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.267	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.344	[illegible]	[illegible]	[illegible]
124	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
128	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
129	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
138	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.172	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
139	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
140	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
141	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
142	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

Cuadro B.3 *Resultados de la red secundaria 1 del fraccionamiento "El Paraje", en un periodo de siete horas (11:00 A.M. a 6:00 P.M.)*

NÚMEROS DE REYNOLDS CALCULADOS EN LA SUBRED SECUNDARIA DE LAS 11:00 A.M. A LAS 6:00

SUBRED SEC. No.1			11-12 HRS.		12-13 HRS.		13-14 HRS.		14-15 HRS.		15-16 HRS.		16-17 HRS.		17-18 HRS.	
INTERV. DE			1		2		3		4		5		6		7	
TRAMO	NODO		REYNOLDS		REYNOLDS		REYNOLDS		REYNOLDS		REYNOLDS		REYNOLDS		REYNOLDS	
	1	2	NODO 1	NODO2	NODO1	NODO2	NODO1	NODO2	NODO1	NODO2	NODO1	NODO2	NODO1	NODO2	NODO1	NODO2
45	5	62	7948	7721	7802	7575	6358	6131	6082	5920	4817	4655	5028	4850	5742	5580
46	7	173	6893	6845	6504	6455	6131	6066	5369	5320	4379	4314	4736	4687	5142	5077
47	174	64	1833	10	1638	32	1606	16	1590	65	1022	65	1606	211	1379	10
48	175	65	983	10	935	48	120	551	436	216	304	72	875	240	480	10
49	67	176	2465	2401	2222	2173	2173	2125	1817	1930	1395	1346	1833	1784	1881	1833
50	69	177	1703	195	1606	136	1541	130	1249	227	989	243	908	162	1346	114
51	63	66	4168	4168	3876	3876	3779	3779	3211	3211	2287	3187	2725	2725	3195	3195
71	3	8	4676	10	3763	10	3309	10	2925	10	2518	10	2518	10	2590	10
121	159	160	1631	1631	1415	1415	1319	1319	1199	1199	983	983	983	983	863	863
123	62	156	7721	1184	7575	1184	6131	665	5920	663	4655	470	4866	535	5580	519
124	156	157	1249	65	1200	16	97	551	568	97	341	114	373	162	519	10
128	160	161	1079	10	623	264	719	144	623	144	480	168	456	192	551	10
129	160	162	551	24	599	72	360	96	551	120	575	264	504	168	312	10
138	173	63	6845	4947	6455	4606	6066	4331	5320	3779	4314	2790	4687	3228	5077	3633
139	7	174	3471	1833	3211	2109	3049	1573	2984	1508	1784	941	2303	1395	2709	1379
140	61	175	1151	983	1079	911	839	671	839	671	743	575	743	575	647	480
141	176	68	2401	10	2157	10	2125	10	1898	32	1346	10	1768	16	1833	10
142	177	70	178	10	470	276	470	276	292	519	65	65	49	97	338	303

Cuadro B.4 *Presenta los números de Reynolds obtenidos en la subred secundaria 1 del fraccionamiento el Paraje, en un periodo de siete horas (11:00 A.M. a 6:00 P.M.).*



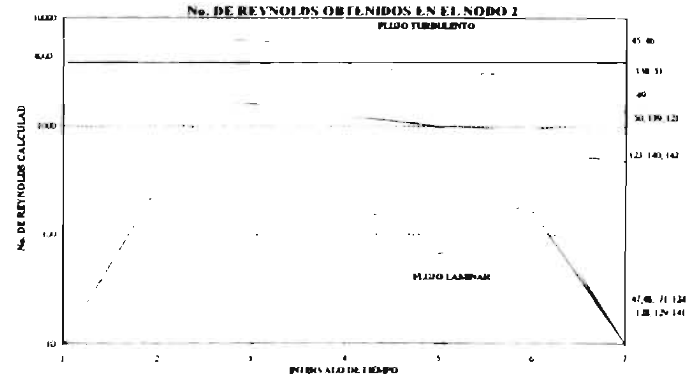


Ilustración B.2 *Números de Reynolds calculados en la red secundaria 1 en distintos intervalos de tiempo, la gráfica de la izquierda muestra los datos obtenidos en el nodo 1 y la de la derecha en el nodo 2.*

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

B. 4 RED SECUNDARIA No. 2

La Red Secundaria No.2 se encuentra constituida por 15 tramos y el análisis que se realizó en ésta presentó los siguientes resultados.

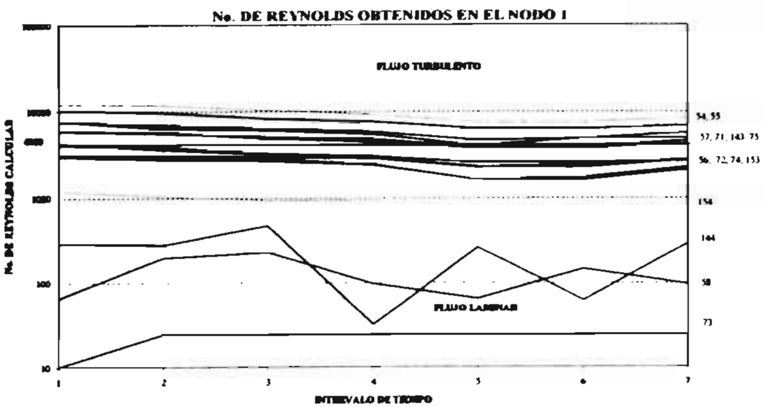
RESULTADOS OBTENIDOS				11 A 12 HRS				12 A 13 HRS				13 A 14 HRS				14 A 15 HRS				15 A 16 HRS				16 A 17 HRS				17 A 18 HRS			
TRAMO	NODO		DIAM.	GASTO (lps)		V.CALC. (m/s)		GASTO (lps)		V.CALC. (m/s)		GASTO (lps)		V.CALC. (m/s)		GASTO (lps)		V.CALC. (m/s)		GASTO (lps)		V.CALC. (m/s)		GASTO (lps)		V.CALC. (m/s)		GASTO (lps)		V.CALC. (m/s)	
	1	2	(m)	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2
52	72	178	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
53	72	179	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
54	74	75	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
55	75	76	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
56	76	77	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
57	76	77	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
58	77	78	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
72	72	10	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
73	200	12	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
74	103	186	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
75	105	187	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
143	178	71	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
144	179	73	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
153	186	104	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
154	187	106	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

Cuadro B.5 *Rresultados de la red secundaria 2 del fraccionamiento "El Paraje", en un periodo de siete horas (11:00 A.M. a 6:00 P.M.)*

NÚMEROS DE REYNOLDS CALCULADOS EN LA RED SECUNDARIA No.2
DE LAS 11:00 A.M. A LAS 6:00 P.M.

SUBRED SEC. No.2			11-12 HRS.		12-13 HRS.		13-14 HRS.		14-15 HRS.		15-16 HRS.		16-17 HRS.		17-18 HRS.	
INTERV. DE TIEMPO			1		2		3		4		5		6		7	
TRAMO	NODO		REYNOLDS		REYNOLDS		REYNOLDS		REYNOLDS		REYNOLDS		REYNOLDS		REYNOLDS	
	1	2	NODO1	NODO2	NODO1	NODO2	NODO1	NODO2	NODO1	NODO2	NODO1	NODO2	NODO1	NODO2	NODO1	NODO2
52	72	178	5969	7542	5580	6942	5044	6277	4769	5855	5872	4671	3909	4850	4623	5628
53	72	179	3082	373	3082	357	2887	292	2822	243	2277	260	2238	227	2725	243
54	74	75	12181	12181	11532	11532	10072	10072	9197	9197	7445	7445	7493	7493	8369	8369
55	75	76	10089	10089	9570	9570	8175	8175	7526	7526	6342	6342	6342	6342	6861	6861
56	76	77	4104	827	3844	973	3260	1038	2984	989	2563	925	2546	908	2692	1006
57	76	77	5969	519	5726	663	4915	79	4525	795	3795	30	3795	44	4168	811
58	77	78	65	389	195	519	227	32	97	97	65	130	146	49	97	97
72	72	10	4244	4076	3645	3453	311	3536	2829	3237	2254	2494	2446	2422	275	3237
73	200	12	10	4364	24	4268	24	2542	24	2330	24	2254	24	3525	24	3501
74	103	186	1093	2997	2901	2805	2805	2710	2470	2374	1607	1511	1702	1606	2230	2134
75	105	187	7649	1199	6306	983	6114	863	5395	911	3980	647	4844	6	5011	767
143	178	71	7542	8856	6942	8207	6277	7412	5855	6650	4671	5401	4850	5580	5628	6407
144	179	73	292	81	276	114	470	146	32	227	260	10	62	195	292	32
153	186	104	299	10	2781	24	2686	10	2374	24	1607	2	1606	24	2110	24
154	187	106	1175	24	1031	48	935	72	935	48	64	10	815	48	767	10

Cuadro B.6 *Números de Reynolds obtenidos en la red secundaria 2 del fraccionamiento "El Paraje", en un periodo de siete horas (11:00 A.M. a 6:00 P.M.)*



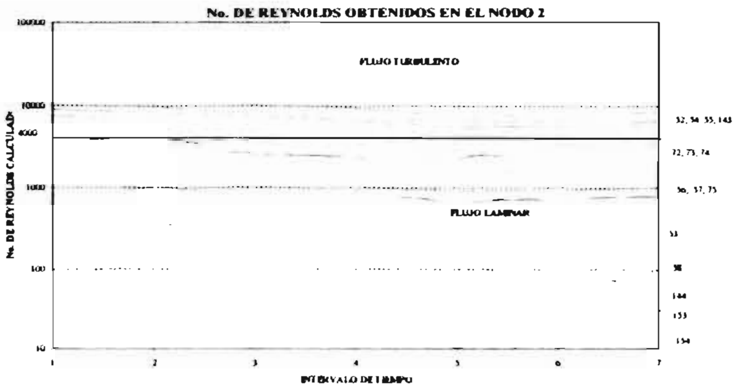


Ilustración B.3 *Números de Reynolds calculados en la red secundaria 2 en distintos intervalos de tiempo, la gráfica de la izquierda muestra los datos obtenidos en el nodo 1 y la de la derecha en el nodo 2.*

B. 5 RED SECUNDARIA No. 3

La Red Secundaria No. 3 es la más pequeña de todas ya que solo consta de un tramo, al cual también se le realizó un análisis de resultados obteniéndose lo siguiente:

RESULTADOS OBTENIDOS				11 A 12 HRS.				12 A 13 HRS.				13 A 14 HRS.				14 A 15 HRS.				15 A 16 HRS.				16 A 17 HRS.				17 A 18 HRS.			
				GASTO		V.CALC		GASTO		V.CALC		GASTO		V.CALC		GASTO		V.CALC		GASTO		V.CALC		GASTO		V.CALC		GASTO		V.CALC	
				NUDO 1	NUDO 2	NUDO 1	NUDO 2	NUDO 1	NUDO 2	NUDO 1	NUDO 2	NUDO 1	NUDO 2	NUDO 1	NUDO 2	NUDO 1	NUDO 2	NUDO 1	NUDO 2	NUDO 1	NUDO 2	NUDO 1	NUDO 2	NUDO 1	NUDO 2	NUDO 1	NUDO 2	NUDO 1	NUDO 2	NUDO 1	NUDO 2
60	94	93	0.0785	0.082	0.079	0.019	0.016	0.072	0.059	0.015	0.012	0.065	0.032	0.013	0.011	0.041	0.032	0.008	0.007	0.092	0.083	0.019	0.017	0.084	0.075	0.017	0.015	-0.057	-0.086	-0.012	-0.014

Cuadro B. 7 *Resultados de la red secundaria 3 del fraccionamiento "El Paraje", en un periodo de siete horas (11:00 A.M. a 6:00 P.M.).*

NÚMEROS DE REYNOLDS CALCULADOS EN LA RED SECUNDARIA No.3
DE LAS 11:00 A.M. A LAS 6:00 P.M.

SUBRED SEC. No.3			11-12 HRS.		12-13 HRS.		13-14 HRS.		14-15 HRS.		15-16 HRS.		16-17 HRS.		17-18 HRS.	
INTERV. DE TIEMPO			1		2		3		4		5		6		7	
TRAMO	NODO		REYNOLDS		REYNOLDS		REYNOLDS		REYNOLDS		REYNOLDS		REYNOLDS		REYNOLDS	
	1	2	NODO 1	NODO2	NODO1	NODO2	NODO1	NODO2	NODO1	NODO2	NODO1	NODO2	NODO1	NODO2	NODO1	NODO2
64	94	93	1492	1281	1168	957	1054	843	665	519	1492	1346	1362	1216	925	1070

Cuadro B. 8 *Números de Reynolds obtenidos en la red secundaria 3 del fraccionamiento el Paraje, en un periodo de siete horas (11:00 A.M. a 6:00 P.M.).*

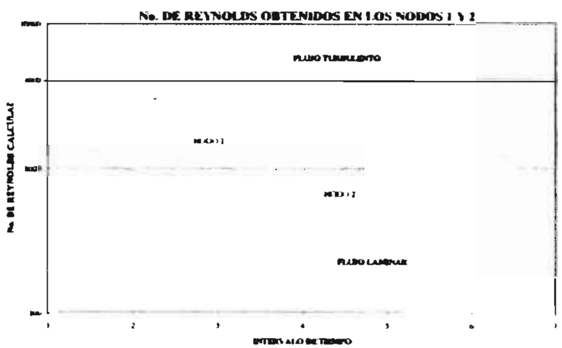


Ilustración B.4 *Números de Reynolds calculados en la red secundaria 3 en distintos intervalos de tiempo, la gráfica de la izquierda muestra los datos obtenidos en el nodo 1 y la de la derecha en el nodo 2.*

B. 6 RED SECUNDARIA No. 4

La Red Secundaria No. 4 consta de seis tramos, a continuación se presentan los resultados obtenidos y el análisis de cada uno de ellos, así como la representación gráfica de los mismos.

RESULTADOS OBTENIDOS				11 A 12 HRS.				12 A 13 HRS.				13 A 14 HRS.			
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	GASTO (lps)		V.CALC. (m/s)		GASTO (lps)		V.CALC. (m/s)		GASTO (lps)		V.CALC. (m/s)	
				NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2
[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.0785	[illegible]	[illegible]	-0.076	-0.076	-0.360	-0.360	-0.074	-0.074	[illegible]	[illegible]	-0.060	-0.060
[illegible]	101	163	0.0785	-0.160	-0.181	-0.033	-0.037	-0.157	-0.178	-0.032	-0.037	-0.134	-0.155	-0.028	-0.032
70	104	105	0.0785	-0.039	-0.185	-0.008	-0.038	-0.085	-0.179	-0.017	-0.037	-0.053	-0.128	-0.011	-0.026
[illegible]	102	104	0.0531	-0.006	-0.055	-0.003	-0.025	0.002	-0.039	0.001	-0.018	0.001	-0.037	0.000	-0.017
151	101	104	0.0785	0.112	-0.086	0.023	-0.007	0.077	-0.072	0.016	-0.015	0.000	-0.150	0.000	-0.031
152	105	160	0.0785	-0.019	-0.307	-0.004	-0.043	-0.177	-0.199	-0.037	-0.041	-0.128	-0.147	-0.026	[illegible]

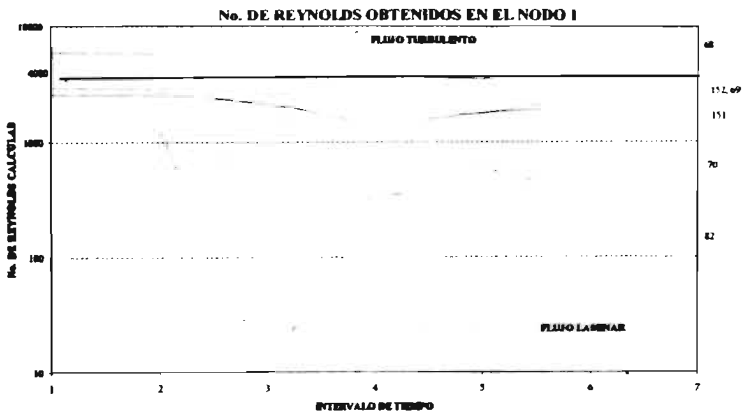
14 A 15 HRS.				15 A 16 HRS.				16 A 17 HRS.				17 A 18 HRS.			
GASTO (lps)		V.CALC. (m/s)		GASTO (lps)		V.CALC. (m/s)		GASTO (lps)		V.CALC. (m/s)		GASTO (lps)		V.CALC. (m/s)	
NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2
-0.228	[illegible]	-0.047	[illegible]	-0.214	-0.214	-0.044	-0.044	-0.287	-0.287	-0.059	-0.059	-0.347	-0.347	-0.072	-0.072
-0.084	-0.145	-0.017	-0.032	[illegible]	-0.129	-0.022	-0.027	0.124	-0.145	-0.026	-0.030	[illegible]	-0.156	-0.028	-0.032
-0.019	[illegible]	-0.004	-0.021	-0.057	[illegible]	-0.008	-0.022	-0.021	-0.131	[illegible]	-0.031	[illegible]	-0.139	0.007	-0.031
-0.001	-0.055	0.000	-0.015	[illegible]	0.000	0.000	-0.014	0.004	-0.020	0.002	-0.013	[illegible]	-0.017	0.003	[illegible]
0.023	[illegible]	0.005	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.003	-0.020	0.092	[illegible]	0.019	[illegible]	0.115	[illegible]	0.024	[illegible]
-0.102	-0.120	-0.021	-0.025	-0.107	-0.126	-0.022	-0.026	-0.151	-0.169	-0.031	[illegible]	[illegible]	-0.173	[illegible]	[illegible]

Cuadro B. 9 *Resultados de la red secundaria 4 del fraccionamiento "El Paraje", en un periodo de siete horas (11:00 A.M. a 6:00 P.M.).*

NÚMEROS DE REYNOLDS CALCULADOS EN LA RED SECUNDARIA No.4 DE LAS 11:00 A.M. A LAS 6:00 P.M.

SUBRED SEC. No.4			11-12 HRS.		12-13 HRS.		13-14 HRS.		14-15 HRS.		15-16 HRS.		16-17 HRS.		17-18 HRS.	
INTERV. DE TIEMPO			1		2		3		4		5		6		7	
TRAMO	NODO		REYNOLDS		REYNOLDS		REYNOLDS		REYNOLDS		REYNOLDS		REYNOLDS		REYNOLDS	
	1	2	NODO 1	NODO2	NODO1	NODO2	NODO1	NODO2	NODO1	NODO2	NODO1	NODO2	NODO1	NODO2	NODO1	NODO2
68	99	96	5936	5936	5839	5839	4671	4671	3698	4671	3471	3471	4655	4655	5628	5628
69	101	163	2595	2936	2546	2887	2173	2514	1362	1703	1752	2092	2011	2352	2190	2530
70	184	185	633	3001	568	2903	860	2076	308	1622	600	1732	341	2449	584	2579
82	102	101	144	1319	48	935	24	887	24	791	24	719	96	671	144	408
151	101	184	1817	584	1249	1168	10	2433	373	795	260	1590	1092	341	1865	551
152	185	100	3001	3357	2871	3228	2076	2384	1654	1946	1735	2044	2449	2741	2579	2806

Cuadro B.10 *Números de Reynolds obtenidos en la red secundaria 4 del fraccionamiento el Paraje, en un periodo de siete horas (11:00 A.M. a 6:00 P.M.).*



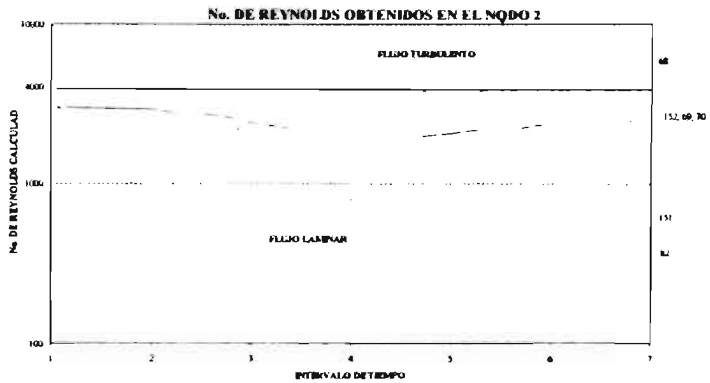


Ilustración B.5 *Números de Reynolds calculados en la red secundaria 4 en distintos intervalos de tiempo, la gráfica de la izquierda muestra los datos obtenidos en el nodo 1 y la de la derecha en el nodo 2.*

B. 7 RED SECUNDARIA No. 5

La Red Secundaria No.5 consta de 15 tramos, a continuación se presentan los resultados obtenidos por el programa de cómputo ***MIRAP***, así como un análisis de los mismos y su representación gráfica.

RESULTADOS OBTENIDOS.				11 A 12 HRS.				12 A 13 HRS.				13 A 14 HRS.				14 A 15 HRS.				15 A 16 HRS.				16 A 17 HRS.				17 A 18 HRS.			
TRAMO	NODOS		DIÁM.	GASTO (lps)		V.CALC. (m/s)		GASTO (lps)		V.CALC. (m/s)		GASTO (lps)		V.CALC. (m/s)		GASTO (lps)		V.CALC. (m/s)		GASTO (lps)		V.CALC. (m/s)		GASTO (lps)		V.CALC. (m/s)		GASTO (lps)		V.CALC. (m/s)	
	1	2	(m)	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2
59	79	198	0.0785	-0.375	-0.392	-0.077	-0.081	-0.346	-0.364	-0.071	0.075	-0.301	-0.319	-0.062	-0.066	-0.309	-0.322	-0.064	0.067	-0.238	-0.252	-0.049	-0.052	-0.281	-0.294	-0.058	-0.061	-0.302	-0.316	-0.062	-0.065
60	81	180	0.0785	0.083	-0.272	0.018	-0.056	0.090	-0.261	0.019	0.056	0.080	-0.279	[illegible]	-0.065	0.016	-0.264	0.004	0.054	0.003	-0.176	0.001	-0.036	0.045	0.218	0.009	-0.045	0.054	-0.222	0.011	0.046
61	84	199	0.0785	-0.944	1.027	-0.193	-0.212	0.894	-0.942	-0.183	-0.193	-0.784	-0.838	0.162	0.173	-0.764	-0.809	-0.158	0.167	-0.617	-0.649	0.137	-0.134	0.695	0.741	0.144	0.151	-0.748	-0.788	0.155	0.163
76	108	107	0.0531	0.506	-0.506	0.228	-0.228	0.464	-0.464	0.208	0.208	-0.434	-0.434	-0.196	-0.196	0.423	0.423	0.191	0.191	0.377	0.377	0.163	0.168	0.382	0.382	0.172	0.172	-0.400	-0.400	0.181	-0.181
77	108	109	0.0531	0.090	0.000	0.041	0.000	-0.082	0.000	0.037	0.000	-0.074	0.001	-0.033	0.000	0.068	0.000	0.031	0.000	0.060	0.000	0.027	0.000	0.059	0.000	0.027	0.000	0.054	-0.001	0.024	0.000
78	110	108	0.0531	-0.416	-0.416	-0.188	-0.188	-0.379	-0.379	0.171	0.171	-0.361	-0.361	0.163	-0.163	0.354	0.354	-0.160	0.160	0.311	0.311	-0.140	0.140	0.323	-0.323	0.146	-0.146	0.344	-0.344	0.155	-0.155
79	110	111	0.0531	0.117	0.000	0.053	0.000	0.118	0.000	0.053	0.000	0.116	0.001	0.052	0.000	0.110	0.000	0.050	0.000	0.114	-0.001	0.051	0.000	0.110	0.000	0.050	0.000	0.104	0.000	0.047	0.000
80	112	110	0.0531	-0.156	-0.299	-0.070	-0.135	-0.117	-0.260	0.053	0.117	-0.104	-0.248	-0.047	-0.112	-0.104	0.244	0.047	0.110	-0.094	-0.197	-0.042	0.089	-0.105	-0.213	0.047	-0.096	-0.102	-0.240	-0.046	-0.108
81	[illegible]	108	0.0531	0.299	0.116	0.135	-0.052	0.257	0.085	0.116	-0.038	0.263	-0.074	0.119	-0.033	0.206	0.080	0.093	-0.036	0.243	-0.073	0.110	0.033	0.237	-0.084	0.107	-0.038	0.239	-0.077	0.108	0.035
136	155	58	0.0531	-0.163	-0.171	-0.074	-0.077	0.164	0.157	[illegible]	0.071	-0.128	-0.138	0.058	-0.062	-0.120	0.129	0.054	0.058	-0.095	[illegible]	[illegible]	0.047	-0.098	-0.107	-0.044	-0.048	-0.112	-0.117	-0.051	0.053
145	198	82	0.0785	-0.392	0.546	-0.081	-0.113	0.364	0.514	0.075	0.106	0.318	-0.456	-0.066	0.094	0.322	0.447	0.067	0.092	0.252	0.372	0.052	0.077	0.296	0.411	0.061	0.085	-0.316	-0.436	0.065	0.089
146	180	181	0.0785	-0.280	-0.296	0.058	-0.061	-0.261	0.272	0.054	-0.056	0.221	0.233	-0.046	-0.048	-0.211	0.223	0.044	-0.046	-0.183	0.191	0.038	0.039	0.218	-0.226	0.045	-0.047	-0.222	0.230	0.046	0.048
147	83	183	0.0785	0.398	0.296	0.082	0.061	0.370	0.272	0.076	0.056	0.327	0.233	0.068	0.048	0.317	0.223	0.065	0.046	0.245	0.191	0.051	0.039	0.285	0.226	0.059	0.047	0.310	0.230	0.064	0.048
148	199	86	0.0785	[illegible]	-1.032	-0.250	-0.213	-0.919	0.921	-0.190	0.191	-0.816	-0.820	-0.169	-0.169	-0.788	0.797	0.163	-0.164	-0.611	0.645	[illegible]	0.131	-0.716	0.718	0.148	-0.148	-0.770	-0.774	0.159	0.160
155	108	112	0.0531	-0.116	-0.156	-0.052	-0.070	-0.084	0.117	0.038	-0.053	-0.072	0.100	-0.033	-0.045	-0.080	0.105	0.036	-0.047	-0.071	0.094	-0.033	0.042	-0.085	-0.105	0.038	-0.047	-0.077	-0.101	-0.035	0.046

Cuadro B.11 *Resultados de la red secundaria 5 del fraccionamiento "El Paraje", en un periodo de siete horas (11:00 A.M. a 6:00 P.M.).*

NÚMEROS DE REYNOLDS CALCULADOS EN LA RED SECUNDARIA No.5 DE LAS 11:00 A.M. A LAS 6:00 P.M.

SUBRED SEC. No.5			11-12 HRS.		12-13 HRS.		13-14 HRS.		14-15 HRS.		15-16 HRS.		16-17 HRS.		17-18 HRS.	
INTERV. DE TIEMPO			1		2		3		4		5		6		7	
TRAMO	NODO		REYNOLDS		REYNOLDS		REYNOLDS		REYNOLDS		REYNOLDS		REYNOLDS		REYNOLDS	
	1	2	NODO 1	NODO2	NODO1	NODO2	NODO1	NODO2	NODO1	NODO2	NODO1	NODO2	NODO1	NODO2	NODO1	NODO2
59	79	198	6082	6358	5612	5904	4882	5174	5012	5223	3860	4087	4558	4769	4898	5125
60	81	180	1379	4412	1460	4233	649	3552	260	3958	49	2855	730	3536	1038	3601
61	84	199	15511	16658	14338	15279	12716	13592	12392	13122	10008	10527	11273	11840	12132	12781
76	108	107	12133	12133	11030	11030	10407	10407	10143	10143	8896	8896	9160	9160	9591	9591
77	108	109	2158	10	1966	10	1774	24	1613	10	1459	10	1415	10	1295	24
78	110	108	9975	9975	9088	9088	8656	8656	8488	8488	7457	7457	7745	7745	8248	8248
79	110	111	2805	10	2829	10	2781	24	2638	10	2734	24	2638	10	2494	10
80	112	110	3741	7169	2805	6234	2494	5947	2501	5851	2254	4724	2518	5107	2446	5755
81	80	188	7169	2781	6162	2038	6306	1774	6234	1918	5827	1750	5683	2014	5731	1846
120	155	18	3908	4100	3549	3765	3069	3309	2877	3093	2278	2494	2350	2566	2686	2805
145	198	82	6358	8856	5904	8337	5158	7396	5223	7250	4087	6034	4769	6650	5125	6974
146	180	181	4541	4801	4233	4412	3585	3779	3422	3617	2968	3098	3536	3666	3601	3731
147	83	181	6455	4801	6001	4412	5304	3779	5142	3779	3974	3098	4623	3666	5158	3731
148	199	16	16674	16739	14906	14971	13235	13300	12781	12846	10235	10299	11581	11646	12489	12554
155	188	112	2781	3741	2014	2805	1726	2398	1981	2518	1750	2230	2038	2518	1846	2422

Cuadro B. 12 *Números de Reynolds obtenidos en la red secundaria 5 del fraccionamiento el Paraje, en un periodo de siete horas (11:00 A.M. a 6:00 P.M.).*

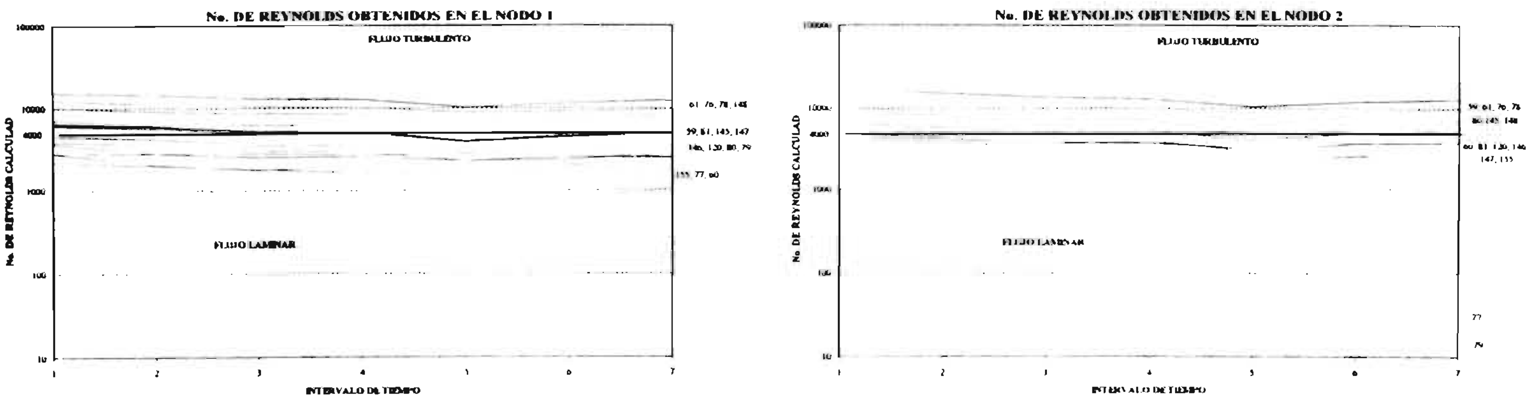


Ilustración B.6 *Números de Reynolds calculados en la red secundaria 5 en distintos intervalos de tiempo, la gráfica de la izquierda muestra los datos obtenidos en el nodo 1 y la de la derecha en el nodo 2.*

B. 8 RED SECUNDARIA No. 6

Esta Red es la más grande de todas y se encuentra integrada por 24 tramos, a continuación se presentan los resultados obtenidos, así como el análisis de los mismos y su representación gráfica.

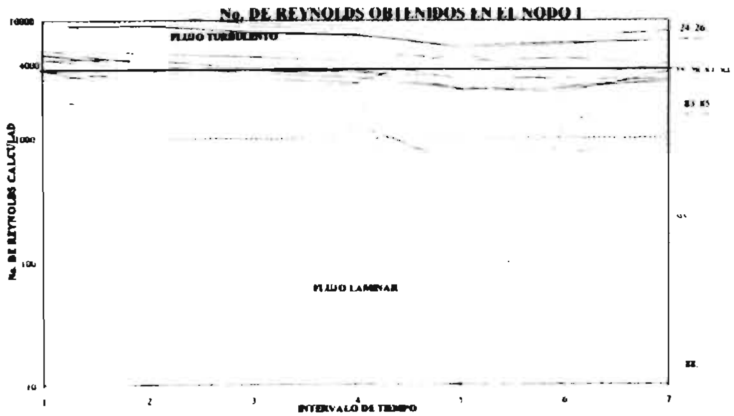
RESULTADOS OBTENIDOS				11 A 12 HRS.				12 A 13 HRS.				13 A 14 HRS.				14 A 15 HRS.				15 A 16 HRS.				16 A 17 HRS.				17 A 18 HRS.			
TRAMO	NUDO		DIÁM.	GASTO (lps)		V.CALC. (m/s)		GASTO (lps)		V.CALC. (m/s)		GASTO (lps)		V.CALC. (m/s)		GASTO (lps)		V.CALC. (m/s)		GASTO (lps)		V.CALC. (m/s)		GASTO (lps)		V.CALC. (m/s)		GASTO (lps)		V.CALC. (m/s)	
	1	2	(m)	NUDO 1	NUDO 2	NUDO 1	NUDO 2	NUDO 1	NUDO 2	NUDO 1	NUDO 2	NUDO 1	NUDO 2	NUDO 1	NUDO 2	NUDO 1	NUDO 2	NUDO 1	NUDO 2	NUDO 1	NUDO 2	NUDO 1	NUDO 2	NUDO 1	NUDO 2	NUDO 1	NUDO 2	NUDO 1	NUDO 2	NUDO 1	NUDO 2
[illegible]	35	[illegible]	0.0785	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.162	[illegible]	[illegible]	0.132	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.279	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.122	[illegible]	[illegible]	[illegible]
25	37	[illegible]	0.0785	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.012	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	38	37	0.0785	[illegible]	0.477	0.116	[illegible]	[illegible]	0.474	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
27	39	[illegible]	0.0785	[illegible]	0.522	0.144	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.120	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	39	0.0785	[illegible]	[illegible]	0.072	[illegible]	0.270	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.017	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	39	[illegible]	0.0785	-0.537	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	-0.124	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	113	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.075	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.177	[illegible]	[illegible]	0.017	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.072	0.073	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.030	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.043	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	-0.017	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	-0.017	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	37	[illegible]	-0.221	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	-0.174	0.215	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	-0.092	-0.112	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	-0.223	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.154	[illegible]	0.070	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.114	[illegible]	[illegible]
[illegible]	120	121	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.0531	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.032	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	123	0.0531	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.0531	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	-0.012	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	123	125	0.0531	[illegible]	[illegible]	0.042	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	125	[illegible]	[illegible]	[illegible]	-0.073	[illegible]	0.135	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.032	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.072	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	127	0.0531	[illegible]	-0.222	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.021	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	125	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.0531	[illegible]	[illegible]	0.178	0.178	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.149	0.149	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.0531	[illegible]	[illegible]	-0.120	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	-0.128	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.0531	[illegible]	-0.225	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.0531	[illegible]	[illegible]	0.215	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.167	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

Cuadro B. 13 Resultados de la red secundaria 6 del fraccionamiento "El Paraje", en un periodo de siete horas (11:00 A.M. a 6:00 P.M.).

NÚMEROS DE REYNOLDS CALCULADOS EN LA RED SECUNDARIA No.6 DE LAS 11:00 A.M. A LAS 6:00 P.M.

SUBRED SEC. No.6			11-12 HRS.		12-13 HRS.		13-14 HRS.		14-15 HRS.		15-16 HRS.		16-17 HRS.		17-18 HRS.	
INTERV. DE TIEMPO			1		2		3		4		5		6		7	
TRAMO	NODO		REYNOLDS		REYNOLDS		REYNOLDS		REYNOLDS		REYNOLDS		REYNOLDS		REYNOLDS	
	1	2	NODO 1	NODO2	NODO1	NODO2	NODO1	NODO2	NODO1	NODO2	NODO1	NODO2	NODO1	NODO2	NODO1	NODO2
24	35	36	7623	7558	6585	6520	5936	5871	5709	5644	4590	4525	4769	4704	5223	5158
25	37	36	3260	178	3795	973	3341	730	3082	616	5506	470	2806	303	3001	779
26	38	37	9067	7737	9018	7688	8094	6828	7672	6391	5888	4606	6277	5061	7185	6001
27	39	38	11321	8467	10981	8564	9424	7575	9034	7412	7347	6082	7623	6293	8045	6666
28	85	39	5677	2611	4379	1444	3860	1119	3731	1135	3325	892	3228	860	3163	892
29	39	40	8710	11256	9115	11094	7899	9748	7477	9034	6099	7347	6439	7607	6812	8272
83	165	113	2086	863	1894	671	1798	791	1271	384	399	312	863	48	1359	791
84	115	116	5203	671	4244	911	3693	791	3309	863	2590	575	2062	647	3141	695
85	117	116	3837	1726	2590	551	2254	432	1894	408	1415	72	1139	72	1756	408
86	116	118	2374	10	1487	911	1223	959	1271	911	623	480	719	384	1127	935
87	118	37	5299	6618	4556	5755	4172	5155	3908	4892	2686	3549	2470	3333	3669	4436
88	119	118	10	5323	96	3693	24	3213	24	2997	10	2206	10	2086	10	2734
89	120	121	5635	2686	5347	2374	4939	2254	4580	2014	3213	1535	3261	1702	4364	2062
90	122	121	4724	2062	4796	1678	3932	1678	3405	1702	2686	1103	2734	1151	3357	1678
91	121	123	4748	4412	4028	3717	3932	3621	3717	3477	2638	2398	2833	2638	3741	3501
92	197	123	9975	2110	9615	623	8872	911	8368	504	6786	1079	7098	1319	8105	1007
93	123	125	2254	2062	3069	1175	2710	1463	2973	959	10	887	1319	863	2518	1511
94	126	125	4060	1942	3237	1511	3189	1702	3021	1487	2062	791	1990	839	2734	1726
95	128	127	120	5323	336	4652	216	4556	504	4460	72	2781	24	2781	216	4004
96	125	128	72	72	336	336	288	288	504	504	72	72	24	24	216	216
131	167	165	9471	9471	9208	9208	7937	7937	7553	7553	6282	6282	6546	6546	6810	6810
132	196	165	6378	7385	5347	7313	5035	6138	5179	6282	4916	5707	4796	6546	4364	5251
163	114	196	24	5395	10	5347	24	5059	10	5179	24	4939	10	4796	10	4364
164	124	197	1114	887	1108	962	976	887	926	887	719	639	[illegible]	10	[illegible]	810

Cuadro B. 13 *Números de Reynolds obtenidos en la red secundaria 6 del fraccionamiento el Paraje, en un periodo de siete horas (11:00 A.M. a 6:00 P.M.)*



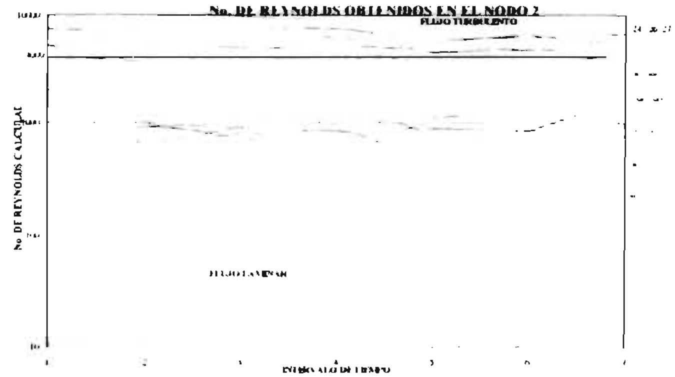


Ilustración B.7 *Números de Reynolds calculados en la red secundaria 6 en distintos intervalos de tiempo, la gráfica de la izquierda muestra los datos obtenidos en el nodo 1 y la de la derecha en el nodo 2.*

B. 9 RED SECUNDARIA No. 7

Consta de 12 tramos, en este subcapítulo se presentarán los resultados obtenidos por el programa ***MIRAP***, así como su análisis y representación gráfica.

RESULTADOS OBTENIDOS				11 A 12 HRS.				12 A 13 HRS.				13 A 14 HRS.			
TRAMO	NUDO		DIÁM.	GASTO (l/s)		V.CALC. (m/s)		GASTO (l/s)		V.CALC. (m/s)		GASTO (l/s)		V.CALC. (m/s)	
	1	2	(m)	NUDO 1	NUDO 2	NUDO 1	NUDO 2	NUDO 1	NUDO 2	NUDO 1	NUDO 2	NUDO 1	NUDO 2	NUDO 1	NUDO 2
97	130	27	0.0531	-0.198	-0.198	-0.089	-0.089	-0.466	-0.466	-0.210	-0.210	-0.411	-0.411	-0.186	-0.186
98	133	30	0.0531	0.092	0.092	0.042	0.042	-0.529	-0.529	-0.239	-0.239	-0.458	-0.458	-0.207	-0.207
99	135	136	0.0531	0.061	0.000	0.028	0.000	0.051	0.001	0.023	0.000	0.048	0.000	0.022	0.000
100	135	137	0.0531	-0.236	-0.278	-0.107	-0.126	-0.228	-0.266	-0.103	-0.120	-0.233	-0.248	-0.097	0.112
101	135	138	0.0531	0.176	0.002	0.079	0.001	0.176	0.000	0.079	0.000	0.167	0.000	0.075	0.000
102	131	139	0.0531	0.213	0.190	0.096	0.086	0.187	0.163	0.084	0.074	0.176	0.155	0.079	0.070
103	139	140	0.0531	0.162	0.001	0.073	0.000	0.135	0.000	0.061	0.000	0.133	0.002	0.060	0.001
104	139	141	0.0531	0.028	0.028	0.013	0.011	0.028	0.028	0.013	0.011	0.023	0.023	0.010	0.010
105	141	142	0.0531	0.023	0.000	0.010	0.000	0.005	0.018	0.002	-0.000	0.019	0.000	0.009	0.000
106	141	143	0.0531	0.005	0.000	0.002	0.000	0.005	0.001	0.002	0.000	0.005	0.000	0.002	0.000
107	132	144	0.0531	0.040	0.000	0.018	0.000	0.040	0.000	0.018	0.000	0.035	0.000	0.016	0.000
108	134	145	0.0531	0.154	0.000	0.070	0.000	0.151	0.000	0.068	0.000	0.142	0.000	0.064	0.000

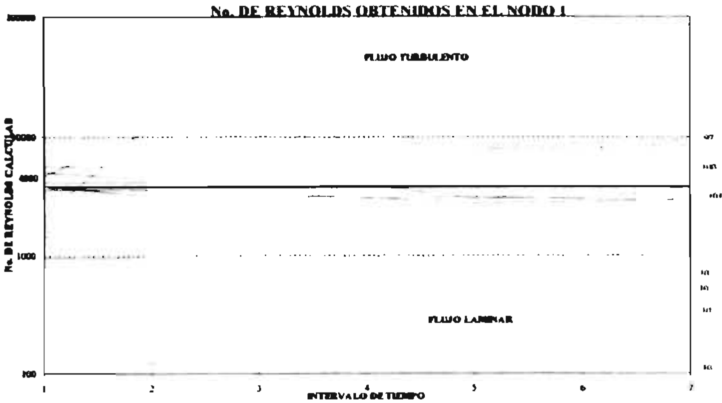
TRAMO	14 A 15 HRS.				15 A 16 HRS.				16 A 17 HRS.				17 A 18 HRS.			
	GASTO (l/s)		V.CALC. (m/s)		GASTO (l/s)		V.CALC. (m/s)		GASTO (l/s)		V.CALC. (m/s)		GASTO (l/s)		V.CALC. (m/s)	
	NUDO 1	NUDO 2	NUDO 1	NUDO 2	NUDO 1	NUDO 2	NUDO 1	NUDO 2	NUDO 1	NUDO 2	NUDO 1	NUDO 2	NUDO 1	NUDO 2	NUDO 1	NUDO 2
97	-0.402	-0.402	-0.182	-0.182	-0.327	-0.327	-0.148	-0.148	-0.336	-0.336	-0.152	-0.152	-0.355	-0.355	-0.160	-0.160
98	-0.434	-0.434	-0.196	-0.196	-0.349	-0.349	-0.158	-0.158	-0.364	-0.364	-0.164	-0.164	-0.398	-0.398	-0.180	-0.180
99	0.043	0.000	0.019	0.000	0.038	0.000	0.017	0.000	0.038	0.000	0.017	0.000	0.037	0.000	0.017	0.000
100	-0.210	-0.259	-0.095	-0.108	-0.167	-0.186	-0.075	-0.084	-0.167	-0.191	-0.075	-0.086	-0.199	-0.227	-0.090	-0.101
101	0.168	0.001	0.076	0.000	0.129	0.001	0.058	0.000	0.129	0.000	0.058	0.000	0.161	0.000	0.073	0.000
102	0.174	0.155	0.079	0.070	0.159	0.140	0.072	0.063	0.159	0.143	0.072	0.065	0.158	0.144	0.071	0.065
103	0.131	0.000	0.057	0.000	0.117	0.000	0.053	0.000	0.121	0.000	0.055	0.000	0.127	0.002	0.057	0.001
104	0.023	0.021	0.010	0.010	0.023	0.021	0.010	0.010	0.023	0.021	0.010	0.010	0.019	0.019	0.009	0.009
105	0.019	0.000	0.009	0.000	0.019	0.000	0.009	0.000	0.016	-0.001	0.007	0.001	0.014	0.000	0.006	0.000
106	0.006	0.001	0.003	0.000	0.008	0.003	0.004	0.001	0.003	-0.002	0.001	-0.001	0.004	0.000	0.002	0.000
107	0.042	0.000	0.019	0.000	0.031	0.000	0.014	0.000	0.031	0.000	0.014	0.000	0.025	0.000	0.011	0.000
108	0.128	0.000	0.058	0.000	0.113	0.000	0.051	0.000	0.127	0.000	0.057	0.000	0.121	0.001	0.056	0.000

Cuadro B. 15 *Resultados de la red secundaria 7 del fraccionamiento "El Paraje", en un periodo de siete horas (11:00 A.M. a 6:00 P.M.).*

NÚMEROS DE REYNOLDS CALCULADOS EN LA RED SECUNDARIA No.7 DE LAS 11:00 A.M. A LAS 6:00 P.M.

SUBRED SEC. No.7			11-12 HRS.		12-13 HRS.		13-14 HRS.		14-15 HRS.		15-16 HRS.		16-17 HRS.		17-18 HRS.	
INTERV. DE TIEMPO			1		2		3		4		5		6		7	
TRAMO	NODO		REYNOLDS		REYNOLDS		REYNOLDS		REYNOLDS		REYNOLDS		REYNOLDS		REYNOLDS	
	1	2	NODO1	NODO2	NODO1	NODO2	NODO1	NODO2	NODO1	NODO2	NODO1	NODO2	NODO1	NODO2	NODO1	NODO2
97	130	27	4748	4748	11174	11174	9855	9855	9639	9639	7841	7841	8057	8057	8512	8512
98	133	30	2206	2206	12684	12684	10982	10982	10407	10407	8368	8368	8728	8728	9543	9543
99	135	136	1462	10	1223	24	1151	10	1031	10	911	10	911	10	887	10
100	135	137	5659	6666	5467	6378	5155	5947	5055	5731	4004	4460	4004	4580	4772	5443
101	135	138	4220	48	4220	10	4004	10	4028	24	3093	10	3093	10	3860	10
102	131	139	5107	4556	4484	3908	4172	371	4172	371	3813	335	3813	347	3789	3453
103	139	140	3884	24	3237	10	3189	48	3141	10	2805	10	2901	10	3045	48
104	139	141	671	671	671	671	551	551	551	551	551	551	551	551	456	456
105	141	142	551	10	120	432	456	10	456	10	456	10	384	2	336	10
106	141	143	120	10	120	10	120	10	144	24	192	72	72	48	96	10
107	132	144	959	10	959	10	839	10	1007	10	743	10	743	10	599	10
108	134	145	3693	10	3651	10	3405	10	3069	10	3189	10	3045	10	2949	24

Cuadro B. 16 *Números de Reynolds obtenidos en la red secundaria 7 del fraccionamiento el Paraje, en un periodo de siete horas (11:00 A.M. a 6:00 P.M.)*



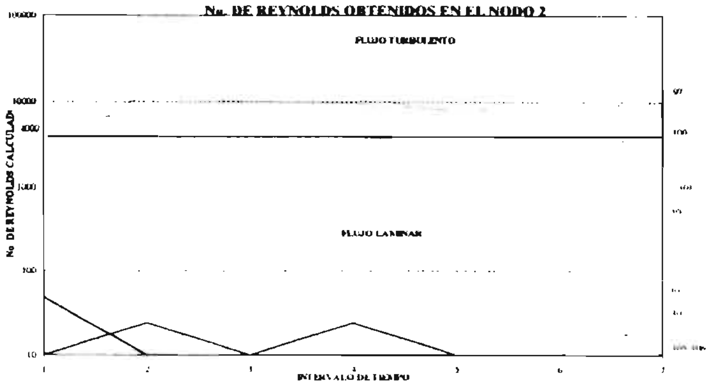


Ilustración B.8 *Números de Reynolds calculados en la red secundaria 7 en distintos intervalos de tiempo, la gráfica de la izquierda muestra los datos obtenidos en el nodo 1 y la de la derecha en el nodo 2.*

B. 10 RED SECUNDARIA No. 8

Esta red consta de 11 tramos, se muestran a continuación los resultados obtenidos así como los números de Reynolds y su representación gráfica.

RESULTADOS OBTENIDOS				11 A 12 HRS.				12 A 13 HRS.			
TRAMO	NODO		DIÁM.	GASTO (lps)		V.CALC. (m/s)		GASTO (lps)		V.CALC. (m/s)	
	1	2	(m)	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2
35	46	45	0.0785	-0.323	-0.323	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
36	48	49	0.0785	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
37	50	171	0.0785	-0.452	-0.476	[illegible]	[illegible]	[illegible]	-0.437	[illegible]	[illegible]
38	51	164	0.0785	[illegible]	-0.452	-0.077	[illegible]	-0.347	[illegible]	[illegible]	[illegible]
39	52	51	0.0785	0.001	-0.102	[illegible]	-0.021	[illegible]	-0.107	[illegible]	-0.022
40	49	53	0.0785	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
41	55	172	0.0785	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
109	146	51	0.0531	[illegible]	-0.272	[illegible]	-0.123	[illegible]	-0.248	[illegible]	-0.110
110	53	54	0.0531	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
136	171	47	0.0785	-0.476	-0.323	[illegible]	[illegible]	-0.437	[illegible]	[illegible]	[illegible]
137	172	49	0.0785	-0.024	-0.024	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

TRAMO	13 A 14 HRS.				14 A 15 HRS.			
	GASTO (lps)		V.CALC. (m/s)		GASTO (lps)		V.CALC. (m/s)	
	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2
35	-0.418	[illegible]	[illegible]	[illegible]	-0.394	-0.394	[illegible]	[illegible]
36	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
37	-0.355	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
38	-0.298	-0.355	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
39	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
40	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.011	[illegible]	[illegible]	[illegible]
41	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
109	[illegible]	-0.202	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
110	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
136	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	-0.355	[illegible]	[illegible]	[illegible]
137	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

TRAMO	15 A 16 HRS.				16 A 17 HRS.			
	GASTO (lps)		V.CALC. (m/s)		GASTO (lps)		V.CALC. (m/s)	
	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2
35	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
36	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
37	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
38	-0.222	[illegible]	[illegible]	[illegible]	-0.222	[illegible]	[illegible]	[illegible]
39	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
40	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
41	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
109	[illegible]	-0.165	[illegible]	[illegible]	[illegible]	-0.165	[illegible]	[illegible]
110	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
136	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
137	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

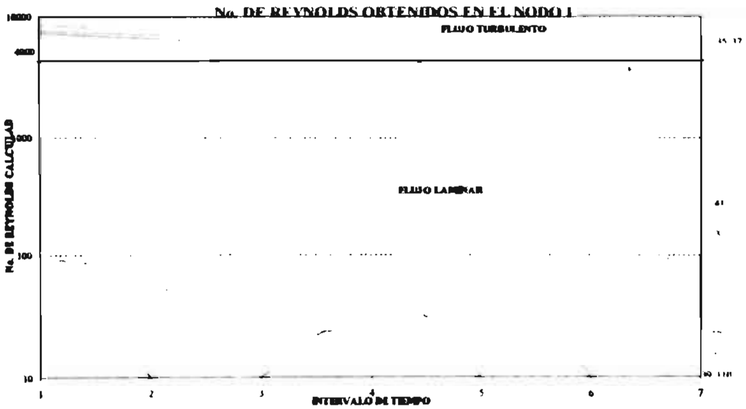
TRAMO	17 A 18 HRS.			
	GASTO (lps)		V.CALC. (m/s)	
	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2
35	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
36	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
37	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
38	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
39	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
40	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
41	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
109	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
110	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
136	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
137	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

Cuadro B. 16 *Resultados de la red secundaria 8 del fraccionamiento el Paraje, en un periodo de siete horas (11:00 A.M. a 6:00 P.M.)*

NÚMEROS DE REYNOLDS CALCULADOS EN LA RED SECUNDARIA No.8
DE LAS 11:00 A.M. A LAS 6:00 P.M.

SUBRED SEC. No.8			11-12 HRS.		12-13 HRS.		13-14 HRS.		14-15 HRS.		15-16 HRS.		16-17 HRS.		17-18 HRS.	
INTERV. DE TIEMPO			1		2		3		4		5		6		7	
TRAMO	NODO		REYNOLDS		REYNOLDS		REYNOLDS		REYNOLDS		REYNOLDS		REYNOLDS		REYNOLDS	
	1	2	NODO 1	NODO2	NODO1	NODO2	NODO1	NODO2	NODO1	NODO2	NODO1	NODO2	NODO1	NODO2	NODO1	NODO2
35	46	45	8483	8483	7785	7785	6780	7802	6391	6391	5012	5012	5093	5093	5726	5726
36	48	49	162	162	10	10	10	10	65	65	16	16	32	32	146	146
37	50	171	7331	7721	6699	7088	5758	6131	5450	5758	4217	4525	4282	4590	4931	5239
38	51	164	6050	7331	5628	6699	4833	5758	4590	5450	3601	4217	3601	4282	4168	4931
39	52	51	16	1654	65	1735	16	1525	32	1573	32	957	10	925	10	1444
40	49	53	10	10	10	10	10	10	178	178	10	10	551	551	16	16
41	55	172	10	10	49	49	97	97	10	10	97	97	10	10	243	243
109	146	51	48	6522	10	5827	24	4844	24	4484	10	3956	10	3956	24	4052
110	53	54	96	96	72	72	10	10	48	48	120	120	10	10	10	10
136	171	47	7721	8483	7088	7785	6131	6780	5758	6391	4525	5012	4590	5093	5239	5726
137	172	49	389	389	10	10	260	260	97	97	10	10	10	10	10	10

Cuadro B. 17 *Números de Reynolds obtenidos en la red secundaria 8 del fraccionamiento el Paraje, en un periodo de siete horas (11:00 A.M. a 6:00 P.M.).*



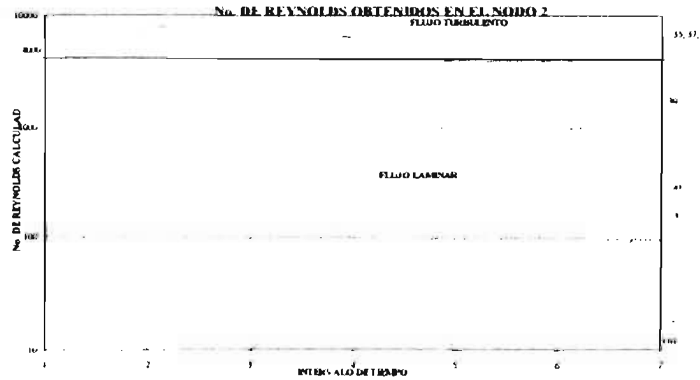


Ilustración B.9 *Números de Reynolds calculados en la red secundaria 8 en distintos intervalos de tiempo, la gráfica de la izquierda muestra los datos obtenidos en el nodo 1 y la de la derecha en el nodo 2.*

ANEXO C

SUBRUTINAS DE SOLUCIÓN NUMÉRICA

```
SUB TRAMOS (T%, AK%, AZ%, AP%, QJ#, QJ1#, QJ2#, FQJ#,
FQJ1#, FQJ2#, TIPOTOMA%(), KOR(), AT%)
NUMTOTO=NUMTOMAS(TRAMO%(T%)) +
NUMTISDL(TRAMO%(T%)) +
NUMTICDL(TRAMO%(T%))
REE#=1273239.5#/D(TRAMO%(T%))
RET# =1273239.5# / DIATOMAS(TRAMO%(T%))
K1 = C(TRAMO%(T%)) / 3.71

IF NUMTOMAS(TRAMO%(T%)) > 0 THEN
K2 = RUGTOMAS(TRAMO%(T%)) / 3.71
IF NUMTISDL(TRAMO%(T%)) > 0 THEN
K22 = RUGTOMA2(TRAMO%(T%)) / 3.71
IF NUMTICDL(TRAMO%(T%)) > 0 THEN
K23 = RUGTOMA3(TRAMO%(T%)) / 3.71
K4 = K1(TRAMO%(T%)) / (NUMTOTO + 1)
NTT1 = NUMTOMAS(TRAMO%(T%))
NTT2 = NTT1 + NUMTISDL(TRAMO%(T%))
DIFE = (TN(IR%(TRAMO%(T%), 1)) - TN(IR%(TRAMO%(T%),
        2)))
DIFE = DIFE / (NUMTOTO + 1)

IF NUMTOMAS(TRAMO%(T%)) > 0 THEN
  SUMA = NUMACCES(TRAMO%(T%))
            * .5 + 1
  SUMA = SUMA / (12.103 * DIATOMAS (TRAMO%(T%)) ^ 2)
END IF

IF NUMTISDL(TRAMO%(T%)) > 0 THEN
  SUMA22 = NUMACCE2(TRAMO%(T%))
            * .5 + 1
  SUMA22 = SUMA22 / (12.103 * DIATOMA2 (TRAMO%(T%))
            ^ 2)
END IF

IF NUMTICDL(TRAMO%(T%)) > 0 THEN
  SUMA23 = NUMACCE3(TRAMO%(T%))
            * .5 + 1
  SUMA23 = SUMA23 / (12.103 * DIATOMA3 (TRAMO%(T%))
            ^ 2)
END IF

S1 = 0: S2 = 0: S3 = 0
FOR L = 1 TO NUMTOTO + 1

REM Se obtiene el número de Reynolds
  RE1# = REE# * ABS(QJ1#)
  RE2# = REE# * ABS(QJ2#)
        IF AK% = 0 THEN
            RE# = REE# * ABS(QJ#)
        ELSE
            RE# = (RE1# + RE2#) / 2
        END IF
REM Cálculo de pérdidas con la ecuación de Poiseuille
IF RE# < 4000 THEN
    IF AK% = 0 THEN
        HF# = 255.37 * K4 * QJ# * ABS(QJ#) / RE#
            FQJ# = FQJ# + HF#
    END IF
            HF1# = 255.37 * K4 * QJ1# * ABS(QJ1#) / RE1#
            HF2# = 255.37 * K4 * QJ2# * ABS(QJ2#) / RE2#
      SELECT CASE AK%
        CASE 0
            FQJ1# = FQJ1# + HF1#
            FQJ2# = FQJ2# + HF2#
        CASE 1
            FQJ1# = FQJ1# - HF1#
            FQJ2# = FQJ2# - HF2#
      END SELECT
END IF

REM Cálculo de pérdidas con la ecuación modificada de
        Colebrook-White
IF RE# >= 4000 THEN
    SELECT CASE RE#
        CASE IS < (10 ^ 5)
        G = 4.555: GT = .8764

        CASE (10 ^ 5) TO (3 * (10 ^ 6))
        G = 6.732: GT = .9104

        CASE IS > (3 * (10 ^ 6))
        G = 8.982: GT = .93
    END SELECT

    IF AK% = 0 THEN
        K3# = K1 + G / (RE# ^ GT)
        K3# = (.4342944# * LOG(K3#)) ^ 2
        HF# = K4 * QJ# * ABS(QJ#) / K3#
        FQJ# = FQJ# + HF#
    END IF

    K31# = K1 + G / (RE1# ^ GT)
    K31# = (.4342944# * LOG(K31#)) ^ 2
    HF1# = K4 * QJ1# * ABS(QJ1#) / K31#

    K32# = K1 + G / (RE2# ^ GT)
    K32# = (.4342944# * LOG(K32#)) ^ 2
    HF2# = K4 * QJ2# * ABS(QJ2#) / K32#

    SELECT CASE AK%
        CASE 0
        FQJ1# = FQJ1# + HF1#
        FQJ2# = FQJ2# + HF2#
        CASE 1
        FQJ1# = FQJ1# - HF1#
        FQJ2# = FQJ2# - HF2#
    END SELECT
END IF
```

```
SUB TRAMOS (T%, AK%, AZ%, AP%, AL%, QJ#, QJ1#, QJ2#,
FQJ#, FQJ1#, FQJ2#, TIPOTOMA%(), KOR(), AT%, IDRE%(),
IDRA%(), CT%)
NUMTOTO =NUMTOMAS(TRAMO%(T%)) +
                    NUMTISDL(TRAMO%(T%)) +
                    NUMTICDL(TRAMO%(T%))
REE# = 1273239.5# / D(TRAMO%(T%))
RET# =1273239.5# / DIATOMAS(TRAMO%(T%))
K1 = C(TRAMO%(T%)) / 3.71

IF NUMTOMAS(TRAMO%(T%)) > 0 THEN
K2 = RUGTOMAS(TRAMO%(T%)) / 3.71
IF NUMTISDL(TRAMO%(T%)) > 0 THEN
K22 = RUGTOMA2(TRAMO%(T%)) / 3.71
IF NUMTICDL(TRAMO%(T%)) > 0 THEN
K23 = RUGTOMA3(TRAMO%(T%)) / 3.71
K4 = K1(TRAMO%(T%)) / (NUMTOTO + 1)
NTT1 = NUMTOMAS(TRAMO%(T%))
NTT2 = NTT1 + NUMTISDL(TRAMO%(T%))
DIFE = (TN(IR%(TRAMO%(T%), 1)) - TN(IR%(TRAMO%(T%),
      2)))
DIFE = DIFE / (NUMTOTO + 1)

IF NUMTOMAS(TRAMO%(T%)) > 0 THEN
  SUMA = NUMACCES(TRAMO%(T%))
             * .5 + 1
  SUMA = SUMA / (12.103 * DIATOMAS (TRAMO%(T%)) ^ 2)
END IF

IF NUMTISDL(TRAMO%(T%)) > 0 THEN
  SUMA22 = NUMACCE2(TRAMO%(T%))
             * .5 + 1
  SUMA22 = SUMA22 / (12.103 * DIATOMA2 (TRAMO%(T%))
             ^ 2)
END IF

IF NUMTICDL(TRAMO%(T%)) > 0 THEN
  SUMA23 = NUMACCE3(TRAMO%(T%))
             * .5 + 1
  SUMA23 = SUMA23 / (12.103 * DIATOMA3 (TRAMO%(T%))
             ^ 2)
END IF

S1 = 0: S2 = 0: S3 = 0
FOR L = 1 TO NUMTOTO + 1

REM Identifica el número de tramo
SELECT CASE AK%
    CASE 0
    CT% = CT% + 1
    CASE 1
        IF AL% = 1 THEN
            CT% = CT% + 1
            ELSE
            AL% = 1
        END IF
END SELECT

REM Se obtiene el número de Reynolds
  RE1# = REE# * ABS(QJ1#)
  RE2# = REE# * ABS(QJ2#)
        IF AK% = 0 THEN
            RE# = REE# * ABS(QJ#)
        ELSE
            RE# = (RE1# + RE2#) / 2
        END IF

REM Identifica el tipo de flujo
IF RE# < 2300 THEN
    IDRE%(CT%) = -1
        IF AT% = 0 THEN IDRA%(CT%) = -1
            ELSE
            IDRE%(CT%) = 1
        IF AT% = 0 THEN IDRA%(CT%) = 1
END IF

REM Cálculo de pérdidas con Poiseuille
IF IDRA%(CT%) = -1 THEN
    IF AK% = 0 THEN
        HF# = 255.37 * K4 * QJ# * ABS(QJ#) / RE#
        FQJ# = FQJ# + HF#
    END IF
        HF1# = 255.37 * K4 * QJ1# * ABS(QJ1#) / RE1#
        HF2# = 255.37 * K4 * QJ2# * ABS(QJ2#) / RE2#
      SELECT CASE AK%
         CASE 0
            FQJ1# = FQJ1# + HF1#
            FQJ2# = FQJ2# + HF2#
         CASE 1
            FQJ1# = FQJ1# - HF1#
            FQJ2# = FQJ2# - HF2#
        END SELECT
END IF

REM Cálculo de pérdidas con la ecuación modificada de
        Colebrook-White
IF IDRA%(CT%) = 1 THEN
    SELECT CASE RE#
        CASE IS < (10 ^ 5)
        G = 4.555: GT = .8764

        CASE (10 ^ 5) TO (3 * (10 ^ 6))
        G = 6.732: GT = .9104

        CASE IS > (3 * (10 ^ 6))
        G = 8.982: GT = .93
    END SELECT

    IF AK% = 0 THEN
        K3# = K1 + G / (RE# ^ GT)
        K3# = (.4342944# * LOG(K3#)) ^ 2
        HF# = K4 * QJ# * ABS(QJ#) / K3#
        FQJ# = FQJ# + HF#
    END IF

    K31# = K1 + G / (RE1# ^ GT)
    K31# = (.4342944# * LOG(K31#)) ^ 2
    HF1# = K4 * QJ1# * ABS(QJ1#) / K31#

    K32# = K1 + G / (RE2# ^ GT)
    K32# = (.4342944# * LOG(K32#)) ^ 2
    HF2# = K4 * QJ2# * ABS(QJ2#) / K32#
    SELECT CASE AK%
        CASE 0
        FQJ1# = FQJ1# + HF1#
        FQJ2# = FQJ2# + HF2#
        CASE 1
        FQJ1# = FQJ1# - HF1#
        FQJ2# = FQJ2# - HF2#
    END SELECT
END IF
```

```
SUB TRAMOS (T%, AK%, AZ%, AP%, AU#, QJ#, QJ1#, QJ2#,
FQJ#, FQJ1#, FQJ2#, TIPOTOMA%(), KOR(), AT%, IDRE%(),
IDRA%(), IDRAA%(), CT% )
NUMTOTO =NUMTOMAS(TRAMO%(T%)) +
NUMTISDL(TRAMO%(T%)) + NUMTICDL(TRAMO%(T%))
REE# = 1273239.5# / D(TRAMO%(T%))
RET# =1273239.5# / DIATOMAS(TRAMO%(T%))
K1 = C(TRAMO%(T%)) / 3.71
IF NUMTOMAS(TRAMO%(T%)) > 0 THEN
K2 = RUGTOMAS(TRAMO%(T%)) / 3.71
IF NUMTISDL(TRAMO%(T%)) > 0 THEN
K22 = RUGTOMA2(TRAMO%(T%)) / 3.71
IF NUMTICDL(TRAMO%(T%)) > 0 THEN
K23 = RUGTOMA3(TRAMO%(T%)) / 3.71
K4 = K1(TRAMO%(T%)) / (NUMTOTO + 1)
NTT1 = NUMTOMAS(TRAMO%(T%))
NTT2 = NTT1 + NUMTISDL(TRAMO%(T%))
DIFE = (TN(IR%(TRAMO%(T%), 1)) - TN(IR%(TRAMO%(T%),
        2)))
DIFE = DIFE / (NUMTOTO + 1)
IF NUMTOMAS(TRAMO%(T%)) > 0 THEN
  SUMA = NUMACCES(TRAMO%(T%))
            * .5 + 1
  SUMA = SUMA / (12.103 * DIATOMAS (TRAMO%(T%)) ^ 2)
END IF
IF NUMTISDL(TRAMO%(T%)) > 0 THEN
  SUMA22 = NUMACCE2(TRAMO%(T%))
            * .5 + 1
  SUMA22 = SUMA22 / (12.103 * DIATOMA2 (TRAMO%(T%))
            ^ 2)
END IF
IF NUMTICDL(TRAMO%(T%)) > 0 THEN
  SUMA23 = NUMACCE3(TRAMO%(T%))
            * .5 + 1
  SUMA23 = SUMA23 / (12.103 * DIATOMA3 (TRAMO%(T%))
            ^ 2)
END IF
S1 = 0: S2 = 0: S3 = 0
FOR L = 1 TO NUMTOTO + 1
REM Identifica el número de tramo
SELECT CASE AK%
    CASE 0
    CT% = CT% + 1
    CASE 1
        IF AU% = 1 THEN
            CT% = CT% - 1
            ELSE
            AU% = 1
        END IF
END SELECT
REM Se obtiene el número de Reynolds
  RE1# = REE# * ABS(QJ1#)
  RE2# = REE# * ABS(QJ2#)
          IF AK% = 0 THEN
             RE# = REE# * ABS(QJ#)
          ELSE
             RE# = (RE1# + RE2#) / 2
          END IF
REM Identifica el tipo de flujo
IF AT% = 0 THEN
    IF RE# < 2300 THEN
        IDRA%(CT%) = -1
        ELSE
        IDRA%(CT%) = 1
    END IF
END IF
SELECT CASE IDRA%(CT%)
    CASE -1
        IF RE# < 3000 THEN
          IDRE%(CT%) = -1
          ELSE
          IDRE%(CT%) = 1
        END IF
    CASE 1
        IF RE# >= 2300 THEN
          IDRE%(CT%) = 1
          ELSE
          IDRE%(CT%) = -1
          IF IDRAA%(CT%) <> 0 THEN IDRE%(CT%) = 1
        END IF
END SELECT
  REM Cálculo de pérdidas con Poiseuille
IF IDRE%(CT%) = -1 THEN
    IF AK% = 0 THEN
        HF# = 255.37 * K4 * QJ# * ABS(QJ#) / RE#
        FQJ# = FQJ# + HF#
    END IF
        HF1# = 255.37 * K4 * QJ1# * ABS(QJ1#) / RE1#
        HF2# = 255.37 * K4 * QJ2# * ABS(QJ2#) / RE2#
      SELECT CASE AK%
          CASE 0
              FQJ1# = FQJ1# + HF1#
              FQJ2# = FQJ2# + HF2#
           CASE 1
              FQJ1# = FQJ1# - HF1#
              FQJ2# = FQJ2# - HF2#
        END SELECT
END IF
REM Cálculo de pérdidas con la ecuación modificada de
        Colebrook-White
IF IDRE%(CT%) = 1 THEN
    SELECT CASE RE#
        CASE IS < (10 ^ 5)
        G = 4.555: GT = .8764
       CASE (10 ^ 5) TO (3 * (10 ^ 6))
        G = 6.732: GT = .9104
        CASE IS > (3 * (10 ^ 6))
        G = 8.982: GT = .93
    END SELECT
    IF AK% = 0 THEN
        K3# = K1 + G / (RE# ^ GT)
        K3# = (.4342944# * LOG(K3#)) ^ 2
        HF# = K4 * QJ# * ABS(QJ#) / K3#
        FQJ# = FQJ# + HF#
    END IF
    K31# = K1 + G / (RE1# ^ GT)
    K31# = (.4342944# * LOG(K31#)) ^ 2
    HF1# = K4 * QJ1# * ABS(QJ1#) / K31#
    K32# = K1 + G / (RE2# ^ GT)
    K32# = (.4342944# * LOG(K32#)) ^ 2
    HF2# = K4 * QJ2# * ABS(QJ2#) / K32#
    SELECT CASE AK%
        CASE 0
        FQJ1# = FQJ1# + HF1#
        FQJ2# = FQJ2# + HF2#
        CASE 1
        FQJ1# = FQJ1# - HF1#
        FQJ2# = FQJ2# - HF2#
    END SELECT
END IF
```

```
SUB TRAMOS (T%, AK%, AZ%, AP%, AU#, QJ#, QJ1#, QJ2#,
FQJ#, FQJ1#, FQJ2#, TIPOTOMA%(), KOR(), AT%, IDRE%(),
IDRA%(), CT% )
NUMTOTO =NUMTOMAS(TRAMO%(T%)) +
                NUMTISDL(TRAMO%(T%)) +
                NUMTICDL(TRAMO%(T%))
REE# = 1273239.5# / D(TRAMO%(T%))
RET# =1273239.5# / DIATOMAS(TRAMO%(T%))
K1 = C(TRAMO%(T%)) / 3.71
IF NUMTOMAS(TRAMO%(T%)) > 0 THEN
K2 = RUGTOMAS(TRAMO%(T%)) / 3.71
IF NUMTISDL(TRAMO%(T%)) > 0 THEN
K22 = RUGTOMA2(TRAMO%(T%)) / 3.71
IF NUMTICDL(TRAMO%(T%)) > 0 THEN
K23 = RUGTOMA3(TRAMO%(T%)) / 3.71
K4 = K1(TRAMO%(T%)) / (NUMTOTO + 1)
NTT1 = NUMTOMAS(TRAMO%(T%))
NTT2 = NTT1 + NUMTISDL(TRAMO%(T%))
DIFE = (TN(IR%(TRAMO%(T%), 1)) - TN(IR%(TRAMO%(T%),
       2)))
DIFE = DIFE / (NUMTOTO + 1)
IF NUMTOMAS(TRAMO%(T%)) > 0 THEN
  SUMA = NUMACCES(TRAMO%(T%))
            * .5 + 1
  SUMA = SUMA / (12.103 * DIATOMAS (TRAMO%(T%)) ^ 2)
END IF
IF NUMTISDL(TRAMO%(T%)) > 0 THEN
  SUMA22 = NUMACCE2(TRAMO%(T%))
            * .5 + 1
  SUMA22 = SUMA22 / (12.103 * DIATOMA2 (TRAMO%(T%))
            ^ 2)
END IF
IF NUMTICDL(TRAMO%(T%)) > 0 THEN
  SUMA23 = NUMACCE3(TRAMO%(T%))
            * .5 + 1
  SUMA23 = SUMA23 / (12.103 * DIATOMA3 (TRAMO%(T%))
            ^ 2)
END IF
S1 = 0: S2 = 0: S3 = 0
FOR L = 1 TO NUMTOTO + 1
REM Identifica el número de tramo
SELECT CASE AK%
    CASE 0
    CT% = CT% + 1
    CASE 1
        IF AU% = 1 THEN
            CT% = CT% - 1
            ELSE
            AU% = 1
        END IF
END SELECT
REM Se obtiene el número de Reynolds
  RE1# = REE# * ABS(QJ1#)
  RE2# = REE# * ABS(QJ2#)
        IF AK% = 0 THEN
           RE# = REE# * ABS(QJ#)
        ELSE
           RE# = (RE1# + RE2#) / 2
        END IF
REM Identifica el tipo de flujo
IF AT% = 0 THEN
    IF RE# < 2300 THEN
        IDRA%(CT%) = -1
        ELSE
        IDRA%(CT%) = 1
    END IF
END IF
SELECT CASE IDRA%(CT%)
    CASE -1
        IF RE# < 3000 THEN
          IDRE%(CT%) = -1
          ELSE
          IDRE%(CT%) = 1
        END IF
    CASE 1
        IF RE# >= 2300 THEN
          IDRE%(CT%) = 1
          ELSE
          IDRE%(CT%) = -1
        END IF
END SELECT

REM Cálculo de pérdidas con Poiseuille
IF IDRA%(CT%) = -1 THEN
    IF AK% = 0 THEN
        HF# = 255.37 * K4 * QJ# * ABS(QJ#) / RE#
        FQJ# = FQJ# + HF#
    END IF
        HF1# = 255.37 * K4 * QJ1# * ABS(QJ1#) / RE1#
        HF2# = 255.37 * K4 * QJ2# * ABS(QJ2#) / RE2#
      SELECT CASE AK%
         CASE 0
            FQJ1# = FQJ1# + HF1#
            FQJ2# = FQJ2# + HF2#
         CASE 1
            FQJ1# = FQJ1# - HF1#
            FQJ2# = FQJ2# - HF2#
        END SELECT
END IF
REM Cálculo de pérdidas con la ecuación modificada de
        Colebrook-White
IF IDRA%(CT%) = 1 THEN
    SELECT CASE RE#
        CASE IS < (10 ^ 5)
        G = 4.555: GT = .8764
         CASE (10 ^ 5) TO (3 * (10 ^ 6))
        G = 6.732: GT = .9104
        CASE IS > (3 * (10 ^ 6))
        G = 8.982: GT = .93
    END SELECT
    IF AK% = 0 THEN
        K3# = K1 + G / (RE# ^ GT)
        K3# = (.4342944# * LOG(K3#)) ^ 2
        HF# = K4 * QJ# * ABS(QJ#) / K3#
        FQJ# = FQJ# + HF#
    END IF
    K31# = K1 + G / (RE1# ^ GT)
    K31# = (.4342944# * LOG(K31#)) ^ 2
    HF1# = K4 * QJ1# * ABS(QJ1#) / K31#
    K32# = K1 + G / (RE2# ^ GT)
    K32# = (.4342944# * LOG(K32#)) ^ 2
    HF2# = K4 * QJ2# * ABS(QJ2#) / K32#
    SELECT CASE AK%
        CASE 0
        FQJ1# = FQJ1# + HF1#
        FQJ2# = FQJ2# + HF2#
        CASE 1
        FQJ1# = FQJ1# - HF1#
        FQJ2# = FQJ2# - HF2#
     END SELECT
END IF
```

ANEXO C.5

UNIÓN DE LAS ECUACIONES DE POISEUILLE Y DECOLEBROOK-WHITE POR MEDIO DE UNA RECTA

```
SUB TRAMOS (T%, AK%, AZ%, AP%, QJ#, QJ1#, QJ2#, FQJ#,
FQJ1#, FQJ2#, TIPOTOMA%(), KOR(), AT%)
NUMTOTO =NUMTOMAS(TRAMO%(T%)) +
                NUMTISDL(TRAMO%(T%)) +
                NUMTICDL(TRAMO%(T%))
REE# = 1273239.5# / D(TRAMO%(T%))
RET# =1273239.5# / DIATOMAS(TRAMO%(T%))
K1 = C(TRAMO%(T%)) / 3.71
IF NUMTOMAS(TRAMO%(T%)) > 0 THEN
K2 = RUGTOMAS(TRAMO%(T%)) / 3.71
IF NUMTISDL(TRAMO%(T%)) > 0 THEN
K22 = RUGTOMA2(TRAMO%(T%)) / 3.71
IF NUMTICDL(TRAMO%(T%)) > 0 THEN
K23 = RUGTOMA3(TRAMO%(T%)) / 3.71
K4 = K1(TRAMO%(T%)) / (NUMTOTO + 1)
NTT1 = NUMTOMAS(TRAMO%(T%))
NTT2 = NTT1 + NUMTISDL(TRAMO%(T%))
DIFE = (TN(IR%(TRAMO%(T%), 1)) - TN(IR%(TRAMO%(T%),
            2)))
DIFE = DIFE / (NUMTOTO + 1)
IF NUMTOMAS(TRAMO%(T%)) > 0 THEN
  SUMA = NUMACCES(TRAMO%(T%))
            * .5 + 1
  SUMA = SUMA / (12.103 * DIATOMAS (TRAMO%(T%)) ^ 4)
END IF
IF NUMTISDL(TRAMO%(T%)) > 0 THEN
  SUMA22 = NUMACCE2(TRAMO%(T%))
            * .5 + 1
  SUMA22 = SUMA22 / (12.103 * DIATOMA2 (TRAMO%(T%)) ^
            4)
END IF
IF NUMTICDL(TRAMO%(T%)) > 0 THEN
  SUMA23 = NUMACCE3(TRAMO%(T%))
            * .5 + 1
  SUMA23 = SUMA23 / (12.103 * DIATOMA3 (TRAMO%(T%)) ^
            4)
END IF
S1 = 0: S2 = 0: S3 = 0
FOR L = 1 TO NUMTOTO + 1
REM Se obtiene el número de Reynolds
  RE1# = REE# * ABS(QJ1#)
  RE2# = REE# * ABS(QJ2#)
          IF AK% = 0 THEN
             RE# = REE# * ABS(QJ#)
          ELSE
             RE# = (RE1# + RE2#) / 2
          END IF
REM Cálculo de pérdidas con Poiseuille
IF RE# <= 2000 THEN
  IF AK% = 0 THEN
    HF# = 255.37 * K4 * QJ# * ABS(QJ#) / RE#
    FQJ# = FQJ# + HF#
  END IF
  HF1# = 255.37 * K4 * QJ1# * ABS(QJ1#) / RE1#
  HF2# = 255.37 * K4 * QJ2# * ABS(QJ2#) / RE2#
      SELECT CASE AK%
          CASE 0
             FQJ1# = FQJ1# + HF1#
             FQJ2# = FQJ2# + HF2#
           CASE 1
             FQJ1# = FQJ1# - HF1#
             FQJ2# = FQJ2# - HF2#
      END SELECT
END IF
REM Cálculo de pérdidas empleando la unión de las ecuaciones
      de C-W y P
IF RE# > 2000 AND RE# < 4000 THEN
  IF AK% = 0 THEN
    K3# = K1 + .000003174263717#
    K3# = (.4342944# * LOG(K3#)) ^ 2
    K3# = (.4342944# * LOG(.25 / K3#))
    B# = ((5.38453939I# - (-3.30103 * K3#)) / -.30103)
    B# = 10 ^ B#
    C# = (K3# + 1.49485) / -.30103
    K3# = B# / RE# ^ C#
    HF# = K3# * 3.9901478# * K4 * QJ# * ABS(QJ#)
    FQJ# = FQJ# + HF#
  END IF
  K31# = B# / RE1# ^ C#
  HF1# = K31# * 3.9901478# * K4 * QJ# * ABS(QJ#)
  K32# = B# / RE2# ^ C#
  HF2# = K32# * 3.9901478# * K4 * QJ# * ABS(QJ#)
    SELECT CASE AK%
       CASE 0
       FQJ1# = FQJ1# + HF1#
       FQJ2# = FQJ2# + HF2#
       CASE 1
       FQJ1# = FQJ1# - HF1#
       FQJ2# = FQJ2# - HF2#
    END SELECT
END IF
REM Cálculo de pérdidas con la ecuación modificada de
Colebrook-White
IF RE# >= 4000 ! THEN
    SELECT CASE RE#
        CASE IS < (10 ^ 5)
        G = 4.555: GT = .8764
        CASE (10 ^ 5) TO (3 * (10 ^ 6))
        G = 6.732: GT = .9104
        CASE IS > (3 * (10 ^ 6))
        G = 8.982: GT = .93
    END SELECT
    IF AK% = 0 THEN
        K3# = K1 + G / (RE# ^ GT)
        K3# = (.4342944# * LOG(K3#)) ^ 2
        HF# = K4 * QJ# * ABS(QJ#) / K3#
        FQJ# = FQJ# + HF#
    END IF
    K31# = K1 + G / (RE1# ^ GT)
    K31# = (.4342944# * LOG(K31#)) ^ 2
    HF1# = K4 * QJ1# * ABS(QJ1#) / K31#
    K32# = K1 + G / (RE2# ^ GT)
    K32# = (.4342944# * LOG(K32#)) ^ 2
    HF2# = K4 * QJ2# * ABS(QJ2#) / K32#
    SELECT CASE AK%
        CASE 0
        FQJ1# = FQJ1# + HF1#
        FQJ2# = FQJ2# + HF2#
        CASE 1
        FQJ1# = FQJ1# - HF1#
        FQJ2# = FQJ2# - HF2#
    END SELECT
END IF
```

```
SUB TRAMOS (T%, AK%, AZ%, AP%, QJ#, QJ1#, QJ2#, FQJ#,
FQJ1#, FQJ2#, TIPOTOMA%(), KOR(), AT%)

NUMTOTO =NUMTOMAS(TRAMO%(T%)) +
                NUMTISDL(TRAMO%(T%)) +
                NUMTICDL(TRAMO%(T%))
REE# = 1273239.5# / D(TRAMO%(T%))
RET# =1273239.5# / DIATOMAS(TRAMO%(T%))
K1 = C(TRAMO%(T%)) / 3.71

IF NUMTOMAS(TRAMO%(T%)) > 0 THEN
K2 = RUGTOMAS(TRAMO%(T%)) / 3.71
IF NUMTISDL(TRAMO%(T%)) > 0 THEN
K22 = RUGTOMA2(TRAMO%(T%)) / 3.71
IF NUMTICDL(TRAMO%(T%)) > 0 THEN
K23 = RUGTOMA3(TRAMO%(T%)) / 3.71
K4 = K1(TRAMO%(T%)) / (NUMTOTO + 1)
NTT1 = NUMTOMAS(TRAMO%(T%))
NTT2 = NTT1 + NUMTISDL(TRAMO%(T%))
DIFE = (TN(IR%(TRAMO%(T%), 1)) - TN(IR%(TRAMO%(T%),
        2)))
DIFE = DIFE / (NUMTOTO + 1)

IF NUMTOMAS(TRAMO%(T%)) > 0 THEN
  SUMA = NUMACCES(TRAMO%(T%))
          * .5 + 1
  SUMA = SUMA / (12.103 * DIATOMAS (TRAMO%(T%)) ^ 2)
END IF

IF NUMTISDL(TRAMO%(T%)) > 0 THEN
  SUMA22 = NUMACCE2(TRAMO%(T%))
          * .5 + 1
  SUMA22 = SUMA22 / (12.103 * DIATOMA2 (TRAMO%(T%)) ^
          2)
END IF

IF NUMTICDL(TRAMO%(T%)) > 0 THEN
  SUMA23 = NUMACCE3(TRAMO%(T%))
          * .5 + 1
  SUMA23 = SUMA23 / (12.103 * DIATOMA3 (TRAMO%(T%)) ^
          2)
END IF

S1 = 0: S2 = 0: S3 = 0
FOR L = 1 TO NUMTOTO + 1

REM Se obtiene el número de Reynolds
  RE1# = REE# * ABS(QJ1#)
  RE2# = REE# * ABS(QJ2#)

      IF AK% = 0 THEN
        RE# = REE# * ABS(QJ#)
      ELSE
        RE# = (RE1# + RE2#) / 2
      END IF


REM Cálculo de pérdidas empleando la unión de las ecuaciones
        de C-W y P, utilizando el metodo propuesto por Chue.
SELECT CASE RE#
   CASE IS < (10 ^ 5)
   G = 4.555: GT = .8764

   CASE (10 ^ 5) TO (3 * (10 ^ 6))
   G = 6.732: GT = .9104

   CASE IS > (3 * (10 ^ 6))
   G = 8.982: GT = .93
END SELECT

 IF AK% = 0 THEN
   ALPHA# = 1 / (1 + EXP(-(RE# - 3335.8744) / 341.29148))
   DK3# = ((1 - ALPHA#) * (64 / RE#)) + (ALPHA# * (0.25 /
          (0.4342944 * LOG(DK1 + (G / (RE# ^ GT)))) ^ 2))
   HF# = DK3# * DK4 * QJ# * ABS(QJ#)
   FQJ# = FQJ# - HF#
END IF

   ALPHA1# = 1 / (1 - EXP(-(RE1# - 3335.8744) / 341.29148))
   K31# = ((1 - ALPHA1#) * (64 / RE1#)) + (ALPHA1# * (0.25
          / (0.4342944 * LOG(DK1 + (G / (RE1# ^ GT)))) ^ 2))
   HF1# = K31# * DK4 * QJ1# * ABS(QJ1#)

   ALPHA2# = 1 / (1 - EXP(-(RE2# - 3335.8744) / 341.29148))
   K32# = ((1 - ALPHA2#) * (64 / RE2#)) + (ALPHA2# * (0.25
          / (0.4342944 * LOG(DK1 + (G / (RE2# ^ GT)))) ^ 2))
   HF2# = K32# * DK4 * QJ2# * ABS(QJ2#)

   SELECT CASE AK%
      CASE 0
      FQJ1# = FQJ1# - HF1#
      FQJ2# = FQJ2# - HF2#
      CASE 1
      FQJ1# = FQJ1# - HF1#
      FQJ2# = FQJ2# - HF2#
   END SELECT

END IF
```

ANEXO D

RESULTADOS PARA DETERMINAR LA INFLUENCIA DEL FLUJO LAMINAR Y CRÍTICO EN REDES DE AGUA POTABLE

En el presente anexo se muestran los resultados obtenidos al modelar diferentes redes de tubos utilizando para ello la ecuación modificada de Colebrook-White, ecuación 3.1, y la ecuación propuesta, ecuación 3.17. Los resultados se obtuvieron al incluir estas ecuaciones en el programa de cómputo ***MIRAP***.

D.1 RESULTADOS DEL EJEMPLO No. 1

Ejemplo No. 1 ***Red de agua potable integrada de una red primaria y ocho redes secundarias.***

D.1.1. Resultados de las cuerdas de la red primaria :

CUERDAS DE LA RED PRIMARIA

CUERDA	NODO		GASTO (l/s)*		GASTO (l/s)**		DIF. DE GASTO (l/s)	
	1	2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2
1	2	66	19.246	19.246	19.246	19.246	0.000	0.000
2	2	5	9.178	7.161	9.179	7.164	-0.001	-0.004
3	5	8	3.562	1.754	3.565	1.748	-0.002	0.007
4	2	16	10.068	9.429	10.067	9.430	0.002	-0.001
5	5	19	3.598	2.988	3.599	2.976	0.000	0.012
6	8	22	1.755	1.404	1.747	1.396	0.007	0.007
7	16	19	4.398	2.447	4.400	2.447	-0.002	0.000
8	19	22	2.485	0.055	2.478	0.048	0.007	0.006
9	16	30	5.031	4.598	5.029	4.595	0.001	0.002
10	19	33	2.950	2.220	2.943	2.209	0.007	0.011
11	22	36	1.459	1.074	1.447	1.061	0.013	0.013
12	30	33	2.227	0.076	2.229	0.077	-0.002	-0.001
13	33	36	0.631	1.522	0.633	1.520	-0.002	0.002
14	30	44	2.365	1.981	2.361	1.975	0.004	0.006
15	33	47	1.664	0.922	1.656	0.913	0.008	0.009
16	36	50	0.442	0.847	0.458	0.863	-0.016	-0.016
17	44	47	1.183	1.008	1.185	1.006	-0.002	0.002
18	47	50	0.028	2.400	0.030	2.403	-0.002	-0.002
19	44	58	0.798	0.426	0.790	0.416	0.008	0.010
20	47	61	0.063	0.793	0.067	0.797	-0.004	-0.004
21	50	64	3.242	3.677	3.263	3.701	-0.021	-0.024
22	58	61	0.433	1.348	0.429	1.355	0.004	-0.007
23	61	64	2.148	4.092	2.165	4.114	-0.017	-0.022
24	64	65	7.769	7.769	7.815	7.815	-0.046	-0.046

* Gasto obtenido de una modelación utilizando la ecuación propuesta.
** Gasto obtenido de una modelación utilizando la ecuación de Colebrook-White

Cuadro D. 1 *Resultados de las cuerdas de la red primaria, obtenidos en los nodos 1 y 2 al modelar la red utilizando la ecuación de Colebrook-White y la ecuación propuesta.*

D.1.2. Resultados de los tramos de la red secundaria número 1:

RED SECUNDARIA No.1

TRAMO	NODO		GASTO (l/s)*		GASTO (l/s)**		DIF. DE GASTO (l/s)	
	1	2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2
9	10	68	0.347	0.622	0.341	0.617	0.005	0.005
10	11	4	0.307	0.563	0.311	0.567	-0.004	-0.004
15	10	9	0.335	0.648	0.328	0.642	0.006	0.006
16	11	10	0.022	0.423	0.005	0.441	0.017	-0.018
17	11	12	0.114	0.180	0.097	0.197	0.017	-0.018
22	10	17	0.270	0.058	0.287	0.042	-0.017	0.016
23	11	18	0.158	0.102	0.147	0.114	0.011	-0.012

* Gasto obtenido de una modelación utilizando la ecuación propuesta.
** Gasto obtenido de una modelación utilizando la ecuación de Colebrook-White

Cuadro D. 2 *Resultados de los tramos de la red secundaria número 1, obtenidos en los nodos 1 y 2 al modelar la red utilizando la ecuación de Colebrook-White y la ecuación propuesta.*

D.1.3. Resultados de los tramos de la red secundaria número 2:

RED SECUNDARIA No.2

TRAMO	NODO		GASTO (l/s)*		GASTO (l/s)**		DIF. DE GASTO (l/s)	
	1	2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2
12	13	69	0.098	0.373	0.098	0.373	0.000	0.000
13	14	7	0.131	0.386	0.131	0.387	0.000	0.000
18	13	12	0.118	0.430	0.119	0.432	-0.001	-0.001
19	14	13	0.221	0.224	0.222	0.223	-0.001	0.000
20	14	15	0.059	0.353	0.060	0.354	0.000	-0.001
25	13	20	0.014	0.341	0.013	0.340	0.002	0.001
26	14	21	0.033	0.293	0.029	0.290	0.003	0.003

* Gasto obtenido de una modelación utilizando la ecuación propuesta.
** Gasto obtenido de una modelación utilizando la ecuación de Colebrook-White

Cuadro D. 3 *Resultados de los tramos de la red secundaria número 2, obtenidos en los nodos 1 y 2 al modelar la red utilizando la ecuación de Colebrook-White y la ecuación propuesta.*

D.1.5. Resultados de los tramos de la red secundaria número 3:

RED SECUNDARIA No.3

TRAMO	NODO		GASTO (l/s)*		GASTO (l/s)**		DIF. DE GASTO (l/s)	
	1	2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2
36	25	18	0.100	0.374	0.101	0.377	-0.002	-0.002
35	24	17	0.221	0.477	0.222	0.479	-0.001	-0.001
41	24	23	0.124	0.436	0.124	0.437	0.000	-0.001
42	25	24	0.167	0.278	0.165	0.280	0.001	-0.002
43	25	26	0.058	0.352	0.059	0.354	-0.001	-0.002
48	24	31	0.065	0.262	0.064	0.263	0.001	-0.001
49	25	32	0.005	0.265	0.001	0.262	0.004	0.003

* Gasto obtenido de una modelación utilizando la ecuación propuesta.
** Gasto obtenido de una modelación utilizando la ecuación de Colebrook-White

Cuadro D. 4 *Resultados de los tramos de la red secundaria número 3, obtenidos en los nodos 1 y 2 al modelar la red utilizando la ecuación de Colebrook-White y la ecuación propuesta.*

D.1.6. Resultados de los tramos de la red secundaria número 4:

RED SECUNDARIA No.4

TRAMO	NODO		GASTO (l/s)*		GASTO (l/s)**		DIF. DE GASTO (l/s)	
	1	2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2
38	27	20	0.076	0.351	0.078	0.353	-0.001	-0.002
39	28	21	0.127	0.382	0.126	0.382	0.001	0.000
44	27	26	0.069	0.381	0.071	0.384	-0.002	-0.002
45	27	28	0.170	0.274	0.173	0.273	-0.002	0.002
46	28	29	0.095	0.388	0.095	0.389	0.000	0.000
51	27	34	0.022	0.348	0.021	0.348	0.001	0.000
52	28	35	0.055	0.315	0.054	0.315	0.001	0.000

* Gasto obtenido de una modelación utilizando la ecuación propuesta.
** Gasto obtenido de una modelación utilizando la ecuación de Colebrook-White

Cuadro D. 5 *Resultados de los tramos de la red secundaria número 4, obtenidos en los nodos 1 y 2 al modelar la red utilizando la ecuación de Colebrook-White y la ecuación propuesta.*

D.1.7. Resultados de los tramos de la red secundaria número 5:

RED SECUNDARIA No.5

TRAMO	NODO		GASTO (l/s)*		GASTO (l/s)**		DIF. DE GASTO (l/s)	
	1	2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2
61	38	31	0.070	0.344	0.071	0.346	-0.001	-0.002
62	39	32	0.125	0.380	0.124	0.380	0.001	0.000
67	38	37	0.074	0.386	0.076	0.389	-0.002	-0.002
68	38	39	0.174	0.271	0.176	0.269	-0.003	0.002
69	39	40	0.088	0.381	0.088	0.382	0.000	0.000
74	38	45	0.027	0.353	0.026	0.354	0.000	-0.001
75	39	46	0.060	0.320	0.060	0.320	0.001	0.000

* Gasto obtenido de una modelación utilizando la ecuación propuesta.
** Gasto obtenido de una modelación utilizando la ecuación de Colebrook-White

Cuadro D. 6 *Resultados de los tramos de la red secundaria número 5, obtenidos en los nodos 1 y 2 al modelar la red utilizando la ecuación de Colebrook-White y la ecuación propuesta.*

D.1.8. Resultados de los tramos de la red secundaria número 6:

RED SECUNDARIA No.6

TRAMO	NODO		GASTO (l/s)*		GASTO (l/s)**		DIF. DE GASTO (l/s)	
	1	2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2
64	41	34	0.059	0.333	0.059	0.334	0.000	-0.001
65	42	35	0.111	0.367	0.109	0.365	0.002	0.001
70	41	40	0.052	0.364	0.053	0.366	-0.001	-0.002
71	41	42	0.151	0.293	0.152	0.294	-0.001	0.000
72	42	43	0.115	0.408	0.115	0.409	0.000	-0.001
77	41	48	0.037	0.364	0.037	0.364	0.000	-0.001
78	42	49	0.069	0.330	0.070	0.331	-0.001	-0.002

* Gasto obtenido de una modelación utilizando la ecuación propuesta.
** Gasto obtenido de una modelación utilizando la ecuación de Colebrook-White

Cuadro D. 7 *Resultados de los tramos de la red secundaria número 6, obtenidos en los nodos 1 y 2 al modelar la red utilizando la ecuación de Colebrook-White y la ecuación propuesta.*

D.1.9. Resultados de los tramos de la red secundaria número 7:

RED SECUNDARIA No.7

TRAMO	NODO		GASTO (l/s)*		GASTO (l/s)**		DIF. DE GASTO (l/s)	
	1	2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2
81	52	45	0.046	0.320	0.047	0.322	-0.001	-0.001
82	53	46	0.105	0.360	0.102	0.358	0.002	0.002
93	52	51	0.062	0.374	0.064	0.376	-0.001	-0.002
94	52	53	0.164	0.281	0.166	0.279	-0.002	0.001
95	53	54	0.097	0.391	0.097	0.391	0.000	-0.001
100	52	59	0.052	0.379	0.052	0.379	0.000	-0.001
101	53	60	0.081	0.341	0.081	0.342	-0.001	-0.001

* Gasto obtenido de una modelación utilizando la ecuación propuesta.
** Gasto obtenido de una modelación utilizando la ecuación de Colebrook-White

Cuadro D. 8 *Resultados de los tramos de la red secundaria número 7, obtenidos en los nodos 1 y 2 al modelar la red utilizando la ecuación de Colebrook-White y la ecuación propuesta.*

D.1.10. Resultados de los tramos de la red secundaria número 8:

RED SECUNDARIA No.8

TRAMO	NODO		GASTO (l/s)*		GASTO (l/s)**		DIF. DE GASTO (l/s)	
	1	2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2
84	55	48	0.017	0.291	0.017	0.292	0.000	0.000
85	56	49	0.051	0.307	0.048	0.305	0.003	0.002
96	55	54	0.029	0.341	0.028	0.341	0.000	0.000
97	55	56	0.113	0.331	0.114	0.332	-0.001	0.000
98	56	57	0.148	0.442	0.151	0.445	-0.002	-0.003
103	55	62	0.069	0.396	0.069	0.396	0.000	-0.001
104	56	63	0.129	0.389	0.132	0.392	-0.002	-0.003

* Gasto obtenido de una modelación utilizando la ecuación propuesta.
** Gasto obtenido de una modelación utilizando la ecuación de Colebrook-White

Cuadro D. 9 *Resultados de los tramos de la red secundaria número 8, obtenidos en los nodos 1 y 2 al modelar la red utilizando la ecuación de Colebrook-White y la ecuación propuesta.*

D.2 RESULTADOS DEL EJEMPLO No. 2.

Ejemplo No. 2 ***Red de agua potable integrada únicamente de la red primaria.***

D.2.1. Resultados de las cuerdas de la red primaria:

CUERDAS DE LA RED PRIMARIA

CUERDA	NODO		GASTO (l/s)*		GASTO (l/s)**		DIF. DE GASTO (l/s)	
	1	2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2
1	3	1	19.200	19.200	19.237	19.237	-0.037	-0.037
2	3	4	8.290	8.290	8.289	8.290	0.001	0.000
3	4	5	2.830	2.830	2.828	2.828	0.002	0.002
4	3	6	10.100	10.100	10.097	10.098	0.003	0.002
5	4	7	3.760	3.760	3.763	3.764	-0.003	-0.004
6	5	8	1.980	1.980	1.979	1.979	0.001	0.001
7	6	7	3.490	3.490	3.485	3.485	0.005	0.005
8	7	8	1.290	1.290	1.286	1.286	0.004	0.004
9	6	9	4.910	4.910	4.914	4.914	-0.004	-0.004
10	7	10	2.570	2.570	2.571	2.571	-0.001	-0.001
11	8	11	1.570	1.570	1.565	1.566	0.005	0.004
12	9	10	1.240	1.240	1.244	1.244	-0.004	-0.004
13	10	11	0.639	0.639	0.639	0.638	0.000	0.001
14	9	12	1.970	1.970	1.971	1.971	-0.001	-0.001
15	10	13	1.060	1.060	1.062	1.062	-0.002	-0.002
16	11	14	0.772	0.772	0.772	0.772	0.000	0.000
17	12	13	0.120	0.119	0.119	0.120	0.001	-0.001
18	13	14	1.330	1.330	1.325	1.325	0.005	0.005
19	12	15	0.153	0.153	0.151	0.151	0.002	0.002
20	13	16	0.885	0.885	0.884	0.884	0.001	0.001
21	14	17	3.800	3.800	3.797	3.796	0.003	0.004
22	15	16	0.696	0.696	0.698	0.697	-0.002	-0.001
23	16	17	3.280	3.280	3.280	3.280	0.000	0.000
24	17	18	7.930	7.930	7.926	7.926	0.004	0.004

* Gasto obtenido de una modelación utilizando la ecuación propuesta.
** Gasto obtenido de una modelación utilizando la ecuación de Colebrook-White

Cuadro D. 10 *Resultados de las cuerdas de la red primaria, obtenidos en los nodos 1 y 2 al modelar la red utilizando la ecuación de Colebrook-White y la ecuación propuesta.*

D.3 RESULTADOS DEL EJEMPLO No. 3

Ejemplo No. 3 ***Red de agua potable con tomas domiciliarias, con extremos alejados a los puntos donde ingresa el agua.***

D.3.1. Resultados de las cuerdas de la red primaria:

CUERDAS DE LA RED PRIMARIA

CUERDA	NODO		GASTO (l/s)*		GASTO (l/s)**		DIF. DE GASTO (l/s)	
	1	2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2
1	2	1	1.740	1.740	1.739	1.739	0.001	0.001
2	3	2	0.748	1.738	0.748	1.739	0.000	-0.002
3	4	3	0.748	0.748	0.748	0.748	0.000	0.000
4	5	4	0.002	0.749	0.002	0.749	0.000	0.000

* Gasto obtenido de una modelación utilizando la ecuación propuesta.
** Gasto obtenido de una modelación utilizando la ecuación de Colebrook-White

Cuadro D. 11 *Resultados de las cuerdas de la red primaria, obtenidos en los nodos 1 y 2 al modelar la red utilizando la ecuación de Colebrook-White y la ecuación propuesta.*

D.4 RESULTADOS DEL EJEMPLO No. 4

Ejemplo No. 4 ***Red de agua potable sin tomas domiciliarias, con extremos alejados a los puntos donde ingresa el agua.***

D.4.1. Resultados de las cuerdas de la red primaria:

CUERDAS DE LA RED PRIMARIA

CUERDA	NODO		GASTO (l/s)*		GASTO (l/s)**		DIF. DE GASTO (l/s)	
	1	2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2
1	2	1	1.740	1.740	1.739	1.739	0.001	0.001
2	3	2	1.310	1.310	1.305	1.305	0.005	0.005
3	4	3	0.870	0.870	0.870	0.870	0.000	0.000
4	5	4	0.435	0.435	0.435	0.435	0.000	0.000

* Gasto obtenido de una modelación utilizando la ecuación propuesta.
** Gasto obtenido de una modelación utilizando la ecuación de Colebrook-White

Cuadro D. 12 *Resultados de las cuerdas de la red primaria, obtenidos en los nodos 1 y 2 al modelar la red utilizando la ecuación de Colebrook-White y la ecuación propuesta.*

D.5 RESULTADOS DEL EJEMPLO No. 5

Ejemplo No. 5 ***Red de tubos con una sola cuerda en la red primaria, sin nodo principal y con redes secundarias.***

D.1.5. Resultados de la cuerda de la red primaria y de los tramos de la red secundaria:

CUERDA DE LA RED PRIMARIA

CUERDA	NODO		GASTO (l/s)*		GASTO (l/s)**		DIF. DE GASTO (l/s)	
	1	2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2
1	1	5	6.880	6.180	6.883	6.171	-0.003	0.009

* Gasto obtenido de una modelación utilizando la ecuación propuesta.
** Gasto obtenido de una modelación utilizando la ecuación de Colebrook-White

TRAMOS DE LA RED SECUNDARIA

TRAMO	NODO		GASTO (l/s)*		GASTO (l/s)**		DIF. DE GASTO (l/s)	
	1	2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2
4	4	3	1.500	1.930	1.492	1.931	0.008	-0.001
6	6	2	0.044	0.228	0.041	0.235	0.003	-0.007

* Gasto obtenido de una modelación utilizando la ecuación propuesta.
** Gasto obtenido de una modelación utilizando la ecuación de Colebrook-White

Cuadro D. 13 *Resultados de la cuerda de la red primaria y en los tramos de la red secundaria, obtenidos en los nodos 1 y 2 al modelar la red utilizando la ecuación de Colebrook-White y la ecuación propuesta.*

D.6 RESULTADOS DEL EJEMPLO No. 6

Ejemplo No. 6 ***Red de tubos con una sola cuerda en la red primaria, sin nodo principal y con una red secundaria desconectada.***

D.6.1. Resultados de la cuerda de la red primaria y de los tramos de la red secundaria:

CUERDA DE LA RED PRIMARIA

CUERDA	NODO		GASTO (l/s)*		GASTO (l/s)**		DIF. DE GASTO (l/s)	
	1	2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2
1	1	5	6.770	6.050	6.773	6.039	-0.003	0.011

* Gasto obtenido de una modelación utilizando la ecuación propuesta.
** Gasto obtenido de una modelación utilizando la ecuación de Colebrook-White

TRAMOS DE LA RED SECUNDARIA

TRAMO	NODO		GASTO (l/s)*		GASTO (l/s)**		DIF. DE GASTO (l/s)	
	1	2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2
4	6	4	0.000	0.449	0.000	0.455	0.000	-0.006
5	7	3	0.000	0.275	0.000	0.279	0.000	-0.004

* Gasto obtenido de una modelación utilizando la ecuación propuesta.
** Gasto obtenido de una modelación utilizando la ecuación de Colebrook-White

Cuadro D. 14 *Resultados de la cuerda de la red primaria y en los tramos de la red secundaria, obtenidos en los nodos 1 y 2 al modelar la red utilizando la ecuación de Colebrook-White y la ecuación propuesta.*

D.7 RESULTADOS DEL EJEMPLO No. 7

Ejemplo No. 7 ***Red en donde existe un tanque hidroneumático o una descarga libre con dos tipos de frontera diferentes.***

D.7.1. Resultados de la cuerda de la red primaria y de los tramos de la red secundaria:

CUERDA DE LA RED PRIMARIA

CUERDA	NODO		GASTO (l/s)*		GASTO (l/s)**		DIF. DE GASTO (l/s)	
	1	2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2
1	5	1	8.330	9.070	8.312	9.063	0.018	0.007

* Gasto obtenido de una modelación utilizando la ecuación propuesta.
** Gasto obtenido de una modelación utilizando la ecuación de Colebrook-White

TRAMOS DE LA RED SECUNDARIA

TRAMO	NODO		GASTO (l/s)*		GASTO (l/s)**		DIF. DE GASTO (l/s)	
	1	2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2
4	4	3	2.067	2.519	2.061	2.925	0.006	-0.406
6	6	2	0.001	0.288	0.001	0.292	0.000	-0.004

* Gasto obtenido de una modelación utilizando la ecuación propuesta.
** Gasto obtenido de una modelación utilizando la ecuación de Colebrook-White

Cuadro D. 15 *Resultados de la cuerda de la red primaria y en los tramos de la red secundaria, obtenidos en los nodos 1 y 2 al modelar la red utilizando la ecuación de Colebrook-White y la ecuación propuesta.*

D.8 RESULTADOS DEL EJEMPLO No. 8

Ejemplo No. 8 ***Red de agua potable de tamaño mediano con 100 redes.***

D.8.1. Energías obtenidas en los nodos de la red primaria número 1:

RED PRIMARIA No.1

NODO	ENERGÍA -1- (m)	ENERGÍA -2- (m)	DIF. ENERG. (2 - 1)
2	105.919	106.673	0.754
3	104.890	106.355	1.465
4	103.908	106.044	2.136
5	106.122	106.735	0.613
6	105.180	106.392	1.212
7	104.328	106.106	1.778
8	103.559	105.868	2.309
9	105.288	106.476	1.188
10	104.503	106.150	1.647
11	103.817	105.898	2.081
12	103.214	105.700	2.487
13	104.492	106.224	1.732
14	103.886	105.944	2.058
15	103.341	105.714	2.373
16	103.871	105.539	1.668
17	103.730	105.978	2.248
18	103.331	105.773	2.443
19	102.929	105.574	2.645
20	102.536	105.387	2.851

-1- Obtenida utilizando la ecuación propuesta.
-2- Obtenida utilizando la ecuación de Colebrook-White

Cuadro D.16. *Comparación de energías en los nodos de la red primaria número 1*

D.8.2. Energías obtenidas en los nodos de la red primaria número 25:

RED PRIMARIA No.25

NODO	ENERGIA - 1 - (m)	ENERGIA - 2 - (m)	DIF. ENERG. (2 - 1)
322	98.885	103.399	4.514
323	98.845	103.374	4.529
324	98.809	103.353	4.544
325	98.815	103.347	4.532
326	98.780	103.326	4.546
327	98.762	103.322	4.560
328	98.763	103.314	4.551
329	98.762	103.296	4.534
330	98.719	103.296	4.577
331	98.723	103.293	4.570
332	98.693	103.274	4.581
333	98.682	103.273	4.591
334	98.699	103.269	4.570
335	98.672	103.254	4.582
336	98.648	103.883	5.235

-1- Obtenida utilizando la ecuación propuesta.
-2- Obtenida utilizando la ecuación de Colebrook-White

Cuadro D.17. *Energías en los nodos de la red primaria número 25.*

D.8.3. Energías obtenidas en los nodos de la red primaria número 100:

RED PRIMARIA No.100

NODO	ENERGIA - 1 - (m)	ENERGIA - 2 - (m)	DIF. ENERG. (2 - 1)
1257	98.409	103.147	4.738
1258	98.410	103.151	4.741
1259	98.413	103.158	4.745
1260	98.403	103.139	4.736
1261	98.404	103.142	4.738
1262	98.412	103.158	4.746
1263	98.403	103.139	4.736
1264	98.403	103.142	4.739
1265	98.412	103.158	4.746
1266	98.404	103.413	5.009
1267	98.404	103.144	4.740
1268	98.412	103.158	4.746
1269	98.412	103.158	4.746
1270	98.412	103.158	4.746
1271	98.412	103.158	4.746

-1- Obtenida utilizando la ecuación propuesta.
-2- Obtenida utilizando la ecuación de Colebrook-White

Cuadro D.18. *Energías en los nodos de la red primaria número 100.*

D.8.4. Gastos obtenidos en las cuerdas de la red primaria número 1:

CUERDAS DE LA RED PRIMARIA No.1

CUERDA	NODO		GASTO (l/s)*		GASTO (l/s)**		DIF. DE GASTO (l/s)	
	1	2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2
1	4	1	142.725	150.128	164.942	169.525	-22.217	-19.397
2	17	1	140.450	151.285	164.124	170.822	-23.674	-19.537
3	4	20	28.930	28.319	19.961	18.422	8.969	9.897
4	17	20	27.585	27.368	19.204	18.258	8.381	9.110

* Gasto obtenido de una modelación utilizando la ecuación propuesta.
** Gasto obtenido de una modelación utilizando la ecuación de Colebrook-White

Cuadro D.19. *Comparación de gastos obtenidos en las cuerdas de la red primaria número 1.*

D.8.5. Gastos obtenidos en las cuerdas de la red primaria número 25:

CUERDAS DE LA RED PRIMARIA No.25

CUERDA	NODO		GASTO (l/s)*		GASTO (l/s)**		DIF. DE GASTO (l/s)	
	1	2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2
51	221	273	10.715	9.172	8.160	6.559	2.555	2.613
58	221	324	8.039	7.480	6.220	5.494	1.819	1.986
59	324	336	9.663	8.013	7.631	5.819	2.032	2.194
60	273	336	6.568	5.833	5.449	4.516	1.119	1.317

* Gasto obtenido de una modelación utilizando la ecuación propuesta.
** Gasto obtenido de una modelación utilizando la ecuación de Colebrook-White

***Cuadro D.20**. Comparación de gastos obtenidos en las cuerdas de la red primaria número 25.*

D.8.6. Gastos obtenidos en las cuerdas de la red primaria número 100:

CUERDAS DE LA RED PRIMARIA No.100

CUERDA	NODO		GASTO (l/s)*		GASTO (l/s)**		DIF. DE GASTO (l/s)	
	1	2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2
198	1036	1148	1.289	1.545	1.216	3.007	0.073	-1.462
218	1036	1259	5.439	1.599	1.673	2.876	3.766	-1.277
219	1259	1271	2.046	1.002	3.698	1.370	-1.652	-0.368
220	1148	1271	3.994	1.002	0.581	1.370	3.413	-0.368

* Gasto obtenido de una modelación utilizando la ecuación propuesta.
** Gasto obtenido de una modelación utilizando la ecuación de Colebrook-White

***Cuadro D.21**. Comparación de gastos obtenidos en las cuerdas de la red primaria número 100.*

D.8.7. Gastos obtenidos en los tramos de la red primaria número 1:

RED PRIMARIA No.1

TRAMO	NODO		GASTO (l/s)*		GASTO (l/s)**		DIF. DE GASTO (l/s)	
	1	2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2
5	6	2	3.891	3.980	2.266	2.356	1.626	1.624
6	7	3	3.264	3.558	2.023	2.329	1.241	1.229
8	6	5	3.888	4.041	2.185	2.342	1.703	1.700
9	6	7	3.916	3.722	2.213	2.012	1.703	1.710
10	7	8	3.689	3.423	1.997	1.718	1.692	1.705
12	6	10	3.867	3.639	2.237	2.001	1.630	1.638
13	7	11	3.300	3.151	2.038	1.882	1.262	1.269
15	10	9	3.502	3.722	2.108	2.336	1.394	1.387
16	10	11	3.429	3.284	2.009	1.857	1.420	1.427
17	11	12	3.216	3.007	1.788	1.566	1.429	1.440
19	10	14	3.715	3.515	2.100	1.891	1.615	1.624
20	11	15	3.219	2.968	1.952	1.687	1.267	1.281
22	14	13	3.006	3.247	1.907	2.159	1.099	1.089
23	14	15	3.048	2.843	1.926	1.709	1.122	1.133
24	15	16	2.874	2.577	1.738	1.422	1.135	1.154
26	14	18	3.476	3.314	1.872	1.703	1.603	1.611
27	15	19	2.937	2.794	1.658	1.507	1.279	1.287

* Gasto obtenido de una modelación utilizando la ecuación propuesta.
** Gasto obtenido de una modelación utilizando la ecuación de Colebrook-White

***Cuadro D.22.** Comparación de gastos en los tramos de la red primaria número 1*

D.8.8. Gastos obtenidos en los tramos de la red primaria número 25:

RED PRIMARIA No.25

TRAMO	NODO		GASTO (l/s)*		GASTO (l/s)**		DIF. DE GASTO (l/s)	
	1	2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2
612	325	322	1.008	1.080	0.806	0.887	-0.806	-0.887
613	326	323	0.895	0.134	0.689	0.963	-0.689	-0.963
615	325	264	0.729	0.850	0.586	0.724	-0.586	-0.724
616	325	326	0.745	0.590	0.597	0.419	0.597	0.419
617	326	327	0.563	0.346	0.374	0.126	0.374	0.126
618	325	328	0.992	0.809	0.787	0.578	0.787	0.578
619	326	329	0.921	0.801	0.725	0.586	0.725	0.586
621	328	267	0.717	0.892	0.587	0.787	-0.587	-0.787
622	328	329	0.642	0.524	0.497	0.362	0.497	0.362
623	329	330	0.466	0.294	0.282	0.085	0.282	0.085
624	328	331	0.884	0.723	0.663	0.477	0.663	0.477
625	329	332	0.860	0.654	0.656	0.420	0.656	0.420
627	331	270	0.627	0.822	0.501	0.724	-0.501	-0.724
628	331	332	0.650	0.482	0.528	0.335	0.528	0.335
629	332	333	0.494	0.249	0.350	0.068	0.350	0.068
630	331	334	0.700	0.569	0.448	0.297	0.448	0.297
631	332	335	0.638	0.521	0.406	0.271	0.406	0.271

* Gasto obtenido de una modelación utilizando la ecuación propuesta.
** Gasto obtenido de una modelación utilizando la ecuación de Colebrook-White

Cuadro D.23. *Comparación de gastos en los tramos de la red primaria número 25.*

D.8.9. Gastos obtenidos en los tramos de la red primaria número 100:

RED PRIMARIA No.100

TRAMO	NODO		GASTO (l/s)*		GASTO (l/s)**		DIF. DE GASTO (l/s)	
	1	2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2
2447	1260	1257	0.160	0.235	0.134	0.220	-0.134	-0.220
2448	1261	1258	0.093	0.346	0.072	0.359	-0.072	-0.359
2450	1260	1139	0.095	0.224	0.021	0.167	-0.021	-0.167
2451	1260	1261	0.081	0.078	0.017	0.205	-0.017	-0.205
2452	1261	1262	0.124	0.355	0.198	0.460	-0.198	-0.460
2453	1260	1263	0.162	0.033	0.051	0.170	0.051	-0.170
2454	1261	1264	0.135	0.006	0.098	0.049	0.098	-0.049
2456	1263	1142	0.084	0.271	0.048	0.261	-0.048	-0.261
2457	1263	1264	0.030	0.096	0.042	0.185	-0.042	-0.185
2458	1264	1265	0.165	0.349	0.232	0.441	-0.232	-0.441
2459	1263	1266	0.004	0.169	0.038	0.234	-0.038	-0.234
2460	1264	1267	0.022	0.198	0.031	0.281	-0.031	-0.281
2462	1266	1145	0.060	0.269	0.042	0.279	-0.042	-0.279
2463	1266	1267	0.061	0.119	0.002	0.207	-0.002	-0.207
2464	1267	1268	0.086	0.348	0.118	0.417	-0.118	-0.417
2465	1266	1269	0.158	0.299	0.246	0.405	-0.246	-0.405
2466	1267	1270	0.179	0.305	0.200	0.379	-0.200	-0.379

* Gasto obtenido de una modelación utilizando la ecuación propuesta.
** Gasto obtenido de una modelación utilizando la ecuación de Colebrook-White

Cuadro D.24. *Comparación de gastos en los tramos de la red primaria numero 100.*

D. 9 RESULTADOS DE LA MODELACIÓN DE LA RED DE AGUA POTABLE DEL FRACCIONAMIENTO "EL PARAJE", EN JIUTEPEC, MORELOS.

D.9.1. Gastos obtenidos en la red primaria.

CUERDAS DE LA RED PRIMARIA

CUERDA	NODO		GASTO (l/s)*		GASTO (l/s)**		DIF. DE GASTO (l/s)	
	1	2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2
1	11	1	9.509	11.581	9.723	11.847	-0.214	-0.266
2	11	87	1.223	1.223	1.289	0.289	-0.066	0.934
3	20	11	5.428	8.287	5.486	8.435	-0.058	-0.148
4	22	20	3.541	3.561	3.169	3.190	0.372	0.371
5	23	22	3.177	3.541	2.671	3.169	0.506	0.372
6	45	23	0.748	1.009	0.523	0.801	0.225	0.208
7	23	20	2.168	1.867	1.870	2.296	0.298	-0.429
8	87	91	0.607	0.484	0.627	0.499	-0.020	-0.015
9	97	91	0.639	0.201	0.527	0.362	0.112	-0.161
10	97	87	0.498	0.616	0.539	0.661	-0.041	-0.045
11	97	91	0.141	0.283	0.004	0.144	0.137	0.139
12	42	22	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

* Gasto obtenido de una modelacion utilizando la ecuacion propuesta.
** Gasto obtenido de una modelación utilizando la ecuación de Colebrook-White

Cuadro D.25. *Comparación de gastos en las cuerdas de la red primaria del fraccionamiento El Paraje.*

D.9.2. Gastos obtenidos en la red secundaria número seis.

RED SECUNDARIA No.6

TRAMO	NODO		GASTO (l/s)*		GASTO (l/s)**		DIF. DE GASTO (l/s)	
	1	2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2	NODO 1	NODO 2
24	35	36	0.253	0.249	0.470	0.466	-0.217	-0.217
25	37	36	0.185	0.008	0.201	0.011	-0.016	-0.003
26	38	37	0.446	0.369	0.559	0.477	-0.113	-0.108
27	39	38	0.685	0.518	0.698	0.522	-0.013	-0.004
28	85	39	0.220	0.040	0.350	0.161	-0.130	-0.121
29	39	40	0.652	0.801	0.537	0.694	0.115	0.107
83	165	113	0.024	0.072	0.087	0.036	-0.063	0.036
84	115	116	0.209	0.059	0.217	0.028	-0.008	0.031
85	117	116	0.199	0.114	0.160	0.072	0.039	0.042
86	116	118	0.173	0.078	0.099	0.000	0.074	0.078
87	118	37	0.133	0.184	-0.221	0.276	0.354	-0.092
88	119	118	0.000	0.211	0.000	0.222	0.000	-0.011
89	120	121	0.252	0.134	0.235	0.112	0.017	0.022
90	122	121	0.243	0.137	0.197	0.086	0.046	0.051
91	121	123	0.271	0.258	0.198	0.184	0.073	0.074
92	197	123	0.200	0.272	0.416	0.088	-0.216	0.184
93	123	125	0.019	0.190	0.094	0.086	-0.075	0.104
94	126	125	0.228	0.151	0.161	0.081	0.067	0.070
95	128	127	0.035	0.242	0.005	0.222	0.030	0.020
96	125	128	0.034	0.034	0.003	0.003	0.031	0.031
131	167	165	0.266	0.266	0.395	0.395	-0.129	-0.129
132	196	165	0.213	0.290	0.266	0.308	-0.053	-0.018
163	114	196	0.000	0.213	0.001	0.225	-0.001	-0.012
164	124	197	0.257	0.200	0.477	0.416	-0.220	-0.216

* Gasto obtenido de una modelación utilizando la ecuación propuesta.
** Gasto obtenido de una modelación utilizando la ecuación de Colebrook-White

Cuadro D.26 *Comparación de gastos en los tramos de la red secundaria número 6 de El Paraje.*