

Universidad de Los Andes
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental
Centro de Investigación en Acueductos y
Alcantarillados
CIACUA



Tesis Especialización
Especialización En Ingeniería De Sistemas Hídricos
Urbanos

Valores de K_m para accesorios de grandes
diámetros utilizados en Colombia para simulación
y estudios en redes de acueducto.

Presentado por:
Luis Carlos González M.

Asesor:
Juan G. Saldarriaga

Bogotá D.C., Enero 2012

TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción	4
1.1 Objetivos	4
1.1.1 Objetivo General	4
1.1.2 Objetivos Específicos.....	4
1.2 Contenido del informe.....	5
2. Generalidades de las Pérdidas Menores	6
2.1 Determinación de los coeficientes K_m	6
2.2 Metodologías utilizadas por las Empresas de Acueducto para la determinación de los K_m	6
2.2.1 EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ.	7
2.2.2. EPM.....	10
2.2.3 EMCALI	12
2.2.3.1 Pérdidas debido a ampliaciones.....	12
2.2.3.2 Perdidas debidas codos.....	14
2.2.4 AAA BARRANQUILLA.....	15
2.2.5 AGUAS DE MANIZALES.....	17
Debido a los acontecimientos en la ciudad de Manizales el pasado 5 de Noviembre en el barrio Cervantes ha sido complicado el contacto con los ingenieros encargados del manejo la información técnica.	17
3. Generalidades de los fabricantes de accesorios para redes de acueducto en Colombia.	18
3.1 PAVCO	18
3.1.1. Descripción de la pruebas	18
3.1.2. Determinación del coeficiente de pérdidas menores.	20
3.1.2.1 Resultados Experimentales	21
Codo Horizontal 4"	21
Tee Perpendicular 4"	21
Tee Recta 4"	21
Unión 4"	21
Unión de reparación 4"	21
Uniones Campana Espigo Biaxial 6"	21
Codos Horizontales 6"	22
Unión 8"	22
3.2 American Pipe.....	22
3.2.1 Metodología de cálculo de pérdidas menores manual M9 AWWA.....	22
3.3 FLOWTITE.....	24
3.3.1 Perdidas en Curvas sencillas.....	27
3.3.2 Pérdidas en curvas dobles de 45 y 60°	28
3.3.3 Pérdidas en curvas triples de 61 y 90°	28
3.3.4 Pérdidas en reducciones	29
4. Resultados de la investigación	30
4.1 Análisis comparativo.....	30
5. Conclusiones	32
6. Bibliografía	32

ÍNDICE DE TABLAS

2.1 Coeficientes de pérdidas menores utilizados en los modelos hidráulicos de la red Matriz de Bogotá	8
2.2 coeficientes de pérdidas menores utilizados en la modelación de un tramo de la red de Villa Hermosa	11
2.3 Valores de K_m incluidos en la librería de <i>Epanet</i>	15
2.4 Valores de K_m incluidos en la librería de <i>Water Cad</i>	16
3.1 K_m Experimental codo 4	21
3.2 K_m Experimental Tee perpendicular 4"	21
3.3 K_m Experimental unión 4"	21
3.4 K_m Experimental unión 4"	21
3.5 K_m Unión de reparación 4"	21
3.6 K_m Unión campana x espigo 4"	21
3.7 K_m Codo Horizontal 6"	22
3.8 K_m Unión 8"	22
3.9 Factor de corrección para la longitud de salida C_0	25
3.10 Valores K_{VC}	27
3.11 Valores de pérdidas por accesorios para curva sencillas	28
3.12 Valores de pérdidas por accesorios para curva sencillas dobles de 45 y 60°	28
3.13 Pérdidas para curvas triples	29

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

2.1 Distribución espacial de las tuberías mostradas en la tabla 2-1 a las cuales se les realizaron ajustes por concepto de pérdidas menores, durante el proceso de calibración	8
2.2 Coeficientes para perdidas en accesorios y codos	9
2.3 Valores K_m utilizados en la modelación de un tramo de la red de acueducto de Villa Hermosa	10
2.4 Valores de f para el cálculo de las perdidas menores en ampliaciones	12
2.5 Valores K_m para ampliaciones suaves en tuberías	13
2.6 Valores K_m para ampliaciones graduales en tuberías.	13
2.7 Valores K_m para ampliaciones graduales en tuberías	14
2.8 Valores K_b para codos en tuberías	14
3.1 Imágenes de los modelos	19
3.2 Coeficientes de pérdidas C_L para codos	23
3.3 Pérdidas en codos	23
3.4 Factor de corrección para el número de Reynolds	25
3.5 Factor de corrección para salidas	26
3.6 Tomada Flowtite Technical Note TN 2006-114	27
3.7 Pérdidas en curvas triples de 61 y 90°	28
3.8 Perdidas en reducciones	29

1. Introducción

El diseño y modelación de redes de acueducto debe hacerse de forma tal que se asimile lo máximo posible a las condiciones reales de operación, las pérdidas de energía generadas por los accesorios en la red son un factor preponderante; para su cálculo históricamente se han utilizado los valores de los coeficientes K_m incluidos en los textos de hidráulica hallados en forma empírica hace varios años; esta es una práctica que puede llevar a errores ya que estos dependen de varios factores como el tipo de material, diámetro, edad de la tubería etc.

Este documento es una recopilación de las investigaciones hechas hasta el momento para la determinación de los coeficientes de pérdidas de energía (K_m) por algunas empresas fabricantes de accesorios para tubería de acueducto de diámetros superiores a 3"; también contiene información de la metodología utilizada por las principales empresa de acueducto del país para su cálculo y como estos valores son aplicados a sus modelos.

1.1 Objetivos

En este capítulo se presentan los objetivos que se buscan cumplir con la investigación realizada.

1.1.1 Objetivo General

Crear un manual técnico que facilite la simulación y análisis de las redes de acueducto de las principales ciudades del país con información de los coeficientes K_m existente en las empresas de acueducto, catálogos de fabricantes y en los textos de hidráulica.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Recopilar la información de los valores de los coeficientes de pérdidas por accesorios (K_m), utilizados por las empresas de acueducto de Bogotá, Cali, Medellín, Manizales, Bucaramanga y de algunos de los fabricantes de tuberías y accesorios como American Pipe, Flowtite y Pavco.
- Hacer análisis estadísticos y metodológicos de acuerdo con los diámetros y tipos de accesorios.

1.2 Contenido del informe

Este documento presenta los resultados de las tesis “*Valores de k_m para accesorios de grandes diámetros utilizados en Colombia para simulación y estudios en redes de acueducto*”. A continuación se describe el contenido de cada uno de los capítulos que lo conforman.

- El Capítulo 1 realiza una descripción del contenido del documento y los objetivos específicos y generales.
- El Capítulo 2 describe generalidades de las pérdidas menores y las metodologías empleadas por las empresas de acueducto para la determinación de los coeficientes de pérdidas menores o pérdidas por accesorios (K_m) y su posterior uso en los modelos hidráulicos.
- El Capítulo 3 recopila la información de los fabricantes de tuberías y accesorios suministrada en sus manuales y catálogos técnicos. También hace una descripción de la metodología utilizada para el cálculo.
- El Capítulo 4 resume los resultados de la investigación haciendo algunos análisis metodológicos y estadísticos.
- El Capítulo 5 expone las conclusiones y recomendaciones obtenidas a partir del análisis de los resultados de la investigación realizada.

2. Generalidades de las Pérdidas Menores

Por definición las pérdidas menores o pérdidas por accesorios son las generadas por distorsiones en las líneas de flujo que se presentan al paso del agua por puntos específicos de los sistemas de transporte y distribución de agua potable, como codos, uniones, válvulas, etc., matemáticamente pueden expresarse como el producto entre el cuadrado de la velocidad del flujo y un coeficiente propio de cada accesorio, como se observa en la Ecuación 1-1.

$$H_m = \sum K_m * \frac{v^2}{2g}$$

Ecuación 2-1

donde:

H_m : Pérdidas menores en una tubería.

$\sum K_m$: Sumatoria de los coeficientes de pérdidas menores en el tramo.

v : Velocidad media de la tubería.

2.1 Determinación de los coeficientes K_m

Históricamente los coeficientes se determinaban experimentalmente bajo condiciones particulares que limitaban los resultados a los materiales utilizados en los montajes, es decir los resultados no eran aplicables a materiales diferentes a los usados en las pruebas. Con el desarrollo de la tecnología para la creación de materiales cada vez más lisos la utilización de valores teóricos o empíricos induce al sobredimensionamiento o subdimensionamiento de las redes de transporte y distribución de agua potable ya que los caudales pueden ser muy superiores o muy inferiores a los requeridos en la operación de una red.

2.2 Metodologías utilizadas por las Empresas de Acueducto para la determinación de los K_m

Debido al gran tamaño de los sistemas de distribución de agua potable de las principales ciudades del país se ha generalizado el uso de metodologías que simplifican el cálculo de los coeficientes de pérdidas menores; en algunos casos se acostumbra a usar valores estándar de longitud equivalente, que consiste en sumar a la longitud del tubo, para el cálculo, longitudes que correspondan a la misma pérdida de energía que causarían los

accesorios existentes en la tubería, es decir a cada accesorio le corresponde una longitud adicional; otra forma es usar valores determinados experimentalmente con las consecuencias anteriormente descritas. A continuación se describe la metodología utilizada por las empresas de acueducto de las principales ciudades del país.

2.2.1 EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ.

La empresa de acueducto de Bogotá en la actualidad cuenta con un modelo hidráulico de la red matriz en *Epanet*¹ desarrollado por la Universidad de los Andes en el año 2006. Este estudio determinó que debido a la gran cantidad de válvulas y accesorios que presentaban cambios significativos durante los diferentes esquemas de operación no fue posible conocer de antemano el valor de los coeficientes K_m , por lo que fue necesario estimarlos durante la calibración. Cabe aclarar que los ajustes por concepto de pérdidas menores fueron hechos a algunas tuberías de la red matriz; la Tabla 2-1 presenta los valores de los coeficientes de pérdidas menores utilizados en los modelos hidráulicos de la red matriz de Bogotá del estudio hecho por la Universidad de los Andes.

Id Tubo	Febrero	Marzo	Mayo	Junio
170	0	0	0	40
207	50	50	50	50
296	100	100	100	100
1603	250	250	250	250
1715	500	500	500	500
1716	500	500	500	500
1954	600	600	600	600
2062	80	80	80	80
M214	35	35	35	130
M707	0	0	15	0
2432	30	30	30	30
2434	50	50	50	50
2438	300	300	300	300

¹ Software desarrollado por la EPA

Id Tubo	Febrero	Marzo	Mayo	Junio
2449	300	300	300	300
2755	80	80	80	80
3360	20	20	20	20
4617	25	25	25	25
4637	30	30	30	30
4638	30	30	30	30
4639	30	30	30	30
4763	30	30	30	30
4771	30	30	30	30
4792	30	30	30	30
4793	30	30	30	30

Tabla 2-1
Coefficientes de pérdidas menores utilizados en los modelos hidráulicos de la red Matriz de Bogotá².

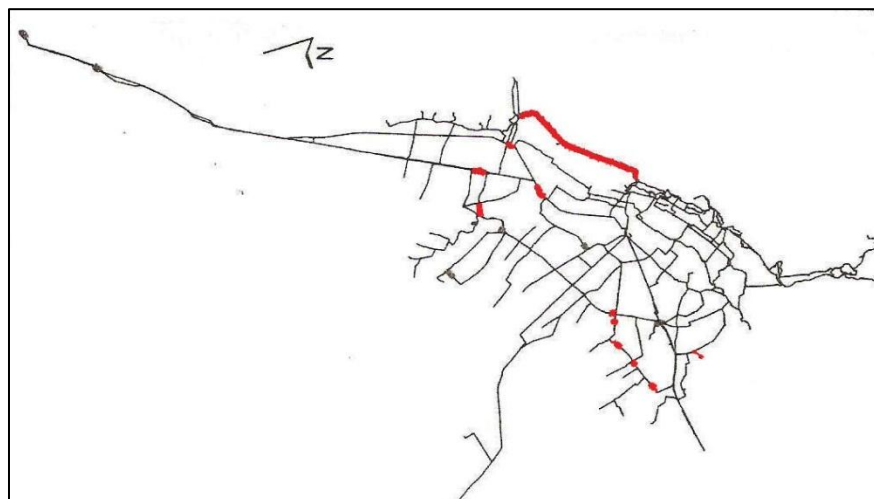


Ilustración 2-1 Distribución espacial de las tuberías mostradas en la tabla 2-1 a las cuales se les realizaron ajustes por concepto de pérdidas menores, durante el proceso de calibración.

Hace tres años la empresa contrato la consultoría para un nuevo modelo hidráulico, esta vez en **Water Gems**, justificado en la compatibilidad del software con los demás sistemas de la empresa. El consultor entregó un primer modelo, el cual no tuvo en cuenta las pérdidas menores; actualmente por solicitud de la empresa se asignó un valor proporcional por metro lineal de tubería y se encuentra en desarrollo.

Adicionalmente la dirección de Red Matriz está desarrollando un proyecto que les permita determinar los coeficientes de descarga de los hidrantes.

² Tomado de la Modelación Hidráulica de la Red Matriz del acueducto de la Ciudad de Bogotá, Informe Producto 2, Universidad de los Andes, 2006

Otra metodología usada por la empresa de acueducto de Bogotá para el cálculo de las pérdidas menores es el uso de los valores de K_m encontrados en la literatura; a continuación se presenta una tabla de referencia.

Coefficientes para pérdidas en accesorios y codos

Accesorio	k_m
Válvula de globo, completamente abierta	10.0
Válvula en ángulo, completamente abierta	5.0
Válvula de cheque, completamente abierta	2.5
Válvula de compuerta, completamente abierta	0.2
Válvula de compuerta, con 3/4 de apertura	1.00-1.15
Válvula de compuerta, con 1/2 de apertura	5.6
Válvula de compuerta, con 1/4 de apertura	24.0
Codo de radio corto ($r/d \pm 5 \ 6 \ 1$)	0.9
Codo de radio mediano	0.75-0.80
Codo de gran radio ($r/d \pm 5 \ 6 \ 1.5$)	0.6
Codo de 45°	0.4-0.42
Retorno (curva en U)	2.2
Tee en sentido recto	0.3
Tee a través de la salida lateral	1.8
Unión	0.3
Ye de 45°, en sentido recto	0.3
Ye de 45°, salida lateral	0.8
Entrada recta a tope	0.5
Entrada con boca acampanada	0.1
Entrada con tubo reentrante	0.9
Salida	1.0

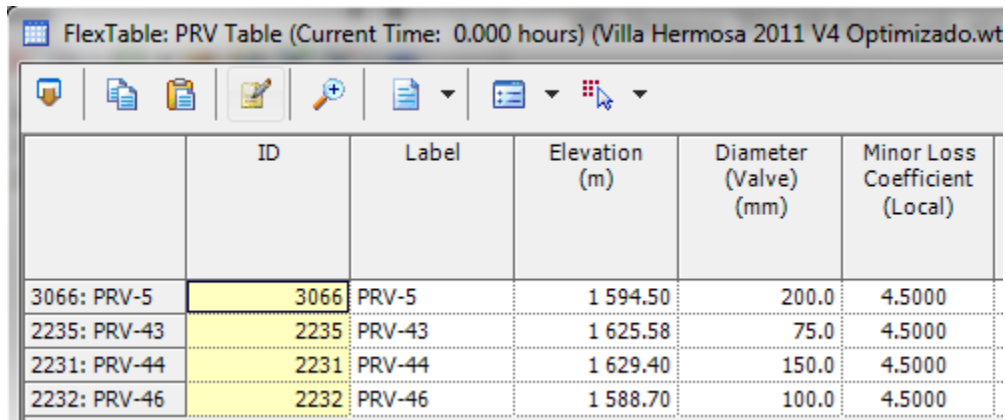
Ilustración 2-2 Tomado del libro Hidráulica de tuberías. Abastecimiento de Agua, Redes, Riegos. (Saldarriaga Juan 2007).

2.2.2. EPM

La metodología utilizada en EPM para el cálculo de K_m es la de asignar un valor proporcional a la longitud correspondiente a los accesorios que estén en un determinado tramo de tubería, debido que no existe información topológica detallada de la red, y no es considerado práctico ya que generaría una enorme cantidad de elementos (nodos y tuberías) en grandes longitudes de redes.

En los modelos que recientemente fueron calibrados por la empresa, los únicos elementos puntuales que tuvieron K_m fueron las válvulas de aislamiento y las VRP. Las primeras, manejaron un valor de **0.2** y los valores de las VRP fueron tomados de los catálogos de los fabricantes, ya que estas deben incluir las pérdidas correspondientes a los filtros.

La modelación de la red matriz está hecha en, *Water Gems* y en los atributos de cada tramo de tubería son incluidas las pérdidas por accesorios como un valor proporcional a la longitud de la tubería.



	ID	Label	Elevation (m)	Diameter (Valve) (mm)	Minor Loss Coefficient (Local)
3066: PRV-5	3066	PRV-5	1 594.50	200.0	4.5000
2235: PRV-43	2235	PRV-43	1 625.58	75.0	4.5000
2231: PRV-44	2231	PRV-44	1 629.40	150.0	4.5000
2232: PRV-46	2232	PRV-46	1 588.70	100.0	4.5000

Ilustración2- 3 Valores K_m utilizados en la modelación de un tramo de la red de acueducto de Villa Hermosa.

En la **Tabla 2-2** presenta los valores de coeficientes de pérdidas menores utilizados en la modelación de un tramo de la red de Villa Hermosa

ID	K_m
3070	0
2516	6,3803
3062	0,3637
2150	1,527
3083	0,5883
3073	2,829
1695	0,5958
2193	2,6186
2213	5,9646
2395	0,0078
60	0,009
94	0,011
91	0,011
2589	0,0136
114	0,0136
2435	0,0136
155	0,0162
2132	0,0214
233	0,0218
227	0,0218
244	0,022
235	0,022
238	0,022
283	0,026
294	0,026
288	0,026
291	0,026

Tabla 2-2 Valores de coeficientes menores, modelación red Villa Hermosa.

2.2.3 EMCALI

El análisis de pérdidas menores en EMCALI es hecho en función de las pérdidas por fricción, es decir son calculadas como un porcentaje de la perdidas mayores en un tramo determinado cuya longitud oscila entre 20-40km, adicionalmente en casos específicos son utilizados los valores de las tablas del **HANDBOOK OF HYDRAULICS** de Ernests F. Brater, Horace W King James E Lindel & C.Y.Weii a y con la metodología descrita a continuación.

2.2.3.1 Pérdidas debido a ampliaciones.

Utiliza la fórmula

$$h_2 = f \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g}$$

Ecuación 1-2

donde:

h_2 : Pérdidas en el accesorio.

f : Coeficiente empírico que depende del ángulo entre el eje y la pared de la tubería.

v_1 y v_2 : Velocidades de las tuberías más corta y más larga respectivamente.

θ	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°
f	0.033	0.036	0.039	0.042	0.046	0.050	0.055	0.066	0.078	0.090	0.100
θ	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	60°	75°	90°
f	0.16	0.31	0.40	0.49	0.55	0.60	0.64	0.67	0.72	0.72	0.67

Ilustración 2-4 Valores de f para el cálculo de las pérdidas menores en ampliaciones- Tomando del **HANDBOOK OF HYDRAULICS** de Ernests F. Brater, Horace W King James E Lindel & C.Y.Weii.

con el valor de f se leen los valores de K_m de las siguientes tablas.

TABLE 6.5 Values of K_2 for Determining Loss of Head Due to Sudden Enlargement in Pipes, from Formula $h_2 = K_2(V_1^2/2g)$

d_2/d_1^*	Velocity V_1 , m/s*											
	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	
1.2	0.11	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
1.4	0.26	0.26	0.24	0.23	0.23	0.22	0.22	0.22	0.21	0.21	0.21	0.21
1.6	0.40	0.39	0.36	0.35	0.35	0.34	0.33	0.33	0.32	0.32	0.32	0.32
1.8	0.51	0.49	0.46	0.45	0.44	0.43	0.42	0.42	0.41	0.41	0.41	0.41
2.0	0.60	0.58	0.54	0.52	0.52	0.51	0.50	0.50	0.49	0.48	0.48	0.48
2.5	0.74	0.72	0.67	0.65	0.64	0.63	0.62	0.62	0.61	0.60	0.59	0.59
3.0	0.84	0.80	0.75	0.73	0.71	0.70	0.69	0.68	0.67	0.67	0.66	0.66
4.0	0.93	0.89	0.83	0.80	0.79	0.77	0.76	0.75	0.74	0.74	0.73	0.73
5.0	0.97	0.93	0.87	0.84	0.83	0.81	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76	0.76
10.0	1.00	0.98	0.92	0.89	0.87	0.85	0.84	0.83	0.82	0.82	0.81	0.81
∞	1.00	1.00	0.94	0.91	0.89	0.87	0.86	0.85	0.84	0.83	0.82	0.82

* d_2/d_1 —ratio of diameter of larger pipe to diameter of smaller pipe; V_1 —velocity in smaller pipe.

Ilustración 2-5 Valores K_m para ampliaciones suaves en tuberías Tomando del *HANDBOOK OF HYDRAULICS* de Ernests F. Brater, Horace W King James E Lindel & C.Y.Wei.

TABLE 6.6 Values of K_2 for Determining Loss of Head Due to Gradual Enlargement in Pipes, from Formula $h_2 = K_2(V_1^2/2g)$

d_2/d_1^*	Angle of cone, deg*													
	2	4	6	8	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60
1.1	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.05	0.10	0.13	0.16	0.18	0.19	0.20	0.21	0.23
1.2	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.09	0.16	0.21	0.25	0.29	0.31	0.33	0.35	0.37
1.4	0.02	0.03	0.03	0.04	0.06	0.12	0.23	0.30	0.36	0.41	0.44	0.47	0.50	0.53
1.6	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07	0.14	0.26	0.35	0.42	0.47	0.51	0.54	0.57	0.61
1.8	0.03	0.04	0.04	0.05	0.07	0.15	0.28	0.37	0.44	0.50	0.54	0.58	0.61	0.65
2.0	0.03	0.04	0.04	0.05	0.07	0.16	0.29	0.38	0.46	0.52	0.56	0.60	0.63	0.68
2.5	0.03	0.04	0.04	0.05	0.08	0.16	0.30	0.39	0.48	0.54	0.58	0.62	0.65	0.70
3.0	0.03	0.04	0.04	0.05	0.08	0.16	0.31	0.40	0.48	0.55	0.59	0.63	0.66	0.71
∞	0.03	0.04	0.05	0.06	0.08	0.16	0.31	0.40	0.49	0.56	0.60	0.64	0.67	0.72

* d_2/d_1 —ratio of diameter of larger pipe to diameter of smaller pipe. Angle of cone is twice the angle between cone axis and its side.

Ilustración 2-6 Valores K_m para ampliaciones graduales en tuberías Tomando del *HANDBOOK OF HYDRAULICS* de Ernests F. Brater, Horace W King James E Lindel & C.Y.Wei.

TABLE 6.7 Values of K_3 for Determining Loss of Head Due to Sudden Contraction in Pipes, from Formula $h_3 = K_3(V_2^2/2g)$

d_2/d_1^*	Velocity V_2 , m/s										
	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
1.1	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
1.2	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0.10	0.10	0.10
1.4	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18	0.18	0.19	0.19	0.19	0.19
1.6	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.25	0.25	0.25	0.25	0.24
1.8	0.34	0.34	0.34	0.33	0.32	0.31	0.31	0.30	0.29	0.29	0.28
2.0	0.38	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34	0.33	0.33	0.32	0.31	0.30
2.2	0.40	0.40	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35	0.35	0.34	0.33	0.32
2.5	0.42	0.42	0.41	0.40	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34	0.33
3.0	0.44	0.44	0.43	0.42	0.41	0.40	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35
4.0	0.47	0.46	0.45	0.44	0.43	0.42	0.41	0.40	0.38	0.37	0.36
5.0	0.48	0.48	0.46	0.45	0.45	0.44	0.42	0.41	0.39	0.38	0.37
10.0	0.49	0.48	0.47	0.46	0.46	0.44	0.43	0.42	0.41	0.40	0.39
∞	0.49	0.49	0.47	0.47	0.46	0.45	0.44	0.43	0.42	0.41	0.40

* d_2/d_1 —ratio of diameter of larger pipe to diameter of smaller pipe; V_2 —velocity in smaller pipe.

Ilustración 2-7 Valores K_m para ampliaciones graduales en tuberías Tomando del *HANDBOOK OF HYDRAULICS* de Ernests F. Brater, Horace W King James E Lindel & C.Y.Wei.

2.2.3.2 Pérdidas debidas codos

La fórmula utilizada para el cálculo de pérdidas en codos es:

$$h_b = k_b \frac{v^2}{2g}$$

Ecuación 2-3

donde:

h_b : Pérdidas en el codo.

k_b : Relación entre el radio del codo y el diámetro de la tubería leída de la siguiente gráfica.

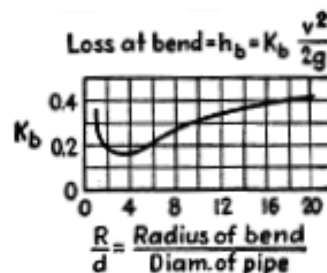


FIGURE 6.5 Energy loss in pipe bends.

Ilustración 2-8 Valores K_b para codos en tuberías Tomando del *HANDBOOK OF HYDRAULICS* de Ernests F. Brater, Horace W King James E Lindel & C.Y.Wei.

2.2.4 AAA BARRANQUILLA

Actualmente la empresa se encuentra implementando el modelo hidráulico de la red matriz y está utilizando los valores de las librerías *Epanet* y *Water Cad* y algunos contenidos en la literatura hidráulica y en los manuales de los fabricantes de los accesorios.

Minor Loss Coefficients - EPANET	
<i>Swing check valve, fully open</i>	0.5
<i>Gate valve, fully open</i>	0.2
<i>Short-radius elbow</i>	0.9
<i>Medium-radius elbow</i>	0.8
<i>Long-radius elbow</i>	0.6
<i>45 degree elbow</i>	0.4
<i>Closed return bend</i>	0.2
<i>Standard tee flow through run</i>	0.6
<i>Standard tee flow through branch</i>	0.8
<i>Square entrance</i>	0.5

Tabla 2-3 Valores de K_m incluidos en la librería de Epanet.

<i>Typical Fitting K Coefficients</i>			
Fitting	K Value	Fitting	K Value
Pipe Entrance		90° Smooth Bend	
Bellmouth	0.03-0.05	Bend Radius / D = 4	0.16-0.18
Rounded	0.12-0.25	Bend Radius / D = 2	0.19-0.25
Sharp-Edged	0.50	Bend Radius / D = 1	0.35-0.40
Projecting	0.80	Mitered Bend	
Contraction— Sudden		q = 15°	0.05
D ₂ /D ₁ = 0.80	0.18	q = 30°	0.10
D ₂ /D ₁ = 0.50	0.37	q = 45°	0.20
D ₂ /D ₁ = 0.20	0.49	q = 60°	0.35
Contraction— Conical		q = 90°	0.80
D ₂ /D ₁ = 0.80	0.05	Tee	
D ₂ /D ₁ = 0.50	0.07	Line Flow	0.30-0.40
D ₂ /D ₁ = 0.20	0.08	Branch Flow	0.75-1.80
Expansion— Sudden		Cross	
D ₂ /D ₁ = 0.80	0.16	Line Flow	0.50
D ₂ /D ₁ = 0.50	0.57	Branch Flow	0.75
D ₂ /D ₁ = 0.20	0.92	45° Wye	
Expansion— Conical		Line Flow	0.30
D ₂ /D ₁ = 0.80	0.03	Branch Flow	0.50
D ₂ /D ₁ = 0.50	0.08		
D ₂ /D ₁ = 0.20	0.13		

Tabla 2-4 Valores de Km incluidos en la librería de Water Cad.

2.2.5 AGUAS DE MANIZALES

Debido a los acontecimientos en la ciudad de Manizales el pasado 5 de Noviembre en el barrio Cervantes ha sido complicado el contacto con los ingenieros encargados del manejo la información técnica.

3. Generalidades de los fabricantes de accesorios para redes de acueducto en Colombia.

Cada vez más los fabricantes de accesorios para tuberías de acueducto en Colombia son conscientes de la necesidad de implementar líneas de investigación que permitan establecer las características hidráulicas de sus productos; es por eso que algunas de las principales empresas de la mano con universidades han desarrollado experimentos para establecer los valores de los coeficientes de pérdidas menores de accesorios para tuberías de acueducto; es el caso de PAVCO y la Universidad de Los Andes en su cátedra PAVCO. Este documento recopila la información técnica existente y la metodología implementada para llegar a ella por algunos de los fabricantes de accesorios para tuberías de acueducto.

3.1 PAVCO.

Esta multinacional dedicada a la fabricación y comercialización de tuberías y accesorios de PVC ha desarrollado varios estudios y ensayos de la mano con el **CIACUA** de la Universidad de Los Andes, en su cátedra PAVCO para determinar de forma experimental los valores de los coeficientes K_m de sus accesorios de diámetros entre 2 y 8”; este documento analizará los resultados obtenidos en diámetros de 3” en adelante

3.1.1. Descripción de la pruebas

Fueron construidos modelos físicos que interconectaban dos tanques con tuberías de diferentes diámetros y unidas con accesorios suministrados por PAVCO, se armaron diferentes circuitos regulados con válvulas; se midieron los caudales con el uso de vertederos triangulares de cresta de 60° provistos de agujas limnimétricas antes de llegar a los tanques; para la medición de la presión se fabricaron piezómetros de manguera de 5mm de diámetro conectados a la entrada y a la salida de cada accesorio. Para la medición de las presiones se tomaron las lecturas a la entrada y a la salida de cada accesorio.

IMÁGENES DE LOS MODELOS



Figura 2-3. Válvulas para direccionar el flujo (Usadas para probar la Tee en flujo recto y flujo lateral)



Figura 2-4. Tapones usados en el modelo 2 para probar la Tee en flujo lateral y flujo recto

Imagen 3-1 Tomado de Cátedra PAVCO Determinación experimental de los Coeficientes de pérdidas Menores K_m en accesorios de PVC 4, 6, 8", Informe Final .Junio 2010.

3.1.2. Determinación del coeficiente de pérdidas menores.

Las pérdidas de energía en cada accesorio fueron calculadas a partir de la ecuación de *Bernoulli* según la cual :

$$\frac{P_1}{\rho g} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\rho g} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + h_m$$

Ecuación 3-1

Agrupando los dos primeros términos, dando lugar a la presión piezométrica que es la leída en el tablero de medición se obtiene:

$$P_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{v_2^2}{2g} + h_m$$

Ecuación 3-2

La velocidad media se calculó como el caudal leído en los vertederos dividido entre el área interna de la tubería.

$$v = \frac{Q}{\pi \frac{d^2}{4}}$$

Ecuación 3-3

Debido que se tenían accesorios donde no había cambio de diámetro ni de caudal las velocidades antes y después del accesorio eran iguales. Por esta razón los términos de altura de velocidad se cancelan y las pérdidas se calcularon como la diferencia entre las lecturas de los piezómetros antes y después de cada accesorio.

$$h_m = P_i^* - P_{i+1}$$

Ecuación 3-4

3.1.2.1 Resultados Experimentales

A continuación se presentan los resultados que fueron obtenidos para accesorios de la red BIAXIAL de 6".

Codo Horizontal 4"

Accesorio	Promedio Depurado
Codo	0.586

Tabla 3-1 K_m Experimental codo 4".

Tee Perpendicular 4"

Accesorio	Promedio Depurado
1.264	0.178

Tabla 3-2 K_m Experimental Tee perpendicular 4".

Tee Recta 4"

Accesorio	Promedio Depurado
Unión	0.030

Tabla 3-3 K_m Experimental Tee recta 4".

Unión 4"

Accesorio	Promedio Depurado
Unión	0.244

Tabla 3-3 K_m Experimental unión 4".

Unión de reparación 4"

Accesorio	Promedio Depurado
Unión de reparación	0.231

Tabla 3-5 K_m Unión de reparación 4".

Uniones Campana Espigo Biaxial 6"

Accesorio	Promedio Depurado
Unión	0.178

Tabla 3-6 K_m Unión campana x espigo 4".

Codos Horizontales 6"

Accesorio	Promedio Depurado
Codo	0.550

Tabla 3-7 K_m Codo Horizontal 6".

Unión 8"

Accesorio	Promedio Depurado
Unión	0.9

Tabla 3-8 K_m Unión 8".

3.2 American Pipe.

Esta compañía se encuentra en Colombia desde el año 1955 como sucursal de American Pipe Cosntruction, dedicada a la fabricación de tuberías de concreto y de cilindro de acero-CCP para acueducto y alcantarillado entre otras líneas de producción.

Por ser una compañía de origen estadounidense se rige por las normas y los manuales de la AWWA; para el diseño hidráulico utilizan los manuales *M9* y *M11* como prácticas de buena ingeniería, sin ser de obligatorio cumplimiento

3.2.1 Metodología de cálculo de pérdidas menores manual M9 AWWA.

La pérdidas menores son causadas por turbulencias por cambios en le geometría del flujo, generalmente son expresadas en función de la altura de velocidad y se presentan en entradas, salidas, contracciones, ampliaciones, codos y otros accesorios. En tramos largos de tubería las pérdidas menores son pequeñas comparadas con las pérdidas por fricción y pueden ser despreciadas, sin embargo en tramos cortos éstas pueden ser significativas. La fórmula para su cálculo es:

$$h_L = C_L \frac{v^2}{2g}$$

Ecuación 3-5

donde:

- h_L : Pérdidas de energía (ft).
- C_L : Coeficiente adimensional.
- v : Velocidad (ft/s).

los coeficientes C_L son tomas de siguiente tabla

Loss Coefficient C_L for Elbows

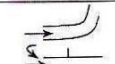



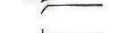



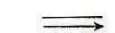

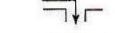

Flow Configurations		C_L
Elbow		See figure above
Reentrant Entrance		0.80
Square-Edged Entrance		0.50
Slightly Rounded Entrance		0.23
Well-Rounded Entrance		0.04
Flow Into Reservoir		1.00
Reducer With $\alpha \leq 15^\circ$		0.04
Enlarger:		
$\beta = 10^\circ$		0.20
$\beta = 20^\circ$		0.40
$\beta = 30^\circ$		0.70
Tee, Through Run		0.60
Tee, Through Side Outlet		1.80
Tee Into Side Outlet		1.50
45° Wye		1.30
Gate Valve, Fully Open		0.20
Swing Check Valve, Fully Open		2.50
Butterfly Valve, Fully Open		0.25

Imagen 3-2 Tomada del AWWA Manual M9.

Los valores de lo C_L para los codos son tomados con la misma metodología del HANDBOOK OF HYDRAULICS de Ernets F. Brater, Horace W King James E Lindel & C.Y.Weí de la siguiente gráfica.

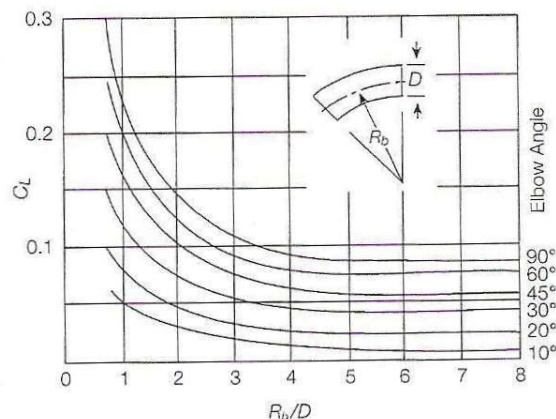


Imagen 3-3 Tomada del AWWA Manual M9.

3.3 FLOWTITE

Esta compañía se dedica a la fabricación y comercialización de tuberías y accesorios de GRP con un proceso de extrusión continuo.

En la nota técnica TN 2006-114 se expone la metodología para el cálculo de las pérdidas de energía en accesorios.

Todas las pérdidas son calculadas con la fórmula:

$$\Delta H = K_b \frac{v^2}{2g}$$

Ecuación 3-6

donde:

$$K_b = K_b^* \times C_{Re} \times C_O \times C_f$$

Ecuación 3-7

donde K_b^* el Coeficiente básico de pérdidas para números de Reynolds de 10^6 .
 C_{Re} Factor de corrección para el número de Reynolds.
 C_O Factor de corrección para la longitud de salida.
 C_f Corrección para las pérdidas por fricción..

También son consideradas pérdidas debido a la contracción laminar dentro de la tubería
Todos los coeficientes de pérdidas son calculados para las siguientes condiciones:

Velocidad del flujo	3 m/s
Números de Reynolds a	15°C
Viscosidad	$1.14 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
Rugosidad absoluta	0.029mm

Factor de corrección del Número de Reynolds C_{Re}

El factor de corrección para el número de Reynolds es leído del siguiente diagrama, para diámetros entre DN300 y superiores DN2400 con números de Reynolds entre 0.18×10^6 y 6.3×10^6 . Para todos estos casos el resultado es

$$C_{Re} = 1.0$$

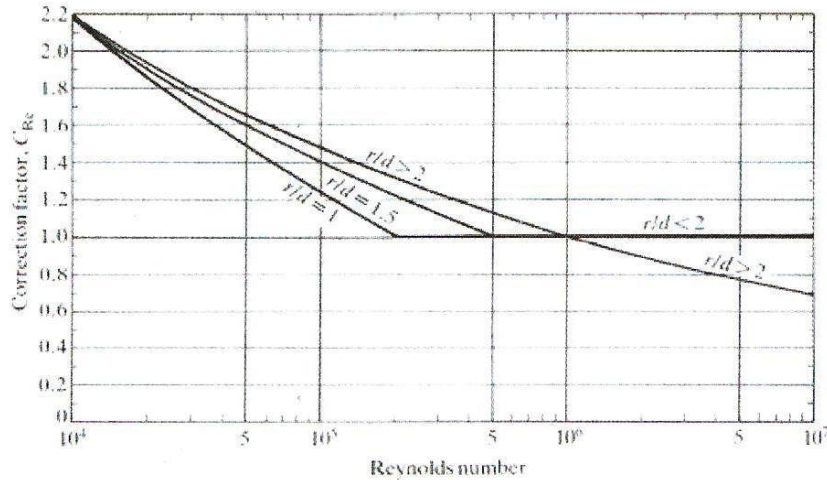


Ilustración 3-4 Factor de corrección para el número de Reynolds Reproducido con autorización de BHR Group. Tomada Flowtite Technical Note TN 2006-114.

Factor de corrección para las pérdidas por fricción C_f

El factor de corrección por fricción depende del número de Reynolds que a su vez depende del diámetro. Para las condiciones iniciales se tiene y utilizando el diagrama de Moody se tiene:

$$C_f = f_{rough}/f_{smooth}$$

Ecuación 3-8

En la siguiente tabla se muestran los valores de C_f para diferentes rugosidades, diámetros y números de Reynolds.

Diámetro (mm)	300	600	900	1200	1800	2400
Rugosidad relativa 10^{-5}	9.7	4.8	3.2	2.4	1.6	1.2
Numero de Reynolds	0.79	1.58	2.37	3.16	4.74	6.32
f_{rough}	0.0138	0.0119	0.0113	0.0108	0.0098	0.0095
F_{smooth}	0.012	0.0105	0.0101	0.0097	0.0090	0.0087
C_f	1.15	1.13	1.12	1.10	1.09	1.09

Tabla 3-9 Factor de corrección para la longitud de salida C_o .

Para longitudes de salida superiores a 30 el diámetro el factor de corrección es

$$C_0 = 1.0$$

Para otros valores se utiliza el siguiente diagrama.

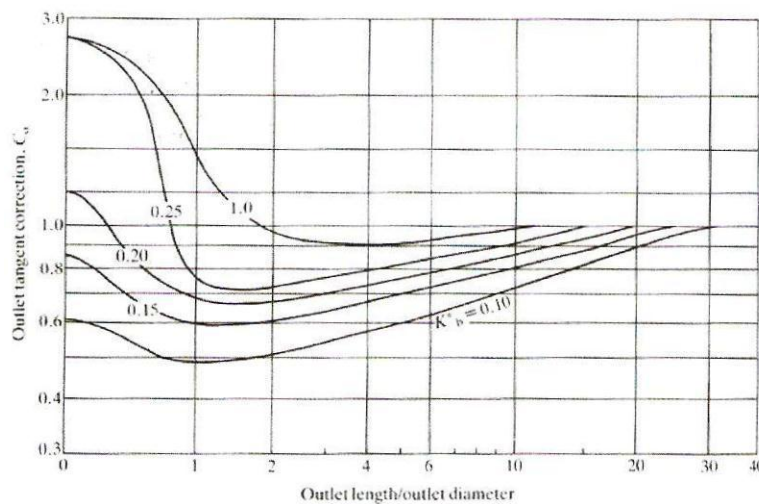


Ilustración 1-5 Factor de corrección para salidas Reproducido con autorización de BHR Group. Tomada Flowtite Technical Note TN 2006-114.

Corrección por contracción y expansión laminar interna

Las pérdidas por contracción y expansión laminar dentro de la tubería son calculadas con la fórmula:

$$K_{VC} = \left(\frac{1 - A_c}{A_p} \right)^2$$

Ecuación 3-9

donde:

A_p Área de la tubería.

A_c Área mojada de la tubería.

A continuación se muestran los valores de K_{VC} para algunos diámetros:

Diámetro	300	600	900	1200	1800
Altura de lámina	0	10	16	21	31
A_C/A_P	0	0.93	0.93	0.93	0.93
K_{VC}	0	0.005	0.005	0.005	0.002

Tabla 3-10 Valores K_{VC} .

Con este último coeficiente sumado a los anteriormente se calculan las pérdidas totales.

3.3.1 Pérdidas en Curvas sencillas

El coeficiente de pérdidas menores para curvas sencillas K_b^* se lee de la siguiente gráfica:

Single Mitre Bends 0 – 30°

Loss factors for single mitre bends are based on the following diagram (from /1/):

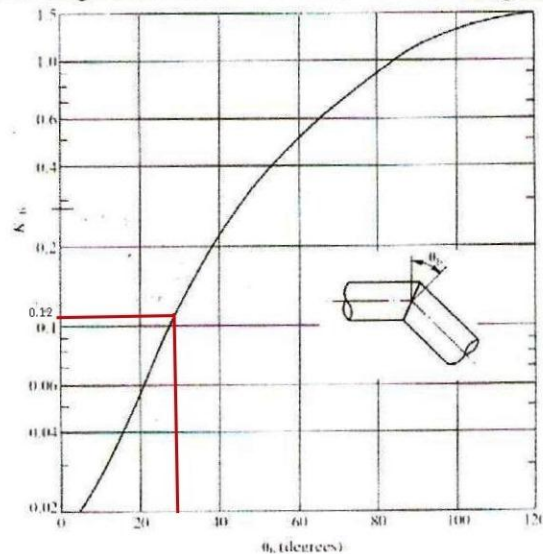


Ilustración 3-6 Tomada Flowtite Technical Note TN 2006-114.

Ejemplo:

Para una curva de 30° DN600

$$\begin{aligned}
 K_b &= K_b^* \times C_f \times C_{Re} \times C_O + K_{Lam} \\
 &= 0.12 \times 1.13 \times 1.0 \times 1.0 + 0.01 \\
 &= 0.15
 \end{aligned}$$

Diámetro	K_b^*	300	600	900	1200	1800	2400
K_{Lam}		0.0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
C_f		1.15	1.13	1.12	1.10	1.09	1.09
11.25°	0.029	0.033	0.043	0.043	0.042	0.042	0.042
15.0°	0.039	0.044	0.054	0.054	0.053	0.053	0.053
22.5°	0.07	0.081	0.089	0.088	0.087	0.086	0.086
30°	0.12	0.14	0.15	0.14	0.14	0.14	0.14

Tabla 3-11 Valores de pérdidas por accesorios para curva sencillas.

3.3.2 Pérdidas en curvas dobles de 45 y 60°

Las curvas dobles son supuestas como dos curvas sencillas unidas. Con la misma metodología se calculan las pérdidas para las curvas dobles de 45 y 60°.

Diámetro	K_b^*	300	600	900	1200	1800	2400
K_{Lam}		0.0	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01
C_f		1.15	1.13	1.12	1.10	1.09	1.09
11.25°	0.07	0.12	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
15.0°	0.12	0.23	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24

Tabla 3-12 valores de pérdidas por accesorios para curva sencillas dobles de 45 y 60°.

3.3.3. Pérdidas en curvas triples de 61 y 90°

Los coeficientes K_b^* son leídos de la siguiente gráfica:

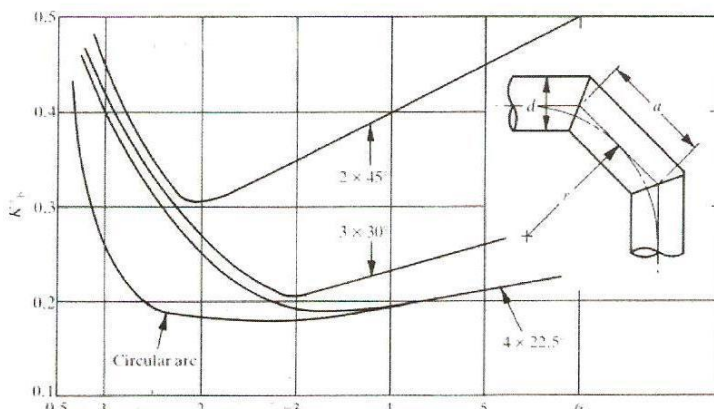


Ilustración 3-7 Tomada Flowtite Technical Note TN 2006-114.

La siguiente tabla muestra valores de pérdidas para curvas triples de diferentes diámetros:

Diámetro	K_b^*	300	600	900	1200	1800	2400
K_{Lam}		0.0	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
C_f		1.15	1.13	1.12	1.10	1.09	1.09
90°	0.07	0.38	0.40	0.40	0.39	0.39	0.39

Tabla 3-13 Pérdidas para curvas triples

3.3.4 Pérdidas en reducciones

Los coeficientes son leídos de la siguiente gráfica basada en el flujo aguas debajo de la tubería.

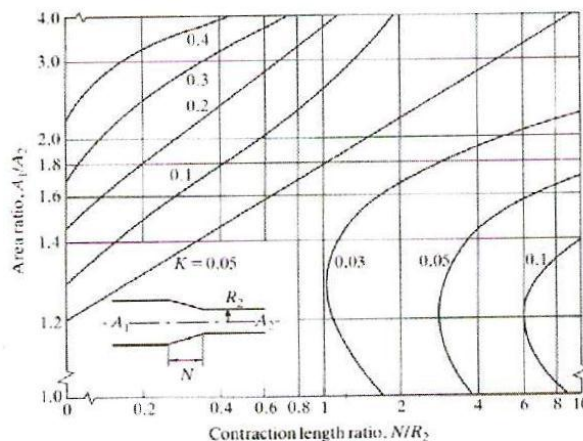


Ilustración 3-8 Tomada Flowtite Technical Note TN 2006-114.

Para las reducciones de Flowtite la longitud específica es:

$$N = 2.5 \times (D_L - D_S)$$

De la gráfica y para una reducción DN1800-1600 las pérdidas el coeficiente de pérdidas menores es:

$$\begin{aligned}
 K_b &= K_b^* \times C_f \times C_{Re} \times C_O + K_{Lam} \\
 &= 0.05 \times 1.09 \times 1.0 \times 1.0 + 0.02 \\
 &= 0.075
 \end{aligned}$$

4. Resultados de la investigación

Se recopiló la información acerca de las metodologías y los valores de los coeficientes de pérdidas de energía producidas por accesorios K_m , utilizados por las empresas de acueducto de algunas de las principales ciudades del país, de igual forma se recopilaron datos de los fabricantes.

Se describió para cada caso el desarrollo de las investigaciones si las hubo, y en otros casos la forma como se determinan los coeficientes de pérdidas menores.

La información fue analizada y clasificada de acuerdo a los procesos llevados a cabo bien fueran investigaciones o cálculos matemáticos.

4.1 Análisis comparativo

Los resultados obtenidos en forma experimental son muy similares a los reportados por la literatura hidráulica.

Debido al nivel de experimentación se hace necesario estudiar detalladamente para llegar a valores con un mayor nivel de confianza.

La siguiente tabla presenta una relación de los valores experimentales y teóricos, algunos incluidos en textos de hidráulica y otros en las librerías de programas computacionales.

ANÁLISIS COMPARATIVO VALORES TEÓRICOS Y PRÁCTICOS K_M

Accesorio	Empresa	Valor teórico	Empresas de Acueducto				Fabricantes		
			EAAB	EPM	EMCALI	AAA	PAVCO	AMERICAN PIPE	FLOWTITE
Codo 90° Horizontal		0,90	0,90	N,R	1,00	0,80	1,10	0,95	0,12
Tee paso directo		0,30	0,30	N,R	N,R	0,60	0,25	0,60	N,R
Tee paso lateral		1,8	1,80	N,R	N,R	0,80	1,8	1,80	N,R
Union		0,3	0,30	N,R	N,R	N,R	0,9	N,R	N,R

Valor teórico

Valor práctico

NR: No Reporta

5. Conclusiones

No existe una metodología establecida a nivel nacional que rijan la forma como se deben determinar los coeficientes de pérdidas menores tanto para las empresas de acueducto como para los fabricantes.

Existe un nivel muy bajo de investigación por parte de los fabricantes de accesorios para tuberías de acueducto de grandes diámetros en la determinación de coeficientes de pérdidas de energía.

La metodología utilizada en mayoría de las empresas de acueducto y por los fabricantes de accesorios del país es la misma que se utilizaba hace más de 20 años (valores teóricos, longitudes equivalentes, etc.).

No se han tenido en cuenta los avances tecnológicos en el desarrollo de nuevos materiales para la determinación de los coeficientes de pérdidas menores.

La baja variabilidad de los datos obtenidos experimentalmente permite deducir que el K_m es constante y los valores son muy similares a los encontrados en la literatura hidráulica.

6. Bibliografía

Brater Ernests F., King Horace W., Lindel James E., & Wei C.Y.(1966) *Handbook of Hydraulics* , Boston Massachusetts.

AWWA (2010), Manual M9 Chapter 3.

FLOWTITE (2006), Technical Note TN 2006-114.

Saldarriaga Juan. (2007) *Hidráulica de Tuberías Abastecimiento de Agua, Redes, Riegos*, Bogotá Colombia.