



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN
INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERIA

ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL EFECTO DE
ACONDICIONADORES DE FLUJO EN LA MEDICIÓN

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA

INGENIERÍA - HIDRÁULICA

P R E S E N T A :

ELIZABETH PAULINE CARREÑO
ALVARADO



TUTOR:

M.I. EDMUNDO PEDROZA GONZÁLEZ

2008

JURADO ASIGNADO:

Presidente: M.I. CARLOS GUTIÉRREZ OJEDA
Secretario: Dr. ALDO IVÁN RAMIREZ OROZCO
Vocal: M.I. EDMUNDO PEDROZA GONZÁLEZ
1^{er}. Suplente: Dr. VÍCTOR HUGO ALCOCER YAMANAKA
2^{do}. Suplente: Dra. MARÍA JOSELINA ESPINOSA AYALA

La experimentación se llevó a cabo en el Laboratorio del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua con dirección: Paseo Cuahunáhuac 8532, Progreso, Jiutepec; Morelos.

IMTALab

TUTOR DE TESIS:

M.I. EDMUNDO PEDROZA GONZÁLEZ

FIRMA

Reconocimientos

A los encargados del laboratorio de hidráulica “IMTALab” por permitir el uso de las instalaciones y el apoyo brindado por el personal que allí labora.

RESUMEN

Actualmente se realizan importantes esfuerzos para medir el agua extraída o suministrada en el sector agrícola, esto con objeto de cumplir con la ley de aguas y lograr así un recurso sustentable; para ello se debe contar con un buen medidor, además de una colocación adecuada de este, que cumpla con los requerimientos que la marca recomienda. Siendo un requerimiento general la existencia de tramo recto antes y después del medidor, así como evitar colocar piezas especiales cerca del medidor (como lo son: válvulas, codos, ect.) para que el flujo lleve un perfil alineado con la tubería, cosa que en ocasiones dada la instalación del tren de descarga no es posible cumplir, esto principalmente por razones de espacio, estas distribuciones ajustadas provocan desalineación del flujo con la tubería generando así errores en la medición. Para disminuir dichos errores se ha propuesto el uso de acondicionadores de flujo.

Los acondicionadores de flujo tienen por objeto hacer que el agua fluya de forma paralela a la tubería, mientras algunos de ellos redistribuyen también el perfil de velocidades disminuyendo así errores en la medición, con el presente trabajo se busca mostrar la influencia de los acondicionadores de flujo en la medición, mostrando con ello la posible eficiencia o deficiencia al ser colocados en trenes de descarga de pozos agrícolas.

ABSTRACT

Cuerrently an important effort in water measurement, water extracted or suministred in agricultural denomination is made. The objective is to perform the law and make from water a sustentable researchment, for this is necessary a good flowmeter besides an installation as the manufacture directions, a general requirement is about put straight length of pipe after and before of the flowmeter, another one avoids the special devices near it (as: valves, elbows etc.) instead made water flow with pipe alignment, this, most of the times is not possible because of the water well discharge configuration, principally the limited space, this adjust configuration makes that water doesn't flow with pipe alignment, generating measurement mistakes. In order to avoid this kind of mistakes flow conditioners have been proposed.

The flow conditioners have the purpose of remove swirl and made water flow with pipe alignment, someones in addition are designed to redistribute the velocity profile, decreasing measurement mistakes, the present work have like purpose to show the influence of flow conditioners in water measurement, showing with it how efficient or inefficient can been flow conditioners putting in water wells discharge configurations.

Contenido

RESUMEN	¡Error! Marcador no definido.
ABSTRACT	¡Error! Marcador no definido.
Contenido	2
Índice de figuras.....	5
Índice de tablas.....	10
1. INTRODUCCIÓN	12
1.1. Objetivos de la medición en pozos agrícolas	12
1.1.1. Cobro por servicio del agua.....	12
1.1.2. Ahorro de energía eléctrica al evitar el abatimiento de los acuíferos.....	12
1.1.3. El ejercicio de la autoridad en la entrega del agua	12
1.1.4. Impulso a los Bancos de Agua	13
1.1.5. Control de la sobreexplotación de los acuíferos.....	13
1.2. La obligatoriedad de la medición de pozos	14
2. ANTECEDENTES	17
2.1. Programa gubernamental para el mejoramiento de la medición	17
2.1.1. Propuesta de uso de acondicionadores en la medición	17
2.2. Uso de los acondicionadores de flujo en gas.....	19
2.3. Medidores de uso frecuente en pozos agrícolas	20
2.3.1. Elementos primarios en medidores de propela, turbina y electromagnéticos.....	20
2.3.2. Transmisión, registro y sujeción de los medidores.....	21
2.4. Comportamiento de medidores ante la ausencia e insuficiencia de tramos rectos	24
2.4.1. Los experimentos de Hanson.....	24
2.4.2. Experimentos en medidores de turbina, propela y electromagnético en la Univesidad de Guanajuato.....	25
2.4.3. Experimentos de Hanson con orientadores de flujo	29
2.4.4. Conclusión de los experimentos de Hanson y de la Universidad de Guanajuato..	30
3. PLANTEAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA Y OBJETIVO DE LA TESIS	31
3.1. Problemática	31
3.2. Objetivo de la tesis.....	32
3.2.1. Enfoque y alcances del trabajo	33
4. ORIENTADORES Y ACONDICIONADORES DE FLUJO.....	34
4.1. Diferencia entre un orientador y un acondicionador de flujo.....	34
4.1.1. Ejemplos de orientadores y acondicionadores de flujo.....	34
4.2. Orientadores de flujo.....	35
4.2.1. Orientador de tubos.....	35
4.2.2. Orientador AMCA.....	36
4.2.3. Orientador Étoile.....	36
4.2.4. Orientador de cruz	37
4.3. Acondicionadores de flujo.....	37
4.3.1. Acondicionador Gallagher	37
4.3.2. Diseño NOVA del acondicionador de flujo placa perforada K-Lab	39
4.3.3. Acondicionador de flujo NEL (Spearman)	40
4.3.4. Acondicionador Sprenkle	40
4.3.5. Acondicionador de flujo Zanker.....	41
4.3.6. Acondicionador de flujo placa Zanker.....	42
4.4. Diseño y construcción de los orientadores y acondicionadores	43

5.	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	47
5.1.	Instalación Experimental.....	47
5.2.	Diseño de los experimentos.....	53
6.	RESULTADOS DE LAS PRUEBAS.....	55
6.1.	Tramo recto sin orientadores.....	55
6.1.1.	Prueba 1. Tramo recto de diez diámetros aguas arriba del medidor.....	55
6.1.2.	Prueba 2. Tramo recto de dos diámetros aguas arriba del medidor.....	58
6.1.3.	Prueba 3. Medidor sin tramos rectos aguas arriba.....	62
6.1.4.	Prueba 4. Verificación de histéresis.....	64
6.1.5.	Prueba 5. Medidor sin tramo recto y dos codos aguas arriba del medidor.....	67
6.1.6.	Prueba 6. Medidor sin tramo recto aguas arriba; previa a las pruebas con acondicionadores de flujo.....	69
6.1.7.	Prueba 18. Medidor sin tramo recto aguas arriba; posterior a las pruebas con acondicionadores de flujo.....	70
6.2.	Pruebas con orientadores y acondicionadores.....	73
6.2.1.	Prueba 7. Orientador de tubos.....	73
6.2.2.	Prueba 8. Acondicionador de flujo Sprenkle.....	75
6.2.3.	Prueba 9. Orientador Étoile.....	78
6.2.4.	Prueba 10. Acondicionador de flujo Gallagher; con dispositivo anti-turbulencia de tubos.....	81
6.2.5.	Prueba 11. Orientador de cruz.....	84
6.2.6.	Prueba 12. Acondicionador de flujo placa NEL (Spearman).....	87
6.2.7.	Prueba 13. Diseño NOVA del acondicionador de flujo placa perforada K-Lab.....	91
6.2.8.	Prueba 14. Orientador AMCA.....	94
6.2.9.	Prueba 15. Acondicionador de flujo placa Zanker.....	97
6.2.10.	Prueba 16. Acondicionador de flujo Gallagher; con dispositivo anti-turbulencia de aspas.....	100
6.2.11.	Prueba 17. Acondicionador de flujo Zanker.....	103
7.	ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS.....	107
7.1.	Comparación entre tramos rectos.....	107
7.1.1.	Comparación entre diez, dos y ningún diámetro de tramo recto antes del medidor.....	107
7.1.2.	Comparación sin tramo recto, uno y dos codos antes del medidor.....	108
7.1.3.	Comparación del medidor antes y después de las pruebas.....	109
7.2.	Comparación entre acondicionadores de carrete y dos diámetros de tramo recto.....	109
7.2.1.	Comparación entre acondicionador de tubos vs tramo recto de dos diámetros ..	109
7.2.2.	Comparación entre orientador Étoile vs tramo recto de dos diámetros.....	110
7.2.3.	Comparación entre acondicionador Sprenkle vs tramo recto de dos diámetros..	111
7.2.4.	Comparación entre orientador de cruz vs tramo recto de dos diámetros.....	111
7.2.5.	Comparación entre orientador AMCA vs tramo recto de dos diámetros.....	112
7.2.6.	Comparación entre acondicionador Gallagher (aspas) vs tramo recto de dos diámetros.....	112
7.2.7.	Comparación entre acondicionador Zanker vs tramo recto de dos diámetros ...	113
7.2.8.	Comparación entre los acondicionadores de carrete.....	114
7.3.	Comparación entre acondicionadores de placa y ausencia de tramo recto aguas arriba del medidor.....	115
7.3.1.	Comparación entre acondicionador de placa NEL (Spearman) vs ausencia de tramo recto.....	115

7.3.2.	Comparación entre el diseño NOVA de la placa Acondicionadora K-Lab vs ausencia de tramo recto.....	116
7.3.3.	Comparación entre el acondicionador de placa Zanker vs ausencia de tramo recto.....	116
7.3.4.	Comparación entre los acondicionadores de placa.....	117
7.4.	Acondicionador de flujo AMCA, la mejor opción.....	118
8.	CONCLUSIONES.....	120
9.	ANEXOS.....	123
9.1.	Análisis dimensional.....	124
9.2.	Esquemas de construcción de los acondicionadores de flujo.....	127
10.	REFERENCIAS.....	136

Índice de figuras

Figura 1.1 Aumento del número de acuíferos sobreexplotados en los últimos 30 años.....	13
Figura 2.1 Tres casos de tramo recto insuficiente para la correcta colocación de un medidor.	18
Figura 2.2 Localización del perfilador.....	18
Figura 2.3 Acondicionador de flujo CPA 50E.	19
Figura 2.4 Elementos principales de un medidor.	20
Figura 2.5 Clasificación simplificada de elementos primarios de medidores en conductos presurizados.....	20
Figura 2.6 Diferentes propelas y turbinas.	21
Figura 2.7 Transmisión y otras partes de un medidor de propela (Cortesía de Medidores Azteca).	22
Figura 2.8 Registros mecánicos.	22
Figura 2.9 Registro electrónico de un medidor de propela.	23
Figura 2.10 Medidores de turbina, FMT-Dorot y Arad.	23
Figura 2.11 Diferentes tipos de sujeción en medidores de propela.	23
Figura 2.12 Esquema del módulo experimental de la Universidad de Guanajuato.....	26
Figura 2.13 Vista del tramo de pruebas.....	26
Figura 2.14 Condición inicial, sin tramo recto aguas arriba y tramo recto de ocho diámetros aguas abajo del medidor.....	27
Figura 2.15 Condición final, tramo recto de ocho diámetros aguas arriba y sin tramo recto aguas abajo del medidor.....	27
Figura 2.16 Desempeño de un medidor de turbina con diferentes tramos rectos.....	28
Figura 2.17 Desempeño de un medidor de propela con diferentes tramos rectos.....	29
Figura 2.18 Desempeño de un medidor electromagnético con diferentes tramos rectos.....	29
Figura 4.1 Ejemplos del Orientador de tubos.	35
Figura 4.2 Orientador AMCA.	36
Figura 4.3 Orientador de flujo Étoile.	37
Figura 4.4 Orientador de cruz.....	37
Figura 4.5 Arreglo típico del acondicionador de flujo Gallagher.....	38
Figura 4.6 Componentes de un acondicionador de flujo Gallagher (vista frontal).....	38
Figura 4.7 El diseño NOVA del acondicionador de flujo placa K-Lab.....	40
Figura 4.8 Acondicionador de flujo NEL (Spearman).....	40

Figura 4.9 Acondicionador Sprenkle.	41
Figura 4.10 Acondicionador de flujo Zanker.	41
Figura 4.11 Acondicionador de flujo placa Zanker.	43
Figura 4.12 De tubos.	44
Figura 4.13 AMCA.	44
Figura 4.14 Étoile.	44
Figura 4.15 De cruz.	44
Figura 4.16 Gallagher (aspas).	45
Figura 4.17 Gallagher (tubos).	45
Figura 4.18 Acondicionadores de Placa.	45
Figura 4.19 Sprenkle.	45
Figura 4.20 Zanker.	46
Figura 5.1 Esquema del tren de descarga; detalle planta y alzado.	47
Figura 5.2 Dificultades para armado del tren de descarga a la salida del suministro de agua.	48
Figura 5.3 Croquis esquemático de la adaptación del modelo.	48
Figura 5.4 Fotografía de la vista panorámica del modelo.	49
Figura 5.5 Medidor y sus características.	49
Figura 5.6 Estructura aforadora.	50
Figura 5.7 Tanque volumétrico con el cual se calibró el medidor.	51
Figura 5.8 Piedras y tubos de PVC a manera de estabilizador y orientador de flujo en el canal de retorno.	52
Figura 6.1 Distribución del tren de descarga con un tramo recto de diez diámetros aguas arriba.	55
Figura 6.2 Fotografía del tren de descarga terminado.	55
Figura 6.3 Gráfica de errores, colocado un tramo recto de diez diámetros antes del medidor.	58
Figura 6.4 Distribución del tren de descarga con un tramo recto de dos diámetros aguas arriba.	58
Figura 6.5 Fotografía del armado del tren de descarga.	59
Figura 6.6 Gráfica de errores, colocado un tramo recto de dos diámetros antes del medidor.	61
Figura 6.7 Distribución del tren de descarga sin tramo recto, a la salida del suministro de agua.	62
Figura 6.8 Gráfica de errores, con ausencia de tramo recto y un codo de 90° antes del medidor.	64

Figura 6.9 Adaptación del tren de descarga, agregando un tramo recto de diez diámetros y dos codos 90° para facilidad de maniobra.	65
Figura 6.10 Verificación de histéresis.....	66
Figura 6.11 Distribución del tren de descarga sin tramo recto colocado y dos codos de 90° antes del medidor.....	67
Figura 6.12 Gráfico de errores sin tramo recto y dos codos de 90° antes del medidor.	68
Figura 6.13 Distribución del tren de descarga sin tramo recto y dos codos de 90° antes del medidor.	69
Figura 6.14 Gráfica de errores sin tramo recto y colocados dos codos de 90° antes del medidor. Tomada como condición inicial del medidor.	70
Figura 6.15 Distribución del tren de descarga sin tramo recto y dos codos de 90° antes del medidor.	71
Figura 6.16 Gráfica de errores sin tramo y colocados dos codos de 90° antes del medidor. Tomada como la condición final del medidor.....	72
Figura 6.17 Gráfica de la pérdida de presión ocasionada por el medidor.....	73
Figura 6.18 Distribución del tren de descarga, colocado el orientador de flujo de tubos.....	73
Figura 6.19 Orientador de tubos.....	74
Figura 6.20 Gráfica de errores colocado el orientador de tubos antes del medidor y después de los codos de 90°.	75
Figura 6.21 Acondicionador Sprenkle.	76
Figura 6.22 Distribución del tren de descarga, colocado el acondicionador de flujo Sprenkle. ...	76
Figura 6.23 Gráfica de errores colocado el acondicionador de flujo Sprenkle.	77
Figura 6.24 Gráfica de pérdida de presión, colocado el acondicionador de flujo Sprenkle.....	78
Figura 6.25 Orientador Étoile.....	78
Figura 6.26 Croquis de la distribución del tren de descarga, colocado el orientador Étoile.....	79
Figura 6.27 Fotografía del tren de descarga con el orientador Étoile.....	79
Figura 6.28 Gráfica de errores, colocado el orientador Étoile.....	80
Figura 6.29 Gráfica de pérdida de presión, colocado el orientador Étoile.....	81
Figura 6.30 Acondicionador de flujo Gallagher con tubos en su interior.....	81
Figura 6.31 Distribución del tren de descarga, colocado el acondicionador de flujo Gallagher...	82
Figura 6.32 Gráfica de errores, colocado el acondicionador de flujo Gallagher con tubos en su interior.	83
Figura 6.33 Gráfica de pérdida de presión, colocado el acondicionador Gallagher con tubos en su interior.....	84

Figura 6.34 Orientador de cruz.....	84
Figura 6.35 Distribución del tren de descarga , colocado el orientador de cruz.	85
Figura 6.36 Gráfica de errores, colocado el orientador de cruz.....	86
Figura 6.37 Gráfica de pérdidas de presión, colocado el orientador de cruz.	87
Figura 6.38 Acondicionador de flujo placa NEL (Spearman).....	87
Figura 6.39 Distribución del tren de descarga, colocado el Acondicionador de flujo placa NEL (Spearman).....	88
Figura 6.40 Fotografía del tren de descarga con un acondicionador de placa.	88
Figura 6.41 Gráfica de errores, colocado el acondicionador de flujo placa NEL (Spearman).....	90
Figura 6.42 Gráfica de pérdida de presión, colocado el acondicionador de flujo placa NEL (Spearman).	90
Figura 6.43 Diseño NOVA del acondicionador de flujo placa perforada K-Lab.....	91
Figura 6.44 Gráfica de errores, colocado el Diseño NOVA del acondicionador de placa perforada K-Lab.	93
Figura 6.45 Gráfica de pérdida de presión, debidas al uso del Diseño NOVA del acondicionador de flujo placa perforada K-Lab.....	93
Figura 6.46 Orientador AMCA.....	94
Figura 6.47 Distribución del tren de descarga, colocado el orientador AMCA.	94
Figura 6.48 Gráfica de errores, colocado el orientador AMCA.	96
Figura 6.49 Gráfica de pérdida de presión, colocado el orientador AMCA.	96
Figura 6.50 Acondicionador de flujo placa Zanker.	97
Figura 6.51 Distribución del tren de descarga, colocado el acondicionador de flujo placa Zanker.	97
Figura 6.52 Gráfica de errores, colocado el acondicionador de flujo placa Zanker.	99
Figura 6.53 Gráfica de pérdidas de presión, colocado el acondicionador de flujo placa Zanker.	99
Figura 6.54 Acondicionador de flujo Gallagher con aspas en su interior.	100
Figura 6.55 Distribución del tren de descarga, colocado el acondicionador de flujo Gallagher.	100
Figura 6.56 Gráfica de errores, colocado el acondicionador de flujo Gallagher con aspas en su interior.	102
Figura 6.57 Gráfica de pérdida de presión, colocado el acondicionador de flujo Gallagher con aspas en su interior.....	102
Figura 6.58 Acondicionador de flujo Zanker.	103
Figura 6.59 Distribución del tren de descarga, colocado el acondicionador de flujo Zanker.	103

Figura 6.60 Gráfica de errores, colocado el acondicionador de flujo Zanker.	105
Figura 6.61 Gráfica de la pérdida de presión, colocado el acondicionador de flujo Zanker.....	105
Figura 7.1 Gráfica comparativo entre tramos rectos y la ausencia de éstos.....	107
Figura 7.2 Gráfica comparativa entre errores colocado un codo de 90° y colocados dos codos de 90°.....	108
Figura 7.3 Gráfica comparativa entre errores sin tramo recto como condición inicial y final del medidor.....	109
Figura 7.4 Gráfica comparativa entre errores colocado un tramo recto de dos diámetros y errores colocado el orientador de tubos.	110
Figura 7.5 Gráfica comparativa entre errores colocado un tramo recto de dos diámetros y errores colocado el orientador Étoile.....	110
Figura 7.6 Gráfica comparativa entre errores colocado un tramo recto de dos diámetros y errores colocado el acondicionador de flujo Sprengle.....	111
Figura 7.7 Gráfica comparativa entre errores colocado un tramo recto de dos diámetros y errores colocado el orientador de cruz.....	111
Figura 7.8 Gráfica comparativa entre errores colocado un tramo recto de dos diámetros y errores colocado el orientador AMCA.....	112
Figura 7.9 Gráfica comparativa entre errores colocado un tramo recto de dos diámetros y errores colocado el acondicionador de flujo Gallagher con aspas como dispositivo anti-turbulencia.....	113
Figura 7.10 Gráfica comparativa entre errores colocado un tramo recto de dos diámetros y errores colocado el acondicionador de flujo Zanker.....	113
Figura 7.11 Gráfica comparativa entre errores colocados los diferentes acondicionadores de flujo de carrete.....	114
Figura 7.12 Gráfica comparativa entre errores sin tramo recto antes del medidor y errores colocado el acondicionador de flujo placa NEL (Spearman).....	115
Figura 7.13 Gráfica comparativa entre errores sin tramo recto antes del medidor y errores colocado el diseño NOVA del acondicionador de flujo placa K-Lab.	116
Figura 7.14 Gráfica comparativa entre errores sin tramo recto antes del medidor y errores colocado el acondicionador de placa Zanker.	117
Figura 7.15 Gráfica comparativa entre errores colocados los diferentes acondicionadores de placa.	118
Figura 7.16 Gráfica comparativa entre errores sin tramo recto y errores colocado el orientador AMCA.....	119

Índice de tablas.

Tabla 1.1 Acuíferos del país, por Región Hidrológico-Administrativa, 2006	14
Tabla 2.1 Error en un medidor de propela colocado después de diferentes accesorios.....	25
Tabla 2.2 Colocación del medidor de turbina para cada prueba.....	27
Tabla 2.3 Efecto de orientadores sobre el error de medición.	30
Tabla 4.1 Ejemplos de los diferentes acondicionadores	34
Tabla 5.1 Primera serie de lecturas al medidor.....	51
Tabla 5.2 Primer ajuste al medidor.	51
Tabla 5.3 Segundo ajuste al medidor.	52
Tabla 5.4 Grupo de pruebas sin orientadores ni acondicionadores de flujo.....	53
Tabla 5.5 Grupo de pruebas con orientadores y acondicionadores de flujo.....	53
Tabla 6.1 Datos de la prueba con un tramo recto de diez diámetros antes del medidor.	56
Tabla 6.2 Datos de la prueba con un tramo recto de dos diámetros antes del medidor.....	59
Tabla 6.3 Datos de la prueba sin tramo recto antes del medidor y con un codo de 90°	62
Tabla 6.4 Datos de la prueba para la verificación de histéresis.....	65
Tabla 6.5 Datos de la prueba sin tramos rectos aguas arriba del medidor, pero colocados dos codos de 90° antes de éste.....	67
Tabla 6.6 Datos de la prueba sin rectos aguas arriba del medidor, previa a las pruebas con acondicionadores de flujo.	69
Tabla 6.7 Datos de la prueba sin rectos aguas arriba del medidor; posterior a las pruebas con acondicionadores de flujo.	71
Tabla 6.8 Datos de la prueba con el orientador de tubos.	74
Tabla 6.9 Datos de la prueba con el acondicionador Sprenkle.....	76
Tabla 6.10 Datos de la prueba con el orientador Étoile.	79
Tabla 6.11 Datos de la prueba con el acondicionador Gallagher	82
Tabla 6.12 Datos de la prueba con el orientador de cruz.	85
Tabla 6.13 Datos de la prueba con el acondicionador de placa NEL (Spearman).	88
Tabla 6.14 Datos de la prueba con el diseño NOVA del acondicionador de placa K-Lab.	92
Tabla 6.15 Datos de la prueba con el orientador AMCA.....	95
Tabla 6.16 Datos de la prueba con el acondicionador de placa Zanker.....	98
Tabla 6.17 Datos de la prueba con el acondicionador Gallagher.	100
Tabla 6.18 Datos de la prueba con el acondicionador Zanker.....	103

Tabla 8.1. Resumen de errores de los acondicionadores de flujo.....	120
Tabla 9.1 Comparativa entre las características de las diferentes pruebas con tramo recto y sin el.	124
Tabla 9.2 Comparativa entre la colocación de un codo y dos codos antes del medidor.....	124
Tabla 9.3 Comparativa entre los acondicionadores de flujo de placa.....	125
Tabla 9.4 Comparativa entre los diferentes acondicionadores.	125

1. INTRODUCCIÓN

1.1. *Objetivos de la medición en pozos agrícolas*

La medición tiene como objetivo inmediato cuantificar y preparar para el análisis un fenómeno u objeto, mediante el uso de dispositivos y técnicas; pero se mide con intenciones ajenas a la propia adquisición de datos. En cuanto a la medición en pozos agrícolas, se pueden mencionar algunos de los objetivos de ésta, siendo éstos de los más importantes:

- a) Cobro del servicio del agua
- b) Ahorro de energía eléctrica al evitar el abatimiento de los acuíferos
- c) El ejercicio de la autoridad en la entrega del agua
- d) Impulso a los Bancos de Agua
- e) Control de la sobreexplotación de los acuíferos

1.1.1. Cobro por servicio del agua

La Autoridad del Agua en nuestro país no cobra por el derecho al agua, sino por la capacidad de entregarla en la cantidad solicitada. Este costo involucra la infraestructura hidráulica, el personal, los vehículos, los edificios de oficinas, los suministros y todo lo necesario para cumplir el propósito ya descrito. Por lo tanto es indispensable medir para saber cuánta agua se ha entregado a cada usuario y consecuentemente cobrarle lo que corresponda.

1.1.2. Ahorro de energía eléctrica al evitar el abatimiento de los acuíferos

Los usuarios de pozos tiene permitido la extracción de un volumen máximo anual. Dicho volumen está estimado en función de la recarga del acuífero. Para hacer una extracción sustentable de dicho acuífero no se debe extraer más agua que la que entra. Al no medir el agua extraída en cada pozo, se corre el gran riesgo de sobreexplotar el acuífero; hecho que sucede en ocasiones, con la repercusión perjudicial del abatimiento del nivel freático, por lo que aumenta el costo de extracción ya que los equipos de bombeo requieren extraer el agua desde profundidades mayores para entregar el gasto adecuado, lo que requiere mayor potencia y mayor consumo de energía eléctrica. La sobreexplotación tiene muchos y graves riesgos para el medio ambiente, más adelante se abunda sobre esto; pero en este caso solamente se hace referencia al descenso del nivel del agua, peligro en el que se cae fácilmente si no se controla la extracción; y la medición es una acción indispensable para lograr dicho control.

1.1.3. El ejercicio de la autoridad en la entrega del agua

La entrega del agua en la cantidad adecuada es verificada por las mediciones de la autoridad del agua y de los usuarios. La experiencia dice que siempre el usuario tiende a decir que se entrega menos agua. En esos casos, una medición con calidad apoyará a la autoridad para decir que la cantidad de agua que se entrega es correcta. Este hecho adelante se menciona con más detalle; se enfatiza porque además de medir, se debe medir bien.

1.1.4. Impulso a los Bancos de Agua

En ocasiones el usuario no usa el agua concesionada por imposibilidad de tipo crediticio o de cualquier otra índole y quiere transferir su derecho a otro usuario. Para dichas transferencias de una manera ordenada se ha mantenido la idea de los Bancos de Agua, una entidad similar a los bancos de dinero, donde precisamente el recurso que se guarda, se presta, se recibe, es el agua. Sin la medición del agua, dichos Bancos estarán impedidos para apoyar efectivamente la función de organizador de las transferencias de agua. Si el agua que se maneje en dichas transferencias se cobra, es decir, el usuario receptor del agua paga al usuario emisor, la posible problemática por los desacuerdos en las cantidades de agua pueden derivar en serios conflictos. Supóngase ahora una situación de escasez del recurso, las negociaciones en los Bancos de Agua serán así mismo complicadas y el papel de la medición, será definitivamente sustantiva.

1.1.5. Control de la sobreexplotación de los acuíferos

Como se menciona en el punto 1.1.2, una de las prioridades es la atención de los acuíferos sobreexplotados. La importancia del agua subterránea queda de manifiesto por la magnitud del volumen utilizado, ya que el 37% del volumen total concesionado para usos agrícolas es de origen subterráneo (CNA, 2007). Dada la magnitud del perjuicio en este aspecto, se incluye la siguiente información referente a este gran problema.

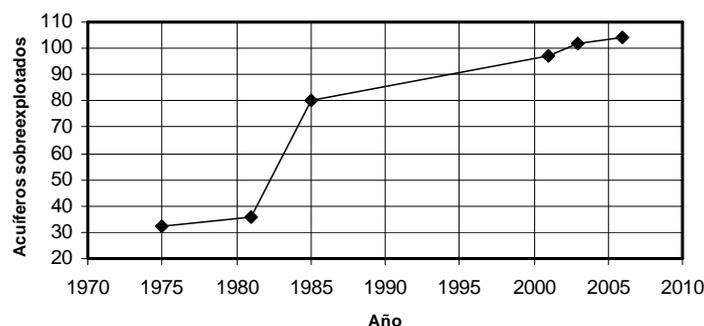


Figura 1.1 Aumento del número de acuíferos sobreexplotados en los últimos 30 años.

El país está dividido en 653 acuíferos, que a partir de la década de los sesenta se han sobreexplotado de manera creciente y alarmante, como se observa en la gráfica de la Figura 1.1. La evolución de la extracción de agua de los acuíferos, no tiene un panorama muy favorable, llegando hasta la intrusión salina en algunos casos. La intrusión salina se entiende como el fenómeno en el que el agua de mar se introduce por el subsuelo hacia el interior del continente, ocasionando la salinización del agua subterránea; esto ocurre cuando la extracción de agua provoca abatimientos del nivel de agua subterránea por debajo del nivel del mar alterando el balance dinámico natural entre el agua de mar y el agua dulce.

El fenómeno de salinización de suelos y aguas subterráneas salobres son factores que afectan las aguas subterráneas; el primero al propiciar la recarga con agua salinizada y es segundo al inducir el arrastre de agua congénita salina. Una idea concisa se genera a partir de la Tabla 1.1 donde se aprecia la distribución de la explotación de los acuíferos en el país.

Tabla 1.1 Acuíferos del país, por Región Hidrológico-Administrativa, 2006

Región Hidrológico Administrativa		Número de Acuíferos			
		Total	Sobreexplotado	Con intrusión marina	Bajo el fenómeno de salinización de suelos y aguas subterráneas salobres
I	Península de Baja California	87	7	9	4
II	Noroeste	63	15	5	0
III	Pacífico Norte	24	1	0	0
IV	Balsas	47	2	0	0
V	Pacífico Sur	34	0	0	0
VI	Río Bravo	100	16	0	4
VII	Cuencas Centrales del Norte	68	24	0	8
VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	127	33	1	0
IX	Golfo Norte	40	2	0	0
X	Golfo Centro	22	0	2	0
XI	Frontera Sur	23	0	0	0
XII	Península de Yucatán	4	0	0	1
XIII	Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala	14	4	0	0
Total		653	104	17	17

Fuente: Conagua. Subdirección General Técnica.

La reserva de agua subterránea se está reduciendo a un ritmo de cerca de 6 mil millones de metros cúbicos por año, si consideramos el fenómeno de salinización que existe en 17 acuíferos, también tenemos agua un deterioro en la calidad del agua. (CONAGUA; *Estadísticas del agua en México, 2007*).

En resumen, los efectos negativos más importantes asociados con sobreexplotación son:

- Desaparición de manantiales, vegetación nativa, humedales, lagos, gasto base de ríos y ecosistemas locales.
- Reducción del gasto de los pozos y afectación en su vida útil.
- Deterioro de la calidad del agua subterránea (intrusión salina).
- Abatimiento del nivel del agua subterránea, lo que ha inducido el incremento de los costos de extracción debido a mayores consumos de energía eléctrica.
- Asentamiento y agrietamiento del terreno.
- Disminución de la rentabilidad de la actividad agrícola.

Queda clara la imperiosa necesidad de medir el agua extraída de pozos agrícolas para tener el control de los volúmenes y evitar la sobreexplotación.

1.2. La obligatoriedad de la medición de pozos

La obligatoriedad de la medición del agua se encuentra sustentada en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos y más especialmente en la Ley de Aguas Nacionales.

En el artículo 27 de la Constitución en materia de agua se menciona que "las aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional son propiedad de la nación y ésta puede autorizar la explotación, el uso o el aprovechamiento a particulares conforme a las leyes mexicanas, mediante concesiones otorgadas por el Ejecutivo Federal, de acuerdo con las reglas y condiciones que establezcan las Leyes. Para lo cual se debe controlar la explotación de los

acuíferos y dar un uso eficiente al recurso incluyendo el cumplimiento de las leyes que por cierto apoyan la medición”.

La Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento 2004, establece lo siguiente: “Cada concesionario tiene derecho a extraer un volumen máximo de agua, para que éste pueda ser otorgado debe cumplir con lo mencionado en el Reglamento”. A continuación se toman algunos textos de dicha Ley con objeto de enfatizar la obligación legal que se tiene en la medición.

TÍTULO CUARTO. Derechos de explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales. Capítulo III. Derechos y obligaciones de los concesionarios o asignatarios; Artículo 29.

Los concesionarios tendrán las siguientes obligaciones, en adición a las demás asentadas en el presente Título:

- Párrafo II. “Instalar dentro de los cuarenta y cinco días siguientes a la recepción del título respectivo por parte del interesado, los medidores de agua respectivos o los demás dispositivos o procedimientos de medición directa o indirecta que señalen las disposiciones legales y reglamentarias aplicables, así como las Normas Oficiales Mexicanas”.
- Párrafo III. “Conservar y mantener en buen estado de operación los medidores u otros dispositivos de medición de volumen de agua explotada, usada u aprovechada”.
- Párrafo VIII. “Permitir al personal de “la Autoridad del Agua” o, en su caso, de “la Procuraduría”, según competa y conforme a esta ley y sus reglamentos, la inspección de las obras hidráulicas para explotar, usar o aprovechar las aguas nacionales, incluyendo la perforación y alumbramiento de aguas del subsuelo; los bienes nacionales a su cargo; la perforación y alumbramiento de aguas nacionales del subsuelo; y permitir la lectura y verificación del funcionamiento y precisión de los medidores, y las demás actividades que se requieran para comprobar el cumplimiento de lo dispuesto en esta Ley y sus disposiciones reglamentarias, normas y títulos de concesión, de asignación o permiso de descarga”;
- Párrafo XI. “No explotar, usar, aprovechar o descargar volúmenes mayores a los autorizados en los títulos de concesión”.
- Párrafo XII. “Permitir a “la Autoridad del Agua” con cargo al concesionario, asignatario o permisionario y con carácter de crédito fiscal para su cobro, la instalación de dispositivos para la medición del agua explotada, usada o aprovechada, en el caso de que por si mismos no la realicen, sin menoscabo de la aplicación de las sanciones previstas en esta Ley sus respectivos reglamentos”.
- Párrafo XIII. “Dar aviso inmediato por escrito a “la Autoridad del Agua” en caso de que los dispositivos de medición dejen de funcionar, debiendo el concesionario o asignatario reparar o en su caso reemplazar dichos dispositivos dentro del plazo de 30 días naturales”.

También en el TÍTULO DÉCIMO. Infracciones, Sanciones y Recursos. Capítulo I Infracciones y Sanciones Administrativas; Artículo 119; se encuentra lo siguiente:

- Párrafo VII. “No instalar, no conservar, no reparar o no sustituir, los dispositivos necesarios para el registro de la medición de la cantidad y calidad de las aguas, en los términos que establece esta Ley, su reglamento y demás disposiciones aplicables, o el modificar o alterar las instalaciones y equipos para medir los volúmenes de agua explotados, usados o aprovechados, sin permiso correspondiente, incluyendo aquellos que en ejercicio de sus facultades hubiere instalado “la Autoridad del Agua””.

- Párrafo X. “Impedir u obstaculizar las visitas, inspecciones, reconocimientos, verificaciones y fiscalizaciones que realice “la Autoridad del Agua” en los términos de esta Ley y sus reglamentos”.
- Párrafo XI. “No entregar los datos requeridos por “la Autoridad del Agua” o “la Procuraduría”, según el caso, para verificar el cumplimiento de las disposiciones contenidas en esta Ley y sus títulos de concesión, asignación o permiso de descarga, así como en otros ordenamientos jurídicos”.

Con esto, se concluye que por disposición legal “se pide medir” los volúmenes de agua explotados, usados o aprovechados.

2. ANTECEDENTES

2.1. Programa gubernamental para el mejoramiento de la medición

El Gobierno Federal ha implantado un ambicioso proyecto de mejoramiento de la medición en pozos agrícolas (*"Mejoramiento de la medición en presas de almacenamiento y pozos agrícolas"*); dicho mejoramiento se basa en los siguientes puntos:

- a) Censo de pozos agrícolas
- b) Compra de medidores de calidad
- c) Correcta colocación de los medidores
- d) Recopilación de información de medición

En el censo de pozos agrícolas se hace un levantamiento de información diversa de cada pozo con objeto de contar con datos para seleccionar el tipo de medidor más adecuado y para saber si se deben hacer modificaciones al tren de descarga para que el medidor quede bien colocado. También se hicieron grandes esfuerzos para comprar medidores de calidad que cumplieran con estándares nacionales e internacionales de calidad en su producción y funcionamiento.

Otra actividad fue la intención de colocar correctamente los medidores ya que un medidor de buena calidad no medirá adecuadamente si no se coloca correctamente. Por último el programa pretende realizar la recopilación de la información de medición en varias modalidades, ya sea en visitas periódicas a los medidores para tomar las lecturas o bien, el envío de la información por medio las tecnologías de comunicación existentes.

2.1.1. Propuesta de uso de acondicionadores en la medición

Una de las principales preocupaciones del grupo de trabajo que diseñó el programa del proyecto de mejoramiento, fue que los medidores se colocaran correctamente. Para ello se deben cumplir dos requisitos primordiales: (a) que el tubo se encuentre totalmente lleno y (b) que el flujo escurra aproximadamente paralelo a las paredes del tubo. El primer requisito es necesario porque el gasto es calculado multiplicando el área hidráulica por la velocidad media en la sección donde se coloca el medidor. Dicha área hidráulica se considera invariablemente el área de la circunferencia definida por el tubo; y si el tubo no está lleno, se tendrá un importante error en el cálculo del gasto. El otro requisito de flujo paralelo, se debe respetar porque la velocidad media utilizada para el cálculo del gasto considera, entre otras implicaciones, que la dirección de dicha velocidad sea perpendicular a la sección transversal. El escurrimiento del agua en los trenes de descarga no siempre presenta esta característica debido a la presencia de accesorios tales como codos y válvulas que alteran el flujo y provocan un escurrimiento irregular.

Los fabricantes de medidores recomiendan que éstos se coloquen a cierta distancia de los accesorios para que el flujo naturalmente escurra paralelo después de pasar por los disturbios. Normalmente se recomiendan de 5 a 10 diámetros de tramo recto antes del medidor. Si esta recomendación no se respeta, no se asegura que el error de medición se mantenga en valores bajos.

Ante esta situación, el grupo de trabajo decidió proponer el uso de acondicionadores de flujo en aquellos casos donde no se lograra la longitud de tramo recto suficiente, hecho que en el caso de pozos agrícolas es muy común ya que en numerosas ocasiones no se dejan tramos rectos suficientes para colocar correctamente los medidores.



Figura 2.1 Tres casos de tramo recto insuficiente para la correcta colocación de un medidor.

Todos los requisitos que debieran cumplirse para lograr el pretendido mejoramiento en la medición se plasmaron en un documento denominado “Terminos de Referencia y Especificaciones Técnicas para el programa de Instalación de Medidores en Fuentes de Abastecimiento en Unidades y Distritos de Riego” (CONAGUA, 2007). En las primeras versiones de dichos Términos, el uso del acondicionador de flujo, mencionado en dicho documento como perfilador de flujo, era obligatorio para todos los casos. En versiones posteriores, dicha recomendación se modificó indicándose que “el perfilador de flujo se instalará en casos especiales cuando por las características del tren de descarga se requiera”; y haciendo la recomendación de que “el perfilador sea colocado únicamente cuando el número de tramos rectos aguas arriba especificado por la marca del medidor no se ajuste”. Nótese que el término “acondicionador” es usado para describir ambos terminos, orientadores de flujo y acondicionadores de flujo como lo indica la norma ISO 5167; en todas sus partes, un orientador “orienta” el flujo con respecto a una dirección mientras un acondicionador trata de dar calidad al perfil de flujo, diferencias mostradas en el capítulo 4.

En los términos de dicho documento, no se definió qué tipo de acondicionador se debería usar y solamente se incluyó la figura siguiente de la cual se puede suponer que el acondicionar deberá ser de placa además de que se le agregará un tramo recto.

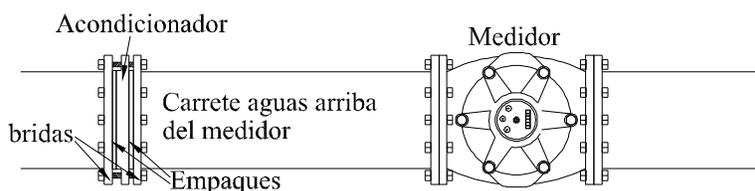


Figura 2.2 Localización del perfilador.

Dicha recomendación se hizo sin tener ninguna evidencia del beneficio de los acondicionadores y tampoco se dieron indicaciones de dónde colocarlo; por ejemplo, junto al codo aguas arriba o junto al medidor, o si debiera colocarse algún tramo recto corto antes, etc. El acondicionador que se comenzó a utilizar tiene un costo muy parecido al del medidor, por lo que muchos usuarios preguntaron sobre el beneficio al usar los acondicionadores. Se hizo evidente la necesidad de investigar sobre el desempeño de los acondicionadores de flujo en trenes de descarga con insuficiente longitud de tramos rectos.

2.2. Uso de los acondicionadores de flujo en gas

Una de las primeras acciones para investigar sobre el uso y beneficio de los acondicionadores fue la investigación bibliográfica. Lo primero que saltó a la vista fue la gran cantidad de referencias relacionadas con el uso de acondicionadores para gas. No se encontraron trabajos de medición en agua.

En éste caso se encontró que los remolinos que se forman en el gas, dentro de la tubería que lo transporta (www.cpacl.com), son la causa de los errores de medición. Su efecto depende del diseño del medidor y de la fuerza del remolino, en términos generales los medidores miden menos gas del que realmente circula. En el gas, un remolino ocasionado por algún codo, alguna mezcladora o alguna compresora puede persistir por más o menos 200 diámetros, afectando de manera notoria las mediciones. El gas natural comúnmente se mide con el medidor de orificio. Diversas investigaciones han demostrado mejoría en la medición por el uso de los acondicionadores de flujo.

La investigación relacionada con los acondicionadores se ha realizado por parte de los fabricantes que están interesados en difundir y mostrar la calidad de sus productos. Un ejemplo es la *Canada Pipeline Accesories* que ha contribuido bastante con sus múltiples investigaciones; principalmente con el acondicionador de flujo CPA 50E que consiste en una placa con 25 perforaciones distribuidas como se muestra en la figura, según el fabricante "es la solución más simple y tecnológicamente avanzada por su capacidad para acondicionar el flujo". Este acondicionador ha sido evaluado extensivamente, diseñado y recomendado para aplicaciones en gas natural y con "posibles usos en otros gases y líquidos".

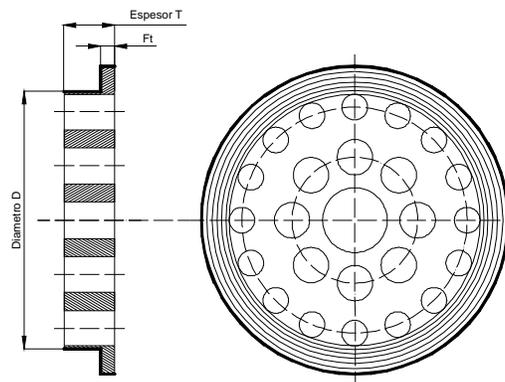


Figura 2.3 Acondicionador de flujo CPA 50E.

Muchos acondicionadores de flujo han sido evaluados por el *Gas Research Institute* con propósito de compararlos entre ellos y su desempeño. También han sido desarrollados estudios por la *Savat Measurement Corporation USA*, además de la ya mencionada *Canada Pipeline Accesories*. Estos estudios muestran la eficiencia del uso de acondicionadores en gas, recomendando ampliamente su uso para este fluido, así como posibles aplicaciones para otros fluidos, por ejemplo el agua.

2.3. Medidores de uso frecuente en pozos agrícolas

Se considera pertinente incluir una pequeña descripción de los medidores que son factibles para su uso en pozos agrícolas. Ello con objeto de conocer brevemente sus partes principales y formas de funcionamiento, ya que se trata precisamente de mejorar la medición que finalmente realizan los medidores y no los acondicionadores, además se uso uno de los medidores que se describen a continuación.

2.3.1. Elementos primarios en medidores de propela, turbina y electromagnéticos

Todos los medidores tienen tres partes básicas: (a) elemento primario; (b) transmisión y (c) registro como se puede apreciar en la Figura 2.4. Existen diversos tipos de medidores; las diferencias entre cada uno tienen que ver con varios e importantes aspectos.

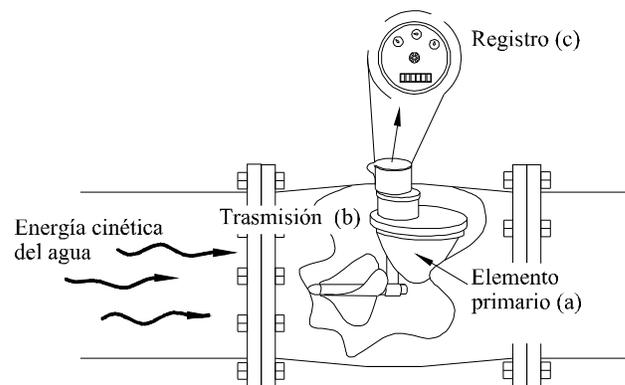


Figura 2.4 Elementos principales de un medidor.

El elemento primario es la parte del medidor que recibe información directamente del agua y normalmente el tipo de medidor se define por el tipo de elemento primario. La Figura 2.5, muestra una clasificación de elementos primarios. Existen algunos más, pero no son tan conocidos, como los másticos o los de tipo Vortex. Un tipo muy usual es el volumétrico pero es para tuberías pequeñas, prácticamente inexistentes en pozos agrícolas.

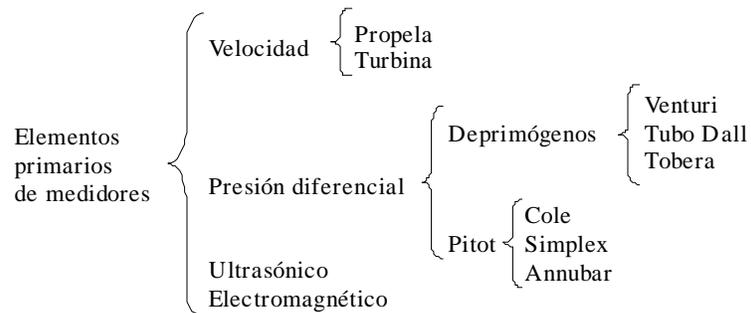


Figura 2.5 Clasificación simplificada de elementos primarios de medidores en conductos presurizados.

Cualquier tipo de elemento primario es útil, sin embargo algunos presentan mayores ventajas que otros. Los de presión diferencial son usados en el sector urbano e industrial. Los más usados en el sector agrícola son los de propela, en un porcentaje muy alto. En un estudio realizado en 4300 pozos se encontró que de éstos, 2740 contaban con medidor, siendo 2581 de propela (94.2%) y

159 de placa de orificio (5.8%) (Pedroza et al 2001). Los ultrasónicos son caros pero muy útiles como medidores portátiles. Los electromagnéticos también se pueden utilizar y recientemente han aparecido modelos con batería interna que los hacen muy atractivos por sus ventajas y precio.

La propela es básicamente un tubo llamado rotor y aspas o álabes montados sobre este. Los álabes tienen un desarrollo helicoidal sobre el rotor, comúnmente el número de álabes son tres y el rotor gira sobre un eje apoyado en un solo lado. El agua impacta a los álabes de manera diagonal obligándolos a girar.

La turbina es esencialmente lo mismo que una propela, en cuanto a que cuenta con aspas o álabes montados en un rotor. Sin embargo, el rotor es corto y tiene más álabes, entre 8 y 14. Los álabes también son helicoidales pero al ser corto el rotor, su desarrollo prácticamente no es notorio a la vista. A diferencia de la propela cuyo rotor gira sobre un apoyo, el rotor de la turbina gira sobre un eje apoyado en dos puntos. También reciben el choque del agua en forma inclinada.

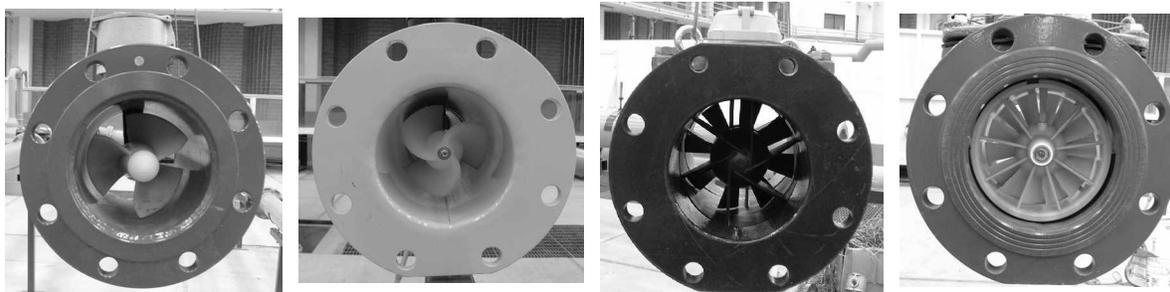


Figura 2.6 Diferentes propelas y turbinas.

Estos dos tipos de elementos primarios son los más comunes y el de turbina es más usual en el sector urbano industrial. Cualquier dispositivo que gire al recibir el agua es útil como elemento primario de velocidad, de aquí que existan otros elementos primarios tales como las paletas y las hélices. El elemento primario de un medidor electromagnético consiste en los electrodos colocados en extremos opuestos de la tubería.

2.3.2. Transmisión, registro y sujeción de los medidores

La transmisión es el elemento que recibe información del elemento primario y lo transmite al registro. En los medidores de turbina y propela, la transmisión comienza desde el eje donde giran los rotores apoyados en baleros o bujes. El tipo más usual de transmisión es el magnético. Hasta hace poco también se usaban transmisiones mecánicas, pero eran muy susceptibles a que la humedad pasara al registro. Las componentes más importantes de la transmisión son el eje, los engranes y un imán. Puede considerarse que la transmisión tiene dos cámaras, una húmeda y otra seca, separadas herméticamente. La transmisión del giro se pasa de una cámara a otra por medio de imanes. Además de la imprescindible función de transmitir el giro de la propela o turbina al registro, la transmisión cumple labores de acondicionador de los giros, por ejemplo, la turbina o propela giran a 500 vueltas por minuto y la transmisión las convierte a cinco por medio de engranes. Esto alarga la vida útil de la transmisión y permite un manejo más simple de los giros en el registro. Cada marca de medidor tiene transmisiones diferentes. En los medidores electromagnéticos, la transmisión puede considerarse como el cable que conecta los electrodos con la unidad electrónica.



Figura 2.7 Transmisión y otras partes de un medidor de propela (Cortesía de Medidores Azteca).

Al registro también se le puede llamar presentador de datos, carátula, pantalla, etc; recibe los giros de la turbina o propela por medio el transmisor y convierte los giros a lecturas. Para esto se tienen dos formas comunes de hacerlo: los registros mecánicos y los electrónicos. Los mecánicos reciben los giros de la transmisión en unos engranes que a su vez, mueven discos marcados con números donde se indica el volumen y/o el gasto. Los registros mecánicos pueden variar en la presentación de los resultados, algunos solamente muestran el volumen y otros tienen, además, una aguja para mostrar el gasto. Además se pueden presentar los datos en diferentes % de unidades (litros, galones, metros cúbicos, segundos, minutos, horas, etc.). El número de dígitos también puede cambiar, algunos tienen cinco y otros tienen 6. Es importante determinar la cantidad de dígitos que se requieren en la medición del volumen, antes de decidir por algún tipo de registro. Algunos registros cambian o inician en “ceros” cada cien mil unidades de gasto. Tienen cinco dígitos, por lo tanto solamente alcanzan a acumular 99,999 unidades de volumen. En cambio se tienen registros con seis dígitos, por lo que reiniciarán cada millón de unidades de volumen; el último registro será de 999,999 antes de regresar a cero, dicho en forma matemática, registran, para n dígitos, un total de $10^n - 1$ unidades.

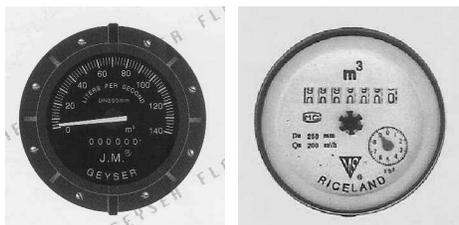


Figura 2.8 Registros mecánicos.

El otro tipo de registro es totalmente electrónico y recibe la información generalmente de un imán. La información ya es una corriente eléctrica y se maneja por medio de tarjetas o circuitos electrónicos que presentan la información en pantallas que pueden ser de cristal líquido. Esto significa que se requiere energía, suministrada en la mayoría de los casos con baterías de larga duración de cadmio, litio o parecidas. Estos registros son más versátiles, se puede cambiar las unidades y en la mayoría de los casos presentan tanto gasto como volumen.



Figura 2.9 Registro electrónico de un medidor de propela.

El registro de los medidores electromagnéticos es un componente electrónico que recibe la señal que captan los electrodos. Este componente le da un tratamiento digital a la información y la presenta en la pantalla que tiene para ese fin.

La manera en cómo se sujetan las partes del medidor al tubo también es diferente, no solamente por la marca del medidor, también una sola marca puede presentar diferentes formas de sujeción. Los medidores de turbina no presentan opciones. Siempre vienen en un carrete y el registro viene montado en una placa encima de dicho carrete. El elemento primario y la transmisión vienen sujetos al registro formando un solo conjunto. Esto es muy útil para fines de mantenimiento.

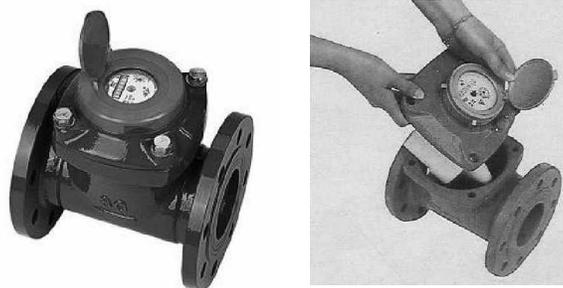
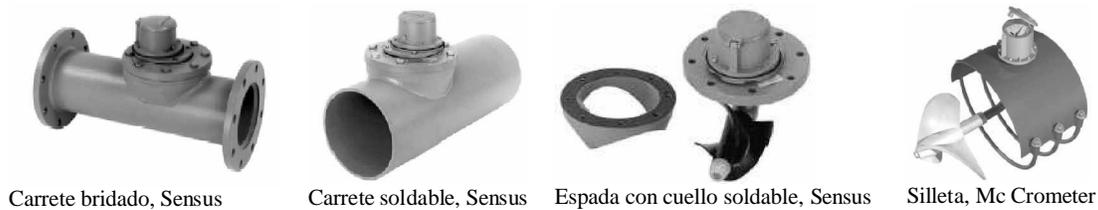


Figura 2.10 Medidores de turbina, FMT-Dorot y Arad.

Los medidores de propela sí presentan diversas formas de sujeción, las más comunes son: carrete soldable; carrete bridado; espada con cuello soldable y silleta.



Carrete bridado, Sensus

Carrete soldable, Sensus

Espada con cuello soldable, Sensus

Silleta, Mc Crometer

Figura 2.11 Diferentes tipos de sujeción en medidores de propela.

Los medidores de carrete bridado y carrete soldable son muy parecidos; con la diferencia obvia de que el primero se une con bridas y el segundo se solda. El medidor de espada con cuello soldable, se solda sobre un orificio perforado en la tubería. Por último, el medidor de silleta se coloca en la tubería por medio de un orificio y se sujeta con abrazaderas. De los tipos aquí mencionados el más usual, y con mucho, es el de carrete bridado. De hecho, muchos fabricantes de medidores de propela únicamente presentan este tipo de sujeción.

La sujeción más común en los medidores electromagnéticos es el carrete. También se presenta un modelo de medidor electromagnético de inserción, sin embargo, este tipo de medidores no es recomendable para pozos agrícolas puesto que requieren de mayores tramos rectos.

2.4. Comportamiento de medidores ante la ausencia e insuficiencia de tramos rectos

A continuación se describen algunos experimentos realizados por Hanson (*Hanson, 1998*); y otros experimentos realizados en el laboratorio de hidráulica de la Universidad de Guanajuato. Dichos experimentos informan sobre el comportamiento del error de medición de medidores de turbina, propela y electromagnéticos ante diferentes longitudes de tramos rectos antes y después del medidor.

Estos experimentos están estrechamente relacionados con el uso de acondicionadores de flujo, ya que se tiene la idea, ampliamente difundida como ya se a notado, de que los medidores requieren de tramos rectos, principalmente aguas arriba, antes de éstos, y después de cualquier accesorio que provoque disturbios y turbulencia en la corriente que escurre por ellos, para que dicha turbulencia se disminuya y la corriente sea paralela al pasar por los medidores, requisito indispensable para una correcta medición.

La pregunta que se intentó constestar con los experimentos fue: ¿cuánto afecta a los medidores el hecho de tener nada o un tramo corto recto antes de ellos? Pregunta bastante pertinente ya que puede resultar que el perjuicio en la medición no sea tan grande como para requerirse de acondicionadores de flujo que me mejoren la medición ante la ausencia o insuficiencia de tramos rectos.

2.4.1. Los experimentos de Hanson

En pruebas de laboratorio Hanson (*Hanson, 1998*) encontró que los medidores más afectados por la turbulencia son los que miden la velocidad puntualmente. Por el contrario, los menos afectados son los que de alguna manera promedian la medición de la velocidad (turbina y propela, por ejemplo). Para los medidores de tipo propela, Hanson detectó que los tramos rectos insuficientes le afectan poco cuando el accesorio aguas arriba es un codo de 90° o una válvula check. En cambio si el accesorio es una válvula de mariposa o el conjunto de codo con válvula de mariposa, se tienen errores muy grandes como se aprecia en la Tabla 2.1 a continuación, se presentan los resultados para este caso, considerando que las pruebas se realizaron en tubos de 8 pulgadas de diámetro.

Tabla 2.1 Error en un medidor de propela colocado después de diferentes accesorios.

Longitud del tramo recto aguas arriba del medidor		Tipo de accesorio							
		Codo 90°		Válvula Check		Válvula de mariposa		Codo 90° y válvula de mariposa	
Diámetros	Metros	Gasto	Error	Gasto	Error	Gasto	Error	Gasto	Error
2	0.41	29.2	3.5	29.7	-1.1	24.8	14.2	23.2	28.0
5	1.02	29.5	1.7	---	---	25.0	8.6	24.2	28.9
10	2.03	29.2	3.9	---	---	24.7	7.9	26.5	21.9
15	3.05	30.2	0.5	---	---	24.7	7.9	23.5	20.2
2	0.41	45.5	1.2	46.3	3.8	42.8	15.1	55.3	11.6
5	1.02	45.7	0.7	---	---	43.2	8.1	53.0	16.3
10	2.03	43.7	6.3	---	---	43.2	7.4	56.8	6.7
15	3.05	46.2	0.0	---	---	40.8	10.5	54.8	9.8
2	0.41	56.7	0.6	61.2	0.9	81.3	2.4	73.0	0.2
5	1.02	57.3	0.7	---	---	80.3	2.8	75.0	-1.7
10	2.03	57.8	0.2	---	---	81.0	2.8	75.2	-0.4
15	3.05	58.3	-1.5	---	---	80.8	3.6	---	---

Gasto en l/s y error en porcentaje

(Fuente Hanson, 1998)

En el mismo trabajo de Hanson (Hanson, 1998), se presentan los errores para medidores que no promedian la velocidad, ya que la miden de manera puntual, particularmente los medidores de paletas y un medidor de calibración de velocidad, parecido al tubo Pitot. Sin embargo, el uso de medidores puntuales no es recomendable en pozos agrícolas, ya que requieren más tramos rectos (normalmente los fabricantes recomiendan 10 diámetros de tramo recto aguas arriba y cinco aguas abajo) y como ya se mencionó, es bastante común que los trenes de descarga de pozos agrícolas tengan serias limitaciones de espacio; inclusive, se tiene gran cantidad de pozos con problemas para lograr los tramos rectos de cinco y tres diámetros aguas arriba y abajo, respectivamente.

2.4.2. Experimentos en medidores de turbina, propela y electromagnético en la Univesidad de Guanajuato

En la Univesidad de Guanajuato, se construyó un módulo experimental en el Laboratorio de Hidráulica. Dicho módulo está integrado por un sistema de alimentación, la línea de conducción, el tramo de pruebas y el tanque volumétrico (Sierra, 2007). El tramo de pruebas consiste en una tubería de fierro galvanizado de 4" de diámetro y 34.5 m de longitud. Está delimitado por dos codos de 90° en ambos extremos del tramo. Esta característica de usar codos como perturbadores del flujo, y no otros accesorios, se justifica con el hecho de que en los pozos agrícolas se usan bombas verticales y sumergibles, por lo tanto, en ambos casos el accesorio aguas arriba del medidor siempre será un codo. El codo de aguas abajo del tramo de pruebas se utilizó por simplicidad. El tanque volumétrico es de concreto armado y sección rectangular. Tiene una capacidad de 26 m³ y está provisto de una escala graduada que permite conocer el ascenso en el nivel del mismo. El tanque volumétrico es utilizado como medidor de referencia. El tramo de pruebas y el tanque volumétrico se conectan entre sí mediante un cuello de ganso, cuya función es asegurar el flujo a tubo lleno en el tramo de pruebas.

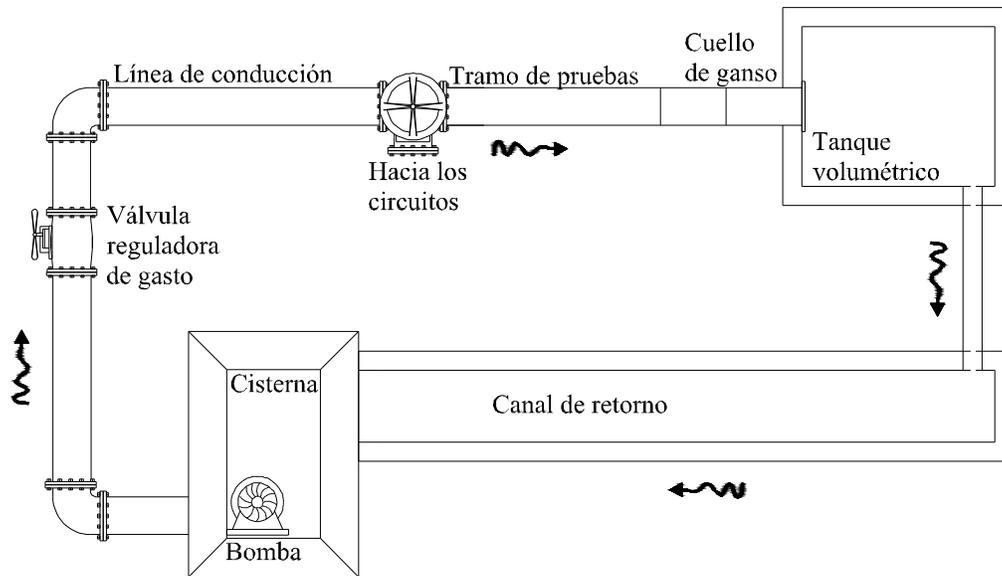


Figura 2.12 Esquema del módulo experimental de la Universidad de Guanajuato.



Figura 2.13 Vista del tramo de pruebas.

La longitud del tramo de pruebas estuvo dada por la siguiente ecuación determinada de acuerdo al módulo experimental:

$$LT = (A + B)D + L \quad (1)$$

Donde:

- LT ; Longitud del tramo de pruebas
- A ; Número de diámetros de tramo recto aguas arriba del medidor
- B ; Número de diámetros de tramo recto aguas abajo del medidor
- D ; Diámetro del tubo
- L ; Longitud del carrete del medidor

Con $A=5$, $B=3$, $D=4''$ y $L=10''$; la longitud del tramo de pruebas resultó ser:

$$LT = (5 + 3)4'' + 10'' = 42''$$

El primer experimento se realizó con un medidor de turbina. Las pruebas se diseñaron haciendo variar la colocación del medidor en el tramo de pruebas. Se inició colocando inicialmente el medidor junto al codo de aguas arriba (Condición inicial) y se terminó con el medidor colocado junto al codo de aguas abajo (Condición final). En la tabla que sigue a estos arreglos se presenta la colocación del medidor para cada prueba.

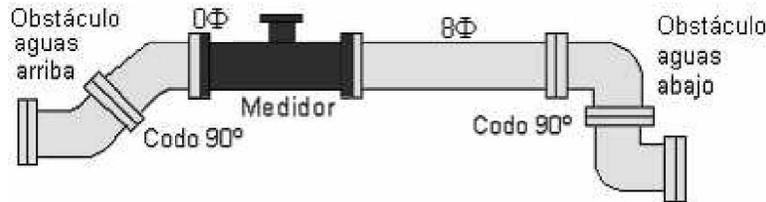


Figura 2.14 Condición inicial, sin tramo recto aguas arriba y tramo recto de ocho diámetros aguas abajo del medidor.

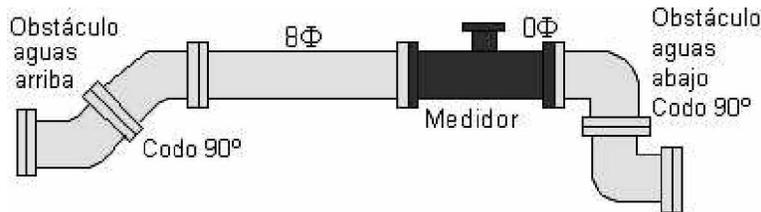


Figura 2.15 Condición final, tramo recto de ocho diámetros aguas arriba y sin tramo recto aguas abajo del medidor.

Tabla 2.2 Colocación del medidor de turbina para cada prueba.

Número de la prueba	Número de diámetros del tramo aguas arriba del medidor	Número de diámetros del tramo aguas abajo del medidor
1	0	8
2	1	7
3	2	6
4	3	5
5	4	4
6	5	3
7	6	2
8	7	1
9	8	0

Se llevaron a cabo las nueve pruebas programadas en la Tabla 2.2 Se establecieron 5 diferentes gastos en cada uno, tratando que los valores se mantuvieran lo más cerca posible de 10, 15, 20 y 25 l/s, respectivamente, resultando 45 experimentos en total. Las pruebas se realizaron de la siguiente manera: el medidor de turbina no presenta el gasto, solamente presenta el volumen, por lo tanto, se midió el tiempo en que circulaban 2 m^3 por el medidor y se estimaba el gasto. Este mismo volumen fue utilizado para estimar el gasto en el tanque volumétrico. Este procedimiento se repitió 20 veces y el gasto utilizado para realizar las comparaciones fue el promedio de las 20 lecturas, tanto en el medidor como en el tanque; y esto se hizo para cada uno de los 5 gastos.

El porcentaje de error se calculó considerando como valor convencionalmente verdadero el gasto estimado con el tanque volumétrico, se utilizó la siguiente ecuación:

$$E = 100(M - T)/T \quad (2)$$

Donde E , es el porcentaje de error de medición; M , es el gasto registrado en el medidor, en l/s y T , es el gasto en el tanque volumétrico, en l/s.

Con objeto de comparar los resultados se agruparon los resultados por gastos, pero dichos gastos no fueron valores cerrados de 10, 15, 20 o 25 l/s, sino valores cercanos a los mismos.

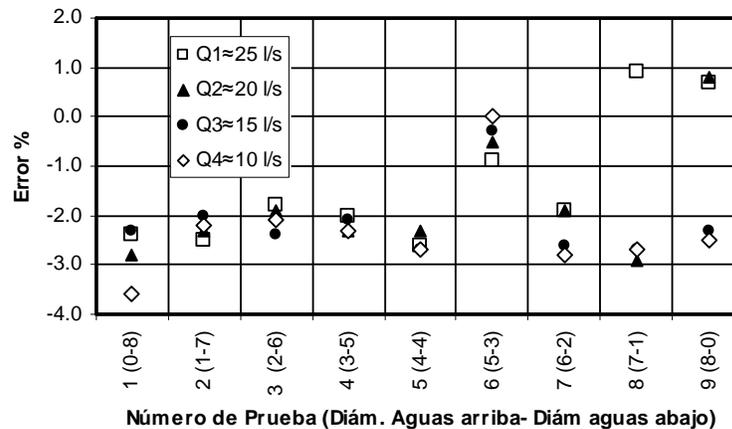


Figura 2.16 Desempeño de un medidor de turbina con diferentes tramos rectos.

Como puede apreciarse en la Figura 2.16 todos los valores se mantienen en una banda de variación que va desde un error negativo de tres por ciento hasta un valor positivo de uno por ciento; solamente un valor del error es mayor (3.6 %), y se presenta en la prueba número 1, con cero diámetros aguas arriba y 8 aguas abajo y un gasto de 9.074 l/s. El error expresado en litros por segundo en ningún caso es mayor a uno. Los mejores resultados se presentaron para los tramos rectos requeridos por el fabricante con cinco y tres diámetros, aguas arriba y aguas abajo, respectivamente.

Resulta interesante que existe la creencia de suponer que mientras más tramos rectos aguas arriba se tengan, mejores resultados se tendrán. Lo cual queda rebatido al menos para estas pruebas, al observar que el desempeño del medidor es mejor cuando se tiene la combinación de cinco diámetros de tramo recto aguas arriba y tres aguas abajo, en cualquier otra combinación de tramos rectos el medidor no presenta mejor desempeño.

En el mismo módulo experimental anterior se realizó otra serie de experimentos con un medidor de propela y con uno electromagnético; bajo idénticas circunstancias que para el medidor de turbina (Sierra, 2007). En la gráfica de la Figura 2.17 se observa como se repite el resultado ya encontrado con el medidor de turbina; es decir, con cinco diámetros antes y tres después, el medidor presenta su mejor desempeño con errores menores al uno por ciento en todos los gastos probados. Cabe mencionar que la norma mexicana correspondiente indica que el máximo error aceptable en el campo superior es de 2%. Comparativamente con los medidores de turbina y electromagnético, en los experimentos realizados, al medidor de propela le afectan menos la insuficiencia de tramo recto antes del mismo.

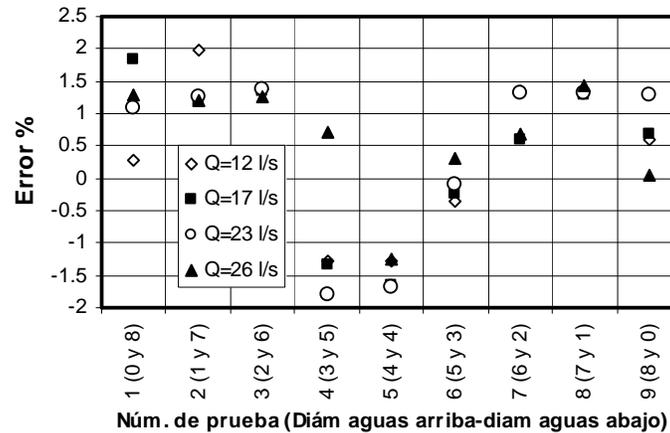


Figura 2.17 Desempeño de un medidor de propela con diferentes tramos rectos.

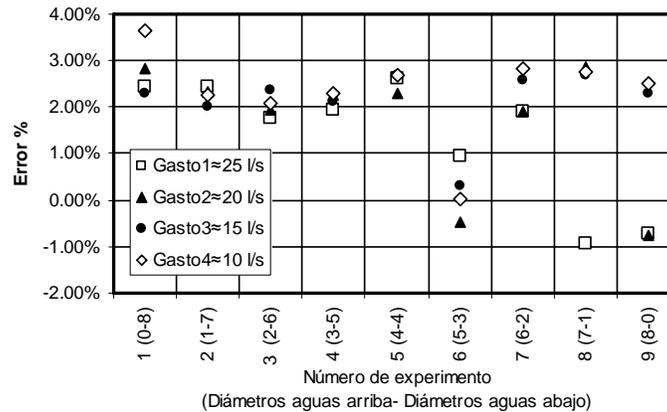


Figura 2.18 Desempeño de un medidor electromagnético con diferentes tramos rectos.

Un aspecto peculiar en las pruebas del medidor electromagnético, es el hecho de que presenta su mejor desempeño en la prueba número 6, con 5 diámetros de tramo recto aguas arriba y tres aguas abajo; el mismo caso que para los medidores de propela y turbina. Esta situación contrasta con la recomendación de los fabricantes de medidores magnéticos en el sentido de recomendar tres diámetros de tramos rectos aguas arriba y uno aguas abajo. Como puede notarse en esta situación que corresponde a la prueba número cuatro en la que se tiene un tramo recto aguas arriba de tres diámetros, pero el error es mayor al 2%.

Por supuesto que estos resultados no pueden extrapolarse a otras condiciones; por ejemplo, si se tuvieran diámetros diferentes o si se tienen otros dispositivos como válvulas de mariposa o de compuerta.

2.4.3. Experimentos de Hanson con orientadores de flujo

Los orientadores, como su nombre lo indica, "orientan" el flujo para que escurra paralelamente a la tubería y con ello se mejore la medición. Hanson (Hanson, 1989) no recomienda la sustitución de tramos rectos por orientadores. Algunos fabricantes mencionan mejoras en la medición cuando

se usan orientadores (<http://www.jerman.com/knmmeters.html>); sin embargo, ninguno presenta recomendaciones cuantitativas ni arreglos específicos ante insuficientes tramos rectos. Se presentan enseguida resultados en un medidor de propela, colocado en un tubo de 8 pulgadas de PVC, con orientadores ubicados un diámetro después de un codo de 90°, en un arreglo de seis placas de 89 mm de ancho por 76 mm de largo, colocadas radialmente en el tubo. Los orientadores se pusieron a 2 diámetros aguas arriba del medidor (Hanson, 1998).

Tabla 2.3 Efecto de orientadores sobre el error de medición.

Sin orientador		Con seis orientadores	
Gasto	Error	Gasto	Error
29.2	3.5	30.0	2.9
45.5	1.2	48.0	3.4
56.7	0.6	60.8	3.6

Gasto en l/s y error en porcentaje

Para el gasto más bajo el arreglo de orientadores sí disminuye el error, pero contrariamente a lo esperado, en los otros casos, para gastos más altos, el error es mayor cuando se tienen orientadores.

2.4.4. Conclusión de los experimentos de Hanson y de la Universidad de Guanajuato

Considerando que este trabajo se relaciona con el comportamiento de los acondicionadores de flujo ante circunstancias desfavorables para la medición como lo es la ausencia o insuficiencia de tramos rectos aguas arriba del medidor, enfocadas en mejorar la medición; debe observarse con atención el resultado de los experimentos realizados por Hanson y por personal de la Universidad de Guanajuato.

Es notable que no se rebasa el valor de 4% de error en la mayoría de los casos; únicamente se tiene un error de 6.3% en los experimentos de Hanson Tabla 2.3, error que no se considera representativo por que resulta poco creíble si se compara con los demás.

Se enfatiza que los resultados sólo valen para las circunstancias propias de cada experimento y no puede afirmarse que eso sucederá siempre. Una de las características particulares que más se deben considerar es el diámetro de los tubos en cada uno de los experimentos. En el experimento de Hanson se utilizó un tubo de 8 pulgadas de diámetro; y en los experimentos de la Universidad de Guanajuato, se usó un tubo de 4 pulgadas de diámetro. Otra peculiaridad importante es el tipo de accesorio colocado aguas arriba de los medidores para perturbar el flujo, en ambos casos se usaron codos de 90°. Es pertinente la observación ya que no es posible afirmar que se tendrán errores de la misma magnitud cuando se tengan diámetros diferentes y el accesorio que provoca los disturbios es un codo.

En virtud de la aclaración anterior, sería muy audaz afirmar la imposibilidad de acondicionar para mejorar una situación que inicialmente no es grave; pero si es conveniente dudar del desempeño de un acondicionador en el sentido de que si se tiene un error máximo de 4% lo disminuya; y será razonable la posición de exigir pruebas a quien afirme que el acondicionador mejorará la medición en ausencia o insuficiencia de tramos rectos.

3. PLANTEAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA Y OBJETIVO DE LA TESIS

3.1. Problemática

La medición debe realizarse por cuestiones legales, la Constitución de nuestro país y la Ley de Aguas Nacionales así lo establecen. El ordenamiento legal de medir tiene, a su vez, origen en el ordenamiento y uso sustentable del agua como recurso. Se debe medir en muchos ámbitos para responder a las intenciones de uso sustentable y como atención a los ordenamientos legales. En el ámbito de la medición en pozos agrícolas es importante medir por razones específicas, entre las que se puede mencionar la disminución y posterior reconversión de la sobreexplotación de los acuíferos mexicanos. En resumen, se debe medir para apoyar el uso sustentable del recurso y además, porque de no hacerlo significa un incumplimiento de la Ley.

Sin embargo, no basta medir, como ya mencionó, adicionalmente, se debe medir bien; y para medir bien en pozos se deben cumplir inevitablemente dos requisitos: (a) tubo lleno en la sección del medidor y (b) tramo recto de tubería, sin aditamentos ni accesorios que alteren el flujo, tanto aguas arriba del medidor, como aguas abajo.

El segundo requisito es difícil de cumplir en innumerables ocasiones, en el caso de pozos agrícolas, ya que es común la construcción de trenes de descarga con severas restricciones de espacio, lo que obliga a disminuir los tramos rectos suficientes para colocar correctamente los medidores, en detrimento de la incertidumbre en la medición.

El gobierno federal a través de la Comisión Nacional del Agua ha emprendido un gran programa de mejoramiento de la medición en pozos agrícolas. Atendiendo a la peculiaridad de la falta de tramos rectos en muchos de los trenes de descarga y basados en la recomendación de los fabricantes de acondicionadores de flujo para gas, propusieron el uso de estos dispositivos con objeto de mejorar la medición.

La recomendación del uso de acondicionadores no se hizo con base en reportes de laboratorio que demostraran la eficacia de los éstos y dado el alto costo de los mencionados dispositivos, fue natural que surgiera la pertinencia de corroborar la efectividad de los acondicionadores de flujo.

Otra circunstancia especial lo significan los experimentos de Hanson y de la Universidad de Guanajuato en los que se demuestra que para tuberías de 4 y 8 pulgadas de diámetro la ausencia e insuficiencia de tramos rectos no demerita en exceso la incertidumbre en la medición; los errores máximos no rebasan el 4%. Es, otra vez natural, dudar que un dispositivo reduzca dicho valor. Inclusive, Hanson (*Hanson, 1998*), encontró que un cierto tipo de acondicionador, no mejoró sustancialmente la medición y para una de las magnitudes del gasto probado, el error aumentó.

En resumen y para enfatizar, a continuación se enlistan los hechos que representan la problemática expuesta.

- a) Se debe medir por cuestiones legales y de sustentabilidad.
- b) Se debe medir con calidad.
- c) La calidad en la medición en pozos agrícolas exige tubo lleno y tramos rectos.
- d) En trenes de descarga de pozos en numerosas ocasiones no se tiene espacio suficiente para colocar medidores con suficientes tramos rectos.
- e) Los fabricantes de acondicionadores han demostrado la eficacia de estos dispositivos en el mejoramiento de la medición en gas y recomiendan se amplíe su uso a otros líquidos y fluidos, sin presentar pruebas de buen desempeño en agua.
- f) El Gobierno Federal impulsa un programa de mejoramiento de la medición y recomienda el uso de acondicionadores de flujo en aquellos casos donde no se logre la suficiencia en la longitud de los tramos rectos mínimos necesarios. El tipo de acondicionador no se especifica pero se menciona acudir a las recomendaciones de las normas ISO.
- g) El costo de los acondicionadores es similar al del medidor lo que encarece la instalación
- h) Los experimentos de Hanson y de la Universidad de Guanajuato demuestran que para tuberías de 4 y 8 pulgadas y un codo como accesorio de disturbio la ausencia e insuficiencia de tramos rectos no provoca errores mayores al 4%.
- i) Hanson encontró que un tipo de acondicionador no disminuye el error y para una magnitud del gasto aumenta dicho error.

Se considera que existen argumentos para tener una conveniente y saludable duda del éxito de los acondicionadores.

3.2. Objetivo de la tesis

Ante la insuficiencia de trabajos sobre el desempeño de acondicionadores de flujo en agua, surge la necesidad de saber si efectivamente dichos dispositivos representarán una mejora en la medición del agua extraída de pozos agrícolas cuyos trenes de descarga tengan problemas de espacio para lograr los tramos rectos mínimos recomendados por los fabricantes de medidores. El estudio cobra una gran importancia ya que actualmente se llevan a cabo programas de mejoramiento en la medición de pozos agrícolas y se ha recomendado el uso de acondicionadores de flujo en los casos donde no se logren los tramos rectos suficientes; aún sin tener evidencia de su beneficio.

El objetivo del presente trabajo es conocer la influencia de los acondicionadores de flujo, en los errores de medición, en condiciones desfavorables con turbulencia y sin tramos rectos; para determinar su posible eficiencia o deficiencia al ser colocados en trenes de descarga de pozos agrícolas.

Para llevar a cabo el estudio se colocarán varios tipos de acondicionadores en una tubería de doce pulgadas de diámetro y se compararán los datos de medición que arroje cada uno de ellos.

El resultado del trabajo contestará la siguiente pregunta: ¿Cuál de los acondicionadores recomendados por las normas ISO presentará ventajas en el mejoramiento de la medición ante la ausencia de tramos rectos?

Es de suponerse también que los acondicionadores provocarán una pérdida de carga, puede suceder que un acondicionador resulte favorable, pero la pérdida de carga que provoca lo haga poco factible. Esto también se considerara en este trabajo.

3.2.1. Enfoque y alcances del trabajo

Es conveniente aclarar la naturaleza del estudio es completamente experimental. No se realizarán estudios de índole teórica y la misma forma de proceder en la experimentación será del tipo “caja negra”; es decir, es posible utilizar instrumentación más sofisticada de manera de visualizar el comportamiento de las líneas de corriente sin los acondicionadores y posteriormente comparar los patrones de flujo con la presencia de dichos acondicionadores. Sin embargo, se decidió realizar los trabajos comparando únicamente el comportamiento de los errores de medición sin detallar las causas turbulentas que provocan los disturbios y el detrimento de la calidad de medición. Cabe recalcar la importancia de los estudios como reporte de la eficiencia de los dispositivos para orientar y acondicionar el flujo, y no de su alteración en el flujo total, lo cual es un parámetro cuya medición resulta trivial.

Otra circunstancia a resaltar es el hecho de probar acondicionadores de flujo cuyos croquis constructivos se encuentran en varias normas ISO (*en su serie ISO 5167:1, 2, 3 y 4*) de tal manera que ante la imposibilidad de conseguir los modelos comerciales, se construyeron modelos con base en los croquis presentados en las normas utilizando materiales que parecieron más adecuados. Por lo anterior es pertinente advertir que los resultados encontrados solamente serán definitivos para los modelos construidos con los materiales utilizados. En investigaciones posteriores a los experimentos se encontraron otros modelos de acondicionadores que probablemente tengan comportamientos diferentes a los encontrados en este estudio.

4. ORIENTADORES Y ACONDICIONADORES DE FLUJO

4.1. Diferencia entre un orientador y un acondicionador de flujo

En la traducción textual del diccionario; se tiene que un orientador, como la palabra lo dice "orienta" con respecto a dos puntos determinados, como es el caso del eje de la tubería, encaminando en esta dirección al flujo; mientras que un acondicionador trata de dar calidad al perfil de velocidades dentro de la tubería con fines de medición. La ISO (*Internacional Standar Office*) en su serie de normas ISO 5167:1, 2, 3 y 4 describe algunos de los orientadores y acondicionadores y menciona (*Anexo C; Norma 5167-1*) que el término *acondicionador de flujo* puede ser usado para describir ambos términos acondicionador de flujo y orientador de flujo. Estos dispositivos remueven o reducen significativamente la turbulencia. Sin embargo un orientador, trata de impulsar a un flujo a fluir de forma paralela a la tubería, mientras un acondicionador además de remover significativamente la turbulencia, está diseñado para redistribuir el perfil de velocidades en un arreglo apropiado para lograr que la relación de la velocidad axial local a la máxima velocidad axial en la sección transversal esté dentro del 5% de aquella que conseguiría en un flujo libre de turbulencia en la misma posición radial en una sección transversal localizada en el extremo de un tramo recto muy largo, mayor a 100 diámetros, de una tubería similar; es decir, flujo completamente desarrollado (*Norma ISO 5167-1*).

4.1.1. Ejemplos de orientadores y acondicionadores de flujo

Algunos ejemplos de orientadores de flujo están dados por la norma ISO 5167 y se muestran en la tabla a continuación

Tabla 4.1 Ejemplos de los diferentes acondicionadores

Dispositivos		Observaciones
Orientadores	De tubos	contiene al menos 19 tubos en su interior
	AMCA	compuesto con rejilla como panal de abejas
	Étoile	su nombre viene del francés "estrella"
Acondicionadores	Gallagher	Tiene dos modalidades de construcción; con tubos o aspas en su interior
	Sprenkle	Incluye 3 placas perforadas distribuidas en el carrete
	Zanker	Incluye una placa perforada y una rejilla en su interior
Acondicionadores de placa	Diseño NOVA de la placa acondicionadora K-Lab	Estos acondicionadores se componen únicamente de una placa; fáciles de construir, instalar y acomodar, la geometría de la placa es importante para determinar el desempeño, la efectividad y la pérdida de presión a través de la placa; tienen como ventaja el espesor alrededor de D/8, además debido a que pueden ser perforados en lugar de ser fabricados, se obtiene un dispositivo más robusto que ofrece un desempeño constante.
	NEL (Spearman)	
	Zanker	

Fuente: Norma ISO 5167

En la industria de la medición hay más acondicionadores de flujo que los anteriormente mencionados, para darse una idea se anotan aquí otros también disponibles (pueden ser placas o incluir aspas): Akashi, Bellinga, Bosch & Hebrard, ISO, Kinghorn, Laws, Nova 50E, PG&E, Sens & Teule y Stuart C-3.

4.2. Orientadores de flujo

4.2.1. Orientador de tubos

Este orientador consiste en un conjunto de tubos paralelos unidos entre ellos y que descansan en la tubería a la cual son sostenidos rígidamente; se debe asegurar que los tubos sean paralelos entre sí y al eje de la tubería; de lo contrario, pueden introducir turbulencia adicional al flujo.

Debe haber al menos 19 tubos de longitud mayor o igual a $10d_f$, donde d_f es el diámetro del tubo (Norma ISO 5167-2).

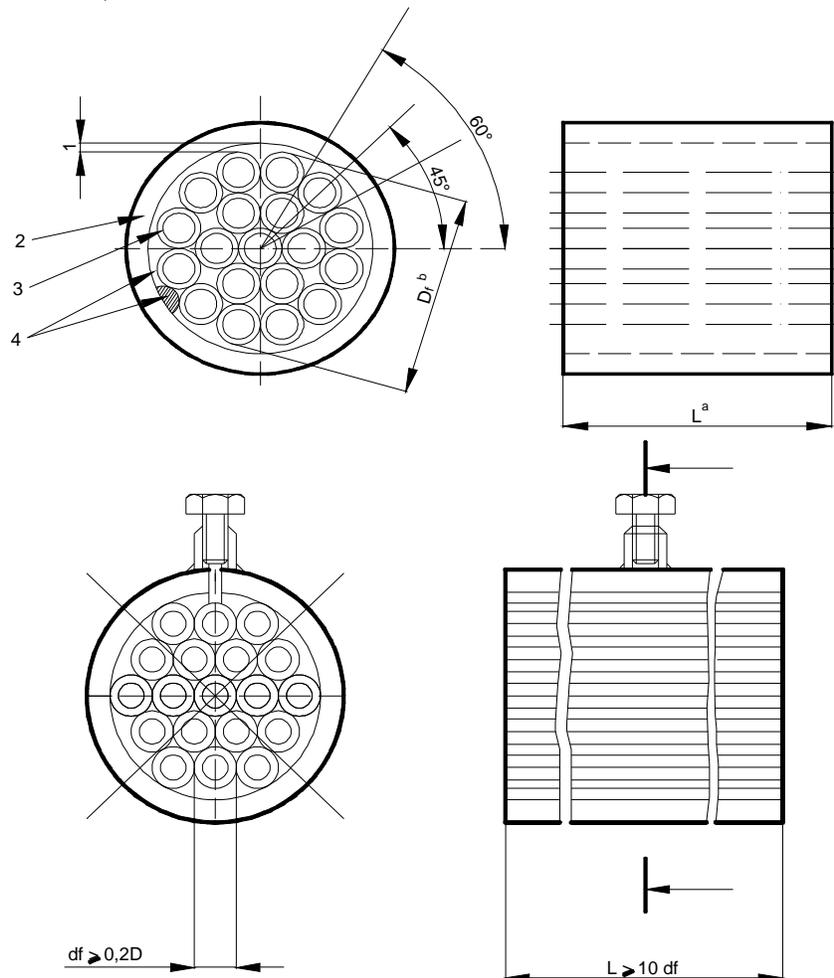


Figura 4.1 Ejemplos del Orientador de tubos.

Donde:

- 1 Hueco minimizado
- 2 Pared de la tubería
- 3 Espesor de la pared del tubo (menor que $0.025D$)
- 4 Opciones del centrado de espaciamiento - típicamente 4 lugares
- ^a la longitud, L , de los tubos debe estar entre $2D$ y $3D$, preferiblemente tan cercano a $2D$ como sea posible.
- ^b D_f Diámetro exterior del orientador de flujo y $0.95 \leq D_f \leq D$.

El coeficiente de pérdida de carga, K , para el orientador conjunto de tubos depende del número de tubos y de sus espesores, para el que contiene 19 tubos en su interior (Norma ISO 5167-2, 1998) es aproximadamente igual a 0.75, donde K está dado por la siguiente ecuación:

$$K = \frac{\Delta p_c}{\frac{1}{2} \rho V^2} \quad (3)$$

Donde:

Δp_c es la pérdida de presión a través del orientador de flujo.

V es la velocidad axial media del fluido en la tubería.

4.2.2. Orientador AMCA

Este orientador consiste en una malla con celdas cuadradas cuyas dimensiones son 0.075 del diámetro de la tubería por lado, las placas deben ser tan delgadas como sea posible pero deben proveer la fortaleza adecuada para evitar deformaciones en ella, siendo la longitud de este de 0.7 del diámetro de la tubería (Norma ISO 5167-2).

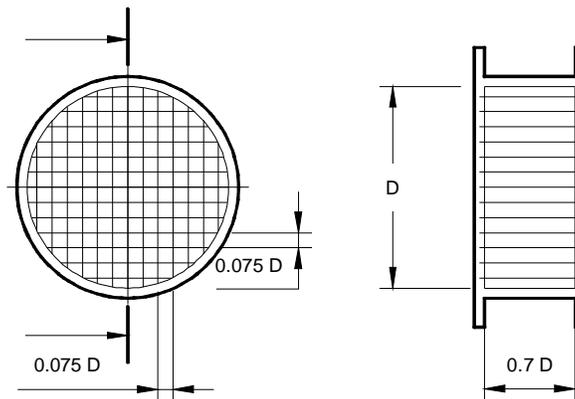


Figura 4.2 Orientador AMCA.

El coeficiente de pérdida de presión, K , para el orientador AMCA es aproximadamente igual a 0.25.

4.2.3. Orientador Étoile

Este orientador se compone de ocho aspas radiales con igual espaciado angular entre ellas, con una longitud de dos veces el diámetro de la tubería. Las aspas deben ser tan delgadas como sea posible pero deben proveer la fortaleza adecuada para evitar deformaciones que no ayuden a orientar el flujo. El coeficiente de pérdida de presión, K , para el orientador Étoile es aproximadamente igual a 0.25 (Norma ISO 5167-2).

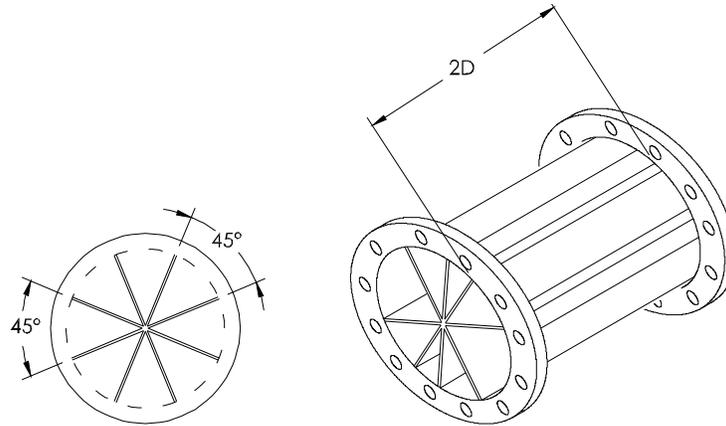


Figura 4.3 Orientador de flujo Étoile.

4.2.4. Orientador de cruz

Este orientador fue diseñado con base en las normas ISO, se compone de cuatro aspas perpendiculares entre sí, con una longitud igual a dos diámetros de la tubería. Las aspas deben ser tan delgadas como sea posible, pero deben proveer la fortaleza adecuada, para evitar que la fuerza del flujo las deforme, deberán contar con un afilamiento en la parte frontal de las aspas, sobre el lado aguas arriba para disminuir la pérdida de presión a la entrada del orientador.

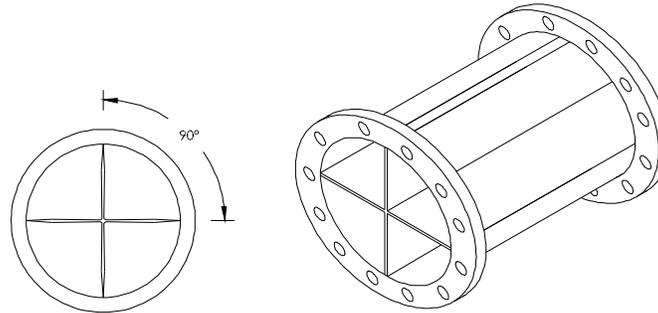


Figura 4.4 Orientador de cruz.

Para este orientador aún no se define un coeficiente de pérdida de presión, K , ya que se planeó su diseño y su construcción se llevará a cabo con el resto de los acondicionadores, para ser probado en el laboratorio.

4.3. Acondicionadores de flujo

4.3.1. Acondicionador Gallagher

El acondicionador de flujo Gallagher está patentado. Consta de un accesorio anti-turbulencia, una cámara y un dispositivo perfil. El coeficiente de pérdida de presión, K , para el acondicionador de flujo Gallagher depende de la especificación de fabricación del acondicionador; es aproximadamente igual a 2 (Norma ISO 5167-2).

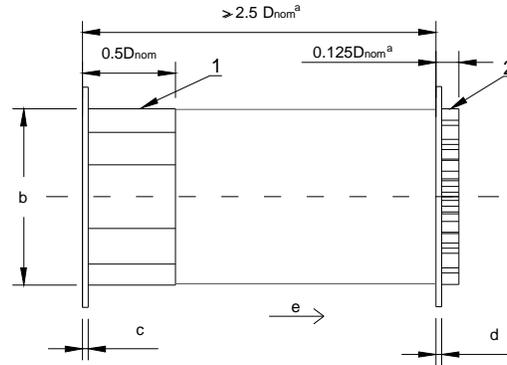


Figura 4.5 Arreglo típico del acondicionador de flujo Gallagher.

Donde:

- 1 Dispositivo anti-turbulencia
- 2 Dispositivo perfil
- a D_{nom} = Diámetro nominal de la tubería
- b Longitud igual al diámetro de la cara levantada/elevada
- c 3.2 mm para $D_{nom} = 50$ mm a 75 mm estilo tubo
6.4 mm para $D_{nom} = 100$ mm a 450 mm estilo tubo
12.7 mm para $D_{nom} = 500$ mm a 600 mm estilo tubo
12.7 mm para $D_{nom} = 50$ mm a 300 mm estilo veleta
17.1 mm para $D_{nom} = 350$ mm a 600 mm estilo veleta
- d 3.2 mm para $D_{nom} = 50$ mm a 75 mm
6.4 mm para $D_{nom} = 100$ mm a 450 mm
12.7 mm para $D_{nom} = 500$ mm a 600 mm
- e Dirección del flujo.

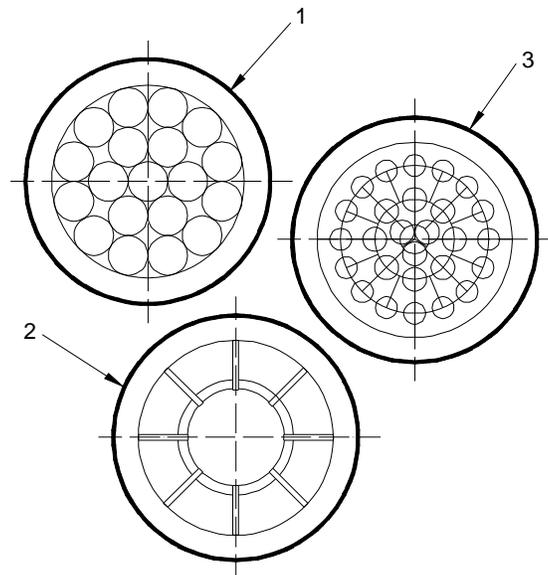


Figura 4.6 Componentes de un acondicionador de flujo Gallagher (vista frontal).

Donde:

- 1 Dispositivo anti-turbulencia – opción estilo tubo: conjunto de tubos concéntrico uniforme que consta de 19 tubos
- 2 Dispositivo anti-turbulencia – opción estilo aspa: 8 placas de longitud $0.125D$ a $0.25D$, concéntrico con la tubería
- 3 Dispositivo perfil: patrón 3-8-16 (ver nota)

Nota: El patrón 3-8-16 para un dispositivo perfil es:

3 orificios en un arreglo circular con un diámetro de $0.15D$ a $0.155D$; su diámetro es tal que la suma de sus áreas es 3% a 5% del área de la tubería.

8 orificios en un arreglo circular con un diámetro de $0.44D$ a $0.48D$; su diámetro es tal que la suma de sus áreas es 19% a 21% del área de la tubería.

16 orificios en un arreglo circular con un diámetro de $0.81D$ a $0.85D$; su diámetro es tal que la suma de sus áreas es 25% a 29% del área de la tubería.

4.3.2. Diseño NOVA del acondicionador de flujo placa perforada K-Lab

El diseño NOVA de la placa perforada K-Lab, conocido como el acondicionador de flujo K-Lab NOVA, está patentado. Consiste de una placa con 25 orificios biselados arreglados en un patrón simétricamente circular. El espesor de la placa perforada, t_c , es tal que $0.125D \leq t_c \leq 0.15D$. El espesor de la pestaña depende de la aplicación; el diámetro externo y la superficie de la cara de la pestaña dependen del tipo de pestaña y de la aplicación. Las dimensiones de los orificios son función del diámetro interno de la tubería, D , y depende del número de Reynolds (*Norma ISO 5167-2*).

Para: $Re_D \geq 8 \times 10^5$ se tiene:

- Un orificio central de diámetro $0.18629D \pm 0.00077D$;
- Un anillo de 8 orificios de diámetro $0.163D \pm 0.00077D$ en un arreglo circular con un diámetro de $0.5D \pm 0.5mm$, y
- Un anillo de 16 orificios de diámetro $0.1203D \pm 0.00077D$ en un arreglo circular con un diámetro de $0.85D \pm 0.5mm$.

Para: $8 \times 10^5 > Re_D \geq 10^5$ se tiene:

- Un orificio central de diámetro $0.22664D \pm 0.00077D$;
- Un anillo de 8 orificios de diámetro $0.16309D \pm 0.00077D$ en un arreglo circular con un diámetro de $0.5D \pm 0.5mm$, y
- Un anillo de 16 orificios de diámetro $0.12422D \pm 0.00077D$ en un arreglo circular con un diámetro de $0.85D \pm 0.5mm$.

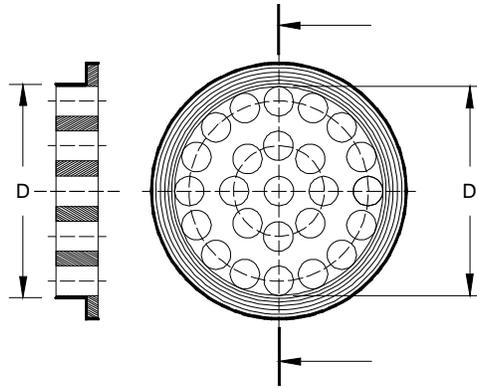


Figura 4.7 El diseño NOVA del acondicionador de flujo placa K-Lab.

El coeficiente de pérdida de presión, K , para el acondicionador de flujo K-Lab NOVA es aproximadamente igual a 2.

4.3.3. Acondicionador de flujo NEL (Spearman)

Éste es una placa perforada con orificios circulares cuyas dimensiones están en función del diámetro interno de la tubería, D , está compuesto por:

Un anillo de 4 orificios ($d1$) de diámetro $0.10D$, en un arreglo circular con diámetro de $0.18D$;
 Un anillo de 8 orificios ($d2$) de diámetro $0.16D$, en un arreglo circular con diámetro de $0.48D$ y
 Un anillo de 16 orificios ($d3$) de diámetro $0.12D$, en un arreglo circular con diámetro de $0.86D$
 (Norma ISO 5167-2).

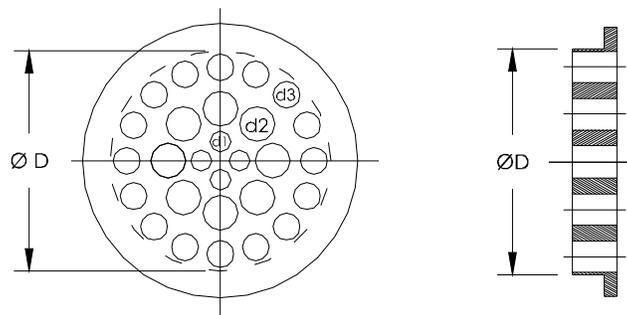


Figura 4.8 Acondicionador de flujo NEL (Spearman).

El espesor de la placa perforada es $0.12D$.

El coeficiente de pérdida de carga, K , para el acondicionador de flujo NEL (Spearman) es aproximadamente igual a 3.2.

4.3.4. Acondicionador Sprengle

Éste consta de tres placas perforadas en serie con una longitud igual a $D \pm 0.1D$ entre placas sucesivas. Los orificios deben preferiblemente estar biselados 45° sobre el lado aguas arriba para reducir la pérdida de presión, y el área total de los orificios en cada placa deber ser mayor que 40% del área de la sección transversal de la tubería. El cociente entre el espesor de la placa y el

diámetro del orificio debe ser al menos 1 y el diámetro de los orificios deber ser menor o igual a $0.05D$ (Norma ISO 5167-2).

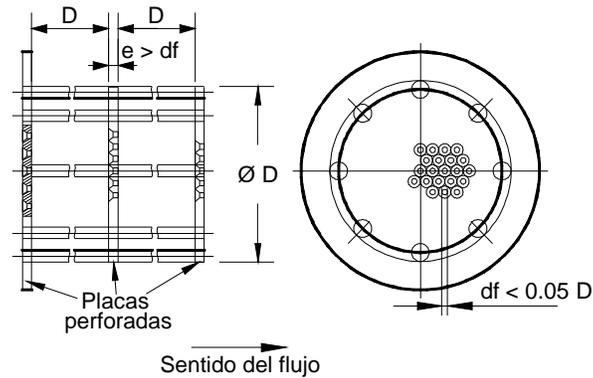


Figura 4.9 Acondicionador Sprengle.

Las tres placas se sostienen juntas mediante barras, las cuales están localizadas alrededor de la periferia del bisel de la tubería, y deben ser de un diámetro tan pequeño como sea posible pero deben proveer la resistencia requerida. El coeficiente de pérdida de carga K , para el acondicionador Sprengle es aproximadamente igual a 11 si hay un filo interno o 14 si no hay.

4.3.5. Acondicionador de flujo Zanker

Éste consta de una placa perforada con orificios de tamaños especificados seguidos por un número de canales (uno para cada orificio) formados por la intersección de un número de placas, éstas deben ser tan delgadas como sea posible pero deben proveer una resistencia adecuada.

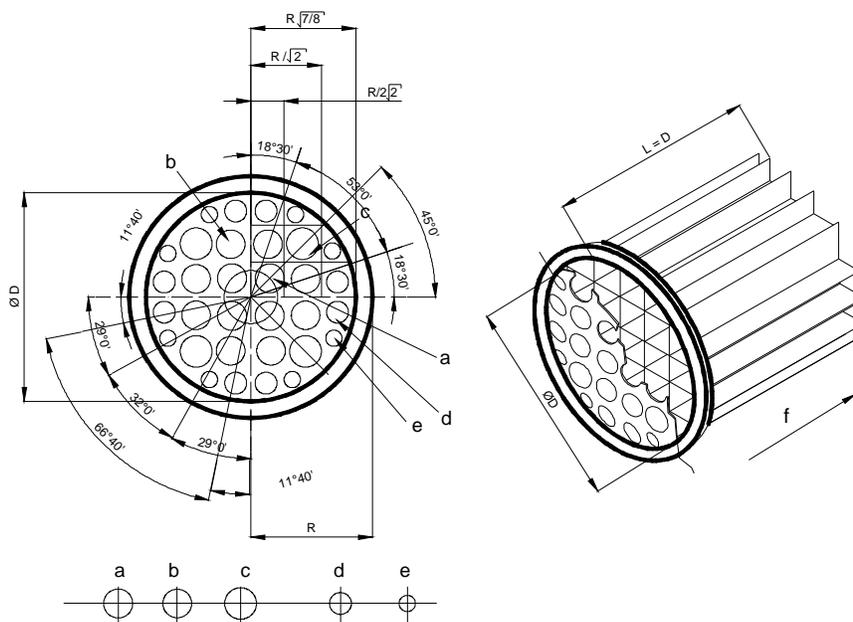


Figura 4.10 Acondicionador de flujo Zanker.

Donde:

- a* 4 orificios de diámetro $0.141D$, en arreglo circular con un diámetro de $0.25D$.
- b* 8 orificios de diámetro $0.139D$, en arreglo circular con un diámetro de $0.56D$.
- c* 4 orificios de diámetro $0.1365D$, en arreglo circular con un diámetro de $0.75D$.
- d* 8 orificios de diámetro $0.11D$, en arreglo circular con un diámetro de $0.85D$.
- e* 4 orificios de diámetro $0.077D$, en arreglo circular con un diámetro de $0.90D$.
- f* dirección del flujo.

(Norma ISO 5167-2).

El coeficiente de pérdida de carga, K , para el acondicionador de flujo Zanker es aproximadamente igual a 5.

4.3.6. Acondicionador de flujo placa Zanker

Ésta placa es un desarrollo del acondicionador de flujo Zanker antes descrito, tiene la misma distribución de orificios pero no cuenta con la distribución de placas añadida, en su lugar el espesor de la placa es de $D/8$.

El acondicionador placa Zanker mostrado, está compuesto de un arreglo de 32 orificios en un patrón circular simétrico, el diámetro de los orificios esta en función del diámetro interno de la tubería, para el cual tenemos.

- a* Un anillo de 4 orificios centrales de diámetro $0.141D \pm 0.001D$ en un arreglo circular con diámetro de $0.25D \pm 0.0025D$;
- b* Un anillo de 8 orificios de diámetro $0.139D \pm 0.001D$ en un arreglo circular con diámetro de $0.56D \pm 0.0056D$;
- c* Un anillo de 4 orificios de diámetro $0.1365D \pm 0.001D$ en un arreglo circular con diámetro de $0.75D \pm 0.0075D$;
- d* Un anillo de 8 orificios de diámetro $0.110D \pm 0.001D$ en un arreglo circular con diámetro de $0.85D \pm 0.0085D$;
- e* Un anillo de 8 orificios de diámetro $0.077D \pm 0.001D$ en un arreglo circular con diámetro de $0.90D \pm 0.009D$.

La tolerancia en el diámetro de cada orificio es $\pm 0.1\text{mm}$ para $D < 100\text{mm}$ (Norma ISO 5167-2).

El espesor de la placa perforada, t_c , es tal que $0.12D \leq t_c \leq 0.15D$. El espesor de la pestaña depende de la aplicación; el diámetro externo y las superficies de la cara de la pestaña dependen del tipo de pestaña y de la aplicación, de manera práctica se puede decir que el espesor es igual a una octava parte del el diámetro.

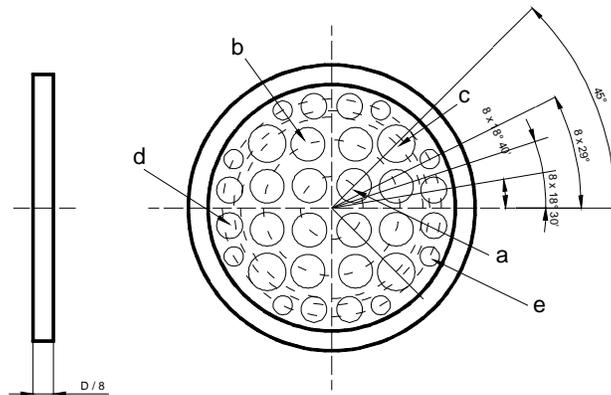


Figura 4.11 Acondicionador de flujo placa Zanker.

Donde:

- a* 4 orificios de diámetro $0.141D$, en un arreglo circular con diámetro de $0.25D$.
- b* 8 orificios de diámetro $0.139D$, en un arreglo circular con diámetro de $0.56D$.
- c* 4 orificios de diámetro $0.1365D$, en un arreglo circular con diámetro de $0.75D$.
- d* 8 orificios de diámetro $0.11D$, en un arreglo circular con diámetro de $0.85D$.
- e* 8 orificios de diámetro $0.077D$, en un arreglo circular con diámetro de $0.90D$.

(Norma ISO 5167-2)

El coeficiente de pérdida de carga, K , para el acondicionador de flujo placa Zanker es aproximadamente igual a 3.

4.4. Diseño y construcción de los orientadores y acondicionadores

En la norma ISO 5167 se hace mención de algunos orientadores y acondicionadores de flujo, también se detallan las especificaciones de las dimensiones para cada uno de éstos, ahí mencionados. Debido a la poca información sobre la instalación de mediciones con acondicionadores de flujo en bancos de pruebas, y a la imposibilidad de conseguir los acondicionadores en el país, se tomó la determinación de hacer la reproducción de todos los que se encuentran descritos en dicha norma; cada uno de éstos bajo sus propias especificaciones, además se elaboró el diseño de un orientador de flujo en base a la información recopilada, así como su construcción. La manufactura de las piezas fue llevada a cabo por la empresa Estudios y proyectos en Ingeniería e Hidráulica Aplicada, como se describe en dicha norma. Siendo elaborados de PVC, PVC3 (acabado rústico) y láminas de nylacero para un diámetro de tubería de doce pulgadas. En seguida se presentan fotos de los orientadores y acondicionadores de flujo construidos. Se detallan en el Anexo A-1, dimensiones y elaboración.

a) Orientadores de flujo

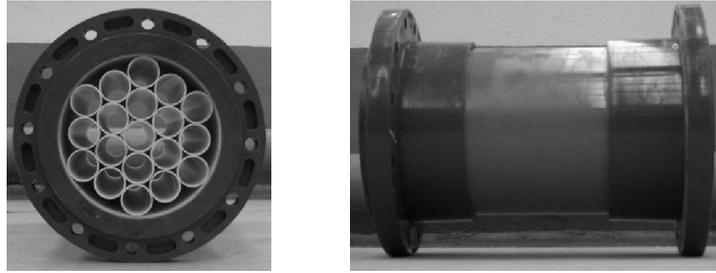


Figura 4.12 De tubos.



Figura 4.13 AMCA.

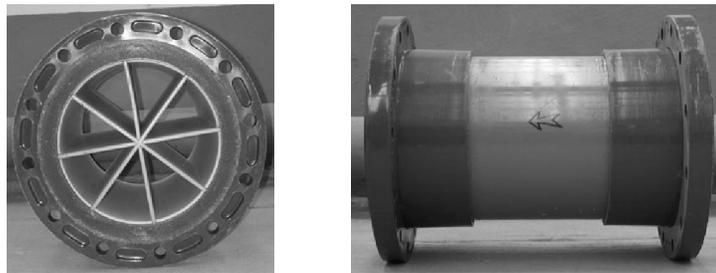


Figura 4.14 Étoile.

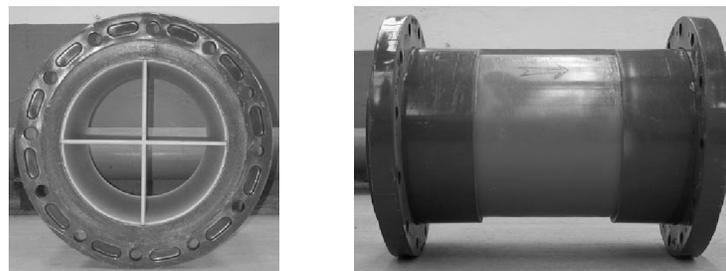


Figura 4.15 De cruz.

b) Acondicionadores de flujo



Figura 4.16 Gallagher (aspas).



Figura 4.17 Gallagher (tubos).

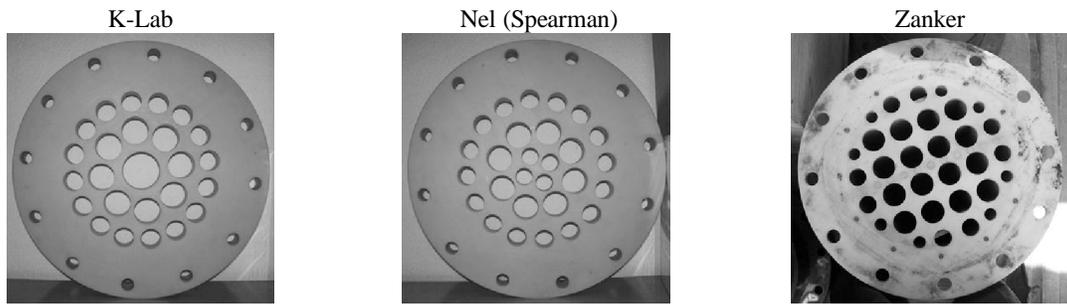


Figura 4.18 Acondicionadores de Placa.

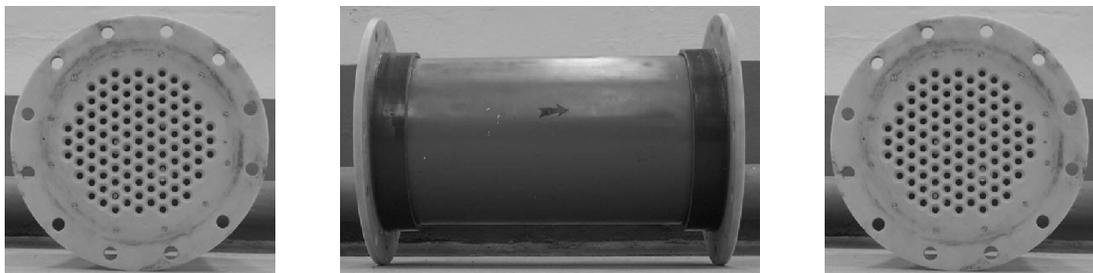


Figura 4.19 Sprengle.

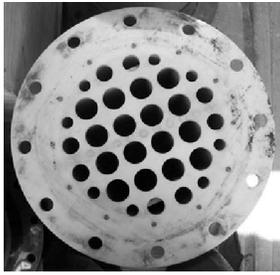


Figura 4.20 Zanker.

5. DISEÑO EXPERIMENTAL

5.1. Instalación Experimental

Las pruebas se realizaron en el laboratorio de Hidráulica "Enzo Levi" del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Se aprovecharon las instalaciones de un modelo ya construido al cual se le hicieron modificaciones menores para adaptarlo a las necesidades de las pruebas. Se trató de representar el tren de descarga de un pozo profundo en el cual invariablemente el accesorio aguas arriba de los medidores es un codo. Sin embargo, fue necesario alargar el tramo de pruebas por cuestiones de facilidad y seguridad de maniobras por lo que se requirió la colocación de dos codos en lugar de uno, como se pretendió inicialmente. Debido a esto, las primeras pruebas se hicieron con un codo y posteriormente se hicieron con dos codos; en los resultados de cada prueba se aclaran estos cambios. El arreglo final del tren de descarga y del tramo de pruebas quedó como se muestra en el esquema de la Figura 5.1

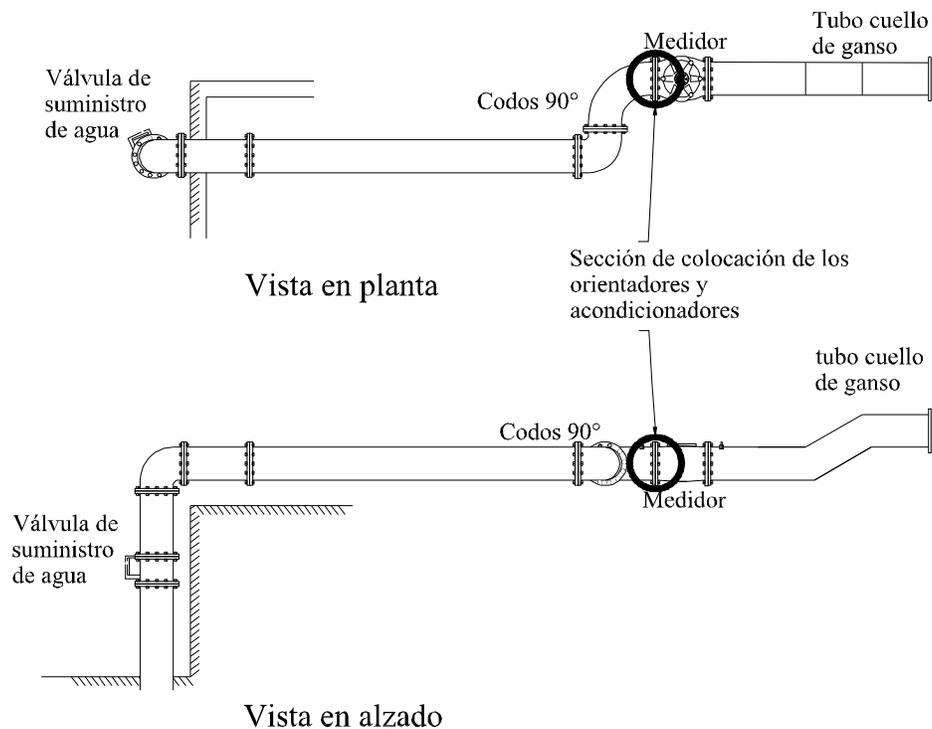


Figura 5.1 Esquema del tren de descarga; detalle planta y alzado.

Se colocó un tubo cuello de ganso al final de tramo de pruebas, para asegurar que la sección donde se colocaría el medidor y el acondicionador, trabaje a tubo lleno.

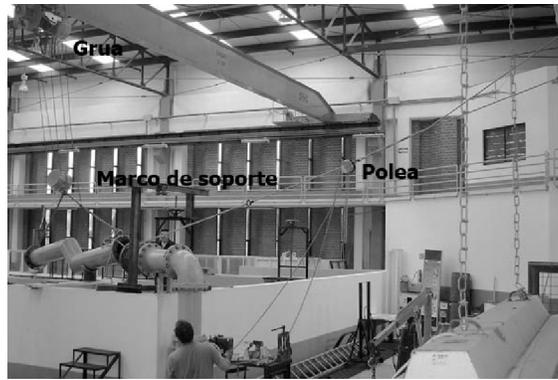


Figura 5.2 Dificultades para armado del tren de descarga a la salida del suministro de agua.

En el laboratorio “Enzo Levi” del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua se adaptó un modelo ya construido que cumple las características necesarias para que trabaje como banco de pruebas y simule la configuración de un pozo de extracción agrícola. Los pozos agrícolas tienen diámetros que van desde ocho pulgadas hasta doce pulgadas de diámetro, las propelas dentro de los medidores, van de acuerdo al diámetro de éstos y hasta seis pulgadas como máximo, en los medidores de diámetro mayor a seis pulgadas la propela no abarca toda la tubería, teniendo una condición desfavorable para la medición, que aumentará para gastos pequeños o flujo ligeramente inclinado, por ello se opta por trabajar con el mayor de los diámetros usados en pozos agrícolas equivalente a doce pulgadas que es también la condición más desfavorable para una buena medición. El modelo cuenta con un canal de retorno con un vertedor rectangular sin contracción, como estructura aforadora, y de un limnómetro para la lectura de los niveles de agua.

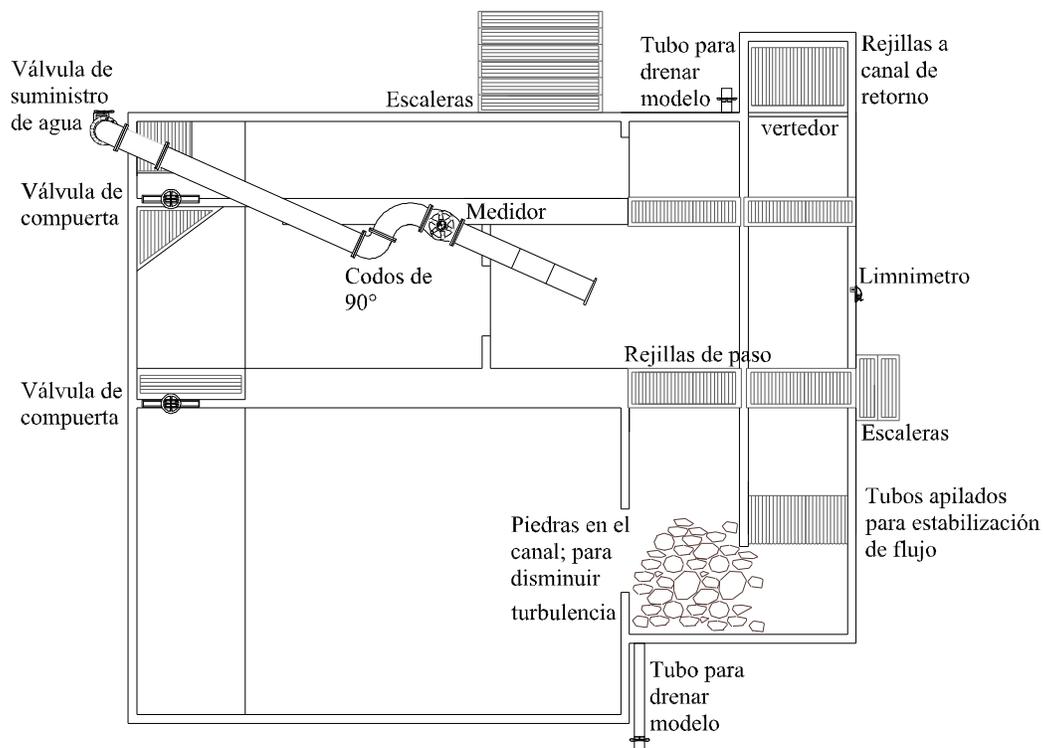


Figura 5.3 Croquis esquemático de la adaptación del modelo.

El banco de pruebas es alimentado por medio del equipo de bombeo del laboratorio y su tanque elevado; la línea de conducción es de hierro fundido de 12 pulgadas de diámetro. Se hicieron perforaciones a la salida del segundo codo de 90° y a la entrada de tubo cuello de ganso para la colocación de manómetro o manguera según sea el caso para medir la pérdida de presión entre ellos.



Figura 5.4 Fotografía de la vista panorámica del modelo.

El gasto nominal del medidor es $Q_n = 333.34 \text{ l/s}$ (Medidor ARAD WT300) marcado en la carátula del mismo; por lo tanto, el gasto mínimo para trabajar de una manera adecuada es el 5% del doble del gasto nominal, por lo que el gasto mínimo a usarse es de $Q_{5\%} = 16.67 \text{ l/s}$. El gasto máximo que puede pasar por el medidor de acuerdo al diámetro y a la velocidad media es de $Q_{\text{max}} = 132.79 \text{ l/s}$. Para las pruebas en laboratorio el gasto mínimo será más alto que el gasto mínimo requerido por el medidor, para medir sin llegar al error permisible máximo de tolerancia. Este error es determinado en relación con el valor numérico de la designación del medidor, y el gasto máximo será más alto que el correspondiente al calculado para la tubería de 12 pulgadas de manera que se pueda forzar para obtener más información; por tanto el rango a usarse va alrededor de $Q_{\text{min}} = 25 \text{ l/s}$ a $Q_{\text{max}} = 150 \text{ l/s}$.

Las lecturas tomadas simultáneamente en el medidor y el vertedor rectangular del modelo se usarán para definir los errores con los que trabaja el medidor.

Datos del rendimiento:

Tamaño nominal		Q_{max} Gasto máximo (l/s)	Q_{ISO} ISO 4064 (l/s)	Q_n Gasto nominal (l/s)	Q_t Gasto de transición (l/s)	Q_{min} Gasto mínimo (l/s)	Gasto inicial (l/s)	Capacidad máxima del registro (m ³)	Cantidad mínima leída (litro)	Precisión entre Q_{max} y Q_t (l/s)	Precisión entre Q_t y Q_{min} (l/s)
mm.	pulg.										
300	12	555.56	111.11	277.78	11.11	3.19	1.94	10 ³	100	+/- 2%	+/- 5%

Dimensiones	
L - Longitud (mm)	500
B - Ancho	460
H - Altura (mm)	465
h - Altura (mm)	330
Peso (kg)	95

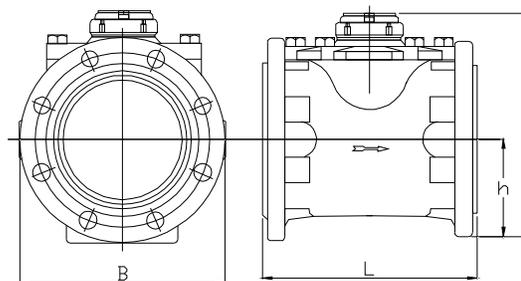


Figura 5.5 Medidor y sus características.

En la Figura 5.5 se pueden observar las especificaciones proporcionados por el fabricante para este tipo de medidores, similar al utilizado para las pruebas; cabe señalar que los datos aquí mostrados, difieren de los calculados, esto se debe a que se tomo directamente el gasto nominal de la carátula del medidor de manera práctica como se haría en campo, sin embargo son una referencia válida de comparación.

El vertedor rectangular (estructura aforadora) tiene las siguientes características mostradas en la Figura 5.6 con la ecuación $Q_v = 1498.2h^{1.4913}$ para el cálculo del gasto, siendo h el tirante de agua que pasa a través del vertedor:

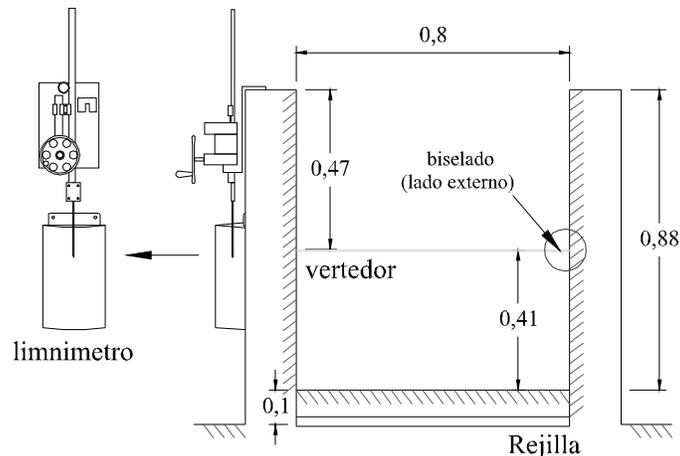


Figura 5.6 Estructura aforadora.

Para la operación en el banco de pruebas, se ajustaron los aparatos de medición, es decir se ajustó el limnómetro colocando el cero (o lectura inicial) en 20cm, condición que se revisó al inicio de cada prueba, se limpió el vertedor rectangular y revisó que no tuviera ninguna fuga o golpe que pudiese afectar la medición. El medidor fue previamente calibrado en el banco de pruebas del laboratorio.

La calibración del medidor se realizó obteniendo el porcentaje de error del volumen leído en el medidor con respecto al volumen leído en el tanque del banco de pruebas, los errores se determinaron por medio de la fórmula:

$$\% E = \left(\frac{Li - Lf}{Lf} \right) \times 100 \quad (4)$$

Donde:

$\% E$ = Porcentaje de error

Li = Gasto reportado por el medidor

Lf = Gasto reportado por el vertedor

Se comenzó con una serie de lecturas para conocer el error del medidor; trabajando con los gastos: 75, 50, y 25 l/s; en la Tabla 5.1 se muestra la tabulación de los datos generados.



Figura 5.7 Tanque volumétrico con el cual se calibró el medidor.

Tabla 5.1 Primera serie de lecturas al medidor.

Gasto propuesto (L/s)	Macromedidor					Tanque de aforo					
	Lectura Inicial (m ³ /s)	Lectura Final (m ³ /s)	Diferencia (m ³ /s)	Tiempo (m,s,c)	Gasto (V/T)	Altura Inicial (mm)	Altura Final (mm)	Diferencia (mm)	Volumen* (L)	Gasto (L/s)	Error %
75	920	925	5	1 5 0	76.92	693	969	276	4416	67.94	-13.22
50	815	820	5	1 40 5	49.98	961	1233	272	4352	43.50	-14.89
50	790	795	5	1 41 24	49.39	686	961	275	4400	43.46	-13.64
25	715	720	5	3 12 10	26.03	530	804	274	4384	22.82	-14.05
25	736	741	5	3 10 96	26.18	804	1076	272	4352	22.79	-14.89
25	753	758	5	3 10 32	26.27	1076	1348	272	4352	22.87	-14.89

* La constante del Tanque es de 16 litros por milímetro leído

Como se observa en la tabla, se obtuvo un error máximo de -14.89%, error que al ser negativo representa una sub-medición, el cual se buscó disminuir por medio de un ajuste al medidor, dicho ajuste se lleva a cabo moviendo una pieza que contiene el medidor para ese fin, después de dicho ajuste se procedió a realizar mediciones nuevamente.

En la Tabla 5.2, se muestran los datos tabulados de la serie de lecturas realizadas para el primer ajuste del medidor.

Tabla 5.2 Primer ajuste al medidor.

Gasto propuesto (L/s)	Macromedidor					Tanque de aforo					
	Lectura Inicial (m ³ /s)	Lectura Final (m ³ /s)	Diferencia (m ³ /s)	Tiempo (m,s,c)	Gasto (V/T)	Altura Inicial (mm)	Altura Final (mm)	Diferencia (mm)	Volumen* (L)	Gasto (L/s)	Error %
100	1321	1326	5	0 46 5	108.58	710	1017	307	4912	106.67	-1.76
100	1357	1362	5	0 46 17	108.3	1017	1327	310	4960	107.43	-0.8
100	1408	1413	5	0 45 69	109.43	864	1166	302	4832	105.76	-3.36
100	1487	1492	5	0 46 5	108.58	653	960	307	4912	106.67	-1.76
125	1556	1561	5	0 39 69	125.98	706	1016	310	4960	124.97	-0.8
125	1588	1593	5	0 39 99	125.03	1016	1326	310	4960	124.03	-0.8
75	1650	1655	5	1 6 20	75.529	660	962	302	4832	72.99	-3.36
75	1672	1677	5	1 6 10	75.643	962	1264	302	4832	73.10	-3.36
50	1727	1732	5	1 40 40	49.801	611	908	297	4752	47.33	-4.96
50	1743	1748	5	1 40 82	49.593	908	1204	296	4736	46.97	-5.28
25	1796	1801	5	2 52 68	28.955	533	827	294	4704	27.24	-5.92
25	1807	1812	5	2 50 93	29.252	827	1119	292	4672	27.33	-6.56
25	1820	1825	5	2 51 17	29.211	1119	1412	293	4688	27.39	-6.24

* La constante del Tanque es de 16 litros por milímetro leído

Al final de la toma de lecturas del primer ajuste al medidor, como se observa en la tabla el, se obtuvo el error máximo negativo de -6.56% para un gasto de 25 l/s, el error mínimo de -0.8% para un gasto de 125 l/s, se buscó disminuir aún más el rango de error. Al analizar el error promedio de - 3.12% se encontró que es próximo al correspondiente al gasto de 75 l/s, por ello se ajusto el medidor para éste gasto considerando que se afectarán todos los errores.

Después del segundo ajuste se llevó a cabo la serie de lecturas para los gastos de 25, 50, 75, 100 y 125 l/s, los datos obtenidos se muestran tabulados en la Tabla 5.3

Tabla 5.3 Segundo ajuste al medidor.

Gasto propuesto (L/s)	Macromedidor					Tanque de aforo							
	Lectura Inicial (m ³ /s)	Lectura Final (m ³ /s)	Diferencia (m ³ /s)	Tiempo (m,s,c)		Gasto (V/T)	Altura Inicial (mm)	Altura Final (mm)	Diferencia (mm)	Volumen* (L)	Gasto (L/s)	Error %	
125	2182	2187	5	0	38	61	129.5	547	858	311	4976	128.88	-0.48
125	2214	2219	5	0	38	98	128.27	858	1174	316	5056	129.71	1.12
100	2027	2032	5	0	52	36	95.493	671	982	311	4976	95.03	-0.48
100	2049	2054	5	0	52	48	95.274	982	1297	315	5040	96.04	0.8
100	2092	2097	5	0	52	37	95.475	853	1169	316	5056	96.54	1.12
125	2274	2279	5	0	38	64	129.4	808	1125	317	5072	131.26	1.44
75	1939	1944	5	1	5	57	76.254	548	859	311	4976	75.89	-0.48
75	1966	1971	5	1	5	61	76.208	859	1170	311	4976	75.84	-0.48
50	2350	2355	5	1	43	32	48.393	640	944	304	4864	47.08	-2.72
50	2363	2368	5	1	42	96	48.563	944	1250	306	4896	47.55	-2.08
25	2305	2310	5	3	8	69	26.498	661	963	302	4832	25.61	-3.36
25	2315	2320	5	3	8	86	26.475	963	1265	302	4832	25.59	-3.36

Como se observa en la tabla, el error máximo negativo es de -3.36%, y el error máximo positivo de 1.44%. Se consideró después de éste ajuste que el medidor ya asegura un buen funcionamiento, ya que éstos errores quedan dentro del rango permitido por las especificaciones de la marca del medidor.

Por otro lado, se colocaron piedras a la entrada del canal de retorno para romper la turbulencia provocada por la caída del agua al modelo y estabilizar así el flujo. También se colocaron tubos de PVC apilados para que orienten el flujo de forma paralela al canal; logrando con esto disminuir la turbulencia y orientar el flujo tal como lo haría un orientador de flujo.

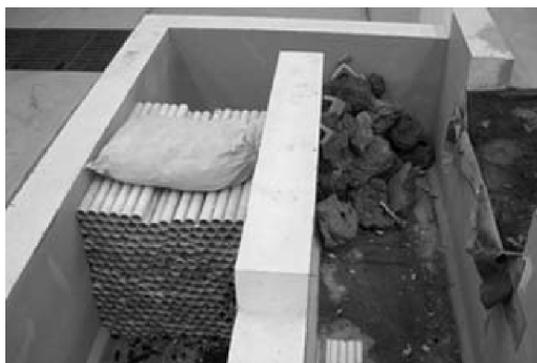


Figura 5.8 Piedras y tubos de PVC a manera de estabilizador y orientador de flujo en el canal de retorno.

El tiempo de estabilización en el canal de retorno, para la toma de la lectura del nivel del agua, se determinó por medio de una serie de ensayos; se realizaron dos tipos de ensayo en el primero se dejaba correr un gasto mínimo por la tubería, una vez estabilizado el flujo en el canal, se abre la válvula hasta alcanzar un gasto máximo, tomando el tiempo que le lleva al flujo estabilizarse de un gasto mínimo a un gasto máximo, en el segundo se dejaba correr un gasto máximo por la tubería, una vez estabilizado el flujo en el canal, se cierra la válvula hasta un gasto mínimo, tomando el tiempo que le lleva al flujo estabilizarse. El tiempo máximo registrado en esta serie de ensayos fue de 4 minutos con 23 segundos, de manera que pasado este tiempo la lectura con el limnómetro es válida.

5.2. Diseño de los experimentos

Se propuso realizar dos grupos de pruebas, el primer grupo será el grupo de control donde no se usarían orientadores ni acondicionadores. Este grupo de pruebas servirían para contrastar el comportamiento del error con el segundo grupo donde se hará uso de orientadores y acondicionadores, estas pruebas se llevan a cabo en el laboratorio bajo las mismas condiciones. Las tablas siguientes muestra la organización de las pruebas.

Tabla 5.4 Grupo de pruebas sin orientadores ni acondicionadores de flujo.

Número de prueba	Se busca evaluar
Prueba_1	Medidor con tramo recto de diez diámetros de longitud
Prueba_2	Medidor con tramo recto de dos diámetros de longitud
prueba_3	Medidor sin tramo recto
prueba_4	Histéresis en vertedor*
prueba_5	Medidor sin tramo recto
prueba_6	Medidor sin tramo recto condición inicial
prueba_18	Medidor sin tramo recto condición final

Tabla 5.5 Grupo de pruebas con orientadores y acondicionadores de flujo.

Número de prueba	Se busca evaluar
prueba_7	Orientador de tubos
prueba_8	Acondicionador de flujo Sprengle
prueba_9	Orientador Étoile
prueba_10	Acondicionador de flujo Gallagher (tubos)
prueba_11	Orientador de cruz (diseñado)
prueba_12	Acondicionador de flujo placa NEL (Spearman)
prueba_13	Diseño NOVA del Acondicionador de flujo placa perforada K-Lab
prueba_14	Orientador AMCA
prueba_15	Acondicionador de flujo placa Zanker
prueba_16	Acondicionador de flujo Gallagher (aspas)
prueba_17	Acondicionador de flujo Zanker

En el grupo de control, no se tiene un número de mediciones concreto, en cada una de las pruebas con los acondicionadores de flujo se tomarán alrededor de treinta y siete mediciones más menos dos mediciones puntuales que generarán información suficiente para analizar los errores del acondicionador. La secuencia de las mediciones será aleatoria, para evitar así tendencias instrumentales, naturales y humanas que pueda haber, variando el gasto, aumentando y disminuyendo su volumen dentro del rango establecido para éste, tomando también para cada medición la pérdida de presión entre la pieza colocada y el medidor, disponiendo del tiempo necesario por prueba para llevarla a cabo de principio a fin.

Una vez terminada cada prueba, se cierra la válvula reguladora del gasto, se paran las bombas, se drena el modelo y se retira la carátula del medidor, sin olvidar el objetivo final que es obtener información de cómo trabajan los orientadores de flujo y acondicionadores de flujo.

La información recopilada será usada para evaluar lo siguiente:

- La influencia de los tramos rectos en la medición (pruebas 1, 2 y 3)
- La influencia en la medición con adición de disturbios en el flujo (pruebas 3 y 5)
- La verificación de histéresis (prueba 4)
- La comparación de los errores antes de comenzar a trabajar con los acondicionadores y al terminar las pruebas con ellos verificando así la condición de medidor (pruebas 6 y 18)
- Los errores que se obtienen por el uso de acondicionadores de flujo y las diferencias entre ellos (pruebas de la 7 a la 17)

* Cuando en un sistema el gasto se incrementa lentamente hasta un valor máximo y después se regresa también lentamente a cero, puede suceder que debido a la fricción interna o amortiguamiento de las partes, las curvas de carga y descarga no coincidan. A este efecto se le llama histéresis y puede afectar los errores del medidor. La prueba número cuatro fue realizada para detectar una posible histéresis en el vertedor que pudiese afectar los errores del medidor; debido a que los datos obtenidos no muestran el fenómeno, se da por hecho que no se presenta, los resultados son mostrados en su apartado correspondiente, sin mucho énfasis debido a que el objetivo no se basa en el vertedor y éste trabaja de forma adecuada.

6. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS

6.1. Tramo recto sin orientadores

6.1.1. Prueba 1. Tramo recto de diez diámetros aguas arriba del medidor

La prueba número uno se llevó a cabo los días 3 y 4 de octubre del 2007, ésta busca información sobre el desempeño del medidor con un tramo recto de diez diámetros de tubería aguas arriba de éste, la distribución del tren de descarga se puede observar en la Figura 6.1, a la salida del suministro de agua está colocado un codo de 90° que provoca disturbio en el flujo le sigue el tramo recto de diez diámetros de longitud, el medidor y un cuello de ganso para mantener la condición de de tubo lleno, condición antes mencionada para que el medidor trabaje adecuadamente; se tomaron lecturas, aproximándose a los gastos de 25, 50, 75, 100 y 125 l/s, al menos ocho lecturas para cada uno de los gastos.



Figura 6.1 Distribución del tren de descarga con un tramo recto de diez diámetros aguas arriba.

Se tomó el tiempo con un cronometro de pulsera, sin inconvenientes durante el desarrollo de ésta y con una duración aproximada de 5 horas.



Figura 6.2 Fotografía del tren de descarga terminado.

Los gastos del medidor, del vertedor y el error se obtuvieron por medio de las siguientes formulas, mismas que se usaron para todas las pruebas.

$$Q_m = \frac{V}{t} \quad (5)$$

$$Q_v = 1498.2h^{1.4913} \quad (6)$$

$$\% E = \frac{Q_m - Q_v}{Q_v} \times 100 \quad (7)$$

Donde:

Q_m = Gasto que corre por el medidor, l/s

Q_v = Gasto que pasa por el vertedor, l/s

V = Volumen que pasa por el medidor, l

t = Tiempo que tarda en pasar el volumen de agua, s

h = Altura del tirante; leída en el limnómetro, cm

% E = Porcentaje de error

Para esta prueba se obtuvieron los resultados tabulados a continuación:

Tabla 6.1 Datos de la prueba con un tramo recto de diez diámetros antes del medidor.

Lectura del limnómetro: 20

Lectura Inicial en medidor	Lectura Final en medidor	Diferencia volumen (m ³)	Tiempo (m,s,c)			Gasto en medidor (l/s)	Altura del tirante h (m)	Gasto en vertedor (L/s)	Diferencia de gastos (L)	Error %
3500	3505	5	3	7	6	26.65	0.0705	28.70	2.05	-7.13
3509	3514	5	3	9	4	26.40	0.0705	28.70	2.30	-8.02
3509	3514	5	3	9	2	26.43	0.0705	28.70	2.27	-7.92
3517	3522	5	3	7	5	26.67	0.0705	28.70	2.03	-7.08
3517	3522	5	3	7	1	26.72	0.0705	28.70	1.98	-6.88
3525	3530	5	3	7	8	26.62	0.0705	28.70	2.08	-7.23
3525	3530	5	3	7	8	26.62	0.0705	28.70	2.08	-7.23
3546	3549	3	1	52	0	26.79	0.0705	28.70	1.91	-6.67
3552	3555	3	1	52	5	26.67	0.0705	28.70	2.03	-7.08
3558	3561	3	1	52	0	26.79	0.0705	28.70	1.91	-6.67
3558	3561	3	1	53	3	26.48	0.0705	28.70	2.22	-7.74
3563	3572	9	5	40	9	26.40	0.0705	28.70	2.30	-8.01
3563	3572	9	5	40	6	26.42	0.0705	28.70	2.28	-7.93
3573	3582	9	5	35	0	26.87	0.0705	28.70	1.83	-6.39
3573	3582	9	5	36	0	26.79	0.0705	28.70	1.91	-6.67
3659	3664	5	1	39	2	50.40	0.1055	52.35	1.95	-3.73
3659	3664	5	1	39	4	50.30	0.1055	52.35	2.05	-3.92
3666	3670	4	1	19	3	50.44	0.1055	52.35	1.91	-3.65
3666	3670	4	1	19	3	50.44	0.1055	52.35	1.91	-3.65
3674	3679	5	1	39	8	50.10	0.1045	51.62	1.52	-2.94
3674	3679	5	1	39	5	50.25	0.1045	51.62	1.36	-2.64
3688	3693	5	1	40	3	49.85	0.1045	51.62	1.76	-3.42
3688	3693	5	1	40	4	49.80	0.1045	51.62	1.81	-3.52
3698	3703	5	1	39	2	50.40	0.1045	51.62	1.21	-2.35
3698	3703	5	1	39	2	50.40	0.1045	51.62	1.21	-2.35
3706	3713	7	2	20	1	49.96	0.1045	51.62	1.65	-3.20
3716	3719	3	0	59	6	50.34	0.105	51.98	1.65	-3.17
3716	3719	3	0	59	2	50.68	0.105	51.98	1.31	-2.52
3726	3732	6	2	0	2	49.92	0.105	51.98	2.07	-3.98
3726	3732	6	2	0	1	49.96	0.105	51.98	2.03	-3.90
3735	3744	9	2	59	6	50.11	0.105	51.98	1.87	-3.60
3745	3754	9	2	59	0	50.28	0.105	51.98	1.70	-3.28

error máximo

error promedio (-3.59)

3746	3755	9	2	58	7	50.36	0.105	51.98	1.62	-3.12
3804	3809	5	1	6	8	74.85	0.1355	76.04	1.19	-1.56
3804	3809	5	1	6	7	74.96	0.1355	76.04	1.08	-1.41
3822	3827	5	1	5	5	76.34	0.137	77.30	0.96	-1.24
3836	3841	5	1	6	0	75.76	0.137	77.30	1.54	-1.99
3837	3842	5	1	6	4	75.30	0.137	77.30	2.00	-2.58
3847	3850	3	0	39	3	76.34	0.137	77.30	0.96	-1.24
3848	3851	3	0	39	4	76.14	0.137	77.30	1.15	-1.49
3857	3860	3	0	40	0	75.00	0.137	77.30	2.30	-2.97
3858	3861	3	0	40	0	75.00	0.137	77.30	2.30	-2.97
3872	3879	7	1	32	6	75.59	0.137	77.30	1.70	-2.20
3873	3880	7	1	32	5	75.68	0.137	77.30	1.62	-2.10
3892	3901	9	1	58	7	75.82	0.137	77.30	1.48	-1.91
3893	3902	9	1	59	9	75.06	0.137	77.30	2.23	-2.89
3031	3036	5	0	50	6	98.81	0.1635	100.62	1.81	-1.80
3063	3068	5	0	50	6	98.81	0.1635	100.62	1.81	-1.80
3082	3087	5	0	50	6	98.81	0.1635	100.62	1.81	-1.80
3106	3111	5	0	50	9	98.23	0.1635	100.62	2.39	-2.37
3114	3117	3	0	30	4	98.68	0.1635	100.62	1.94	-1.92
3120	3123	3	0	30	5	98.36	0.1635	100.62	2.26	-2.25
3127	3134	7	1	10	6	99.15	0.1635	100.62	1.47	-1.46
3137	3146	9	1	31	2	98.68	0.163	100.16	1.48	-1.48
4008	4012	4	0	32	9	121.58	0.1885	124.41	2.83	-2.27
4033	4038	5	0	41	3	121.07	0.1885	124.41	3.34	-2.69
4041	4046	5	0	40	9	122.25	0.1885	124.41	2.16	-1.73
4060	4063	3	0	24	3	123.46	0.1885	124.41	0.95	-0.76
4068	4071	3	0	24	6	121.95	0.1885	124.41	2.45	-1.97
4084	4091	7	0	56	9	123.02	0.1885	124.41	1.38	-1.11
4103	4112	9	1	13	5	122.45	0.1885	124.41	1.96	-1.57
4117	4126	9	1	13	3	122.78	0.1885	124.41	1.62	-1.30

error mínimo

Los datos tabulados en la Tabla 6.1, pueden ser representados de manera simplificada por medio de una gráfica mostrada en la Figura 6.3, que muestra el porcentaje de error obtenido respecto al gasto leído en el medidor.

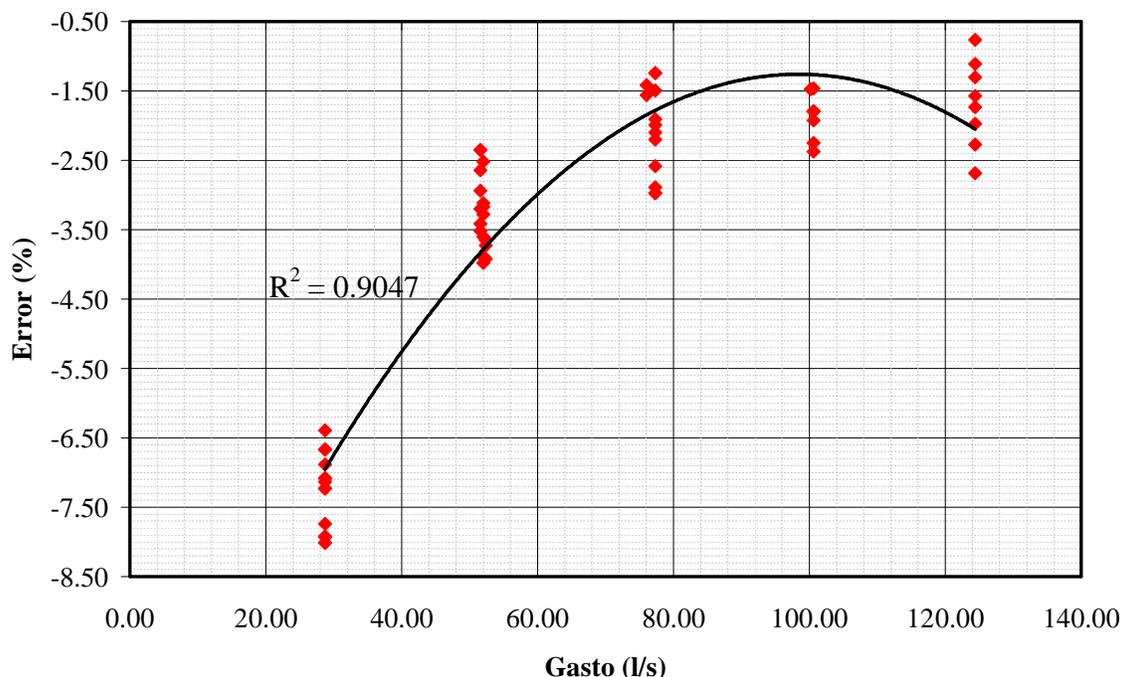


Figura 6.3 Gráfica de errores, colocado un tramo recto de diez diámetros antes del medidor.

En la gráfica se puede observar el error mínimo de -0.76% y el máximo de -8.02% lo que nos da un rango de 7.26 % de error, los errores mayores se presentan para gastos alrededor de 25 l/s. Si sólo se consideran gastos alrededor de 50 l/s y mayores, el rango se reduce a 3.22% y conforme aumenta el gasto el rango se estabiliza alrededor de 2 %, valor que permite se mantenga dentro del error nominal permitido. No se consideran representativos los errores para los gastos cercanos a los 25 l/s dado que es un gasto muy bajo, muy cercano al mínimo considerado. Esto debido a que la tubería es de un diámetro que de alguna manera permite gastos mucho mayores y un gasto pequeño como se puede observar genera errores más altos.

6.1.2. Prueba 2. Tramo recto de dos diámetros aguas arriba del medidor

La prueba número dos se llevó a cabo los días 11 y 12 de octubre del 2007. Esta prueba busca información sobre el desempeño del medidor con un tramo recto de dos diámetros de longitud, aguas arriba de éste, la distribución del tren de descarga se puede apreciar en la Figura 6.4, a la salida del suministro de agua se tiene un codo de 90° que provoca un disturbio en el flujo; le sigue un tramo recto de dos diámetros de longitud, seguido del medidor y un cuello de ganso para que el medidor trabaje a tubo lleno. Se tomaron lecturas, aproximándose a los gastos de 25, 50, 75, 100 y 125 l/s.

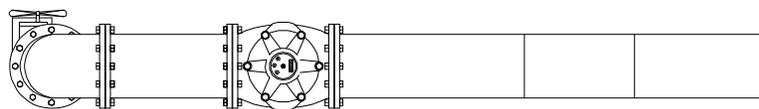


Figura 6.4 Distribución del tren de descarga con un tramo recto de dos diámetros aguas arriba.

La prueba tubo una duración aproximada de seis horas y media, se tomó el tiempo con un cronometro de pulsera, la prueba se realizó sin inconvenientes.



Figura 6.5 Fotografía del armado del tren de descarga.

Para esta prueba se obtuvieron los resultados tabulados a continuación:

Tabla 6.2 Datos de la prueba con un tramo recto de dos diámetros antes del medidor.

Lectura del limnómetro: 20

Lectura Inicial en medidor	Lectura Final en medidor	Diferencia volumen (m ³)	Tiempo (m,s,c)			Gasto en medidor (l/s)	Altura del tirante h (m)	Gasto en vertedor (L/s)	Diferencia de gastos (L)	Error %
5464	5469	5	3	23	1	24.62	0.066	26.01	1.39	-5.35
5473	5478	5	3	27	6	24.08	0.066	26.01	1.93	-7.41
5476	5479	3	2	4	5	24.10	0.066	26.01	1.91	-7.36
5480	5485	5	3	23	5	24.57	0.066	26.01	1.44	-5.54
5481	5484	3	2	3	4	24.31	0.0665	26.31	1.99	-7.58
5486	5491	5	3	20	9	24.89	0.0665	26.31	1.42	-5.39
5487	5496	9	6	0	9	24.94	0.0665	26.31	1.37	-5.20
5492	5497	5	3	20	6	24.93	0.0665	26.31	1.38	-5.25
5498	5509	11	7	26	8	24.62	0.0665	26.31	1.69	-6.41
5499	5504	5	3	22	0	24.75	0.066	26.01	1.26	-4.84
5521	5528	7	4	46	2	24.46	0.066	26.01	1.55	-5.97
5516	5523	7	4	44	5	24.60	0.066	26.01	1.41	-5.41
5828	5833	5	1	36	5	51.81	0.112	57.24	5.42	-9.47
5829	5834	5	1	36	1	52.03	0.112	57.24	5.21	-9.10
5835	5840	5	1	36	8	51.65	0.112	57.24	5.58	-9.75
5848	5852	4	1	16	9	52.02	0.112	57.24	5.22	-9.12
5849	5854	5	1	36	8	51.65	0.112	57.24	5.58	-9.75
5776	5779	3	0	57	8	51.90	0.112	57.24	5.33	-9.32
5868	5873	5	1	35	3	52.47	0.112	57.24	4.77	-8.33
5869	5876	7	2	14	1	52.20	0.112	57.24	5.04	-8.80
5877	5884	7	2	14	4	52.08	0.112	57.24	5.15	-9.00
5783	5795	12	3	49	9	52.20	0.112	57.24	5.04	-8.80
5803	5812	9	2	53	9	51.75	0.112	57.24	5.48	-9.58
5771	5781	10	3	11	6	52.19	0.112	57.24	5.04	-8.81
5843	5846	3	0	56	9	52.72	0.112	57.24	4.51	-7.88
5877	5882	5	1	36	3	51.92	0.112	57.24	5.31	-9.29
6974	6979	5	1	42	7	48.69	0.11	55.72	7.03	-12.62
6977	6982	5	1	42	4	48.83	0.11	55.72	6.89	-12.37
6980	6984	4	1	21	8	48.90	0.11	55.72	6.82	-12.24
6983	6988	5	1	40	5	49.75	0.11	55.72	5.97	-10.71
6986	6991	5	1	41	5	49.26	0.11	55.72	6.46	-11.59

error máximo

6992	6997	5	1	41	9	49.07	0.11	55.72	6.65	-11.94	
6995	7002	7	2	23	3	48.85	0.11	55.72	6.87	-12.33	
7000	7005	5	1	41	7	49.16	0.11	55.72	6.55	-11.76	
7008	7015	7	2	22	8	49.02	0.11	55.72	6.70	-12.02	
7007	7012	5	1	41	2	49.41	0.11	55.72	6.31	-11.33	
7017	7024	7	2	22	2	49.23	0.11	55.72	6.49	-11.65	
5627	5632	5	1	4	9	77.04	0.143	82.40	5.36	-6.50	
5628	5631	3	0	39	7	75.57	0.143	82.40	6.83	-8.29	
5637	5642	5	1	7	3	74.29	0.143	82.40	8.10	-9.84	
5638	5643	5	1	5	8	75.99	0.143	82.40	6.41	-7.78	
5648	5653	5	1	5	6	76.22	0.143	82.40	6.18	-7.50	
5659	5662	3	0	38	9	77.12	0.142	81.54	4.42	-5.42	
5664	5667	3	0	39	0	76.92	0.142	81.54	4.62	-5.66	
5665	5672	7	1	31	5	76.50	0.142	81.54	5.04	-6.18	
5670	5677	7	1	34	5	74.07	0.142	81.54	7.47	-9.16	
5676	5685	9	1	58	0	76.27	0.142	81.54	5.27	-6.46	
5680	5689	9	1	57	6	76.53	0.142	81.54	5.01	-6.14	
5700	5710	10	2	9	6	77.16	0.142	81.54	4.38	-5.37	
5703	5708	5	1	5	7	76.10	0.142	81.54	5.44	-6.67	
5711	5716	5	1	5	6	76.22	0.142	81.54	5.32	-6.53	
6032	6037	5	0	52	0	96.15	0.1665	103.39	7.23	-7.00	
6033	6038	5	0	51	4	97.28	0.1665	103.39	6.11	-5.91	
6043	6048	5	0	51	7	96.71	0.1665	103.39	6.67	-6.46	
6050	6055	5	0	51	4	97.28	0.1665	103.39	6.11	-5.91	
6060	6065	5	0	51	5	97.09	0.1665	103.39	6.30	-6.09	
6061	6068	7	1	12	1	97.09	0.1665	103.39	6.30	-6.09	
6073	6080	7	1	12	3	96.82	0.166	102.92	6.11	-5.93	
6044	6047	3	0	30	9	97.09	0.166	102.92	5.84	-5.67	
6053	6056	3	0	30	9	97.09	0.166	102.92	5.84	-5.67	
6074	6079	5	0	51	9	96.34	0.166	102.92	6.58	-6.40	
6084	6093	9	1	32	6	97.19	0.166	102.92	5.73	-5.57	
6085	6094	9	1	32	6	97.19	0.166	102.92	5.73	-5.57	
6099	6109	10	1	42	5	97.56	0.166	102.92	5.36	-5.21	
6100	6105	5	0	51	0	98.04	0.166	102.92	4.88	-4.75	error mínimo
6814	6819	5	0	50	3	99.40	0.1695	106.18	6.77	-6.38	
6816	6821	5	0	50	4	99.21	0.1695	106.18	6.97	-6.57	
6824	6829	5	0	50	2	99.60	0.1695	106.18	6.58	-6.19	
6825	6830	5	0	50	2	99.60	0.1695	106.18	6.58	-6.19	
6833	6838	5	0	50	3	99.40	0.1695	106.18	6.77	-6.38	
6834	6839	5	0	50	9	98.23	0.1695	106.18	7.95	-7.48	
6839	6842	3	0	29	7	101.01	0.1695	106.18	5.17	-4.87	
6842	6849	7	1	10	8	98.87	0.1695	106.18	7.31	-6.88	
6843	6850	7	1	10	8	98.87	0.1695	106.18	7.31	-6.88	
6219	6224	5	0	39	9	125.31	0.198	133.87	8.56	-6.39	
6220	6225	5	0	39	6	126.26	0.198	133.87	7.61	-5.68	
6227	6232	5	0	39	6	126.26	0.198	133.87	7.61	-5.68	
6228	6233	5	0	39	7	125.94	0.199	134.88	8.94	-6.63	error promedio
6236	6241	5	0	39	8	125.63	0.199	134.88	9.25	-6.86	(-7.37)
6239	6243	4	0	32	0	125.00	0.199	134.88	9.88	-7.33	

6245	6248	3	0	23	9	125.52	0.199	134.88	9.36	-6.94
6257	6264	7	0	55	9	125.22	0.199	134.88	9.66	-7.16
6258	6265	7	0	55	7	125.67	0.199	134.88	9.21	-6.83
6270	6279	9	1	11	1	126.58	0.199	134.88	8.30	-6.15
6271	6280	9	1	11	4	126.05	0.199	134.88	8.83	-6.55
6283	6293	10	1	19	9	125.16	0.199	134.88	9.72	-7.21
6320	6325	5	0	39	7	125.94	0.199	134.88	8.94	-6.63
6337	6342	5	0	39	9	125.31	0.199	134.88	9.57	-7.09
6251	6254	3	0	23	8	126.05	0.199	134.88	8.83	-6.55
6328	6333	5	0	39	4	126.90	0.199	134.88	7.98	-5.91
6500	6506	6	0	48	0	125.00	0.1985	134.38	9.38	-6.98
6501	6507	6	0	47	8	125.52	0.1985	134.38	8.85	-6.59
6516	6521	5	0	39	5	126.58	0.1985	134.38	7.79	-5.80
6515	6520	5	0	39	8	125.63	0.1985	134.38	8.75	-6.51
6528	6535	7	0	55	6	125.90	0.1985	134.38	8.48	-6.31
6526	6532	6	0	47	5	126.32	0.1985	134.38	8.06	-6.00
6545	6550	5	0	39	6	126.26	0.1985	134.38	8.11	-6.04
6546	6551	5	0	39	6	126.26	0.1985	134.38	8.11	-6.04

Los datos tabulados en la Tabla 6.2, contienen todas las lecturas de la prueba, ordenadas de acuerdo al gasto, se presentan de manera simplificada por medio de la gráfica de la figura 6.6, ésta muestra el porcentaje de error obtenido respecto al gasto leído en el medidor:

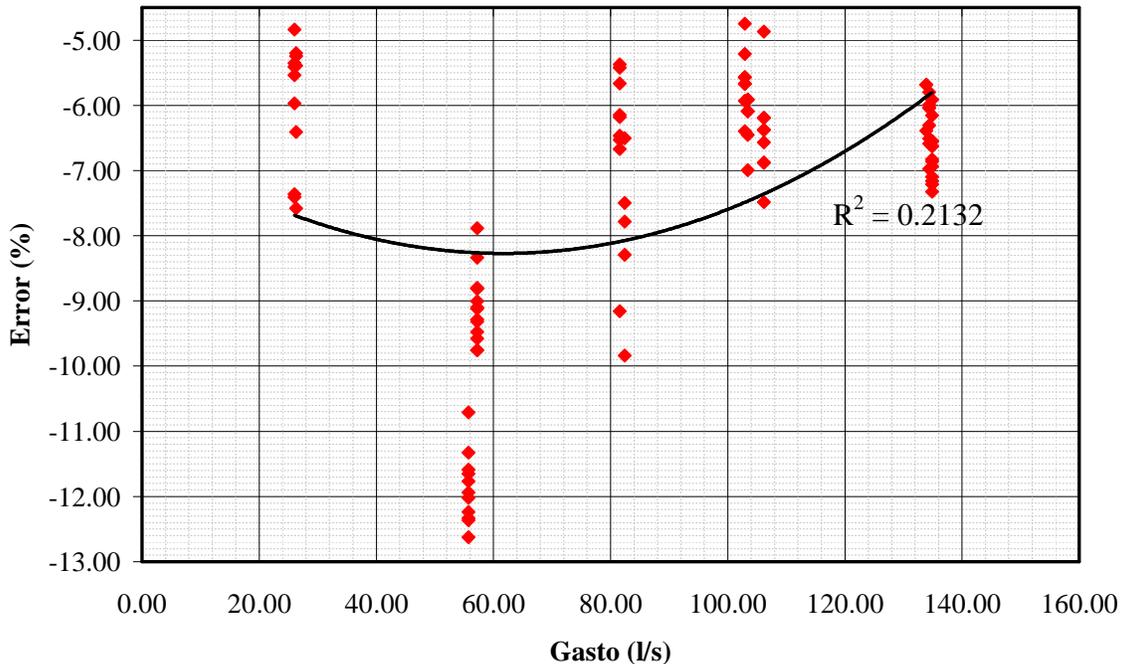


Figura 6.6 Gráfica de errores, colocado un tramo recto de dos diámetros antes del medidor.

El error mínimo que se tiene es de -4.75%, el máximo de -12.62%, esto da un rango de error de 7.82%, la mayoría de los errores se encuentra entre el -5.00% y -10.00%, se puede notar que en los gastos alrededor de 50 l/s, un ligero aumento en el gasto, disminuye el error un 2%. Si se anularan estas lecturas, el rango de error estaría alrededor de 5.00%, lo que muestra variabilidad respecto a un gasto.

6.1.3. Prueba 3. Medidor sin tramos rectos aguas arriba

La prueba número tres se llevó a cabo el día 19 de octubre del 2007. Esta prueba se realizó bajo las mismas condiciones de la prueba anterior la distribución del tren de descarga se puede observar en la Figura 6.7 y se tomaron lecturas tratando de aproximar los gastos a 25, 50, 75, 100 y 125 l/s.

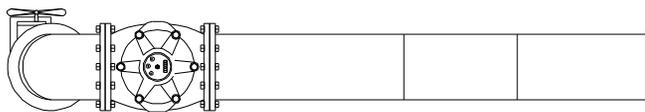


Figura 6.7 Distribución del tren de descarga sin tramo recto, a la salida del suministro de agua.

La prueba tubo una duración aproximada de tres horas y media, en la realización de esta prueba se contaba con dos cronómetros, por lo cual se tomaron lecturas simultáneas con objeto de disminuir el tiempo de duración de la prueba, sin embargo a pesar de que no hubo inconvenientes no se volvieron a realizar lecturas simultáneas en otra prueba. Se tomaron alrededor de 12 lecturas para cada gasto.

Para esta prueba se obtuvieron los resultados tabulados a continuación:

Tabla 6.3 Datos de la prueba sin tramo recto antes del medidor y con un codo de 90°.

Lectura del limnómetro: 20

Lectura Inicial en medidor	Lectura Final en medidor	Diferencia volumen (m ³)	Tiempo (m,s,c)			Gasto en medidor (l/s)	Altura del tirante h (m)	Gasto en vertedor (L/s)	Diferencia de gastos (L)	Error %
7985	7990	5	3	11	2	26.15	0.0725	29.92	3.77	-12.60
7990	7995	5	3	8	9	26.47	0.0725	29.92	3.45	-11.54
7986	7991	5	3	7	6	26.65	0.0725	29.92	3.27	-10.93
7992	7997	5	3	13	2	25.88	0.0725	29.92	4.04	-13.51
7996	8001	5	3	12	2	26.01	0.0725	29.92	3.91	-13.06
8001	8006	5	3	7	6	26.65	0.0725	29.92	3.27	-10.93
7998	8005	7	4	20	1	26.91	0.0725	29.92	3.01	-10.06
8007	8014	7	4	24	4	26.48	0.0725	29.92	3.45	-11.52
8007	8010	3	1	55	0	26.09	0.0725	29.92	3.84	-12.82
8010	8013	3	1	51	0	27.03	0.073	30.23	3.20	-10.60
8015	8024	9	5	43	0	26.24	0.073	30.23	3.99	-13.20
8024	8033	9	5	40	8	26.41	0.073	30.23	3.82	-12.64
8031	8036	5	3	9	5	26.39	0.073	30.23	3.85	-12.72
8034	8037	3	1	57	0	25.64	0.073	30.23	4.59	-15.18
8105	8110	5	3	13	3	25.87	0.0728	30.11	4.24	-14.08
8110	8115	5	3	14	4	25.72	0.0728	30.11	4.39	-14.57
7862	7867	5	1	44	1	48.03	0.0973	46.40	-1.63	3.51
7867	7872	5	1	44	2	47.98	0.0973	46.40	-1.58	3.41
7883	7888	5	1	46	5	46.95	0.0973	46.40	-0.55	1.18
7888	7893	5	1	44	6	47.80	0.0973	46.40	-1.40	3.01
7894	7899	5	1	44	2	47.98	0.0973	46.40	-1.58	3.41
7899	7904	5	1	44	9	47.66	0.0973	46.40	-1.26	2.72
7905	7909	4	1	23	4	47.96	0.0973	46.40	-1.56	3.36

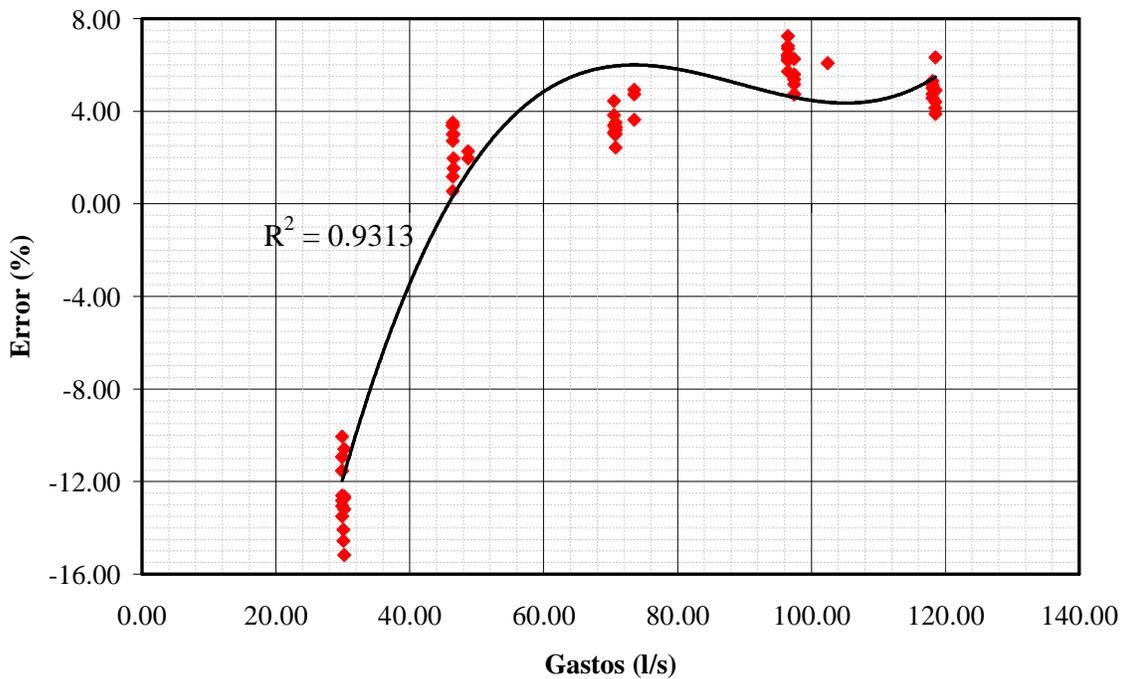
error máximo

error promedio
0.49

7903	7906	3	1	4	3	46.66	0.0973	46.40	-0.25	0.55
7910	7917	7	2	27	5	47.46	0.0975	46.54	-0.91	1.96
7917	7924	7	2	26	0	47.95	0.0975	46.54	-1.40	3.01
7925	7934	9	3	7	6	47.97	0.0973	46.40	-1.57	3.39
7934	7944	10	3	31	6	47.26	0.0975	46.54	-0.71	1.53
8167	8172	5	1	40	7	49.65	0.1005	48.70	-0.96	1.96
8172	8177	5	1	40	4	49.80	0.1005	48.70	-1.10	2.27
7115	7120	5	1	8	3	73.21	0.1288	70.50	-2.71	3.84
7143	7148	5	1	8	6	72.89	0.1288	70.50	-2.39	3.39
7150	7155	5	1	7	9	73.64	0.1288	70.50	-3.14	4.45
7152	7157	5	1	8	8	72.67	0.1288	70.50	-2.17	3.08
7161	7168	7	1	35	8	73.07	0.1291	70.74	-2.32	3.29
7185	7194	9	2	2	9	73.23	0.1291	70.74	-2.49	3.51
7186	7191	5	1	8	4	73.10	0.1291	70.74	-2.35	3.33
7191	7196	5	1	8	6	72.89	0.1291	70.74	-2.14	3.03
7201	7206	5	1	8	5	72.99	0.1291	70.74	-2.25	3.18
7203	7212	9	2	4	2	72.46	0.1291	70.74	-1.72	2.43
7208	7218	10	2	17	4	72.78	0.129	70.66	-2.12	3.00
8197	8202	5	1	5	6	76.22	0.1325	73.54	-2.68	3.64
8202	8207	5	1	4	8	77.16	0.1325	73.54	-3.62	4.92
8209	8215	6	1	17	9	77.02	0.1325	73.54	-3.48	4.73
7287	7292	5	0	49	0	102.04	0.16	97.43	-4.62	4.74
7305	7310	5	0	48	3	103.52	0.16	97.43	-6.09	6.25
7311	7316	5	0	48	8	102.46	0.16	97.43	-5.03	5.17
7317	7322	5	0	48	6	102.88	0.16	97.43	-5.45	5.60
7322	7327	5	0	49	0	102.04	0.16	97.43	-4.62	4.74
7331	7336	5	0	48	7	102.67	0.16	97.43	-5.24	5.38
7336	7341	5	0	48	3	103.52	0.159	96.52	-7.00	7.25
7360	7367	7	1	8	3	102.49	0.159	96.52	-5.97	6.19
7367	7374	7	1	8	2	102.64	0.159	96.52	-6.12	6.34
7364	7373	9	1	27	6	102.74	0.159	96.52	-6.22	6.44
7377	7386	9	1	28	2	102.04	0.159	96.52	-5.52	5.72
7385	7396	11	1	46	8	103.00	0.159	96.52	-6.48	6.71
7377	7385	8	1	18	0	102.56	0.159	96.52	-6.04	6.26
7400	7403	3	0	29	2	102.74	0.159	96.52	-6.22	6.44
7403	7406	3	0	29	1	103.09	0.159	96.52	-6.57	6.81
8244	8250	6	0	55	2	108.70	0.1655	102.46	-6.23	6.08
7524	7529	5	0	40	6	123.15	0.1825	118.55	-4.61	3.89
7536	7541	5	0	40	4	123.76	0.1825	118.55	-5.22	4.40
7548	7553	5	0	40	2	124.38	0.1825	118.55	-5.83	4.92
7553	7558	5	0	40	2	124.38	0.1825	118.55	-5.83	4.92
7559	7562	3	0	23	8	126.05	0.1825	118.55	-7.50	6.33
7562	7565	3	0	24	3	123.46	0.1825	118.55	-4.91	4.14
7572	7575	3	0	24	3	123.46	0.182	118.06	-5.39	4.57
7665	7672	7	0	56	3	124.33	0.182	118.06	-6.27	5.31
7675	7682	7	0	56	6	123.67	0.182	118.06	-5.61	4.75
7647	7656	9	1	12	6	123.97	0.182	118.06	-5.90	5.00
7670	7679	9	1	12	5	124.14	0.182	118.06	-6.07	5.15

error mínimo

Los datos tabulados en la Tabla 6.3 se pueden presentar de manera simplificada por medio de la gráfica mostrada en la Figura 6.8, donde se muestra el porcentaje de error obtenido con respecto al gasto leído en el medidor.



tubería; como ya se comentó, resultaba peligroso y complicado realizar maniobras para colocar la tubería a la salida del suministro de agua ya que las tuberías son muy pesadas y la grúa viajera con que cuenta el laboratorio, no alcanzaba a situarse encima del área de pruebas, para poder llevara cabo el acomodo, las maniobras se hacían con malacates y poleas de una manera inadecuada. Por esta circunstancia se decidió colocar un tramo de tubería adicional de manera que la grúa pudiera colocarse encima del tubo para realizar maniobras seguras. Además se debió colocar un par de codos para que la salida del tren de descarga arrojara el agua al canal de retorno. El tren de descarga quedó como se muestra en la Figura 6.9.

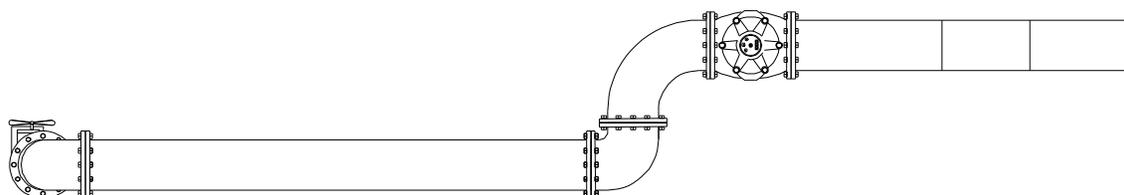


Figura 6.9 Adaptación del tren de descarga, agregando un tramo recto de diez diámetros y dos codos 90° para facilidad de maniobra.

Para esta prueba se obtuvieron los resultados tabulados a continuación:

Tabla 6.4 Datos de la prueba para la verificación de histéresis.

Lectura del limnómetro: 20

Lectura Inicial en medidor	Lectura Final en medidor	Diferencia volumen (m ³)	Tiempo (m,s,c)			Gasto en medidor (l/s)	Altura del tirante h (m)	Gasto en vertedor (L/s)	Diferencia de gastos (L)	Error %
8319	8324	5	3	56	9	21.11	0.06	22.56	1.46	-6.46
8326	8331	5	3	58	9	20.93	0.0605	22.85	1.92	-8.39
8333	8338	5	3	59	2	20.90	0.0601	22.62	1.72	-7.59
8362	8367	5	1	45	3	47.48	0.1049	51.91	4.43	-8.53
8368	8373	5	1	45	9	47.21	0.1042	51.39	4.18	-8.13
8377	8382	5	1	46	1	47.13	0.1042	51.39	4.27	-8.31
8385	8390	5	1	46	0	47.17	0.1042	51.39	4.22	-8.22
8413	8419	6	1	19	3	75.66	0.144	83.26	7.60	-9.13
8421	8426	5	1	5	9	75.87	0.144	83.26	7.39	-8.87
8433	8438	5	1	6	1	75.64	0.144	83.26	7.62	-9.15
8439	8444	5	1	6	5	75.19	0.144	83.26	8.07	-9.69
8482	8487	5	0	50	9	98.23	0.1705	107.11	8.88	-8.29
8492	8497	5	0	50	5	99.01	0.1705	107.11	8.10	-7.56
8498	8503	5	0	50	4	99.21	0.1705	107.11	7.91	-7.38
8512	8517	5	0	51	3	97.47	0.1705	107.11	9.65	-9.01
8518	8523	5	0	50	1	99.80	0.1705	107.11	7.31	-6.83
8571	8576	5	0	43	7	114.42	0.1892	125.10	10.68	-8.54
8578	8582	4	0	34	8	114.94	0.1892	125.10	10.15	-8.12
8586	8591	5	0	43	6	114.68	0.1892	125.10	10.42	-8.33
8602	8607	5	0	43	6	114.68	0.1882	124.11	9.43	-7.60
8613	8618	5	0	43	8	114.16	0.1882	124.11	9.96	-8.02
8691	8696	5	0	38	9	128.53	0.2	135.89	7.36	-5.41
8701	8706	5	0	39	0	128.21	0.2	135.89	7.69	-5.66
8708	8713	5	0	38	7	129.20	0.2	135.89	6.69	-4.93

8718	8723	5	0	39	0	128.21	0.2	135.89	7.69	-5.66	
8741	8746	5	0	39	2	127.55	0.2	135.89	8.34	-6.14	
8748	8753	5	0	38	9	128.53	0.2	135.89	7.36	-5.41	
8755	8760	5	0	38	5	129.87	0.2	135.89	6.02	-4.43	error mínimo
8831	8836	5	0	43	9	113.90	0.1872	123.13	9.23	-7.50	
8837	8842	5	0	44	2	113.12	0.1875	123.42	10.30	-8.35	
8843	8848	5	0	43	6	114.68	0.1875	123.42	8.74	-7.08	
8859	8864	5	0	43	6	114.68	0.1875	123.42	8.74	-7.08	
8891	8896	5	0	56	4	88.65	0.1602	97.61	8.95	-9.17	
8897	8901	4	0	44	7	89.49	0.1602	97.61	8.12	-8.32	
8904	8909	5	0	56	4	88.65	0.1602	97.61	8.95	-9.17	
8910	8915	5	0	56	8	88.03	0.1602	97.61	9.58	-9.81	error máximo
8916	8921	5	0	56	1	89.13	0.1602	97.61	8.48	-8.69	
8945	8950	5	1	16	9	65.02	0.13	71.48	6.46	-9.04	
8951	8956	5	1	17	1	64.85	0.13	71.48	6.63	-9.28	
8957	8962	5	1	17	2	64.77	0.13	71.48	6.71	-9.39	
8981	8986	5	1	52	7	44.37	0.1	48.34	3.97	-8.21	
8987	8992	5	1	51	6	44.80	0.1	48.34	3.53	-7.31	
8995	9000	5	1	52	3	44.52	0.1	48.34	3.81	-7.89	
9001	9006	5	1	52	9	44.29	0.1	48.34	4.05	-8.38	
9016	9021	5	3	52	4	21.51	0.062	23.70	2.18	-9.20	
9022	9027	5	3	48	9	21.84	0.062	23.70	1.85	-7.81	
9028	9033	5	3	49	1	21.82	0.062	23.70	1.87	-7.90	error promedio (-7.86)
9034	9039	5	3	49	4	21.80	0.062	23.70	1.90	-8.02	

Para corroborar que no se presenta el fenómeno de histéresis se tiene en la Figura 6.10 la gráfica con las lecturas en el limnómetro con respecto al gasto leído en el medidor.

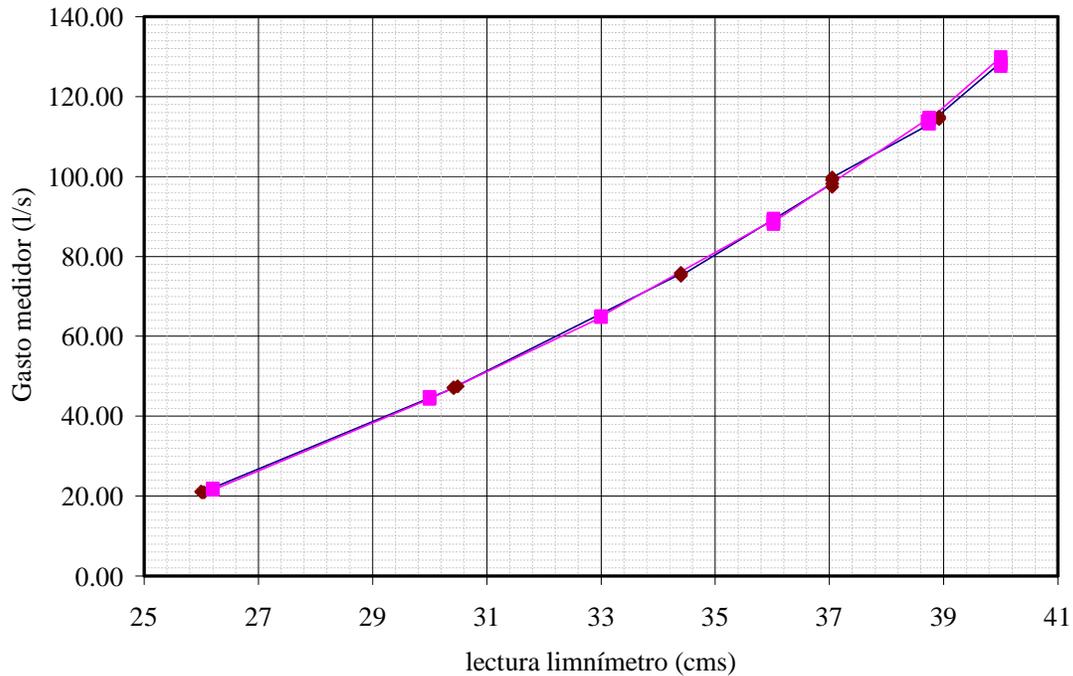


Figura 6.10 Verificación de histéresis.

Como se puede observar en la Figura 6.10 al graficar las lecturas tomadas incrementado el gasto, después disminuyendolo y uniendolas en este orden con una línea, se mantienen muy unidas, cruzándose en algunos puntos y separándose un poco en los conjuntos de lecturas, lo que demuestra la no existencia de histéresis.

6.1.5. Prueba 5. Medidor sin tramo recto y dos codos aguas arriba del medidor

La prueba número cinco se llevo a cabo los días 7 y 15 de noviembre del 2007, ésta busca información sobre el desempeño del medidor sin tramo recto alguno aguas arriba de éste. Como se muestra en la Figura 6.11 y desde la prueba anterior, la distribución del tren de descarga tiene un arreglo con dos codos de 90° antes del medidor. Se hace la observación de que en esta prueba se ensayaron otras magnitudes de gasto. En las pruebas anteriores se trataban de ajustar los gastos a 25, 50, 75, 100 y 125 l/s, pero el tiempo que tomaba lograr la magnitud del gasto requerido era notoria; así que se decidió tomar lecturas puntuales variando el gasto, aumentando y disminuyendo sin orden alguno, es decir de forma aleatoria, con lo que se ganó enormemente en tiempo de prueba, además de que la distribución de los errores dan un idea mas certera de su comportamiento.

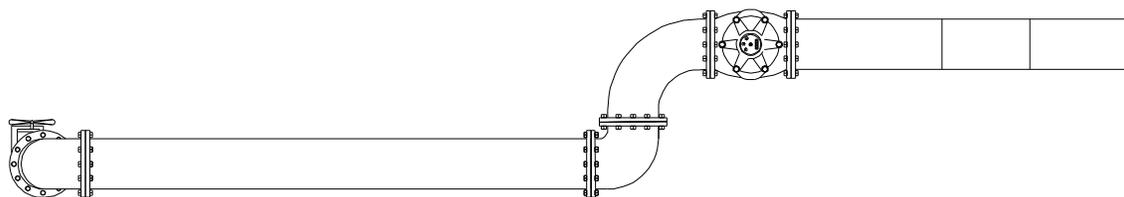


Figura 6.11 Distribución del tren de descarga sin tramo recto colocado y dos codos de 90° antes del medidor.

Esta prueba debió suspenderse al poco tiempo de iniciada, debido a que se haría uso de las bombas para otras actividades del laboratorio, reanudándola días después, se tomaron lecturas hasta obtener una muestra representativa de la amplitud de gasto considerado. Se tomó el tiempo con cronometro.

Para esta prueba se obtuvieron los resultados tabulados a continuación:

Tabla 6.5 Datos de la prueba sin tramos rectos aguas arriba del medidor, pero colocados dos codos de 90° antes de éste.

Lectura del limnómetro: 20

Lectura Inicial en medidor	Lectura Final en medidor	Diferencia volumen (m ³)	Tiempo (m,s,c)			Gasto en medidor (l/s)	Altura del tirante h (m)	Gasto en vertedor (L/s)	Diferencia de gastos (L)	Error %
9119	9124	5	0	56	0	89.29	0.1605	97.88	8.59	-8.78
9131	9136	5	0	55	9	89.45	0.1605	97.88	8.43	-8.62
9154	9159	5	1	2	5	80.00	0.1505	88.93	8.93	-10.04
9166	9171	5	1	2	5	80.00	0.15	88.49	8.49	-9.59
9214	9219	5	0	47	0	106.38	0.18	116.13	9.75	-8.40
9258	9263	5	1	17	8	64.27	0.129	70.66	6.40	-9.05
9279	9284	5	2	37	6	31.73	0.081	35.30	3.58	-10.13
9314	9319	5	1	31	4	54.70	0.1155	59.92	5.22	-8.71
9331	9336	5	2	6	5	39.53	0.0923	42.89	3.37	-7.85
9355	9360	5	1	3	7	78.49	0.146	84.99	6.50	-7.64

error promedio
(-8.61)

error máximo

9369	9374	5	1	4	3	77.76	0.1475	86.30	8.54	-9.89
9387	9392	5	4	18	2	19.36	0.057	20.90	1.54	-7.36
9416	9421	5	1	12	6	68.87	0.1355	76.04	7.17	-9.43
9458	9463	5	1	1	6	81.17	0.152	90.25	9.08	-10.06
9490	9495	5	1	33	1	53.71	0.1145	59.15	5.45	-9.21
9517	9522	5	3	8	5	26.53	0.07	28.40	1.87	-6.59
9534	9539	5	2	0	5	41.49	0.095	44.78	3.28	-7.33
9657	9662	5	1	35	7	52.25	0.1115	56.86	4.61	-8.11
9924	9929	5	0	39	9	125.31	0.198	133.87	8.56	-6.39
9944	9949	5	0	52	7	94.88	0.1666	103.48	8.60	-8.31
9964	9969	5	1	53	1	44.21	0.1	48.34	4.13	-8.54
9979	9984	5	1	19	1	63.21	0.1275	69.44	6.23	-8.97
9999	10004	5	3	39	3	22.80	0.064	24.84	2.04	-8.23
10038	10043	5	0	51	0	98.04	0.171	107.58	9.54	-8.87
10061	10066	5	0	53	3	93.81	0.166	102.92	9.12	-8.86
10075	10080	5	1	11	4	70.03	0.137	77.30	7.27	-9.40
10091	10096	5	1	51	4	44.88	0.1005	48.70	3.81	-7.83
10108	10113	5	4	32	9	18.32	0.0556	20.14	1.82	-9.04

error mínimo

Los datos tabulados en la Tabla 6.5, se pueden presentar de manera simplificada por medio de la gráfica de la Figura 6.12, donde se muestra el porcentaje de error obtenido correspondiente al gasto leído en el medidor.

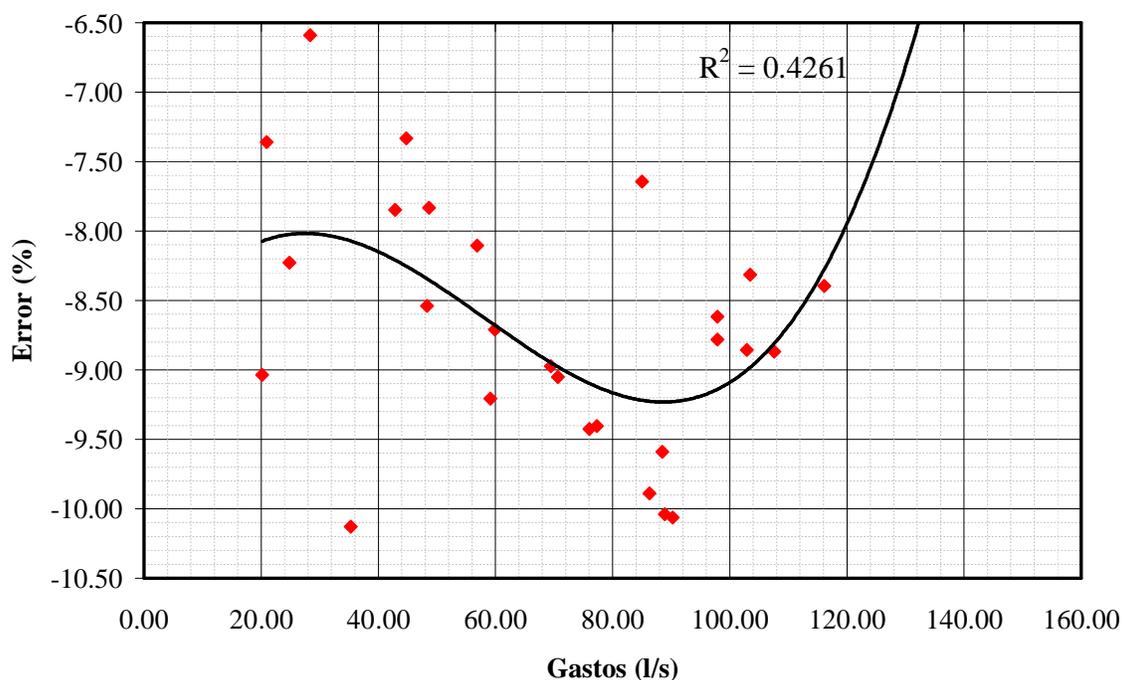


Figura 6.12 Gráfico de errores sin tramo recto y dos codos de 90° antes del medidor.

En la grafica se puede observar que el error mínimo de -6.39% y el máximo de -10.13%, siendo el rango de error de 4.74%, las lecturas muestran mucha dispersión entre sí, pero se puede apreciar como al aumentar el gasto los errores tienen un ligero incremento al aumentarlo mas pasado de los 100 l/s, éste vuelve a disminuir quedando los errores alrededor de 8.7%

6.1.6. Prueba 6. Medidor sin tramo recto aguas arriba; previa a las pruebas con acondicionadores de flujo

La prueba seis se llevó a cabo el día 15 de noviembre del 2007, se pretende comparar los resultados de esta prueba con una de características similares, pero realizada al terminar de probar los orientadores y acondicionadores de flujo, con objeto de descartar la posibilidad de desajustes en el medidor por la manipulación de éste durante la realización de las pruebas. Para esta prueba, en particular, se volvieron a tomar cinco lecturas aproximándose a cada uno de los siguientes gastos: 25, 50, 75, 100 y 125 l/s.

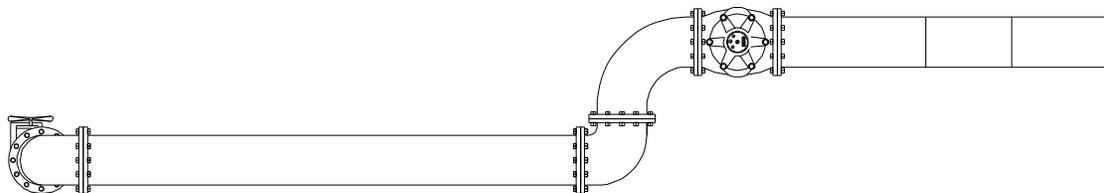


Figura 6.13 Distribución del tren de descarga sin tramo recto y dos codos de 90° antes del medidor.

La prueba tubo una duración aproximada de tres horas, tomando el tiempo con cronometro, sin inconvenientes durante su realización.

Para esta prueba se obtuvieron los resultados tabulados a continuación:

Tabla 6.6 Datos de la prueba sin rectos aguas arriba del medidor, previa a las pruebas con acondicionadores de flujo.

Lectura del limnómetro: 20

Lectura Inicial en medidor	Lectura Final en medidor	Diferencia volumen (m ³)	Tiempo (m,s,c)			Gasto en medidor (l/s)	Altura del tirante h (m)	Gasto en vertedor (L/s)	Diferencia de gastos (L)	Error %
9590	9595	5	3	12	0	26.04	0.07	28.40	2.35	-8.29
9596	9601	5	3	11	4	26.12	0.07	28.40	2.27	-8.01
9602	9607	5	3	12	8	25.93	0.07	28.40	2.46	-8.67
9608	9613	5	3	13	7	25.81	0.07	28.40	2.58	-9.10
9615	9620	5	3	14	1	25.76	0.07	28.40	2.64	-9.28
9626	9631	5	1	35	8	52.19	0.1115	56.86	4.66	-8.20
9632	9637	5	1	36	9	51.60	0.1115	56.86	5.26	-9.24
9638	9643	5	1	35	6	52.30	0.1115	56.86	4.55	-8.01
9644	9649	5	1	36	9	51.60	0.1115	56.86	5.26	-9.24
9650	9655	5	1	36	4	51.87	0.1115	56.86	4.99	-8.77
9703	9708	5	1	3	4	78.86	0.149	87.61	8.74	-9.98
9709	9714	5	1	3	2	79.11	0.149	87.61	8.49	-9.70
9715	9720	5	1	3	9	78.25	0.149	87.61	9.36	-10.68
9721	9726	5	1	3	0	79.37	0.149	87.61	8.24	-9.41
9727	9732	5	1	3	9	78.25	0.149	87.61	9.36	-10.68
9811	9816	5	0	45	6	109.65	0.182	118.06	8.41	-7.13
9817	9822	5	0	45	8	109.17	0.182	118.06	8.89	-7.53
9823	9828	5	0	45	6	109.65	0.182	118.06	8.41	-7.13
9829	9834	5	0	46	3	107.99	0.182	118.06	10.07	-8.53
9835	9840	5	0	45	8	109.17	0.182	118.06	8.89	-7.53

error máximo

error promedio (-8.46)

9875	9880	5	0	40	1	124.69	0.198	133.87	9.18	-6.86	error mínimo
9882	9887	5	0	39	9	125.31	0.198	133.87	8.56	-6.39	
9889	9894	5	0	40	2	124.38	0.198	133.87	9.49	-7.09	
9896	9901	5	0	40	5	123.46	0.198	133.87	10.41	-7.78	
9903	9908	5	0	40	7	122.85	0.198	133.87	11.02	-8.23	

Los datos tabulados en la Tabla 6.6, se pueden presentar de forma simplificada como se muestra en la gráfica de la Figura 6.14, donde se aprecia el porcentaje de error obtenido respecto al gasto leído en el medidor.

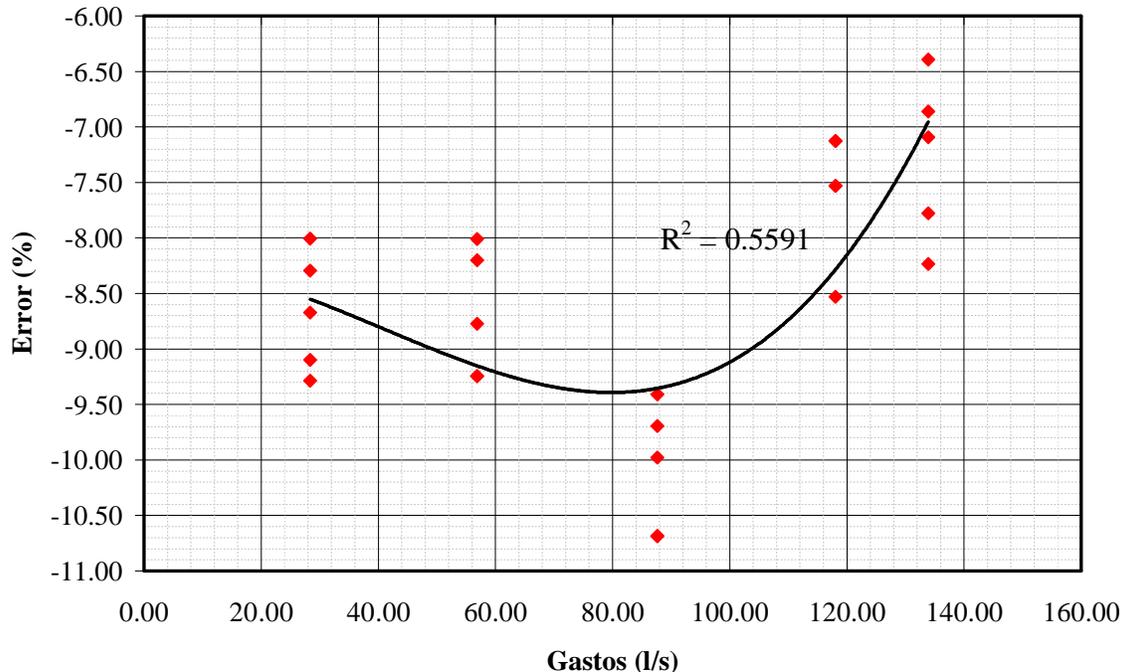


Figura 6.14 Gráfica de errores sin tramo recto y colocados dos codos de 90° antes del medidor. Tomada como condición inicial del medidor.

En la grafica se puede observar que el error minimo de -6.39% y el máximo de -10.68%, siendo el rango de error de 4.29%, las lecturas son ordenadas muestran para gastos pequeños similitud, al aumentar el gasto los errores tiene incrementan y al aumentarlo más, los errores comienzan a disminuir con tendencia al error minimo.

6.1.7. Prueba 18. Medidor sin tramo recto aguas arriba; posterior a las pruebas con acondicionadores de flujo

La prueba 18 se llevó a cabo el día 17 de diciembre del 2007. Esta prueba se realizó después de probar los orientadores y acondicionadores, se presenta en esta parte del documento por su finalidad comparativa. El objeto de comparar los resultados de esta prueba con los de la prueba número 6, realizada anteriormente, es corroborar que no se hayan provocado desajustes en el medidor por su manejo durante las pruebas. Nuevamente se varió el gasto de forma aleatoria hasta tener una muestra representativa del rango de gasto determinado. En esta prueba también se comenzó a tomar la pérdida de carga después del medidor.

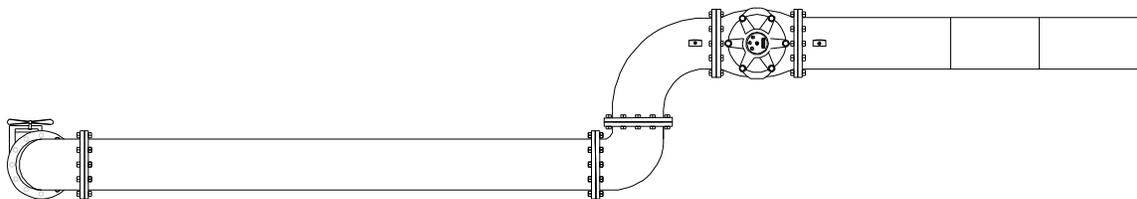


Figura 6.15 Distribución del tren de descarga sin tramo recto y dos codos de 90° antes del medidor.

La prueba tubo una duración aproximada de cuatro horas, el tiempo se tomó con cronometro y la pérdida de presión se midió en metros columna de agua, la prueba se realizó sin inconvenientes.

Para esta prueba se obtuvieron los resultados tabulados a continuación:

Tabla 6.7 Datos de la prueba sin rectos aguas arriba del medidor; posterior a las pruebas con acondicionadores de flujo.

Lectura del limnómetro: 20 m.c.a = 0.1kg/cm2

Lectura Inicial en medidor	Lectura Final en medidor	Diferencia volumen (m ³)	Tiempo (m,s,c)			Gasto en medidor (l/s)	Altura del tirante h (m)	Gasto en vertedor (L/s)	Diferencia de gastos (L)	Pérdida de carga (m. c. a.)	Error %
23075	23080	5	0	41	1	121.65	0.1729	109.37	-12.29	0.7520	11.23
23147	23152	5	1	25	5	58.48	0.1061	52.80	-5.68	0.1710	10.76
23165	23170	5	2	49	3	29.53	0.066	26.01	-3.52	0.0450	13.54
23179	23184	5	1	29	3	55.99	0.1034	50.81	-5.18	0.1600	10.20
23207	23213	6	1	4	4	93.17	0.1454	84.47	-8.70	0.4420	10.30
23265	23270	5	1	40	6	49.70	0.0948	44.64	-5.07	0.1290	11.35
23303	23308	5	0	37	0	135.14	0.1838	119.81	-15.33	0.9250	12.79
23366	23371	5	0	44	0	113.64	0.165	102.00	-11.64	0.6560	11.41
23421	23426	5	1	4	7	77.28	0.1284	70.17	-7.11	0.2940	10.13
23453	23458	5	0	58	1	86.06	0.1382	78.31	-7.75	0.3720	9.90
23477	23482	5	2	33	5	32.57	0.0714	29.25	-3.33	0.0550	11.37
23491	23496	5	1	52	6	44.40	0.0871	39.34	-5.07	0.1020	12.88
23509	23515	6	1	9	5	86.33	0.1379	78.06	-8.28	0.3760	10.60
23542	23547	5	0	58	2	85.91	0.1382	78.31	-7.60	0.3720	9.71
23572	23577	5	0	38	2	130.89	0.1794	115.56	-15.33	0.8660	13.27
23604	23609	5	0	46	2	108.23	0.1603	97.70	-10.53	0.5950	10.77
23651	23656	5	1	29	9	55.62	0.1026	50.22	-5.40	0.1500	10.74
23667	23672	5	1	43	5	48.31	0.0932	43.52	-4.79	0.1210	11.01
23686	23691	5	1	6	2	75.53	0.1273	69.28	-6.25	0.2890	9.02
23715	23720	5	0	43	0	116.28	0.168	104.78	-11.50	0.6930	10.98
23785	23790	5	0	29	6	168.92	0.2084	144.49	-24.43	1.4160	16.91
23817	23822	5	0	31	4	159.24	0.201	136.91	-22.33	1.2480	16.31
23868	23873	5	1	9	1	72.36	0.1229	65.74	-6.62	0.2740	10.07
23900	23905	5	0	46	9	106.61	0.1585	96.07	-10.54	0.576	10.97
23934	23939.5	5.5	0	58	6	93.86	0.1446	83.78	-10.08	0.455	12.03
23969	23974	5	1	32	3	54.17	0.1007	48.84	-5.33	0.148	10.91
23987	23992	5	2	40	7	31.11	0.0684	27.43	-3.68	0.046	13.41
23998	24003	5	2	13	1	37.57	0.0776	33.11	-4.45	0.076	13.44
24027	24032	5	1	18	4	63.78	0.1125	57.62	-6.16	0.213	10.69

error mínimo

error promedio
(11.84)

24063	24068	5	0	51	6	96.90	0.1489	87.52	-9.38	0.4700	10.72
24084	24089	5	0	43	7	114.42	0.1648	101.82	-12.60	0.6670	12.38
24112	24117	5	0	36	4	137.36	0.1854	121.37	-16.00	0.9680	13.18
24168	24173	5	1	2	3	80.26	0.1324	73.46	-6.80	0.3290	9.25
24182	24187	5	1	22	6	60.53	0.109	54.96	-5.57	0.1950	10.13
24208	24213	5	0	44	1	113.38	0.1628	99.98	-13.40	0.6410	13.40
24228	24233	5	2	8	8	38.82	0.08	34.65	-4.17	0.0780	12.02
24243	24248	5	2	56	1	28.39	0.064	24.84	-3.55	0.0420	14.28
24254	24259	5	0	58	1	86.06	0.135	75.62	-10.44	0.3720	13.80
24275	24280	5	1	6	9	74.74	0.1256	67.90	-6.83	0.2900	10.07
24301	24306	5	0	52	1	95.97	0.142	81.54	-14.43	0.4670	17.69

error máximo

Los datos tabulados en la Tabla 6.7, se presentan de forma simplificada por medio de la gráfica de la Figura 6.16; donde se muestra el porcentaje de error obtenido respecto al gasto leído en el medidor.

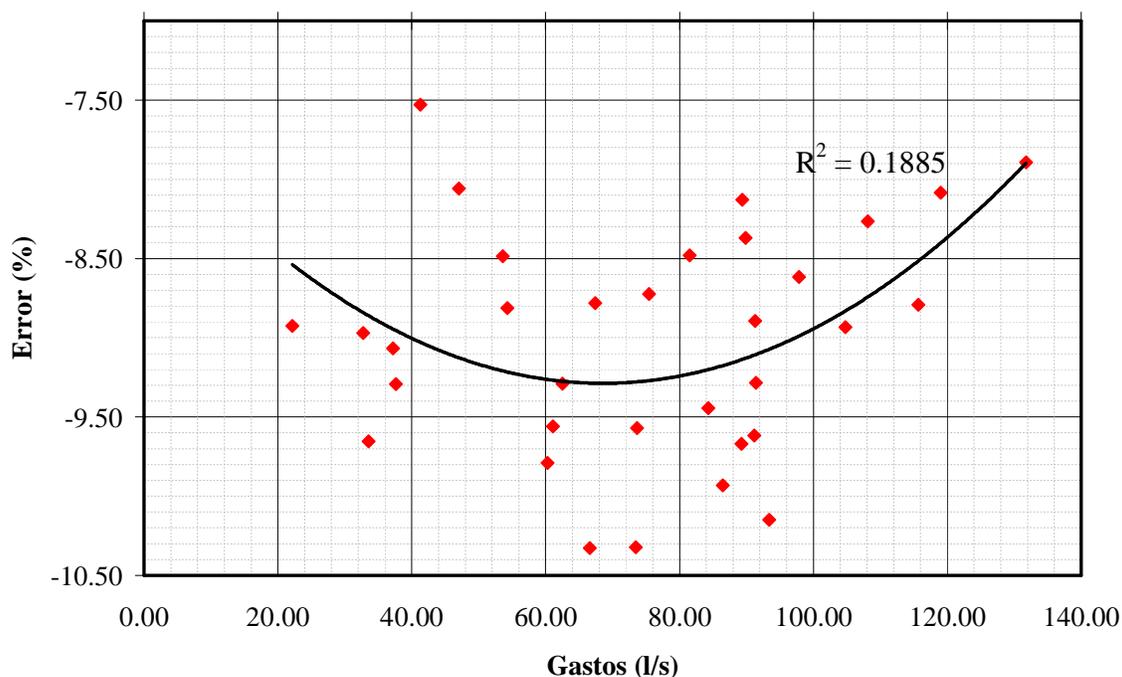


Figura 6.16 Gráfica de errores sin tramo y colocados dos codos de 90° antes del medidor. Tomada como la condición final del medidor.

A pesar que la grafica muestra mucha dispersión entre las lecturas, se puede observar que su error mínimo es de -7.53% y el máximo de -10.33%, teniendo con esto un rango de tan solo 2.8%, la mayoría de las lecturas se ubican entre -8.50% y -10.00% de error, disminuyendo el rango si sólo se considera esta tendencia.

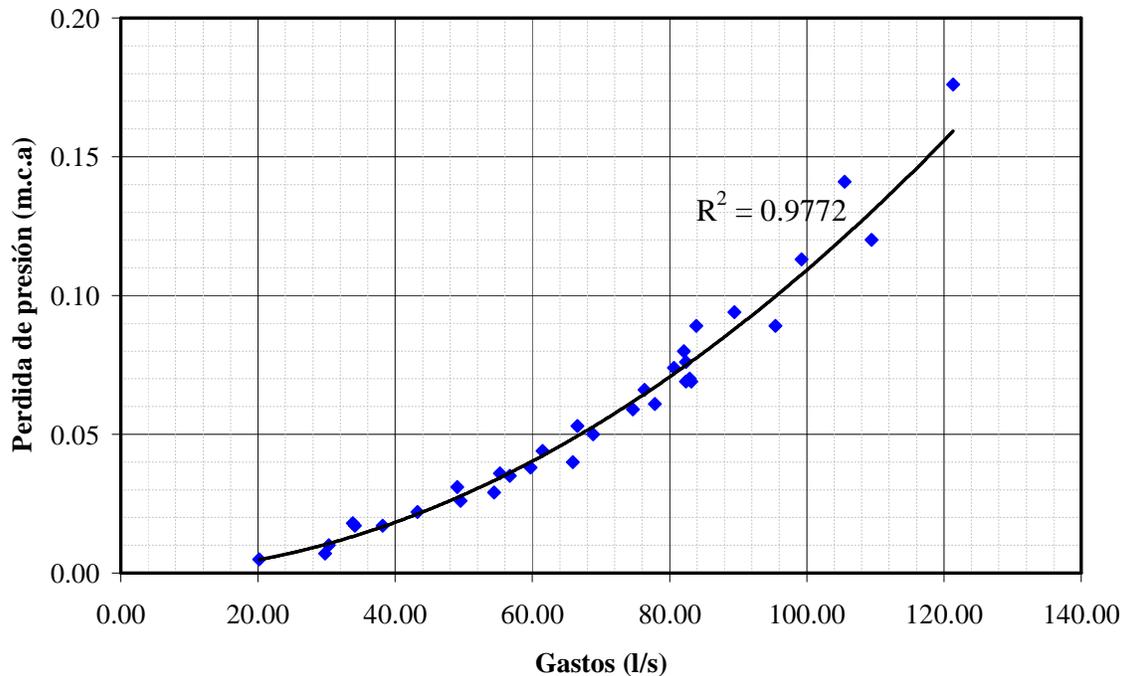


Figura 6.17 Gráfica de la pérdida de presión ocasionada por el medidor.

En general como se puede apreciar en la grafica de la Figura 6.17, la pérdida de presión tendió a aumentar conforme aumentaba el gasto sólo que con oscilaciones mínimas, en un arreglo general de una línea ligeramente curva. Como se esperaba, las pérdidas de carga no son considerables.

6.2. Pruebas con orientadores y acondicionadores

6.2.1. Prueba 7. Orientador de tubos

La prueba número siete se llevó a cabo el día 17 de noviembre del 2007, ésta busca información sobre el desempeño del medidor colocado el orientador de tubos antes de éste. La distribución del tren de descarga se puede apreciar en la Figura 6.18, colocado después de los dos codos de 90°, el orientador de flujo, el medidor y un carrete cuello de ganso para que el medidor trabaje a tubo lleno; se tomaron lecturas puntuales, variando el gasto de forma aleatoria hasta tener una muestra representativa de la amplitud de gasto determinado.

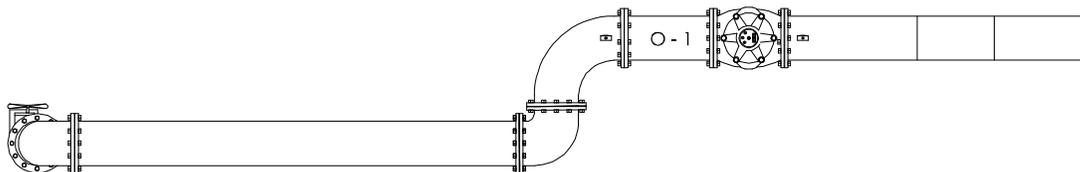


Figura 6.18 Distribución del tren de descarga, colocado el orientador de flujo de tubos.

La prueba tubo una duración aproximada de cinco horas, el tiempo se tomó con cronometro y se pretendió tomar la perdida de presión por medio de manómetros, sin embargo la pérdida era mínima y los manómetros no tenían colocada glicerina para que la aguja vibrara menos por lo

que las lecturas no eran correctas y se eliminaron del registro, para ésta prueba no se tiene la pérdida de presión.

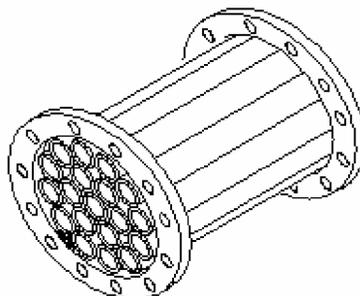


Figura 6.19 Orientador de tubos.

Para esta prueba se obtuvieron los resultados tabulados a continuación:

Tabla 6.8 Datos de la prueba con el orientador de tubos.

Lectura del limnómetro: 20

Lectura Inicial en medidor	Lectura Final en medidor	Diferencia volumen (m ³)	Tiempo (m,s,c)			Gasto en medidor (l/s)	Altura del tirante h (m)	Gasto en vertedor (L/s)	Diferencia de gastos (L)	Error %
10171	10176	5	1	22	9	60.31	0.122	65.02	4.71	-7.24
10193	10198	5	0	48	6	102.88	0.1737	110.12	7.24	-6.58
10228	10233	5	1	28	6	56.43	0.1163	60.54	4.11	-6.79
10254	10259	5	0	59	0	84.75	0.152	90.25	5.51	-6.10
10284	10289	5	1	24	6	59.10	0.12	63.44	4.34	-6.84
10307	10312	5	0	58	3	85.76	0.1543	92.30	6.53	-7.08
10320	10325	5	0	56	0	89.29	0.1543	92.30	3.01	-3.26
10346	10351	5	1	18	0	64.10	0.1272	69.20	5.10	-7.36
10400	10405	5	0	40	6	123.15	0.195	130.86	7.70	-5.89
10444	10449	5	2	40	5	31.15	0.077	32.73	1.58	-4.83
10466	10471	5	1	39	4	50.30	0.107	53.47	3.17	-5.92
10485	10490	5	0	57	8	86.51	0.155	92.92	6.42	-6.90
10520	10525	5	1	1	1	81.83	0.15	88.49	6.65	-7.52
10566	10571	5	0	48	0	104.17	0.176	112.31	8.14	-7.25
10613	10618	5	2	2	9	40.68	0.093	43.38	2.69	-6.21
10642	10647	5	2	49	0	29.59	0.0745	31.16	1.58	-5.06
10675	10680	5	1	5	9	75.87	0.1425	81.97	6.10	-7.44
10687	10692	5	3	28	2	24.02	0.0645	25.13	1.12	-4.45
10704	10709	5	1	21	5	61.35	0.123	65.82	4.47	-6.79
10729	10734	5	1	6	9	74.74	0.141	80.69	5.95	-7.37
10767	10772	5	0	34	2	146.20	0.217	153.47	7.27	-4.74
10798	10803	5	0	45	9	108.93	0.1805	116.61	7.68	-6.59
10822	10827	5	2	24	3	34.65	0.084	37.27	2.62	-7.03
10845	10850	5	2	33	9	32.49	0.08	34.65	2.16	-6.25
10867	10872	5	0	45	7	109.41	0.1805	116.61	7.21	-6.18
10916	10921	5	0	55	0	90.91	0.1605	97.88	6.97	-7.12
10946	10951	5	1	32	0	54.35	0.113	58.00	3.65	-6.30
10959	10964	5	3	10	3	26.27	0.0685	27.49	1.22	-4.44

error mínimo

error máximo

10973	10978	5	1	21	8	61.12	0.123	65.82	4.69	-7.13
11005	11010	5	0	49	6	100.81	0.171	107.58	6.77	-6.30
11032	11037	5	0	55	6	89.93	0.159	96.52	6.59	-6.83
11049	11054	5	2	4	2	40.26	0.093	43.38	3.12	-7.19
11059	11064	5	1	59	5	41.84	0.095	44.78	2.94	-6.56
11070	11075	5	1	35	7	52.25	0.1104	56.02	3.77	-6.74
11090	11095	5	0	56	3	88.81	0.158	95.62	6.81	-7.12
11110	11115	5	2	41	4	30.98	0.078	33.37	2.39	-7.16
11147	11152	5	0	42	7	117.10	0.1885	124.41	7.31	-5.88

error
promedio
(-6.39)

Los datos tabulados en la Tabla 6.8, se pueden mostrar de manera simplificada en por medio de la Figura 6.20, que muestra el porcentaje de error obtenido respecto al gasto leído en el medidor.

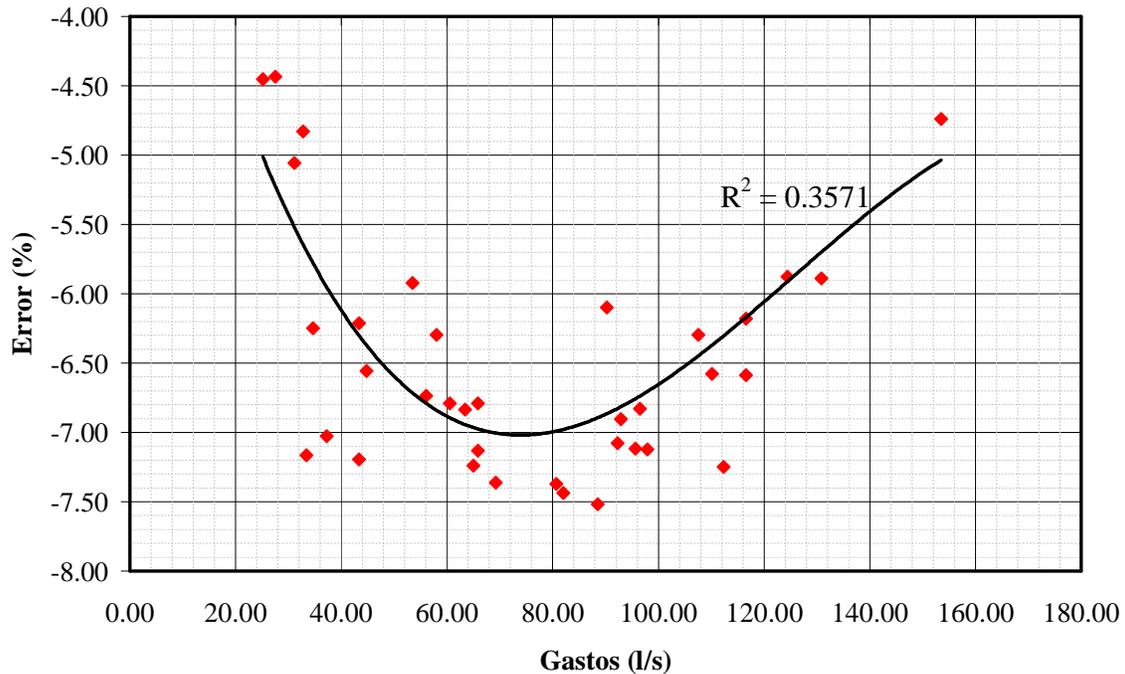


Figura 6.20 Gráfica de errores colocados el orientador de tubos antes del medidor y después de los codos de 90°.

Se puede observar que en la muestra, que el error mínimo es de -3.26 % y el máximo de -7.52 %, con lo que se tiene un rango de 4.26 %, la dispersión de ésta semeja una parábola; teniendo los valores mayores alrededor de los gastos de 80 l/s, gastos alrededor de la media de la amplitud del gasto.

6.2.2. Prueba 8. Acondicionador de flujo Sprengle

La prueba número ocho se llevó a cabo el día 21 de noviembre del 2007, ésta busca información sobre el desempeño del medidor con el acondicionador de flujo Sprengle. La distribución del tren de descarga se puede apreciar en la Figura 6.22, colocado después de los dos codos de 90°, el acondicionador de flujo, el medidor y un carrete cuello de ganso para que el medidor trabaje a tubo lleno; se tomaron lecturas puntuales, variando el gasto de forma aleatoria hasta tener una muestra representativa de la amplitud de gasto determinado.

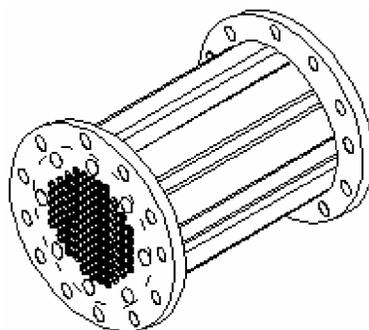


Figura 6.21 Acondicionador Sprengle.

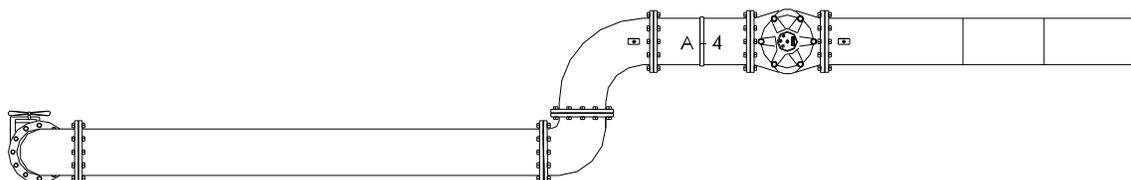


Figura 6.22 Distribución del tren de descarga, colocado el acondicionador de flujo Sprengle.

La prueba tubo una duración aproximada de cuatro horas, se tomó el tiempo con cronometro y la pérdida de carga a través del acondicionador y el medidor en metros columna de agua, la prueba se realizó sin inconvenientes.

Para esta prueba se obtuvieron los resultados tabulados a continuación:

Tabla 6.9 Datos de la prueba con el acondicionador Sprengle

Lectura del limnometro: 20 m.c.a = 0.1kg/cm2

Lectura Inicial en medidor	Lectura Final en medidor	Diferencia volumen (m ³)	Tiempo (m,s,c)			Gasto en medidor (l/s)	Altura del tirante h (m)	Gasto en vertedor (L/s)	Diferencia de gastos (L)	Pérdida de carga (m. c. a.)	Error %
11170	11175	5	1	6	9	74.74	0.1065	53.10	-21.64	1.785	40.76
11205	11210	5	2	1	2	41.25	0.0718	29.49	-11.76	0.380	39.88
11222	11227	5	0	55	3	90.42	0.12	63.44	-26.98	1.560	42.53
11253	11258	5	3	2	9	27.34	0.0538	19.18	-8.16	0.043	42.55
11274	11279	5	0	44	9	111.36	0.138	78.14	-33.22	4.220	42.51
11282	11287	5	0	44	8	111.61	0.1382	78.31	-33.30	4.220	42.52
11335	11340	5	0	46	6	107.30	0.1345	75.20	-32.09	3.928	42.68
11366	11371	5	1	12	3	69.16	0.1005	48.70	-20.46	1.600	42.01
11382	11387	5	2	46	4	30.05	0.0577	21.29	-8.76	0.036	41.16
11399	11404	5	2	32	6	32.77	0.0615	23.41	-9.35	0.029	39.96
11442	11447	5	0	45	8	109.17	0.1368	77.13	-32.04	4.125	41.54
11477	11482	5	0	41	8	119.62	0.146	84.99	-34.63	4.910	40.74
11546	11551	5	0	38	9	128.53	0.152	90.25	-38.28	5.806	42.42
11602	11607	5	0	40	6	123.15	0.1472	86.03	-37.12	5.115	43.14
11638	11644	6	0	57	1	105.08	0.133	73.96	-31.12	3.827	42.08
11701	11706	5	2	34	2	32.43	0.061	23.13	-9.30	0.030	40.20
11712	11717	5	1	14	8	66.84	0.0986	47.33	-19.51	1.404	41.23
11730	11735	5	1	15	9	65.88	0.0975	46.54	-19.33	1.403	41.53

error promedio (41.45)

11755	11760	5	0	39	3	127.23	0.1508	89.19	-38.04	5.704	42.65
11785	11790	5	0	37	4	133.69	0.156	93.82	-39.87	6.200	42.50
11820	11826	6	0	47	1	127.39	0.1505	88.93	-38.46	5.613	43.25
11863	11868	5	0	44	3	112.87	0.14	79.83	-33.03	4.523	41.38
11896	11901	5	1	13	4	68.12	0.1002	48.48	-19.64	1.602	40.51
11918	11923	5	2	16	8	36.55	0.0665	26.31	-10.24	0.170	38.94
11941	11946	5	2	3	9	40.36	0.071	29.00	-11.35	0.361	39.14
12082	12087	5	0	48	6	102.88	0.131	72.30	-30.58	3.529	42.29
12022	12027	5	0	59	7	83.75	0.115	59.54	-24.21	2.371	40.67
12040	12045	5	3	26	8	24.18	0.0495	16.94	-7.24	0.054	42.75
12054	12059	5	1	35	6	52.30	0.084	37.27	-15.03	0.835	40.33
12069	12074	5	0	48	4	103.31	0.131	72.30	-31.00	3.632	42.88
12096	12101	5	0	57	4	87.11	0.1181	61.95	-25.16	2.568	40.62
12162	12167	5	0	41	9	119.33	0.145	84.12	-35.21	5.123	41.85
12191	12196	5	1	30	2	55.43	0.087	39.27	-16.16	0.930	41.15
12206	12211	5	1	25	4	58.55	0.0905	41.65	-16.90	1.021	40.57
12259	12264	5	0	41	9	119.33	0.145	84.12	-35.21	4.915	41.85
12301	12306	5	1	54	0	43.86	0.0748	31.35	-12.51	0.504	39.91
12315	12320	5	1	42	8	48.64	0.0798	34.52	-14.11	0.571	40.88

error máximo

error mínimo

Los datos tabulados en la Tabla 6.9, se muestran de forma simplificada en la grafica de la Figura 6.23, donde se muestran el porcentaje de error obtenido con respecto a el gasto leído en el medidor.

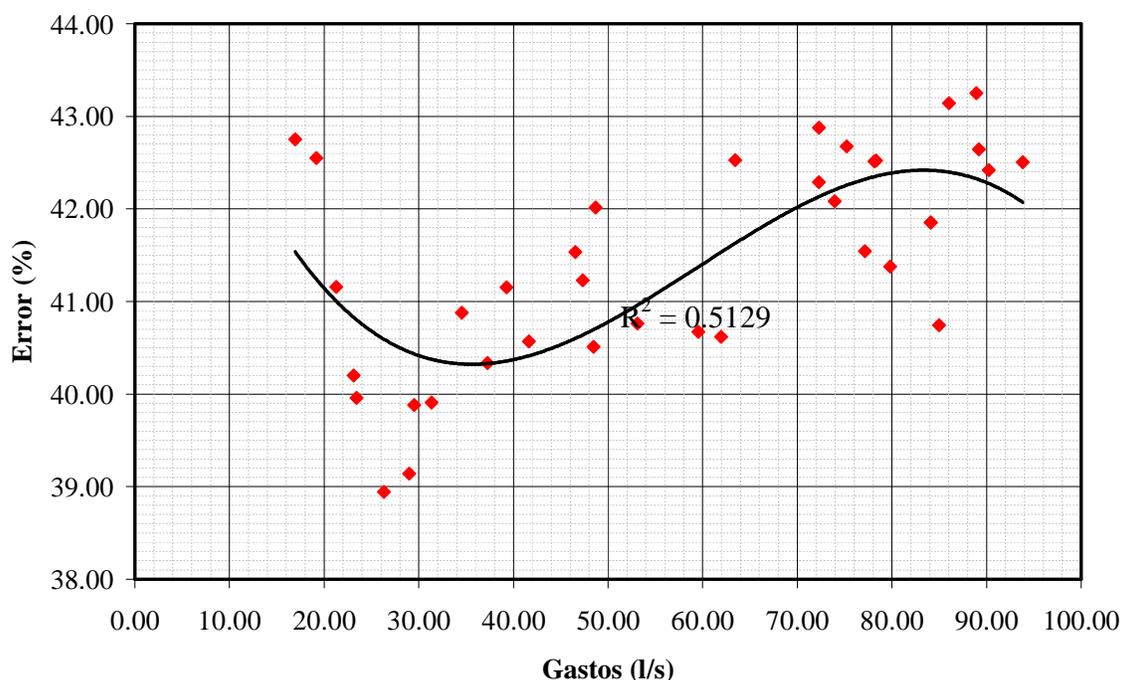


Figura 6.23 Gráfica de errores colocado el acondicionador de flujo Sprengle.

En la gráfica de la muestra, se ve que los valores están muy dispersos se tiene un rango de error de 4.31 %, siendo el error máximo de 43.23 % y el mínimo de 38.94 % se puede observar que se forman 2 agrupaciones de lecturas la primera para gastos menores a 60 l/s, (con los errores

menores) y la segunda para gastos mayores de 70 l/s (con los errores mayores) Llama la atención la magnitud tan alta de los errores.

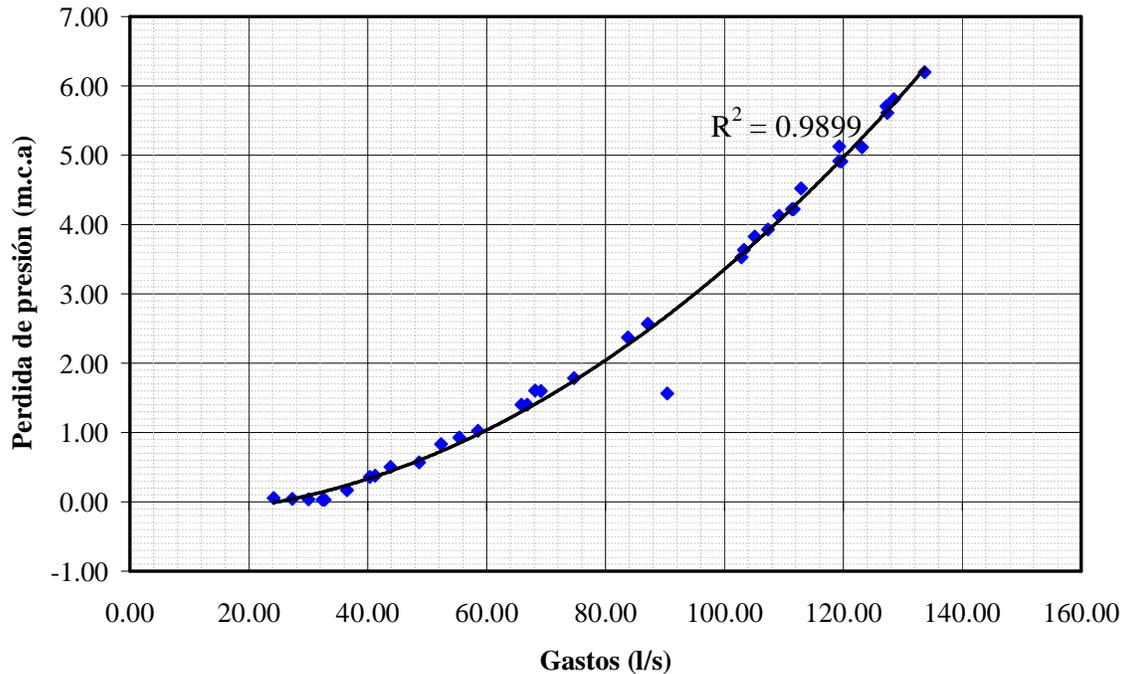


Figura 6.24 Gráfica de pérdida de presión, colocado el acondicionador de flujo Sprenkle.

En la grafica de la Figura 6.24 se observa que la pérdida de presión que a partir de los 30 l/s tiende a aumentar de forma proporcional al aumento del gasto, de forma regular, en una curva ligera, sus pérdidas son de consideración con valores altos.

6.2.3. Prueba 9. Orientador Étoile

La prueba número nueve se llevó a cabo los días 22 y 23 de noviembre del 2007, ésta busca información del desempeño del medidor con el orientador de flujo Étoile. La distribución del tren de descarga se puede observar en la Figura 6.26, colocado después de los dos codos de 90°, el orientador de flujo, el medidor y un carrete cuello de ganso para que el medidor trabaje a tubo lleno; se tomaron lecturas puntuales, variando el gasto de forma aleatoria hasta tener una muestra representativa de la amplitud de gasto determinado y se tomó la pérdida de presión en metros columna da agua.

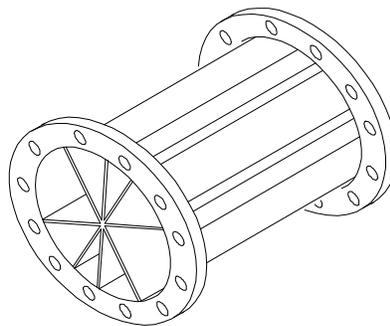


Figura 6.25 Orientador Étoile.

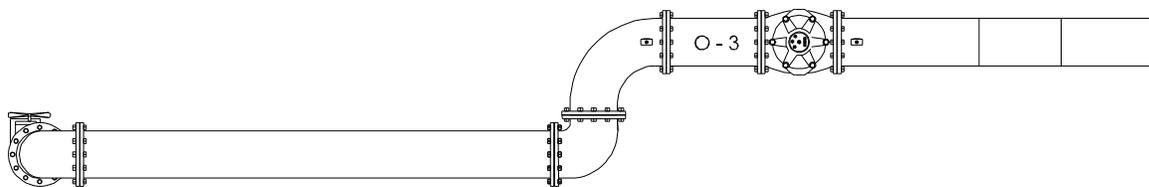


Figura 6.26 Croquis de la distribución del tren de descarga, colocado el orientador Étoile.

La prueba tubo una duración aproximada de 6 horas; se tomó el tiempo con un cronómetro, y las lecturas de la pérdida de presión en metros columna de agua, la prueba se realizó sin inconvenientes.

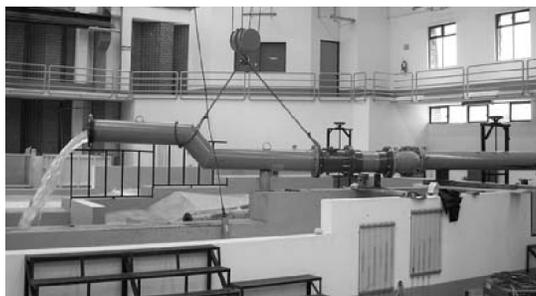


Figura 6.27 Fotografía del tren de descarga con el orientador Étoile.

Para esta prueba se obtuvieron los resultados tabulados a continuación.

Tabla 6.10 Datos de la prueba con el orientador Étoile.

Lectura del limnómetro: 20 m.c.a = 0.1kg/cm²

Lectura Inicial en medidor	Lectura Final en medidor	Diferencia volumen (m ³)	Tiempo (m,s,c)			Gasto en medidor (l/s)	Altura del tirante h (m)	Gasto en vertedor (L/s)	Diferencia de gastos (L)	Pérdida de carga (m. c. a.)	Error %
12330	12335	5	1	58	6	42.159	0.0975	46.54	4.39	0.0320	-9.42
12350	12355	5	1	4	2	77.882	0.1475	86.30	8.41	0.0920	-9.75
12382	12387	5	1	51	8	44.723	0.102	49.78	5.06	0.0320	-10.17
12395	12400	5	2	36	7	31.908	0.0807	35.11	3.20	0.0230	-9.11
12410	12415	5	0	57	0	87.719	0.1612	98.52	10.80	0.1240	-10.96
12444	12449	5	0	45	3	110.375	0.186	121.95	11.58	0.1820	-9.49
12486	12491	5	1	27	3	57.274	0.12	63.44	6.16	0.0550	-9.72
12500	12505	5	4	13	6	19.716	0.058	21.45	1.74	0.0130	-8.09
12542	12547	5	0	52	7	94.877	0.169	105.71	10.83	0.148	-10.25
12573	12578	5	0	56	4	88.652	0.1625	99.70	11.05	0.119	-11.08
12597	12602	5	1	9	7	71.736	0.141	80.69	8.95	0.084	-11.09
12621	12626	5	2	19	6	35.817	0.087	39.27	3.45	0.029	-8.80
12644	12649	5	1	2	6	79.872	0.151	89.37	9.49	0.099	-10.62
12689	12694	5	2	20	0	35.714	0.088	39.95	4.23	0.026	-10.59
12699	12704	5	2	12	5	37.736	0.091	41.99	4.26	0.028	-10.14
12721	12726	5	0	56	2	88.968	0.1625	99.70	10.74	0.116	-10.77
12752	12757	5	0	58	6	85.324	0.158	95.62	10.29	0.115	-10.76
12781	12786	5	0	53	5	93.458	0.167	103.85	10.39	0.13	-10.01
12809	12814	5	0	42	2	118.483	0.195	130.86	12.37	0.177	-9.46

error mínimo
error promedio
(-10.28)

12877	12882	5	1	52	2	44.563	0.1015	49.42	4.86	0.038	-9.83
12898	12903	5	3	59	1	20.912	0.061	23.13	2.22	0.014	-9.58
12913	12918	5	2	19	6	35.817	0.088	39.95	4.13	0.027	-10.34
12931	12936	5	1	17	6	64.433	0.1315	72.71	8.28	0.093	-11.39
12952	12957	5	1	19	5	62.893	0.13	71.48	8.59	0.063	-12.01
12980	12985	5	2	17	7	36.311	0.0895	40.97	4.66	0.023	-11.36
12991	12996	5	2	11	1	38.139	0.092	42.68	4.55	0.027	-10.65
13003	13008	5	2	24	5	34.602	0.086	38.60	4.00	0.029	-10.36
13014	13019	5	4	15	5	19.569	0.058	21.45	1.88	0.013	-8.78
13023	13028	5	4	0	6	20.781	0.061	23.13	2.35	0.014	-10.15
13032	13037	5	1	19	4	62.972	0.128	69.85	6.88	0.063	-9.84
13069	13074	5	0	55	6	89.928	0.164	101.08	11.15	0.129	-11.03
13090	13095	5	0	55	8	89.606	0.163	100.16	10.56	0.118	-10.54
13134	13139	5	1	4	1	78.003	0.149	87.61	9.60	0.098	-10.96
13153	13158	5	1	38	5	50.761	0.1125	57.62	6.86	0.046	-11.90
13170	13175	5	3	3	4	27.263	0.0735	30.54	3.28	0.019	-10.73
13189	13194	5	2	38	0	31.646	0.081	35.30	3.66	0.025	-10.36

error máximo

Los datos tabulados en la Tabla 6.10, se pueden presentar de una manera más simplificada por medio de la gráfica de en la Figura 6.28, donde se muestra el porcentaje de error obtenido con respecto al gasto leído por el medidor y la pérdida de presión que se tuvo durante la prueba.

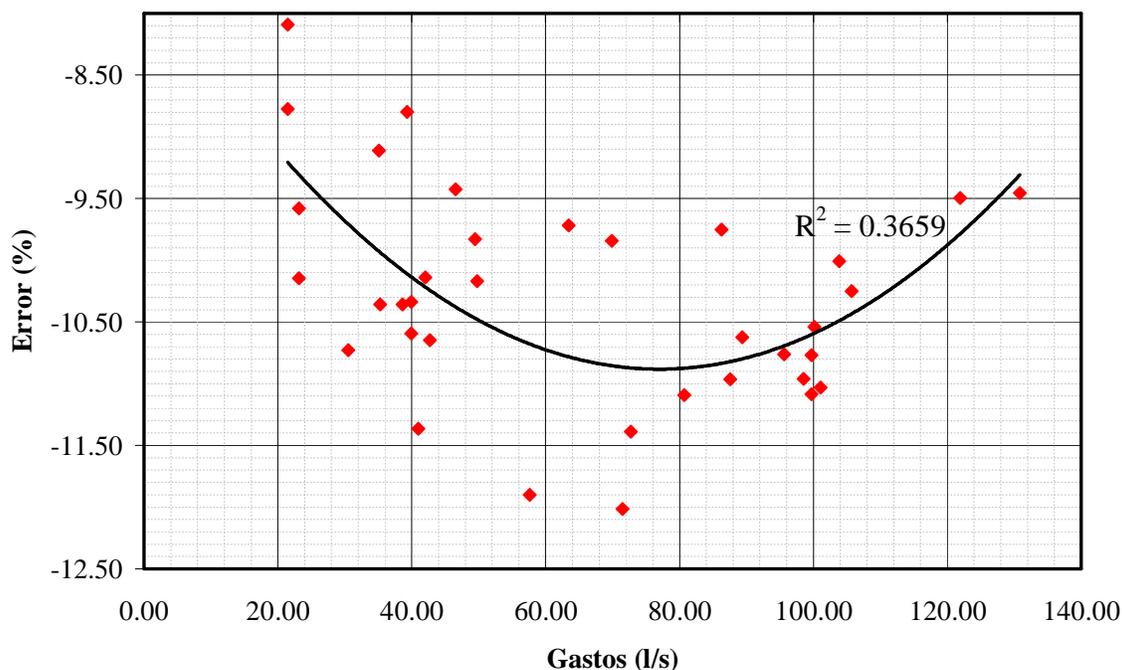


Figura 6.28 Gráfica de errores, colocado el orientador Étoile.

En la grafica se puede apreciar la distribución de los errores obtenidos en la prueba que van desde el error mínimo de -8.09% hasta el error máximo de -12.01%, con lo que tenemos un rango igual a 3.92 %, aunque el rango no es muy grande hay dispersión en la muestra, se pueden observar dos agrupaciones que quizá serían mas notorias si se manejara una escala mas reducida del eje de las ordenadas; la primer agrupación entre los gastos de 30 y 50 l/s con errores

alrededor de -10.50% y la segunda con gastos entre 90 y 110 l/s con errores alrededor de -11.00%.

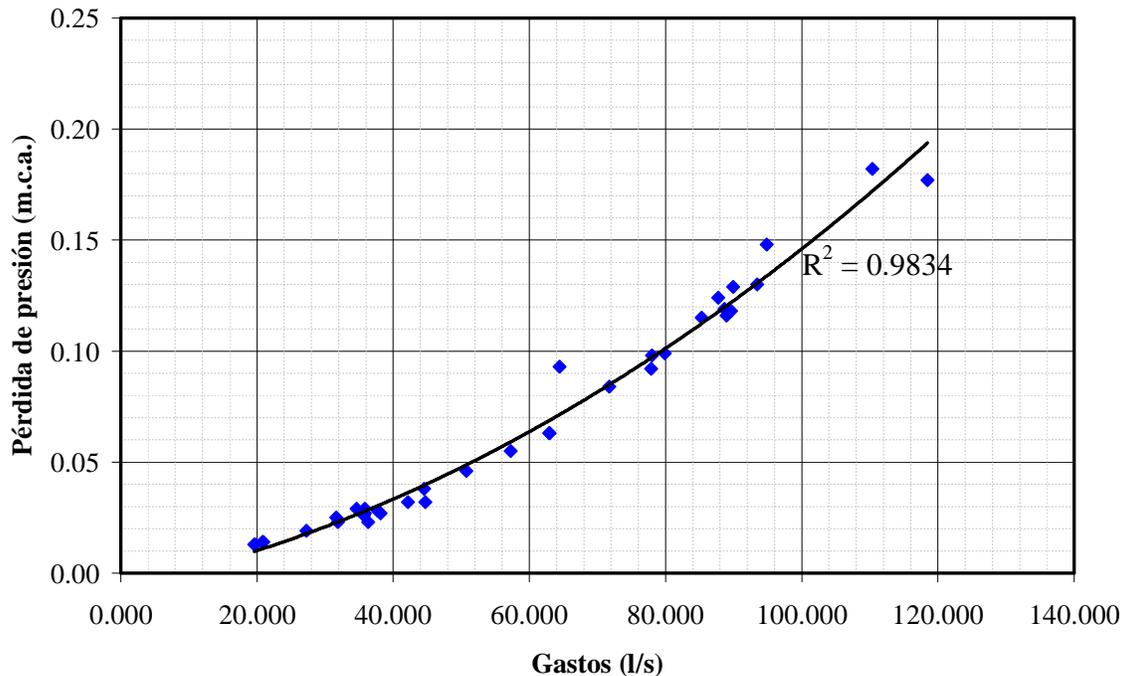


Figura 6.29 Gráfica de pérdida de presión, colocado el orientador Étoile.

Como se puede observar en la gráfica de la Figura 6.29, la pérdida de presión se incrementa de manera proporcional al aumento del gasto, con una distribución regular, con poca oscilación entre sus valores y ligeramente curva, sin embargo sus pérdidas son de menos de 0.20 m.c.a.

6.2.4. Prueba 10. Acondicionador de flujo Gallagher; con dispositivo anti-turbulencia de tubos

La prueba número diez se llevó a cabo el día 24 de noviembre del 2007, ésta busca información del desempeño del medidor con el acondicionador de flujo Gallagher; con dispositivo anti-turbulencia de tubos. La distribución del tren de descarga se puede observar en la Figura 6.30, colocado después de los dos codos de 90°, el acondicionador de flujo, el medidor y un carrete cuello de ganso para que el medidor trabaje a tubo lleno; se tomaron lecturas puntuales, variando el gasto de forma aleatoria hasta tener una muestra representativa de la amplitud de gasto determinado y se tomó la pérdida de presión en metros columna de agua.

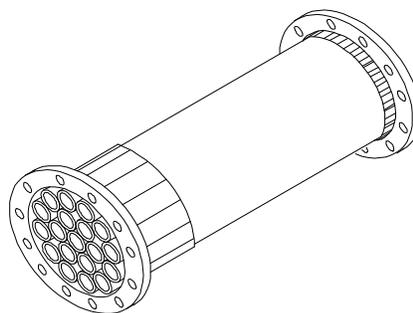


Figura 6.30 Acondicionador de flujo Gallagher con tubos en su interior.

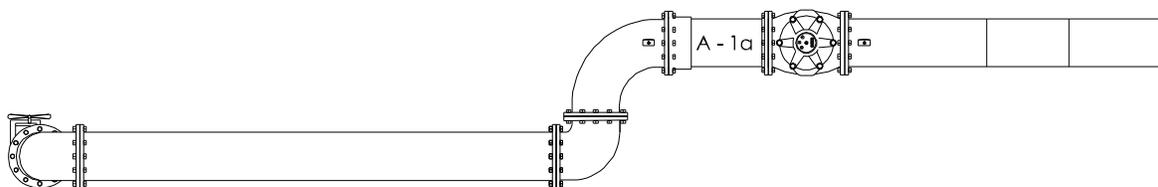


Figura 6.31 Distribución del tren de descarga, colocado el acondicionador de flujo Gallagher.

La prueba tubo una duración aproximada de 5 horas; tomando el tiempo con un cronómetro y las lecturas de la pérdida de presión a través del acondicionador y el medidor en metros columna de agua, la prueba se realizó sin inconvenientes.

Para esta prueba se obtuvieron los resultados tabulados a continuación:

Tabla 6.11 Datos de la prueba con el acondicionador Gallagher

Lectura del limnómetro: 20 m.c.a = 0.1kg/cm²

Lectura Inicial en medidor	Lectura Final en medidor	Diferencia volumen (m ³)	Tiempo (m,s,c)		Gasto en medidor (l/s)	Altura del tirante h (m)	Gasto en vertedor (L/s)	Diferencia de gastos (L)	Pérdida de carga (m. c. a.)	Error %	
13190	13195	5	2	29	7	33.40	0.069	27.79	-5.61	0.0360	20.17
13216	13221	5	1	8	4	73.10	0.116	60.31	-12.79	0.1550	21.20
13233	13238	5	1	10	5	70.92	0.1135	58.38	-12.54	0.1400	21.48
13263	13268	5	0	49	6	100.81	0.1445	83.69	-17.12	0.3140	20.45
13295	13304	9	1	32	4	97.40	0.14	79.83	-17.57	0.2630	22.01
13332	13337	5	0	33	5	149.25	0.185	120.98	-28.28	0.6430	23.37
13398	13403	5	0	35	7	140.06	0.1775	113.74	-26.32	0.5880	23.14
13455	13460	5	0	39	3	127.23	0.1665	103.39	-23.84	0.4420	23.06
13503	13508	5	1	25	5	58.48	0.1001	48.41	-10.07	0.109	20.81
13519	13524	5	1	24	6	59.10	0.1001	48.41	-10.69	0.105	22.09
13536	13541	5	2	7	5	39.22	0.0765	32.42	-6.80	0.05	20.97
13550	13555	5	1	57	9	42.41	0.081	35.30	-7.11	0.061	20.13
13575	13580	5	1	14	2	67.39	0.11	55.72	-11.67	0.133	20.94
13593	13598	5	0	34	8	143.68	0.18	116.13	-27.54	0.589	23.72
13627	13632	5	0	37	2	134.41	0.173	109.46	-24.95	0.51	22.79
13712	13717	5	0	38	2	130.89	0.171	107.58	-23.31	0.476	21.67
13754	13759	5	1	58	8	42.09	0.0805	34.98	-7.11	0.055	20.33
13777	13782	5	3	12	2	26.01	0.058	21.45	-4.56	0.026	21.27
13791	13796	5	1	11	5	69.93	0.1125	57.62	-12.31	0.144	21.37
13834	13839	5	1	35	0	52.63	0.093	43.38	-9.25	0.086	21.33
13857	13862	5	1	5	8	75.99	0.1195	63.04	-12.94	0.162	20.53
13886	13891	5	0	46	6	107.30	0.15	88.49	-18.81	0.313	21.26
13919	13924	5	0	55	2	90.58	0.133	73.96	-16.62	0.231	22.48
13947	13952	5	2	3	0	40.65	0.078	33.37	-7.28	0.053	21.82
13970	13975	5	1	5	8	75.99	0.119	62.65	-13.34	0.162	21.29
13998	14003	5	0	38	5	129.87	0.1695	106.18	-23.69	0.479	22.31
14039	14044	5	0	52	3	95.60	0.1385	78.56	-17.04	0.258	21.69
14087	14092	5	0	35	9	139.28	0.1775	113.74	-25.54	0.543	22.45
14124	14129	5	2	18	8	36.02	0.0725	29.92	-6.10	0.043	20.39
14157	14162	5	0	50	7	98.62	0.142	81.54	-17.08	0.28	20.94

error promedio
(21.56)

error máximo

14204	14209	5	0	32	0	156.25	0.1905	126.38	-29.87	0.672	23.64
14249	14254	5	0	37	4	133.69	0.172	108.52	-25.17	0.484	23.19
14305	14310	5	2	32	6	32.77	0.068	27.20	-5.57	0.036	20.48
14319	14324	5	2	3	6	40.45	0.078	33.37	-7.08	0.051	21.23
14337	14342	5	1	3	1	79.24	0.1235	66.22	-13.02	0.177	19.67
14364	14371	7	1	29	8	77.95	0.122	65.02	-12.93	0.177	19.88
14406	14411	5	0	42	0	119.05	0.16	97.43	-21.62	0.399	22.19

error mínimo

Los datos tabulados en la Tabla 6.11, se pueden presentar de una manera simplificada por medio de la gráfica de la Figura 6.32; ésta muestra el porcentaje de error obtenido con respecto a los gastos leídos en el medidor.

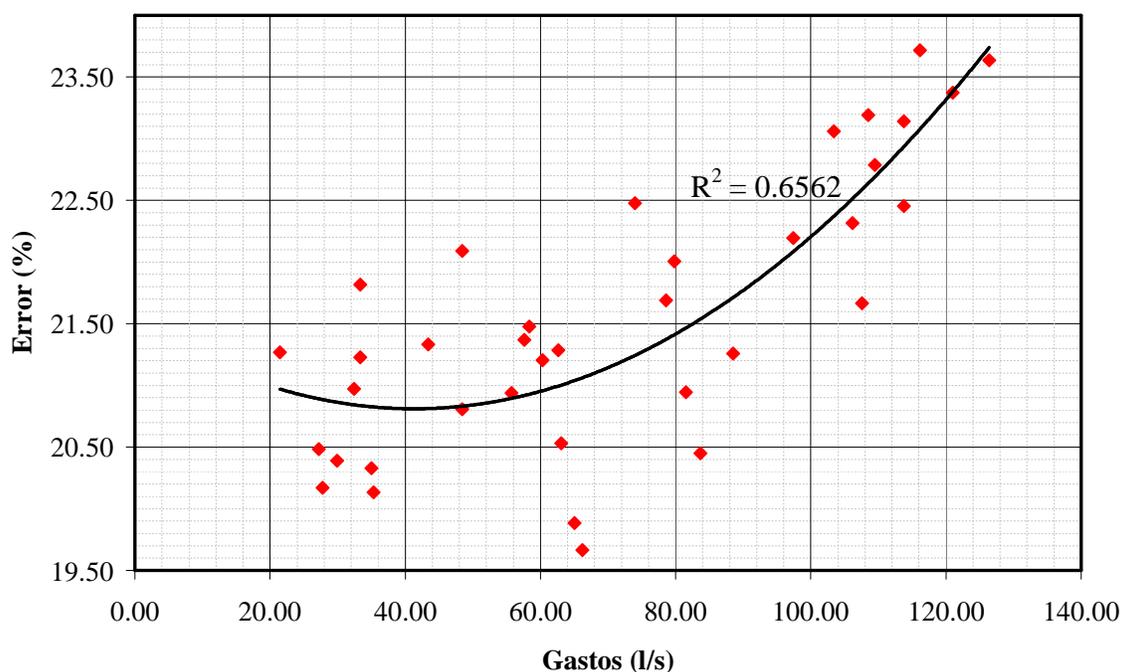


Figura 6.32 Gráfica de errores, colocado el acondicionador de flujo Gallagher con tubos en su interior.

Se puede observar en la gráfica el error mínimo de la prueba de 19.67% y el error máximo de 23.72 %, estos errores nos dan un rango de error de 4.05 %, se puede apreciar que hay dispersión en las lecturas de la muestra, sin embargo conforme el gasto aumenta, el error tiende a aumentar como se observa a partir de 100 l/s se tienen los errores más altos, mientras que de 20 l/s hasta 100 l/s se mantiene el error debajo de 22.50 %. Este acondicionador también cuenta con errores altos, contrariamente a la mejora esperada.

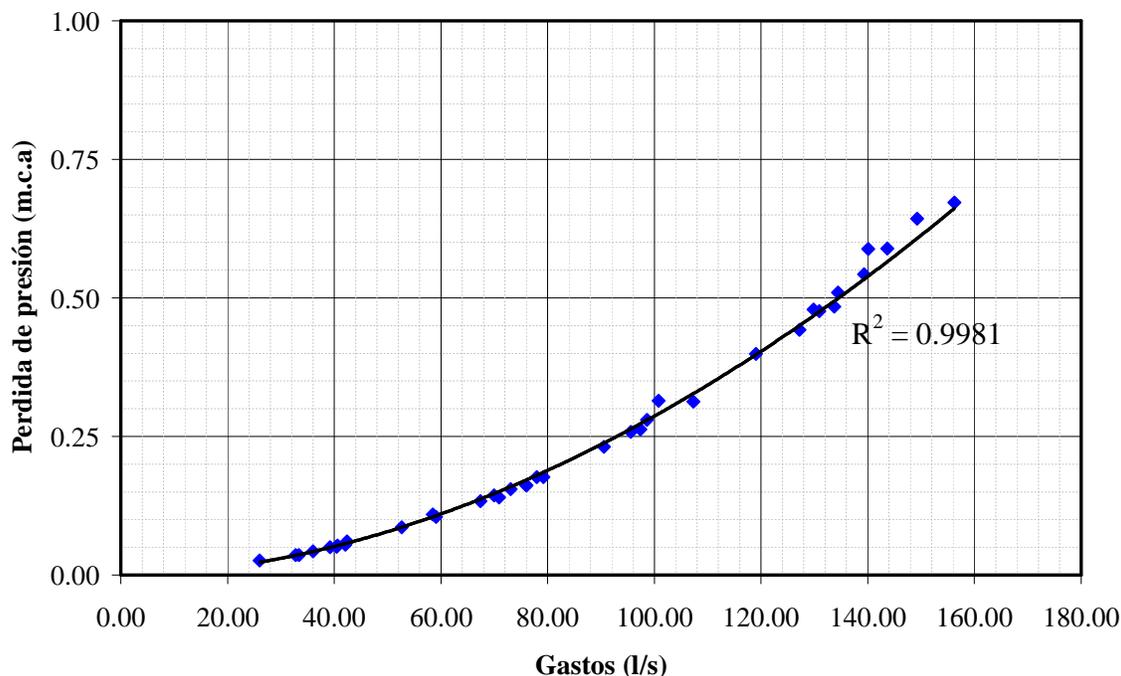


Figura 6.33 Gráfica de pérdida de presión, colocado el acondicionador Gallagher con tubos en su interior.

Se puede observar en la grafica de la Figura 6.33, que la perdida de presión aumenta de forma proporcional al aumento del gasto, en la grafica se observa que va de 0.00 hasta aproximadamente 0.65 m.c.a.; lo hace de una manera regular y ligeramente curva, presentando valores mayores en comparación con los anteriores.

6.2.5. Prueba 11. Orientador de cruz

La prueba número once se llevó a cabo el día 27 de noviembre del 2007, ésta busca información del desempeño del medidor con el orientador de cruz, diseñado en el laboratorio. La distribución del tren de descarga se puede observar en la Figura 6.35, colocado después de los dos codos de 90°, el orientador de flujo, el medidor y un carrete cuello de ganso para que el medidor trabaje a tubo lleno; se tomaron lecturas puntuales, variando el gasto de forma aleatoria hasta tener una muestra representativa de la amplitud de gasto determinado y se tomó la pérdida de presión en metros columna de agua.

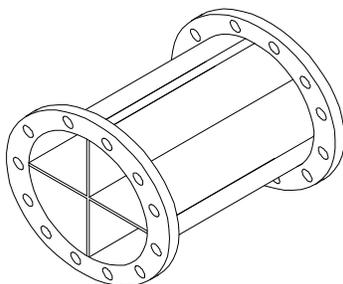


Figura 6.34 Orientador de cruz.

El tiempo se tomó con un cronómetro y las lecturas de la pérdida de presión a través del orientador y el medidor en metros columna de agua, la prueba se realizó sin inconvenientes.

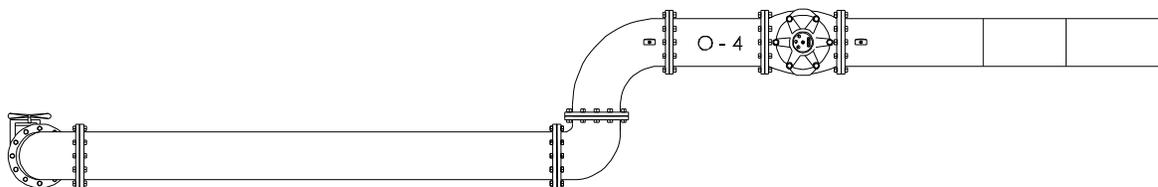


Figura 6.35 Distribución del tren de descarga , colocado el orientador de cruz.

Para esta prueba se obtuvieron los resultados tabulados a continuación

Tabla 6.12 Datos de la prueba con el orientador de cruz.

Lectura del limnómetro: 20 m.c.a = 0.1kg/cm²

Lectura Inicial en medidor	Lectura Final en medidor	Diferencia volumen (m ³)	Tiempo (m,s,c)			Gasto en medidor (l/s)	Altura del tirante h (m)	Gasto en vertedor (L/s)	Diferencia de gastos (L)	Pérdida de carga (m. c. a.)	Error %
14453	14458	5	2	29	3	33.49	0.08	34.65	1.16	0.0240	-3.36
14481	14486	5	1	2	9	79.49	0.146	84.99	5.50	0.0860	-6.47
14504	14508	4	0	50	0	80.00	0.1465	85.42	5.42	0.0920	-6.35
14557	14562	5	1	53	6	44.01	0.098	46.90	2.89	0.0320	-6.16
14593	14598	5	1	4	8	77.16	0.144	83.26	6.10	0.0850	-7.33
14616	14621	5	0	49	9	100.20	0.171	107.58	7.38	0.1300	-6.86
14655	14660	5	1	6	2	75.53	0.142	81.54	6.01	0.0820	-7.37
14672	14679	7	4	50	7	24.08	0.065	25.43	1.35	0.0160	-5.29
14688	14693	5	3	8	9	26.47	0.0695	28.09	1.63	0.018	-5.79
14715	14720	5	1	32	1	54.29	0.1135	58.38	4.09	0.043	-7.01
14731	14736	5	2	0	8	41.39	0.094	44.08	2.68	0.03	-6.09
14748	14753	5	2	1	8	41.05	0.093	43.38	2.33	0.033	-5.36
14759	14764	5	2	42	9	30.69	0.0765	32.42	1.72	0.02	-5.32
14769	14774	5	2	32	9	32.70	0.08	34.65	1.95	0.061	-5.63
14805	14810	5	1	25	3	58.62	0.12	63.44	4.82	0.02	-7.60
14817	14822	5	0	54	0	92.59	0.1625	99.70	7.11	0.149	-7.13
14917	14922	5	1	34	6	52.85	0.1125	57.62	4.76	0.111	-8.27
14930	14935	5	2	33	8	32.51	0.079	34.01	1.50	0.027	-4.41
14945	14950	5	1	47	1	46.69	0.102	49.78	3.10	0.034	-6.23
14965	14970	5	1	57	5	42.55	0.096	45.48	2.93	0.031	-6.44
14976	14981	5	4	31	3	18.43	0.055	19.82	1.39	0.012	-7.01
14985	14990	5	3	0	9	27.64	0.071	29.00	1.36	0.018	-4.70
15004	15009	5	0	58	4	85.62	0.153	91.14	5.52	0.104	-6.06
15025	15030	5	1	9	6	71.84	0.137	77.30	5.46	0.076	-7.06
15038	15043	5	1	41	8	49.12	0.1065	53.10	3.98	0.035	-7.49
15056	15061	5	1	2	6	79.87	0.146	84.99	5.12	0.077	-6.02
15073	15078	5	1	29	1	56.12	0.117	61.09	4.97	0.046	-8.14
15089	15094	5	4	40	4	17.83	0.0535	19.02	1.19	0.012	-6.24
15099	15104	5	1	59	5	41.84	0.095	44.78	2.94	0.032	-6.56
15116	15121	5	0	59	7	83.75	0.1505	88.93	5.17	0.093	-5.82
15135	15140	5	1	3	3	78.99	0.1465	85.42	6.44	0.083	-7.53
15157	15162	5	1	0	1	83.19	0.1515	89.81	6.61	0.117	-7.36
15173	15178	5	1	34	8	52.74	0.1125	57.62	4.87	0.043	-8.46

error mínimo

error promedio (-6.43)

15184	15189	5	2	48	8	29.62	0.075	31.47	1.85	0.018	-5.89	error máximo
15194	15199	5	1	7	5	74.07	0.139	78.99	4.91	0.076	-6.22	
15219	15224	5	1	38	1	50.97	0.11	55.72	4.75	0.034	-8.53	
15230	15235	5	3	12	3	26.00	0.068	27.20	1.19	0.016	-4.39	

Los datos tabulados en la Tabla 6.12, se pueden presentar de manera simplificada por medio la grafica de la Figura 6.36, ésta muestra el porcentaje de error obtenido respecto al gasto leído en el medidor.

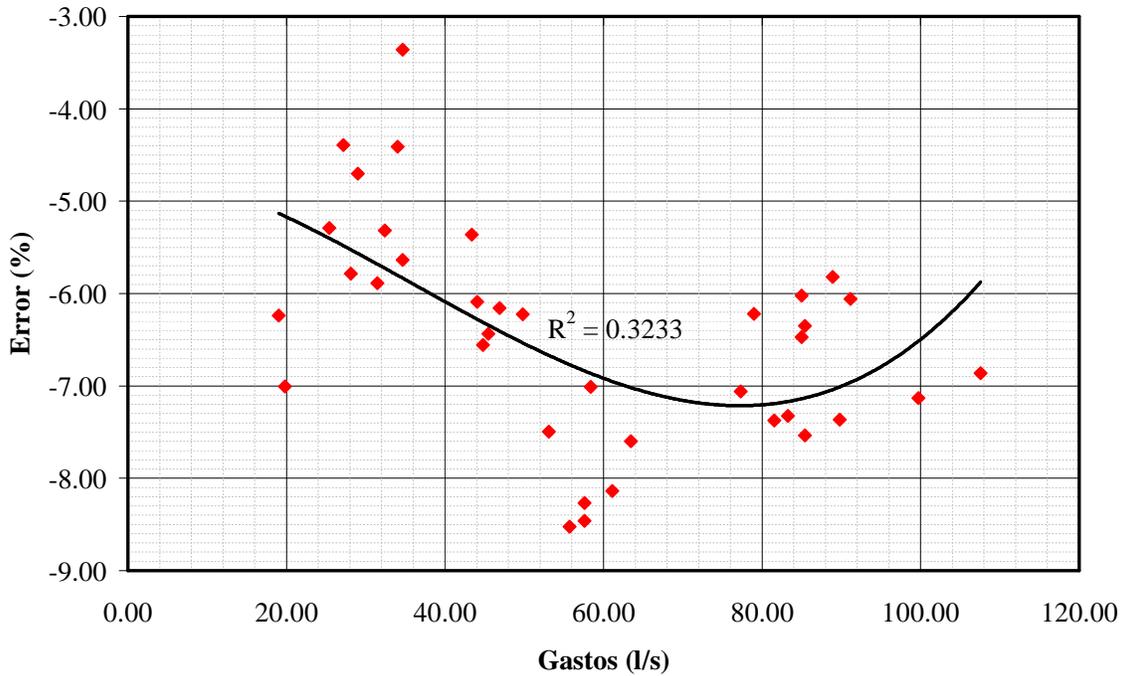


Figura 6.36 Gráfica de errores, colocado el orientador de cruz.

Se puede observar en la gráfica que el error mínimo es de -3.36% y el error máximo de -8.53%, teniendo un rango de error de 5.17%, se puede observar que conforme aumenta el gasto, los errores tienen también un aumento, pero de una manera no muy constante ya que pasando los 60 l/s, los errores disminuyen, pero oscilan. Este orientador no parece provocar un efecto notorio en la medición.

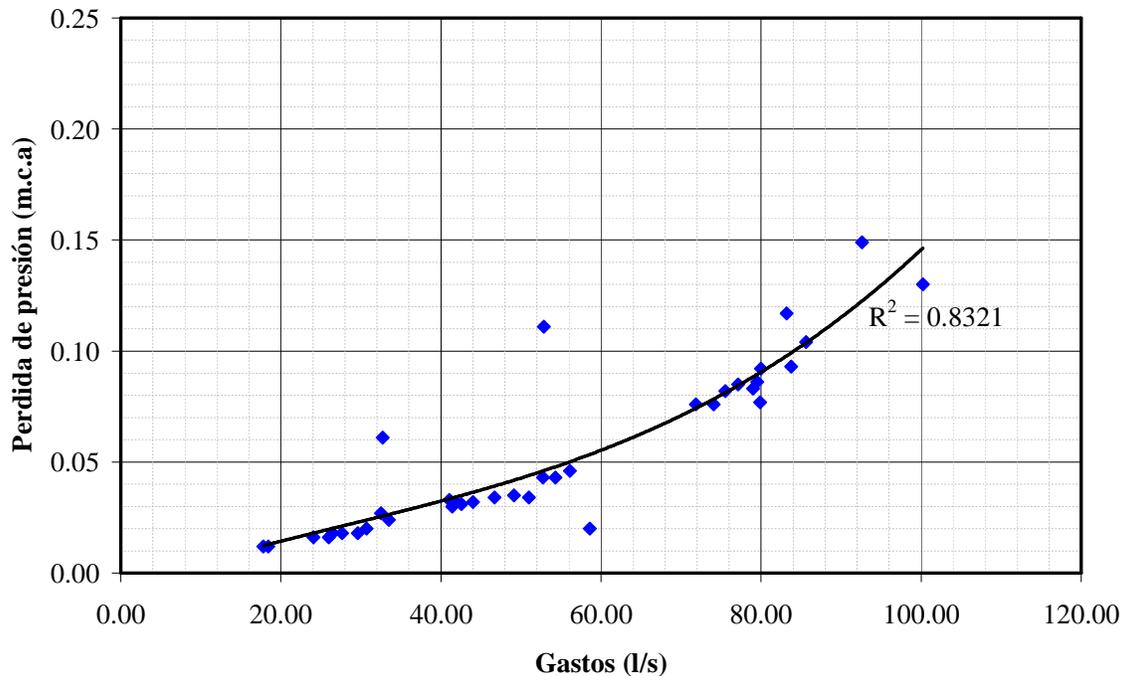


Figura 6.37 Gráfica de pérdidas de presión, colocado el orientador de cruz.

Se puede observar en la grafica de la Figura 6.37, que las pérdidas de presión aumentan conforme se aumenta el gasto, sin embargo son muy pequeñas y poco significativa, la mayor no pasa de 0.15 m.c.a., de comportamiento con tendencia a formar una ligera curva pero con oscilaciones entre sí.

6.2.6. Prueba 12. Acondicionador de flujo placa NEL (Spearman)

La prueba número doce se llevó a cabo el día 1 de diciembre del 2007, ésta busca información del desempeño del medidor con el acondicionador de flujo placa NEL (Spearman). La distribución del tren de descarga se puede observar en la Figura 6.39, colocado después de los dos codos de 90°, la placa acondicionadora, el medidor y un carrete cuello de ganso para que el medidor trabaje a tubo lleno; se tomaron lecturas puntuales, variando el gasto de forma aleatoria hasta tener una muestra representativa de la amplitud de gasto determinado y se tomó la pérdida de presión en metros columna de agua.

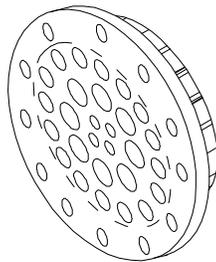


Figura 6.38 Acondicionador de flujo placa NEL (Spearman).

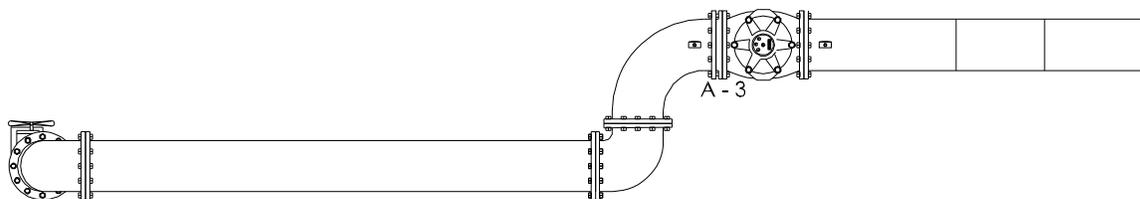


Figura 6.39 Distribución del tren de descarga, colocado el Acondicionador de flujo placa NEL (Spearman).

Al graficar los datos de esta prueba se encontraron resultados dispersos por lo que el día 2 de diciembre se tomaron 19 lecturas más para corroborar la dispersión de los errores, incluyendo éstos datos como parte de la prueba junto con los previamente obtenidos, se tomó el tiempo con cronómetro y las lecturas de la pérdida de presión en metros columna de agua.



Figura 6.40 Fotografía del tren de descarga con un acondicionador de placa.

Para esta prueba se obtuvieron los resultados tabulados a continuación:

Tabla 6.13 Datos de la prueba con el acondicionador de placa NEL (Spearman).

Lectura del limnómetro: 20 m.c.a = 0.1kg/cm²

Lectura Inicial en medidor	Lectura Final en medidor	Diferencia volumen (m ³)	Tiempo (m,s,c)			Gasto en medidor (l/s)	Altura del tirante h (m)	Gasto en vertedor (L/s)	Diferencia de gastos (L)	Pérdida de carga (m. c. a.)	Error %
15284	15289	5	0	35	5	140.85	0.166	102.92	-37.92	0.5500	36.84
15384	15389	5	1	21	8	61.12	0.0945	44.43	-16.70	0.1050	37.59
15409	15414	5	0	42	8	116.82	0.147	85.86	-30.96	0.3750	36.06
15439	15444	5	0	44	4	112.61	0.144	83.26	-29.35	0.3400	35.25
15458	15463	5	0	58	8	85.03	0.121	64.23	-20.81	0.1950	32.39
15472	15477	5	2	3	9	40.36	0.072	29.61	-10.74	0.0470	36.27
15483	15488	5	1	35	2	52.52	0.085	37.93	-14.59	0.0840	38.46
15506	15511	5	0	42	0	119.05	0.15	88.49	-30.56	0.3970	34.54
15551	15556	5	0	44	1	113.38	0.1445	83.69	-29.69	0.359	35.47
15617	15622	5	1	4	5	77.52	0.112	57.24	-20.28	0.168	35.44
15646	15651	5	1	44	3	47.94	0.08	34.65	-13.29	0.068	38.34
15613	15618	5	2	41	9	30.88	0.059	22.01	-8.88	0.023	40.34
15672	15677	5	2	16	7	36.58	0.0665	26.31	-10.27	0.038	39.05
15685	15690	5	0	52	5	95.24	0.1295	71.07	-24.17	0.256	34.00
15708	15713	5	0	55	2	90.58	0.1255	67.82	-22.76	0.231	33.55
15726	15731	5	1	7	9	73.64	0.1085	54.59	-19.05	0.15	34.89
15758	15763	5	1	0	2	83.06	0.119	62.65	-20.40	0.193	32.57
15774	15779	5	1	26	5	57.80	0.092	42.68	-15.12	0.1	35.42

error máximo

15800	15805	5	0	56	9	87.87	0.1215	64.62	-23.25	0.212	35.98	error mínimo
15819	15824	5	0	40	3	124.07	0.1515	89.81	-34.26	0.423	38.15	
15849	15854	5	0	34	4	145.35	0.168	104.78	-40.57	0.56	38.72	
15923	15929	6	0	51	8	115.83	0.1455	84.56	-31.27	0.351	36.99	
15936	15941	5	1	2	8	79.62	0.116	60.31	-19.31	0.186	32.01	
15953	15958	5	2	18	2	36.18	0.067	26.60	-9.58	0.036	36.01	
15963	15968	5	2	4	3	40.23	0.0715	29.31	-10.92	0.046	37.25	
15992	15997	5	1	19	7	62.74	0.0965	45.83	-16.90	0.11	36.87	
16003	16008	5	0	40	3	124.07	0.152	90.25	-33.82	0.414	37.47	
16046	16051	5	0	41	6	120.19	0.15	88.49	-31.71	0.39	35.83	
16068	16073	5	1	6	2	75.53	0.111	56.48	-19.05	0.159	33.74	
16087	16092	5	1	4	9	77.04	0.1115	56.86	-20.19	0.162	35.50	
16101	16106	5	0	48	5	103.09	0.133	73.96	-29.14	0.285	39.40	
16124	16129	5	0	58	7	85.18	0.119	62.65	-22.53	0.206	35.96	
16147	16152	5	1	30	3	55.37	0.089	40.63	-14.75	0.09	36.30	
16164	16169	5	1	19	5	62.89	0.0965	45.83	-17.06	0.116	37.22	
16179	16184	5	0	55	6	89.93	0.123	65.82	-24.11	0.221	36.63	
16210	16215	5	1	5	8	75.99	0.111	56.48	-19.51	0.164	34.55	
16221	16226	5	1	2	5	80.00	0.114	58.77	-21.23	0.1760	36.13	
16272	16277	5	0	34	8	143.68	0.1675	104.31	-39.36	0.5570	37.74	
16337	16343	6	1	8	8	87.21	0.1205	63.83	-23.38	0.2090	36.62	
163375	163380	5	1	33	0	53.76	0.0865	38.94	-14.83	0.0830	38.08	error promedio (36.31)
16403	16408	5	1	23	2	60.10	0.094	44.08	-16.02	0.1030	36.35	
16435	16440	5	2	5	2	39.94	0.071	29.00	-10.93	0.0470	37.69	
16459	16464	5	1	25	9	58.21	0.092	42.68	-15.52	0.0930	36.37	
16501	16506	5	0	43	1	116.01	0.1456	84.64	-31.37	0.3630	37.06	
16593	16598	5	0	54	8	91.24	0.125	67.42	-23.82	0.225	35.33	
16641	16646	5	0	47	6	105.04	0.1375	77.72	-27.32	0.297	35.16	
16697	16702	5	0	37	0	135.14	0.1615	98.79	-36.34	0.507	36.79	
16759	16764	5	0	35	4	141.24	0.1655	102.46	-38.78	0.534	37.85	
16812	16817	5	0	59	4	84.18	0.119	62.65	-21.52	0.187	34.35	
16876	16881	5	1	49	9	45.50	0.077	32.73	-12.76	0.067	38.99	
16926	16931	5	0	51	0	98.04	0.131	72.30	-25.74	0.26	35.59	
16973	16978	5	0	52	4	95.42	0.1285	70.25	-25.16	0.312	35.82	
16991	16996	5	1	11	3	70.13	0.105	51.98	-18.14	0.137	34.90	
17025	17030	5	2	43	5	30.58	0.059	22.01	-8.58	0.028	38.97	

Los datos tabulados en la Tabla 6.13, se pueden presentar de manera simplificada en la gráfica de la Figura 6.41, ésta muestra el porcentaje de error obtenido respecto al gasto leído por el medidor.

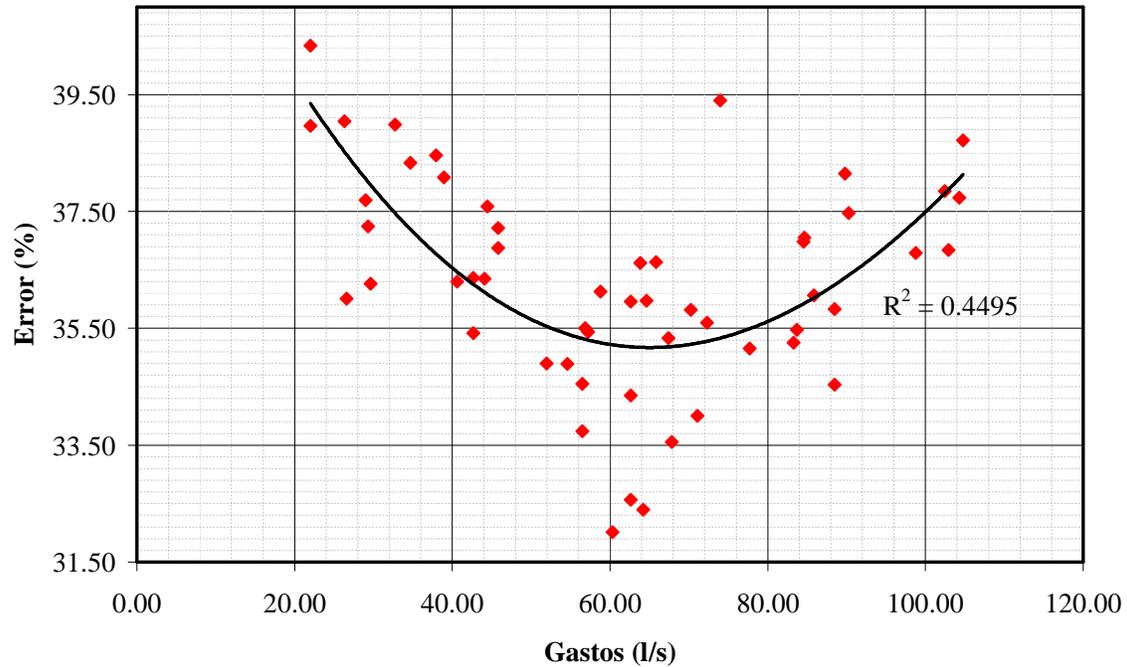


Figura 6.41 Gráfica de errores, colocado el acondicionador de flujo placa NEL (Spearman).

Como se observa en la gráfica, el error mínimo de la prueba es de 32.01% y el error máximo de 40.34%, teniendo un rango de error de 8.33 %, la muestra tiene dispersión, pero a pesar de esto se puede notar una tendencia de los puntos a formar una parábola invertida, para los gastos mínimos los errores son mayores; para los gastos alrededor de 60 l/ los errores son los menores y conforme aumenta el gasto se puede observar que vuelven a aumentar. Se presentan errores de magnitudes altas.

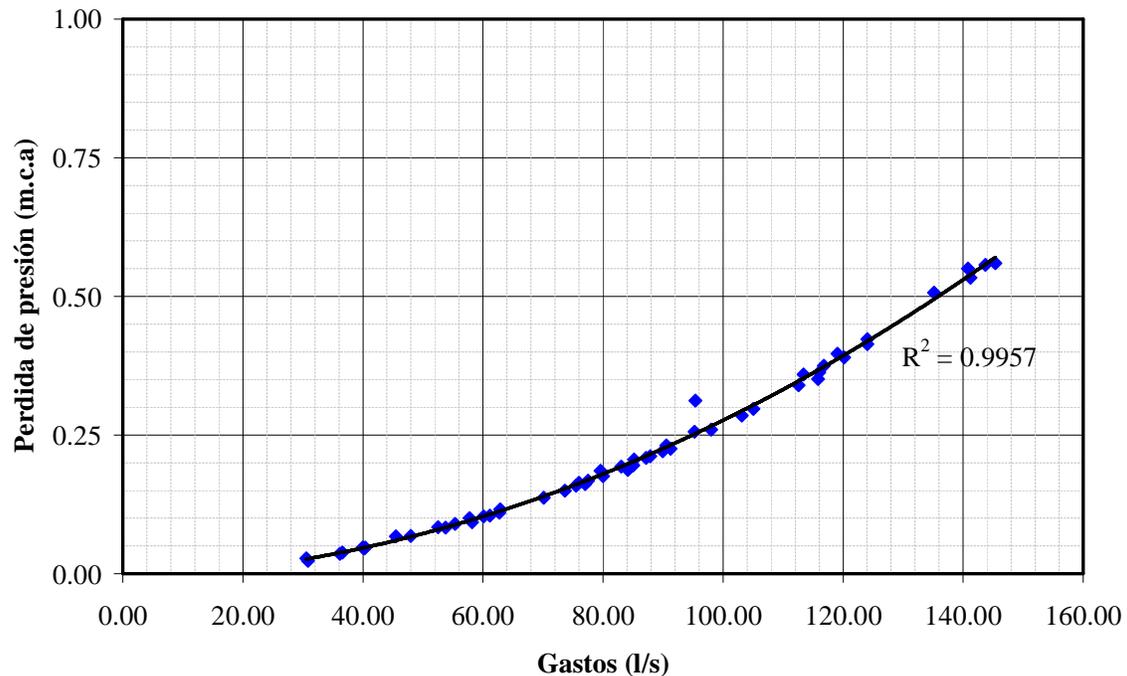


Figura 6.42 Gráfica de pérdida de presión, colocado el acondicionador de flujo placa NEL (Spearman).

En la gráfica de la Figura 6.42 se puede observar que las pérdidas de presión aumenta conforme aumenta el gasto, inicia para un gasto alrededor de 30 l/s con una pérdida de aproximadamente 0.023 m.c.a. con una tendencia a formar una ligera curva regular, alcanzando una pérdida de 0.56 m.c.a. para el gasto mayor registrado, la magnitud de las pérdidas de presión sitúan a este acondicionador entre los que pierden relativamente poca carga sin ser el mejor en este aspecto.

6.2.7. Prueba 13. Diseño NOVA del acondicionador de flujo placa perforada K-Lab

La prueba número trece se llevó a cabo el día 04 de diciembre del 2007, ésta busca información del desempeño del medidor con el diseño NOVA del acondicionador de flujo placa perforada K-Lab. La distribución del tren de descarga se puede observar en la Figura 6.41, colocado después de los dos codos de 90°, la placa acondicionadora, el medidor y un carrete cuello de ganso para que el medidor trabaje a tubo lleno; se tomaron lecturas puntuales, variando el gasto de forma aleatoria hasta tener una muestra representativa de la amplitud de gasto determinado y se tomó la pérdida de presión en metros columna de agua.

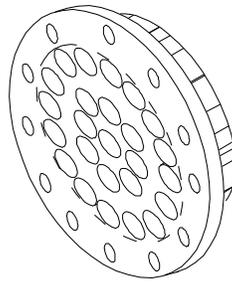


Figura 6.43 Diseño NOVA del acondicionador de flujo placa perforada K-Lab.

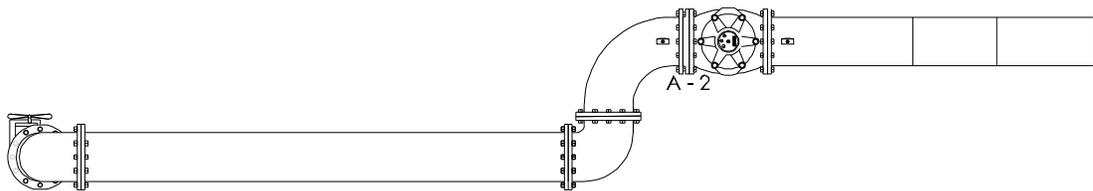


Fig. 6.41 Distribución del tren de descarga, colocado el Diseño NOVA del acondicionador de flujo placa perforada K-Lab.

Se tomó el tiempo con cronómetro y las lecturas de la pérdida de presión en metros columna de agua, la prueba se llevó a cabo sin inconvenientes.

Para esta prueba se obtuvieron los resultados tabulados a continuación:

Tabla 6.14 Datos de la prueba con el diseño NOVA del acondicionador de placa K-Lab.

Lectura del limnómetro: 20 m.c.a = 0.1kg/cm²

Lectura Inicial en medidor	Lectura Final en medidor	Diferencia volumen (m ³)	Tiempo (m,s,c)			Gasto en medidor (l/s)	Altura del tirante h (m)	Gasto en vertedor (L/s)	Diferencia de gastos (L)	Pérdida de carga (m. c. a.)	Error %
17036	17041	5	1	41	9	49.07	0.091	41.99	-7.07	0.0680	16.84
17064	17070	6	1	8	1	88.11	0.136	76.46	-11.65	0.2080	15.24
17137	17142	5	0	50	4	99.21	0.147	85.86	-13.35	0.2560	15.54
17165	17170	5	1	7	5	74.07	0.1215	64.62	-9.45	0.1460	14.62
17223	17228	5	1	57	6	42.52	0.083	36.61	-5.91	0.0540	16.14
17242	17246	4	1	14	8	53.48	0.097	46.19	-7.29	0.0770	15.78
17258	17263	5	2	16	9	36.52	0.0745	31.16	-5.36	0.0410	17.21
17279	17284	5	0	49	7	100.60	0.148	86.73	-13.87	0.264	15.99
17314	17319	5	0	40	6	123.15	0.169	105.71	-17.44	0.397	16.50
17357	17362	5	0	35	9	139.28	0.1815	117.58	-21.70	0.493	18.45
17404	17409	5	0	50	2	99.60	0.1475	86.30	-13.31	0.263	15.42
17428	17433	5	1	48	2	46.21	0.087	39.27	-6.94	0.062	17.67
17437	17442	5	1	22	6	60.53	0.106	52.72	-7.81	0.099	14.81
17464	17469	5	1	31	3	54.76	0.098	46.90	-7.86	0.09	16.77
17517	17522	5	1	50	8	45.13	0.0869	39.20	-5.92	0.061	15.11
17597	17605	8	1	30	2	88.69	0.1365	76.88	-11.82	0.209	15.37
17640	17645	5	0	49	5	101.01	0.148	86.73	-14.28	0.257	16.46
17697	17702	5	2	18	1	36.21	0.074	30.85	-5.36	0.04	17.36
17715	17720	5	0	39	5	126.58	0.172	108.52	-18.06	0.42	16.64
17758	17762	4	1	0	5	66.12	0.1122	57.39	-8.73	0.113	15.21
17798	17803	5	1	10	1	71.33	0.118	61.87	-9.46	0.141	15.29
17818	17823	5	2	5	5	39.84	0.0788	33.88	-5.96	0.042	17.59
17905	17910	5	0	53	0	94.34	0.142	81.54	-12.80	0.229	15.70
17972	17977	5	1	7	1	74.52	0.1215	64.62	-9.89	0.145	15.31
18050	18055	5	1	49	6	45.62	0.086	38.60	-7.02	0.068	18.19
18072	18077	5	1	12	7	68.78	0.1154	59.85	-8.93	0.121	14.92
18190	18195	5	3	15	0	25.64	0.0588	21.89	-3.75	0.021	17.11
18166	18171	5	0	53	0	94.34	0.142	81.54	-12.80	0.231	15.70
18202	18207	5	1	4	2	77.88	0.123	65.82	-12.06	0.152	18.33
18220	18225	5	0	51	3	97.47	0.1454	84.47	-13.00	0.244	15.39
18248	18253	5	0	56	7	88.18	0.136	76.46	-11.73	0.202	15.34
18277	18283	6	1	48	9	55.10	0.099	47.62	-7.48	0.0810	15.71
18293	18298	5	2	58	1	28.07	0.0623	23.87	-4.21	0.0240	17.63
18315	18320	5	0	49	4	101.21	0.1484	87.08	-14.13	0.2720	16.23
18344	18349	5	0	37	9	131.93	0.175	111.36	-20.57	0.4400	18.47

error mínimo

error promedio
(16.29)

error máximo

Los datos tabulados en la Tabla 6.14, se pueden mostrar de forma simplificada por medio de la gráfica de la Figura 6.44, ésta muestra el porcentaje de error obtenido respecto al gasto leído en el medidor.

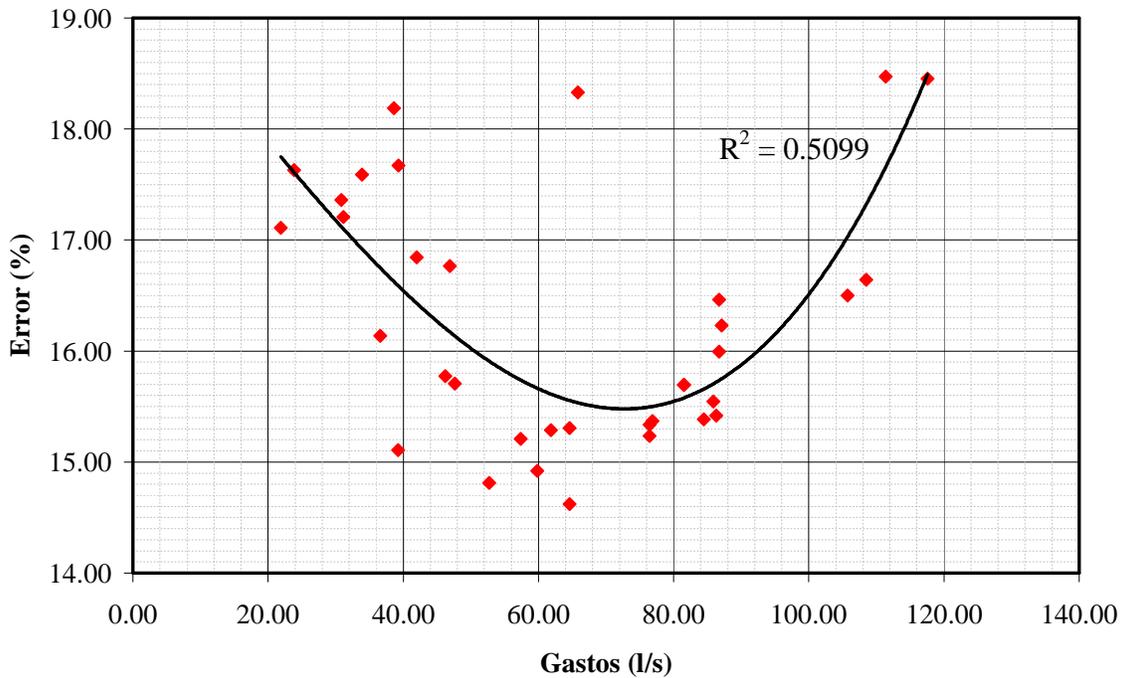


Figura 6.44 Gráfica de errores, colocado el Diseño NOVA del acondicionador de placa perforada K-Lab.

Se puede observar en la gráfica la dispersión de las lecturas, el error mínimo es de 14.62 % y el error máximo de 18.47 %, teniendo un rango de error de 3.85 %, se pueden identificar agrupaciones de errores; para los gastos entre 20 y 50 l/s se presentan los errores mayores, que van de 15% a 18%, y para los gastos entre 50 y 110 l/s se tienen los errores menores que van de 14 % a 16 % y para los gastos que pasan los 110 l/s da un salto en las lecturas incrementado los errores casi en 2.00%.

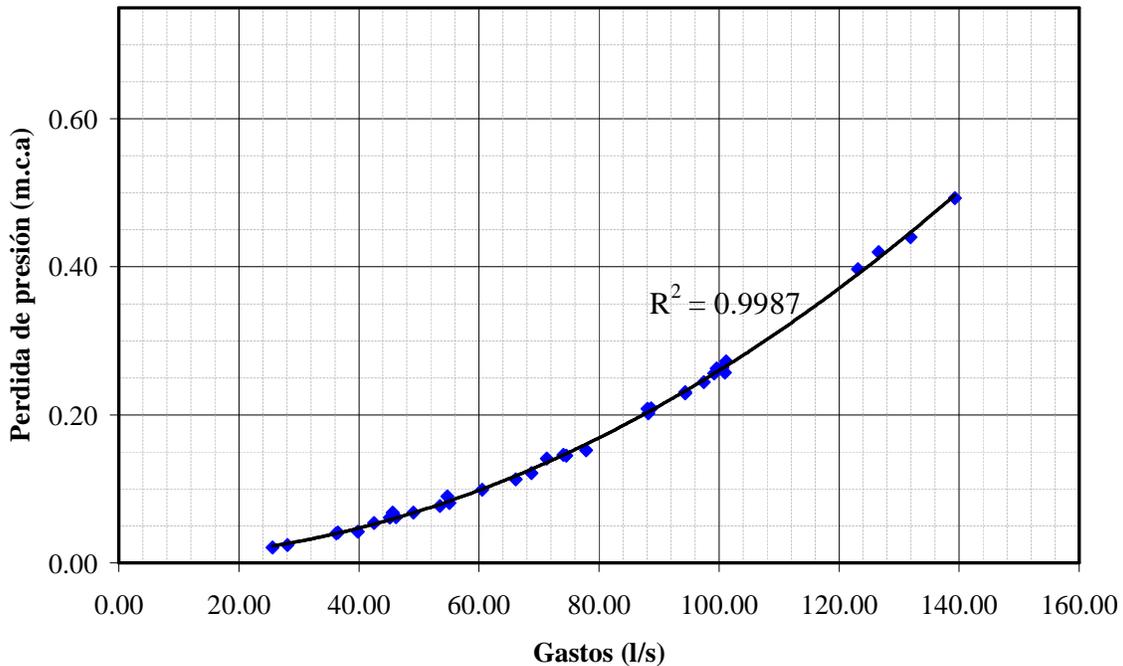


Figura 6.45 Gráfica de pérdida de presión, debidas al uso del Diseño NOVA del acondicionador de flujo placa perforada K-Lab.

En la gráfica de la Figura 6.45 se puede observar que las pérdidas de presión aumentan conforme aumenta el gasto, formando una línea ligeramente curva de comportamiento regular, iniciando para un gasto de alrededor de 25 l/s con una pérdida de 0.02 m.c.a. y con una pérdida de 0.5 m.c.a. para el gasto mayor de alrededor de 140 l/s, siendo así una placa acondicionadora que relativamente tiene poca pérdida de presión.

6.2.8. Prueba 14. Orientador AMCA

La prueba número catorce se llevó a cabo el día 7 de diciembre del 2007, ésta busca obtener información sobre el desempeño del medidor con el Orientador de flujo denominado AMCA. La distribución del tren de descarga se puede observar en la Figura 6.47, colocado después de los dos codos de 90°, el orientador, el medidor y un carrete cuello de ganso para que el medidor trabaje a tubo lleno; se tomaron lecturas puntuales, variando el gasto de forma aleatoria hasta tener una muestra representativa de la amplitud de gasto determinado y anotando la pérdida de presión.

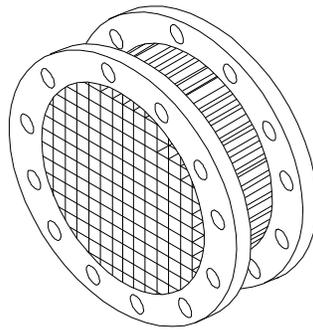


Figura 6.46 Orientador AMCA.

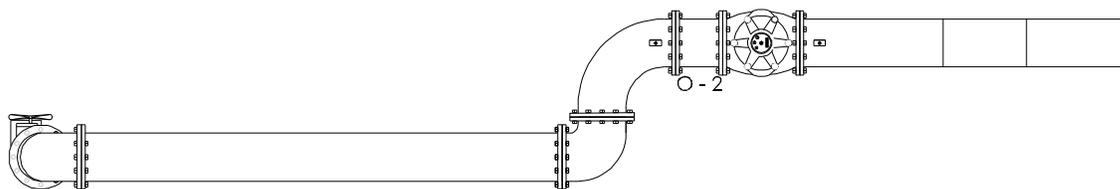


Figura 6.47 Distribución del tren de descarga, colocado el orientador AMCA.

Se tomó el tiempo con cronómetro y las lecturas de la pérdida de presión en metros columna de agua, la prueba se realizó sin inconvenientes.

Para esta prueba se obtuvieron los resultados tabulados a continuación:

Tabla 6.15 Datos de la prueba con el orientador AMCA.

Lectura del limnómetro: 20 m.c.a = 0.1kg/cm²

Lectura Inicial en medidor	Lectura Final en medidor	Diferencia volumen (m ³)	Tiempo (m,s,c)			Gasto en medidor (l/s)	Altura del tirante h (m)	Gasto en vertedor (L/s)	Diferencia de gastos (L)	Pérdida de carga (m. c. a.)	Error %
18359	18364	5	3	34	0	23.36	0.0617	23.52	0.16	0.0100	-0.68
18373	18378	5	1	8	0	73.53	0.1334	74.29	0.76	0.1590	-1.02
18397	18404	7	1	47	2	65.30	0.1237	66.38	1.08	0.1270	-1.63
18452	18457	5	1	1	7	81.04	0.1428	82.23	1.19	0.2000	-1.45
18480	18485	5	0	43	1	116.01	0.1801	116.23	0.22	0.4170	-0.19
18531	18536	5	1	6	7	74.96	0.1355	76.04	1.08	0.1710	-1.41
18559	18564	5	1	50	1	45.41	0.0969	46.12	0.71	0.0630	-1.53
18590	18595	5	1	46	0	47.17	0.0991	47.69	0.52	0.068	-1.09
18613	18618	5	2	3	3	40.55	0.0893	40.83	0.28	0.047	-0.68
18636	18641	5	1	17	9	64.18	0.1225	65.42	1.23	0.13	-1.89
18666	18671	5	0	42	9	116.55	0.1802	116.33	-0.22	0.43	0.19
18707	18712	5	0	38	3	130.55	0.194	129.86	-0.69	0.525	0.53
18749	18754	5	0	50	1	99.80	0.1648	101.82	2.02	0.315	-1.98
18773	18778	5	1	36	2	51.98	0.107	53.47	1.49	0.078	-2.79
18792	18797	5	2	11	3	38.08	0.086	38.60	0.52	0.041	-1.35
18809	18814	5	2	16	2	36.71	0.0838	37.14	0.43	0.04	-1.15
18827	18832	5	1	44	0	48.08	0.101	49.06	0.98	0.069	-2.00
18848	18853	5	0	59	9	83.47	0.145	84.12	0.65	0.211	-0.77
18885	18890	5	1	4	6	77.40	0.139	78.99	1.59	0.188	-2.01
18908	18913	5	1	2	9	79.49	0.1417	81.28	1.79	0.2	-2.21
18932	18937	5	0	49	1	101.83	0.166	102.92	1.09	0.329	-1.06
19004	19009	5	1	30	0	55.56	0.111	56.48	0.92	0.07	-1.63
19037	19042	5	2	22	4	35.11	0.0816	35.69	0.58	0.074	-1.62
19102	19107	5	1	23	4	59.95	0.1173	61.32	1.37	0.123	-2.23
19127	19132	5	0	44	2	113.12	0.1764	112.69	-0.44	0.417	0.39
19160	19165	5	0	48	6	102.88	0.168	104.78	1.90	0.352	-1.81
19200	19205	5	0	59	7	83.75	0.147	85.86	2.11	0.236	-2.45
19230	19235	5	0	59	7	83.75	0.1474	86.21	2.46	0.237	-2.85
19257	19262	5	0	45	9	108.93	0.173	109.46	0.53	0.391	-0.48
19287	19292	5	0	58	1	86.06	0.1492	87.78	1.72	0.238	-1.96
19304	19309	5	1	17	1	64.85	0.1239	66.54	1.69	0.139	-2.54
19325	19330	5	2	6	6	39.49	0.0879	39.88	0.38	0.05	-0.96
19337	19342	5	3	55	8	21.20	0.0576	21.23	0.03	0.0120	-0.13
19346	19351	5	3	23	0	24.63	0.0639	24.79	0.16	0.0220	-0.63
19358	19363	5	1	19	6	62.81	0.1202	63.60	0.78	0.1250	-1.23
19447	19452	5	1	38	5	50.76	0.1054	52.28	1.52	0.0910	-2.90
19472	19477	5	1	36	9	51.60	0.106	52.72	1.12	0.0900	-2.13
19487	19492	5	0	55	6	89.93	0.1527	90.87	0.94	0.2550	-1.04
19512	19517	5	0	57	2	87.41	0.15	88.49	1.07	0.2450	-1.21

error mínimo

Error promedio (-1.37)

error máximo

Los datos tabulados en la

Tabla 6.15, se pueden presentar de manera simplificada por medio de la gráfica de la Figura 6.48, esta muestra el porcentaje de error obtenido respecto al gasto leído en el medidor.

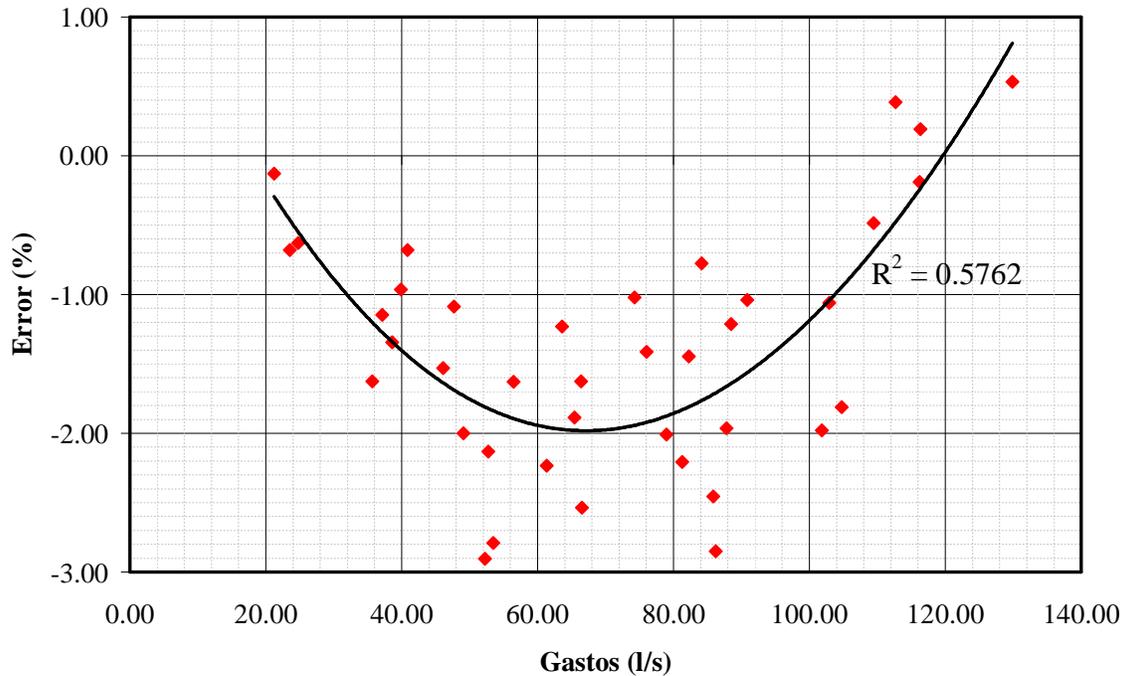


Figura 6.48 Gráfica de errores, colocado el orientador AMCA.

Se puede observar en la gráfica que el error mínimo que se tiene es de 0.53 % y el error máximo es de -2.9 % con esto tenemos que el rango de error de esta prueba es de 3.43 %, siendo los errores menores para los gastos mínimos y los gastos máximos, similar a una parábola invertida, con la diferencia que los errores menores se mantienen positivos, mientras los errores mayores vuelven negativos, siendo los errores máximos los generados por los gastos de entre 50 y 100 l/s y a pesar de la dispersión de la muestra, cabe mencionar que su rango de error es de 3.43% y los errores dentro de éste rango quedan dentro del error nominal aceptable.

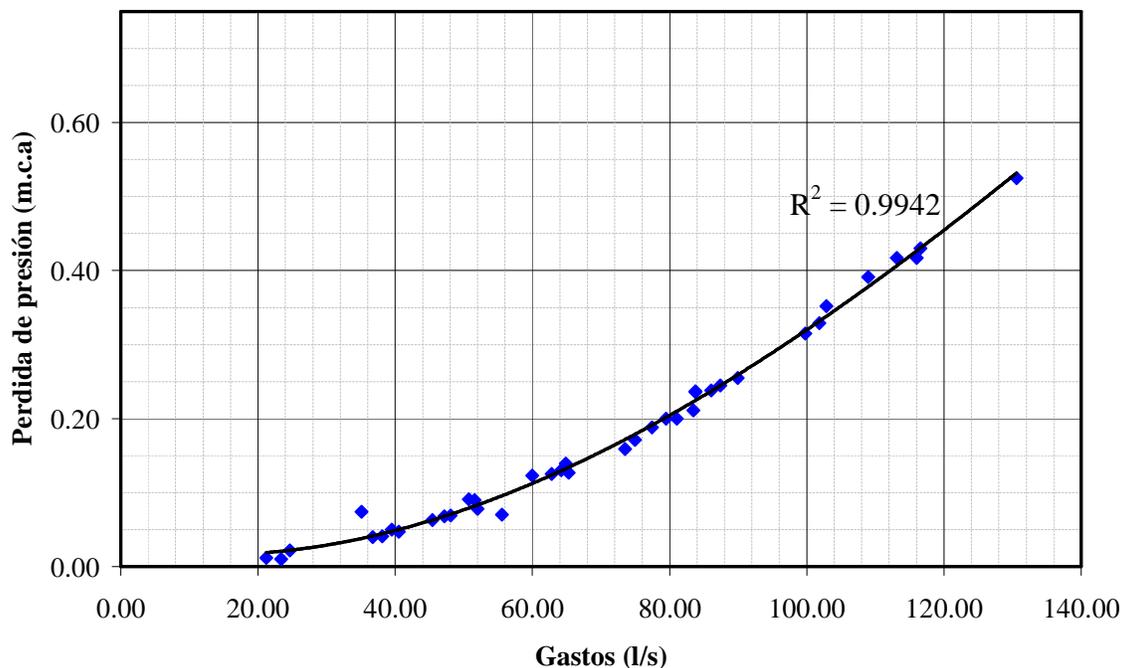


Figura 6.49 Gráfica de pérdida de presión, colocado el orientador AMCA.

Como se observa en la gráfica de la Figura 6.49 la pérdida de presión se incrementa conforme se incrementa el gasto para los gastos alrededor de 25 l/s son de alrededor 0.01 m.c.a. y van hasta los 0.5 m.c.a., para el gasto de alrededor 130 l/s haciendo una línea ligeramente curva.

6.2.9. Prueba 15. Acondicionador de flujo placa Zanker

La prueba número quince se llevó a cabo el día 11 de diciembre del 2007, ésta busca obtener información sobre el desempeño del medidor con el acondicionador de flujo placa Zanker. La distribución del tren de descarga se puede observar en la Figura 6.51, colocado después de los dos codos de 90°, el orientador, el medidor y un carrete cuello de ganso para que el medidor trabaje a tubo lleno: se tomaron lecturas puntuales, variando el gasto de forma aleatoria hasta tener una muestra representativa de la amplitud de gasto determinado y se tomó la pérdida de presión.

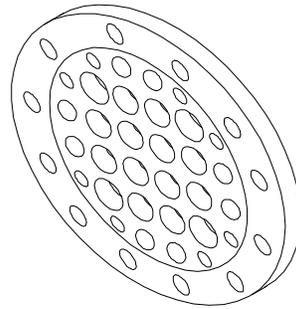


Figura 6.50 Acondicionador de flujo placa Zanker.

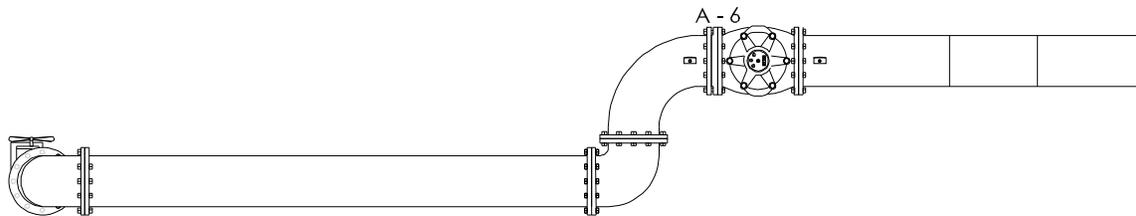


Figura 6.51 Distribución del tren de descarga, colocado el acondicionador de flujo placa Zanker.

La prueba tubo una duración de aproximadamente cuatro horas, se tomó el tiempo con cronómetro y las lecturas de la pérdida de presión en metros columna de agua, la prueba se realizó sin inconvenientes.

Para esta prueba se obtuvieron los resultados tabulados a continuación:

Tabla 6.16 Datos de la prueba con el acondicionador de placa Zanker.

Lectura del limnómetro: 20 m.c.a = 0.1kg/cm²

Lectura Inicial en medidor	Lectura Final en medidor	Diferencia volumen (m ³)	Tiempo (m,s,c)			Gasto en medidor (L/s)	Altura del tirante h (m)	Gasto en vertedor (L/s)	Diferencia de gastos (L)	Pérdida de carga (m. c. a.)	Error %
19529	19534	5	1	6	5	75.19	0.1223	65.26	-9.93	0.2890	15.21
19572	19577	5	0	46	0	108.70	0.155	92.92	-15.78	0.7070	16.98
19605	19610	5	1	4	0	78.13	0.1249	67.34	-10.78	0.3150	16.02
19656	19661	5	2	29	5	33.44	0.0714	29.25	-4.20	0.0630	14.35
19680	19685	5	1	58	0	42.37	0.0834	36.87	-5.50	0.1030	14.92
19710	19715	5	0	51	3	97.47	0.1446	83.78	-13.69	0.4890	16.34
19743	19748	5	1	0	8	82.24	0.1292	70.83	-11.41	0.3520	16.11
19774	19779	5	0	43	0	116.28	0.1614	98.70	-17.58	0.7010	17.81
19806	19811	5	0	38	3	130.55	0.1737	110.12	-20.42	0.9020	18.55
19845	19850	5	0	43	8	114.16	0.1595	96.97	-17.18	0.6560	17.72
19879	19884	5	1	12	1	69.35	0.116	60.31	-9.04	0.2610	14.98
19896	19901	5	1	11	0	70.42	0.1166	60.78	-9.65	0.2560	15.87
19914	19919	5	0	47	0	106.38	0.152	90.25	-16.13	0.5750	17.87
19943	19948	5	1	0	7	82.37	0.1304	71.81	-10.56	0.3560	14.71
19963	19968	5	1	23	0	60.24	0.1054	52.28	-7.96	0.1940	15.23
19976	19980	4	2	17	0	29.20	0.0648	25.31	-3.89	0.0480	15.36
19986	19991	5	2	27	2	33.97	0.0719	29.55	-4.41	0.0680	14.94
19999	20004	5	1	8	9	72.57	0.118	61.87	-10.70	0.2720	17.30
20018	20023	5	0	49	0	102.04	0.1459	84.90	-17.14	0.5470	20.18
20136	20141	5	0	59	7	83.75	0.1309	72.22	-11.53	0.3620	15.97
20202	20207	5	0	39	0	128.21	0.1728	109.27	-18.93	0.8570	17.32
20235	20240	5	0	48	8	102.46	0.1498	88.31	-14.15	0.552	16.02
20263	20268	5	0	48	3	103.52	0.1496	88.13	-15.39	0.545	17.46
20308	20313	5	1	49	7	45.58	0.0875	39.61	-5.97	0.115	15.07
20315	20320	5	1	23	5	59.88	0.1048	51.84	-8.04	0.19	15.52
20334	20339	5	0	53	6	93.28	0.1385	78.56	-14.72	0.446	18.74
20352	20357	5	1	3	2	79.11	0.126	68.23	-10.89	0.5040	15.96
20380	20385	5	0	44	1	113.38	0.159	96.52	-16.86	0.6580	17.47
20410	20416	6	1	42	9	58.31	0.1025	50.15	-8.16	0.1780	16.27
20425	20430	5	2	44	7	30.36	0.0664	26.25	-4.11	0.0540	15.67
20443	20448	5	1	10	5	70.92	0.116	60.31	-10.61	0.2930	17.59
20468	20473	5	0	58	2	85.91	0.133	73.96	-11.96	0.3880	16.17
20499	20504	5	0	41	1	121.65	0.1662	103.11	-18.55	0.7370	17.99
20536	20541	5	2	39	9	31.27	0.0681	27.25	-4.01	0.0560	14.73
20543	20548	5	2	18	1	36.21	0.0749	31.41	-4.79	0.0760	15.26

error mínimo

error máximo

error promedio
(16.39)

Los datos tabulados en la Tabla 6.16, se pueden presentar de manera simplificada por medio de la gráfica de la Figura 6.52, ésta muestra el porcentaje de error obtenido respecto al gasto leído en el medidor.

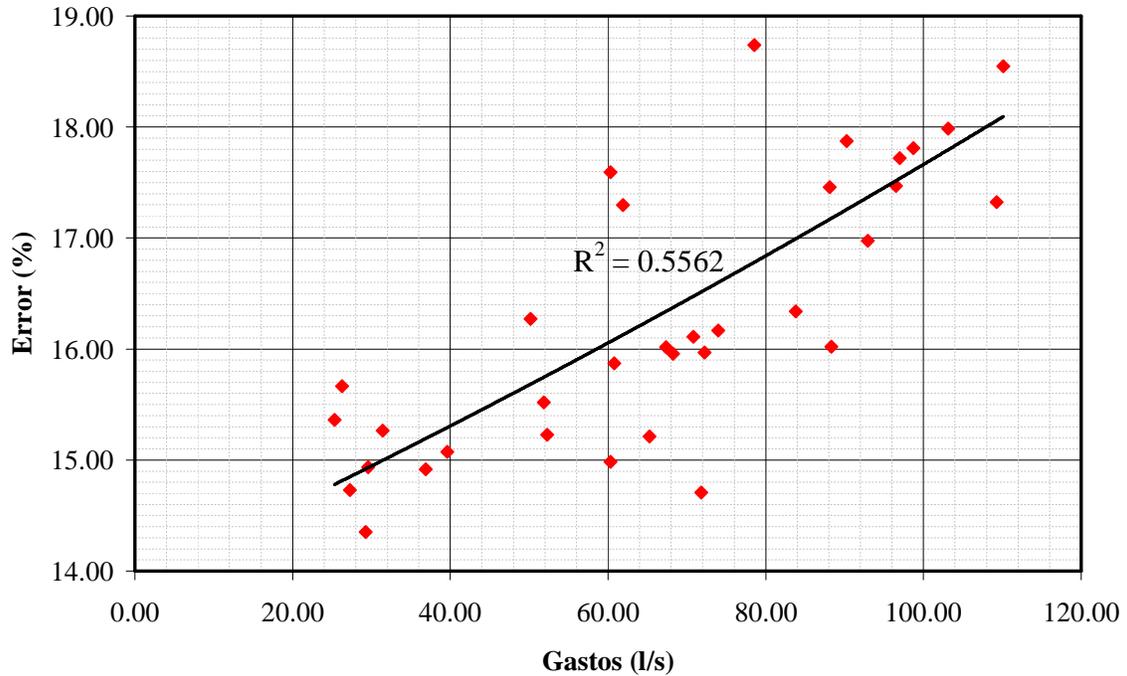


Figura 6.52 Gráfica de errores, colocado el acondicionador de flujo placa Zanker.

Se puede observar en la gráfica que el error mínimo que se tiene en la prueba es de 14.35% y el error máximo de 20.18% teniendo con esto un rango de error de 5.83 %, los errores menores se generan para los gastos entre 25 y 60 l/s, a partir de los 60 l/s se nota que los errores aumentan de una forma oscilatoria sin mucha consistencia. Este acondicionador provoca errores muy altos.

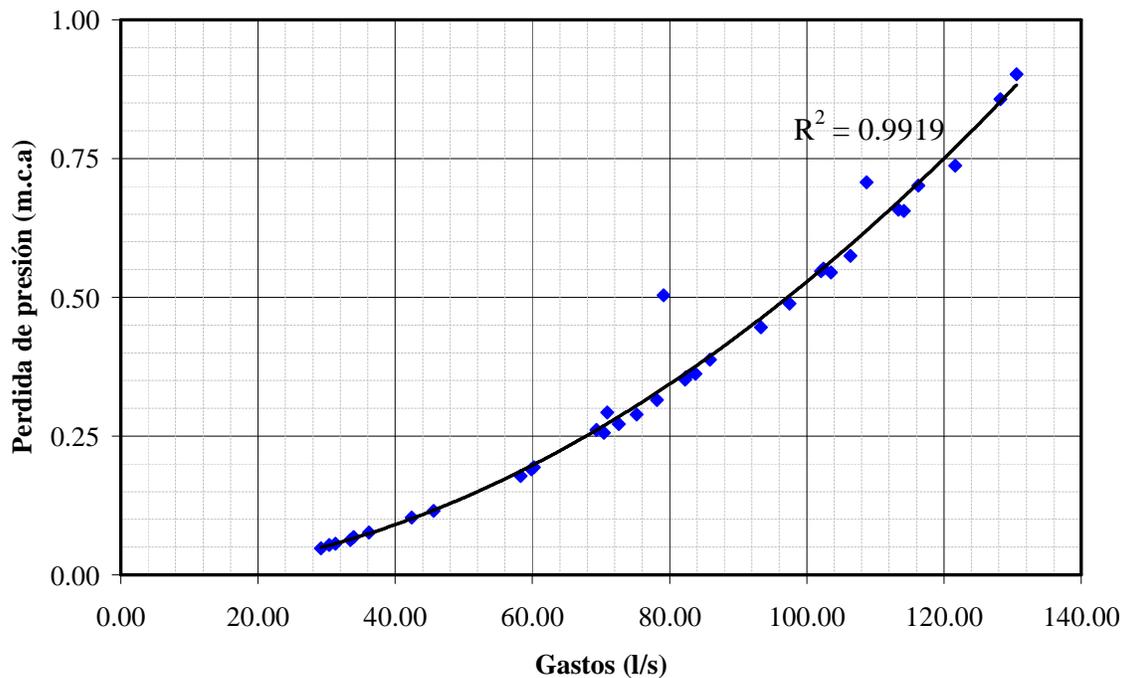


Figura 6.53 Gráfica de pérdidas de presión, colocado el acondicionador de flujo placa Zanker.

En la gráfica de la Figura 6.53 se puede observar que la pérdida de presión tiende a aumentar de una manera regular conforme el gasto aumenta, en una línea ligeramente curva, con ligeras variaciones que podrían deberse a causas ajenas a la pérdida de presión misma.

6.2.10. Prueba 16. Acondicionador de flujo Gallagher; con dispositivo anti-turbulencia de aspas

La prueba número dieciséis se llevó a cabo los días 14 y 15 de diciembre del 2007, ésta busca obtener información sobre el desempeño del medidor con el acondicionador de flujo gallagher; con dispositivo anti-turbulencia de aspas. La distribución del tren de descarga se puede observar en la Figura 6.55, colocado después de los dos codos de 90°, el acondicionador, el medidor y un carrete cuello de ganso para que el medidor trabaje a tubo lleno; se tomaron lecturas puntuales, variando el gasto de forma aleatoria hasta tener una muestra representativa de la amplitud de gasto determinado y se tomó la pérdida de presión en metros columna de agua.

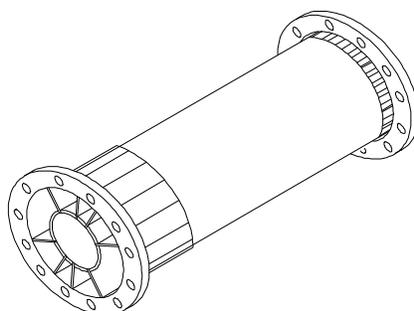


Figura 6.54 Acondicionador de flujo Gallagher con aspas en su interior.

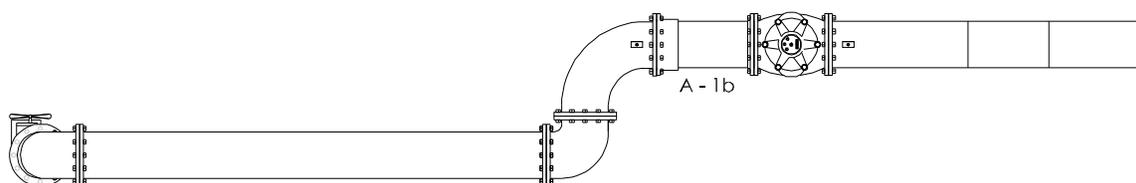


Figura 6.55 Distribución del tren de descarga, colocado el acondicionador de flujo Gallagher.

Para esta prueba se obtuvieron los resultados tabulados a continuación:

Tabla 6.17 Datos de la prueba con el acondicionador Gallagher.

Lectura del limnómetro: 20 m.c.a = 0.1kg/cm²

Lectura Inicial en medidor	Lectura Final en medidor	Diferencia volumen (m ³)	Tiempo (m,s,c)			Gasto en medidor (L/s)	Altura del tirante h (m)	Gasto en vertedor (L/s)	Diferencia de gastos (L)	Pérdida de carga (m. c. a.)	Error %
20614	20619	5	0	56	5	88.50	0.1329	73.87	-14.62	0.2210	19.80
20636	20641	5	0	58	9	84.89	0.1289	70.58	-14.31	0.2040	20.27
20662	20667	5	0	55	9	89.45	0.1328	73.79	-15.66	0.2250	21.22
20680	20685	5	1	26	5	57.80	0.1009	48.99	-8.82	0.1100	18.00

error mínimo

20692	20697	5	0	41	9	119.33	0.161	98.34	-21.00	0.3870	21.35
20735	20740	5	1	6	5	75.19	0.118	61.87	-13.32	0.1570	21.53
20769	20774	5	2	14	8	37.09	0.0746	31.22	-5.87	0.0440	18.79
20788	20793	5	2	39	0	31.45	0.0666	26.36	-5.08	0.0330	19.28
20812	20817	5	0	59	1	84.60	0.1288	70.50	-14.10	0.2050	20.00
20857	20862	5	2	15	3	36.95	0.074	30.85	-6.10	0.0490	19.79
20875	20880	5	0	35	4	141.24	0.1791	115.27	-25.97	0.5490	22.53
20924	20929	5	0	44	3	112.87	0.155	92.92	-19.95	0.3570	21.47
20945	20952	7	2	35	2	45.10	0.0844	37.53	-7.57	0.0610	20.17
20963	20967	4	3	6	1	21.49	0.0513	17.86	-3.63	0.0200	20.32
20972	20977	5	1	7	8	73.75	0.1173	61.32	-12.42	0.1540	20.26
21036	21041	5	1	12	6	68.87	0.1126	57.69	-11.18	0.1370	19.37
21058	21063	5	0	44	8	111.61	0.1534	91.49	-20.11	0.3540	21.98
21198	21202	4	0	29	0	137.93	0.1763	112.59	-25.34	0.5210	22.51
21241	21246	5	1	52	8	44.33	0.0837	37.07	-7.26	0.0900	19.57
21270	21275	5	0	37	9	131.93	0.1716	108.14	-23.78	0.4890	21.99
21312	21317	5	0	50	7	98.62	0.1423	81.80	-16.82	0.2780	20.56
21340	21345	5	1	37	6	51.23	0.092	42.68	-8.55	0.076	20.02
21358	21363	5	1	18	9	63.37	0.1065	53.10	-10.28	0.119	19.35
21397	21402	5	0	55	2	90.58	0.1349	75.54	-15.04	0.234	19.92
21449	21454	5	0	56	8	88.03	0.132	73.13	-14.90	0.214	20.38
21480	21485	5	0	44	5	112.36	0.1545	92.47	-19.89	0.344	21.50
21578	21583	5	1	12	9	68.59	0.1118	57.08	-11.50	0.0800	20.15
21606	21611	5	2	41	4	30.98	0.0645	25.13	-5.84	-0.0610	23.25
21637	21642	5	2	13	7	37.40	0.0748	31.35	-6.05	0.0640	19.29
21667	21672	5	0	50	2	99.60	0.1433	82.66	-16.94	0.4150	20.50
21728	21733	5	0	38	8	128.87	0.1687	105.43	-23.44	0.4820	22.23
21782	21787	5	0	32	4	154.32	0.1885	124.41	-29.91	0.6790	24.05
21848	21853	5	0	46	4	107.76	0.1507	89.10	-18.66	0.2920	20.94
21909	21914	5	1	6	8	74.85	0.1186	62.34	-12.51	0.1340	20.07
21925	21930	5	2	43	1	30.66	0.0651	25.48	-5.17	0.0300	20.30
21950	21955	5	0	32	2	155.28	0.191	126.87	-28.40	0.6670	22.39
21989	21994	5	0	49	5	101.01	0.1453	84.38	-16.63	0.2810	19.70

error
promedio
(20.67)
error máximo

Los datos tabulados en la Tabla 6.16, se pueden presentar de manera simplificada por medio de la gráfica de la Figura 6.56, ésta muestra el porcentaje de error obtenido respecto al gasto leído en el medidor.

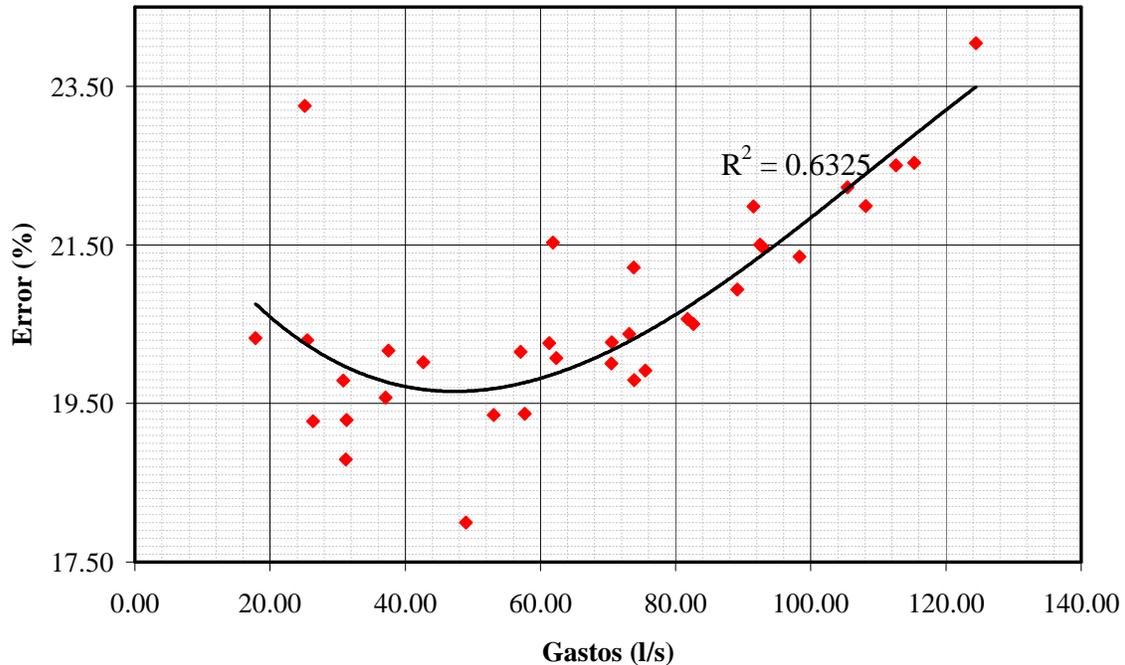


Figura 6.56 Gráfica de errores, colocado el acondicionador de flujo Gallagher con aspas en su interior.

Se puede observar en la gráfica, que el error mínimo que se tiene es de 14.35 % y el error máximo es de 24.18 %, que nos da un rango de error de 6.05 %; los gastos que generan los errores menores van de 20 a 90 l/s en este caso, con diferencia de tan solo 2 % a partir de los gastos de 90 l/s y mayores, los errores tienden a aumentar conforme aumenta el gasto. Se puede notar un error alto en un gasto cercano a 20 l/s, no debiera descartarse del resto de los errores, pero la mayoría de éstos se encuentra agrupados abajo del 20.5 %.

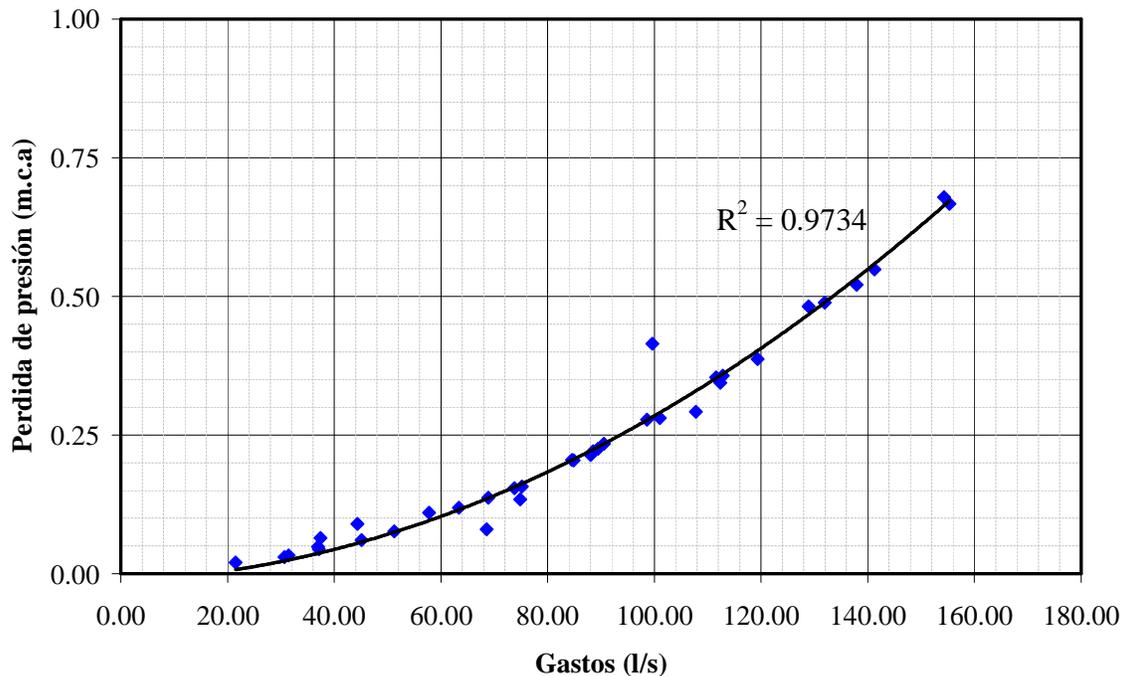


Figura 6.57 Gráfica de pérdida de presión, colocado el acondicionador de flujo Gallagher con aspas en su interior.

En la gráfica de la Figura 6.57, se puede observar que la pérdida de presión aumenta conforme el gasto aumenta de manera regular en una línea ligeramente curva con ligeras variaciones.

6.2.11. Prueba 17. Acondicionador de flujo Zanker

La prueba número diecisiete se llevó a cabo el día 19 de diciembre de 2007, ésta busca obtener información sobre el desempeño del medidor con el acondicionador de flujo Zanker. La distribución del tren de descarga se puede observar en la Figura 6.59, colocado después de los dos codos de 90°, el acondicionador, el medidor y un carrete cuello de ganso para que el medidor trabaje a tubo lleno; se tomaron lecturas puntuales, variando el gasto de forma aleatoria hasta tener una muestra representativa de la amplitud de gasto determinado y se tomó la pérdida de presión en metros columna de agua.

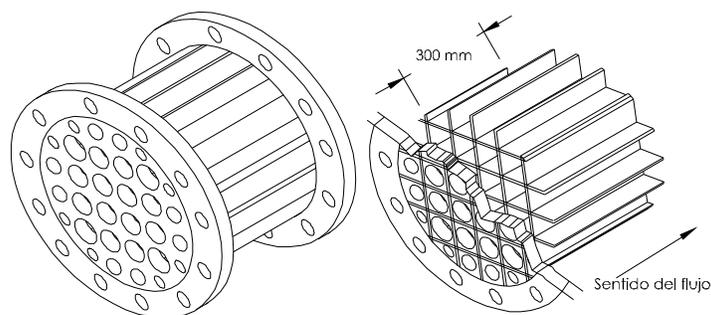


Figura 6.58 Acondicionador de flujo Zanker.

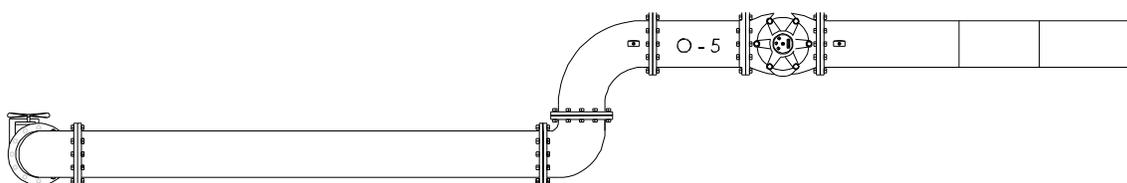


Figura 6.59 Distribución del tren de descarga, colocado el acondicionador de flujo Zanker.

Para esta prueba se obtuvieron los resultados tabulados a continuación:

Tabla 6.18 Datos de la prueba con el acondicionador Zanker.

Lectura del limnómetro: 20 m.c.a = 0.1kg/cm²

Lectura Inicial en medidor	Lectura Final en medidor	Diferencia volumen (m ³)	Tiempo (m,s,c)			Gasto en medidor (l/s)	Altura del tirante h (m)	Gasto en vertedor (L/s)	Diferencia de gastos (L)	Pérdida de carga (m. c. a.)	Error %
22172	22177	5	2	44	9	30.32	0.0783	33.56	3.24	0.0100	-9.65
22185	22190	5	1	21	3	61.50	0.125	67.42	5.92	0.0440	-8.78
22207	22212	5	0	45	7	109.41	0.183	119.03	9.62	0.1200	-8.08
22235	22240	5	1	0	7	82.37	0.153	91.14	8.77	0.0760	-9.62

22253	22258	5	1	23	7	59.74	0.124	66.62	6.88	0.0380	-10.33	error máximo
22268	22273	5	1	0	3	82.92	0.1533	91.40	8.49	0.0700	-9.28	
22290	22295	5	1	41	0	49.50	0.1081	54.29	4.78	0.0260	-8.81	error mínimo
22305	22310	5	1	12	6	68.87	0.1348	75.45	6.58	0.0500	-8.72	
22322	22327	5	2	47	8	29.80	0.077	32.73	2.94	0.0070	-8.97	error mínimo
22335	22340	5	2	10	9	38.20	0.09	41.31	3.11	0.0170	-7.53	
22355	22360	5	0	55	9	89.45	0.1605	97.88	8.43	0.0940	-8.62	error mínimo
22388	22393	5	1	15	9	65.88	0.1324	73.46	7.58	0.0400	-10.32	
22412	22417	5	1	5	5	76.34	0.1452	84.30	7.96	0.0660	-9.44	error mínimo
22452	22457	5	1	41	9	49.07	0.1072	53.62	4.55	0.0310	-8.48	
22470	22475	5	0	41	2	121.36	0.1959	131.76	10.40	0.1760	-7.89	error mínimo
22582	22587	5	2	26	6	34.11	0.0845	37.60	3.49	0.0170	-9.29	
22597	22602	5	0	59	6	83.89	0.1555	93.37	9.48	0.0890	-10.15	error mínimo
22720	22725	5	0	50	4	99.21	0.1716	108.14	8.94	0.1130	-8.27	
22742	22747	5	1	0	7	82.37	0.1516	89.90	7.52	0.0690	-8.37	error mínimo
22764	22769	5	1	31	9	54.41	0.116	60.31	5.90	0.0290	-9.79	
22777	22782	5	1	55	6	43.25	0.0982	47.04	3.79	0.0220	-8.06	error mínimo
22838	22843	5	4	7	6	20.19	0.0593	22.17	1.98	0.005	-8.93	
22849	22854	5	2	27	8	33.83	0.0839	37.20	3.37	0.018	-9.07	error promedio (-9.02)
22871	22876	5	1	0	1	83.19	0.1532	91.32	8.12	0.069	-8.89	
22899	22904	5	1	15	1	66.58	0.1326	73.62	7.05	0.053	-9.57	error promedio (-9.02)
22910	22915	5	1	7	0	74.63	0.142	81.54	6.91	0.059	-8.48	
22928	22933	5	0	47	4	105.49	0.1795	115.65	10.17	0.1410	-8.79	error promedio (-9.02)
22960	22965	5	0	52	4	95.42	0.168	104.78	9.36	0.0890	-8.93	
22986	22991	5	1	4	2	77.88	0.1477	86.47	8.59	0.0610	-9.93	error promedio (-9.02)
23007	23012	5	1	30	5	55.25	0.117	61.09	5.84	0.0360	-9.56	
23021	23026	5	1	0	9	82.10	0.151	89.37	7.27	0.0800	-8.13	error promedio (-9.02)
23040	23045	5	1	2	0	80.65	0.1509	89.28	8.63	0.0740	-9.67	
23057	23062	5	1	28	2	56.69	0.1188	62.49	5.81	0.0350	-9.29	error promedio (-9.02)

Los datos tabulados en la Tabla 6.18, se pueden mostrar de forma simplificada por medio de la gráfica de la Figura 6.60, ésta muestra el porcentaje de error obtenido con respecto al gasto leído en el medidor.

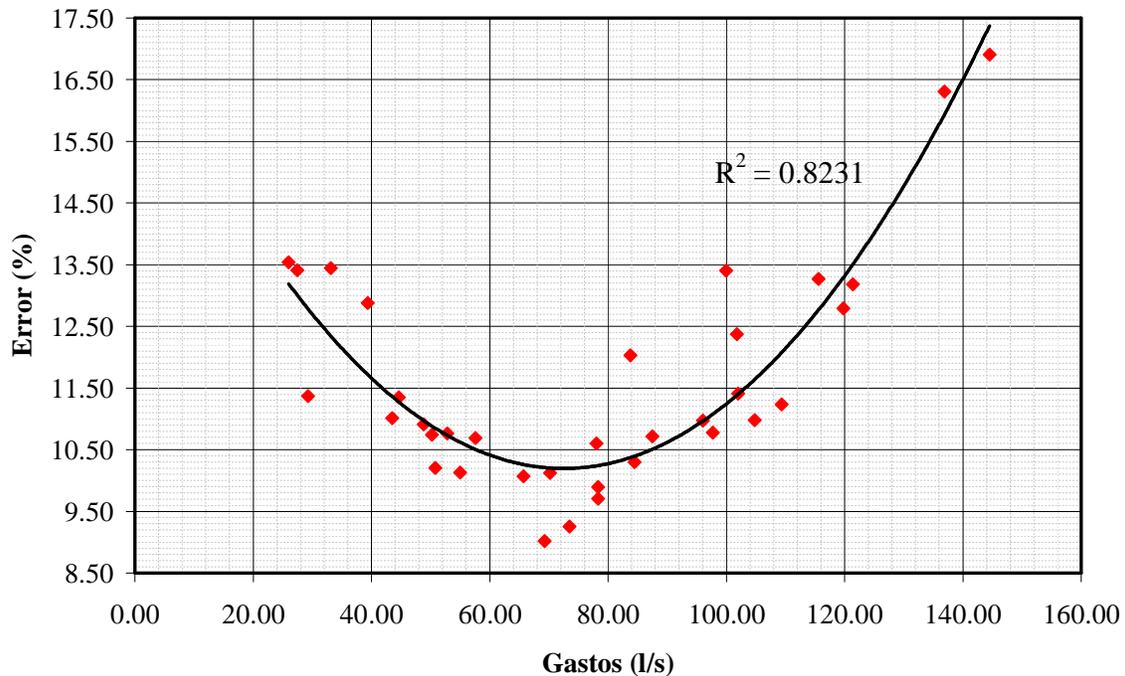


Figura 6.60 Gráfica de errores, colocado el acondicionador de flujo Zanker.

Se puede observar en la grafica que la concentración de errores de menor magnitud se encuentran entre los gastos de 40 y 100 l/s, el error mínimo de la prueba es de 9.02 % mientras el error máximo es de 17.69 %, esto da un rango de 8.67 %, los errores incrementan para gastos menores a 40 l/s y mayores de 100 l/s si se observan los errores alrededor de 60 y 80 l/s, se puede notar que se encuentran en un rango de 3%, y para los gastos de alrededor de 140 l/s el error es el máximo, teniendo una diferencia de 3 % con el de 120 l/s. Este acondicionador también provoca errores altos en lugar de disminuirlos.

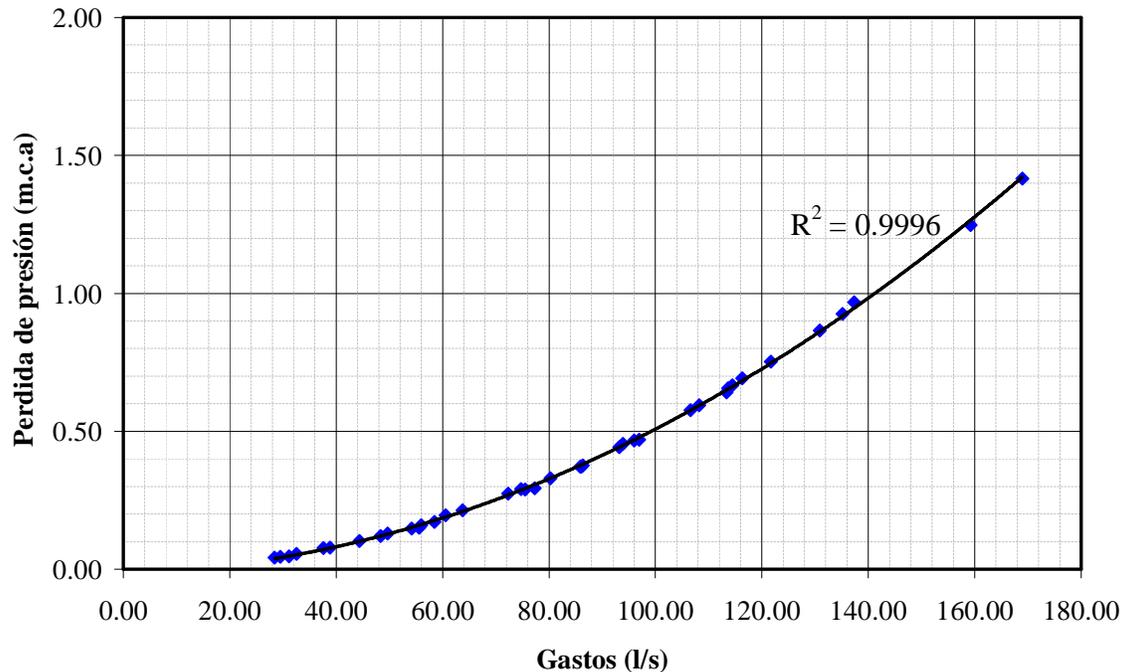


Figura 6.61 Gráfica de la pérdida de presión, colocado el acondicionador de flujo Zanker.

Se puede observar en la gráfica de la Figura 6.61 que la pérdida de presión para esta prueba se comporta de manera uniforme, aumentando conforme se incrementa el gasto, con valores que van desde 0.04 m.c.a. para gastos alrededor de 25 l/s y hasta 1.4 m.c.a. para gastos alrededor de 165 l/s. Es notoria la regularidad de los puntos, aunque la magnitud de la pérdida de presión es alta.

7. ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS

Los resultados de cada prueba realizada nos muestran el comportamiento de los errores que presenta el medidor bajo las condiciones específicas de configuración de la tubería etc., las graficas muestran la relación del porcentaje de error con respecto al gasto que se lee en el medidor de manera individual, sin embargo no basta observar sólo esos errores, es necesario compararlos de alguna manera para obtener información adicional del desempeño del medidor. Las comparaciones realizadas muestran la manera en que los errores de una prueba realizada se comportan con respecto a los errores de otra(s), se puede apreciar como se re-distribuyen, se desfasan o que tanta similitud hay entre ellos al tener tramo recto antes del medidor, algún acondicionador, codo de 90°, placa o pieza que genere un disturbio de flujo etc.

7.1. Comparación entre tramos rectos

7.1.1. Comparación entre diez, dos y ningún diámetro de tramo recto antes del medidor

En la gráfica de la Figura 7.1 se pueden apreciar las diferencias entre el comportamiento de los errores de acuerdo a las condiciones aquí descritas: con un tramo recto de diez diámetros aguas arriba del medidor; con un tramo recto de dos diámetros aguas arriba del medidor y la condición sin tramo recto aguas arriba del medidor. En los tres casos se tiene un codo de 90° que genera un disturbio en el flujo a través de la tubería.

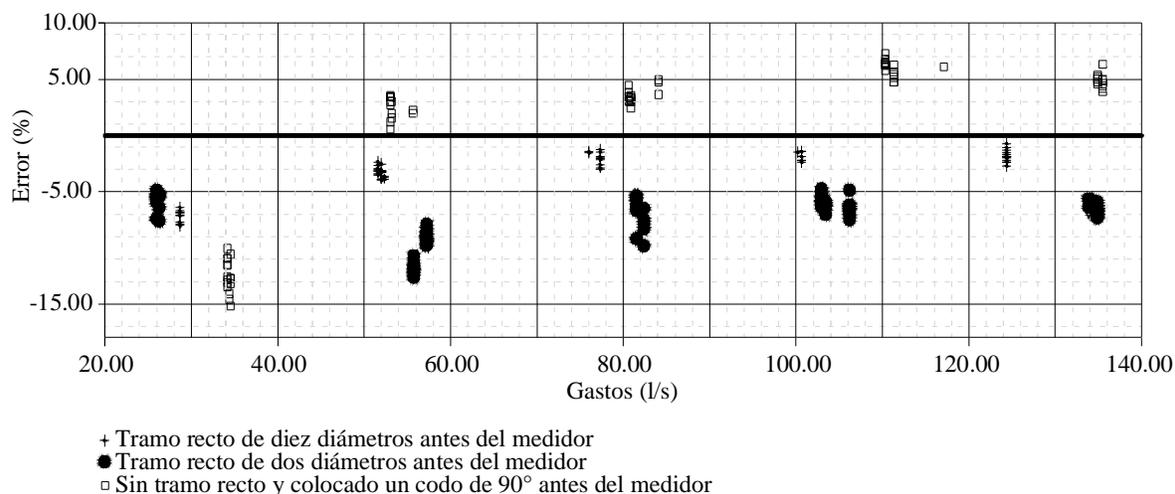


Figura 7.1 Gráfica comparativo entre tramos rectos y la ausencia de éstos.

Los errores que se presentan con menor denominación se dan bajo la condición de 10 diámetros de tramo recto aguas arriba del medidor, además de que éstos quedan dentro del error nominal permitido por las especificaciones del medidor, sin embargo se observa en la gráfica que para gastos alrededor de 30 l/s salen de dicho rango, sin embargo podrían ser poco significativos para el diámetro de la tubería, lo que reafirma que la colocación de un tramo recto extenso aguas arriba del medidor ayuda en un buen desempeño de éste; aunque para este caso se tiene que para

gastos mínimos los errores exceden lo permitido. Los errores generados por la colocación de un tramo recto de dos diámetros son negativos, con aparente tendencia a disminuir el porcentaje de error conforme el gasto sea mayor, aunque al ser comparados no difieren mucho en valor de los generados por el tramo de diez diámetros rectos aguas arriba, salen del error nominal permitido por las especificaciones del medidor. En la condición sin tramo recto aguas arriba del medidor, se puede observar un comportamiento con un cambio que va desde los porcentajes de error negativos para gastos alrededor de 30 l/s; pasando a los positivos mas o menos a partir de gastos alrededor de 50 l/s y manteniéndose positivos conforme se aumenta el gasto, para los gastos aproximados entre el 50 l/s y hasta 80 l/s los errores que se muestran dentro del error permitido por las especificaciones del medidor, lo que nos muestra un buen desempeño por parte de l medidor para estos gastos, sin embargo no se puede hablar de un buen desempeño en general.

7.1.2. Comparación sin tramo recto, uno y dos codos antes del medidor

En la gráfica de la Figura 7.2 se presenta la comparación entre los errores obtenidos en dos pruebas sin tramo recto aguas arriba del medidor, pero con la diferencia de tener un codo o dos codos de 90° antes de éste.

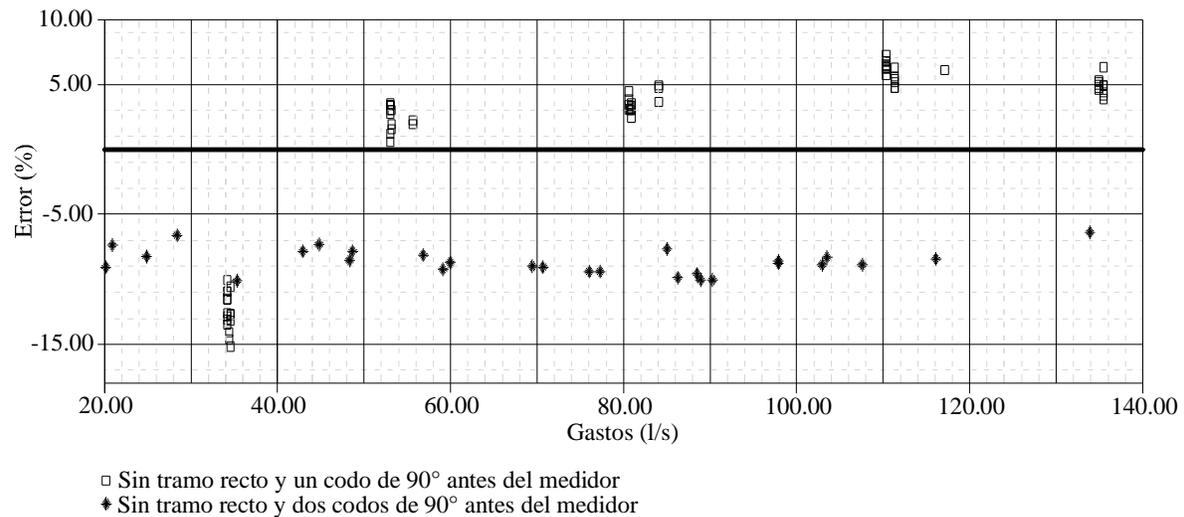


Figura 7.2 Gráfica comparativa entre errores colocado un codo de 90° y colocados dos codos de 90°.

Al comparar los errores entre estas dos pruebas se puede notar la mejora en la distribución del error en una de ellas, pero sin llegar a hablar de una mejora en la medición, ya que los errores de dicha prueba quedan incluso fuera del error nominal permitido por el medidor, en el caso de la colocación de un codo de 90° aguas arriba del medidor ya se observó que los errores se mueven de los valores negativos hacia los positivos al aumentar el gasto, mientras en el caso de la colocación de dos codos de 90° aguas arriba, los errores se mantienen negativos en un valores aproximados para cualquiera que sea el gasto; agregar un codo fue necesario por la configuración de la tubería y ha resultado en un aumento en los errores pero con la ventaja de ser uniformes.

7.1.3. Comparación del medidor antes y después de las pruebas

Por otro lado, como ya se había mencionado, se realizaron pruebas para averiguar si el medidor sufría alguna descalibración, alterando su manera de medir durante la realización de las pruebas, esto debido a la manipulación del mismo durante el armado de la tubería para cada prueba.

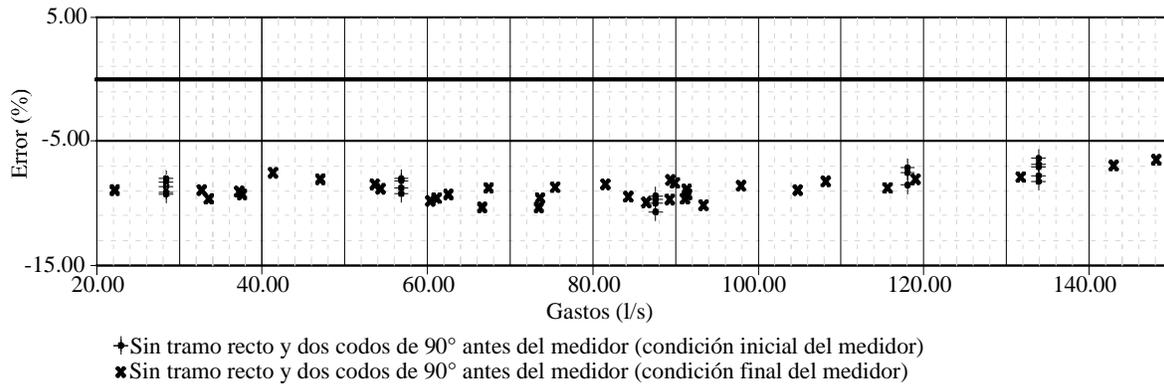


Figura 7.3 Gráfica comparativa entre errores sin tramo recto como condición inicial y final del medidor.

Como se aprecia en la gráfica de la Figura 7.3 el comportamiento de los errores es muy similar, no muestra cambios bruscos ni eventos extraordinarios, lo que avala el hecho de que no habrá errores adicionales por descalibración del medidor.

7.2. Comparación entre acondicionadores de carrete y dos diámetros de tramo recto

Como se puede apreciar en las primeras pruebas realizadas, si el medidor cuenta con un tramo recto de dos diámetros aguas arriba, se favorece el desempeño de éste con respecto a la ausencia de tramo recto aguas arriba del medidor; por esta razón se debe considerar que una prueba con un acondicionador de carrete puede ser comparable con la prueba del medidor con un tramo recto de dos diámetros aguas arriba ya que al contener una distancia similar, se puede comparar la eficiencia. Cabe mencionar que los acondicionadores tienen longitudes que van desde 0.7 del diámetro de la tubería hasta 1.25 del diámetro siendo en su mayoría de 2 diámetros de tubería al igual que el tramo recto. A continuación se tienen las comparaciones entre los acondicionadores de flujo con la condición de un tramo recto de dos diámetros aguas arriba del medidor.

7.2.1. Comparación entre acondicionador de tubos vs tramo recto de dos diámetros

En la gráfica de la Figura 7.4 se puede observar la diferencia entre los errores de un acondicionador de tubos con una longitud de dos diámetros con respecto a un tramo recto de dos diámetros.

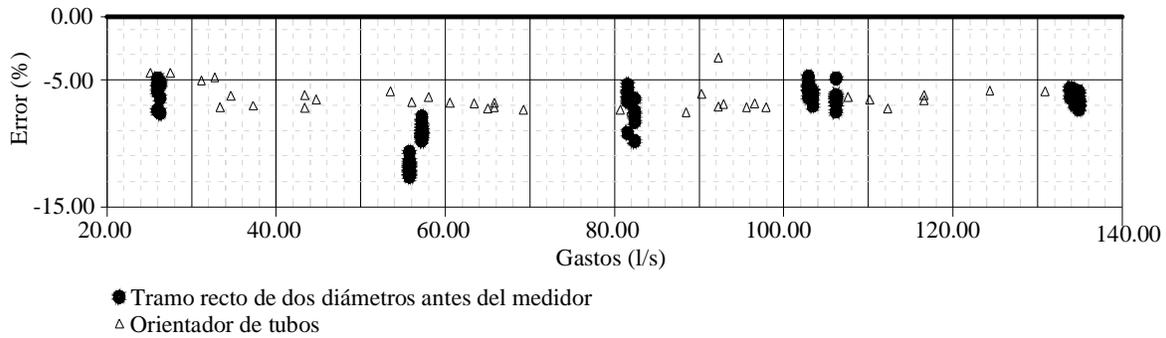


Figura 7.4 Gráfica comparativa entre errores colocados un tramo recto de dos diámetros y errores colocados el orientador de tubos.

A grandes rasgos, se puede observar que el comportamiento que tienen ambos es similar en cuanto a los valores de los errores que además se desarrollan de forma parecida, las posibles diferencias podrían radicar en observar que los errores ocasionados por el acondicionador de flujo tienen una distribución más uniforme, saliendo de rango en algunas lecturas. En conclusión, este acondicionador no mejora los errores de la medición ya que éstos se presentan similares en cuanto a magnitudes.

7.2.2. Comparación entre orientador Étoile vs tramo recto de dos diámetros

En la gráfica de la Figura 7.5 se puede observar la diferencia entre los errores de un orientador étoile con una longitud de dos diámetros con respecto a un tramo recto de dos diámetros.

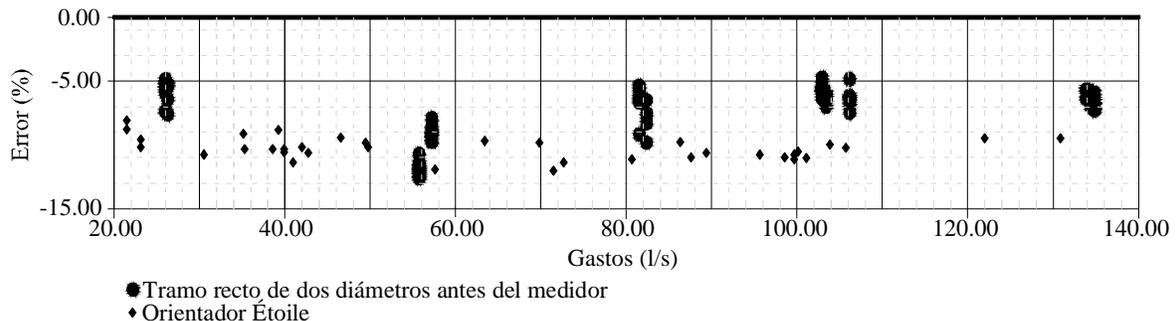


Figura 7.5 Gráfica comparativa entre errores colocados un tramo recto de dos diámetros y errores colocados el orientador Étoile.

Como se puede observar en la gráfica, Los errores que se presentan por la colocación del orientador étoile son mayores que los ocasionados por la colocación de un tramo recto de dos diámetros de longitud, su distribución es similar pero sus errores difieren entre sí, aunque los gastos sean muy similares. Lo que descalifica a éste acondicionador si se pretende usar para mejorar la medición.

7.2.3. Comparación entre acondicionador Sprenkle vs tramo recto de dos diámetros

En la gráfica de la Figura 7.6 se puede observar la diferencia entre los errores de un acondicionador de flujo Sprenkle con una longitud de dos diámetros con respecto a un tramo recto de dos diámetros.

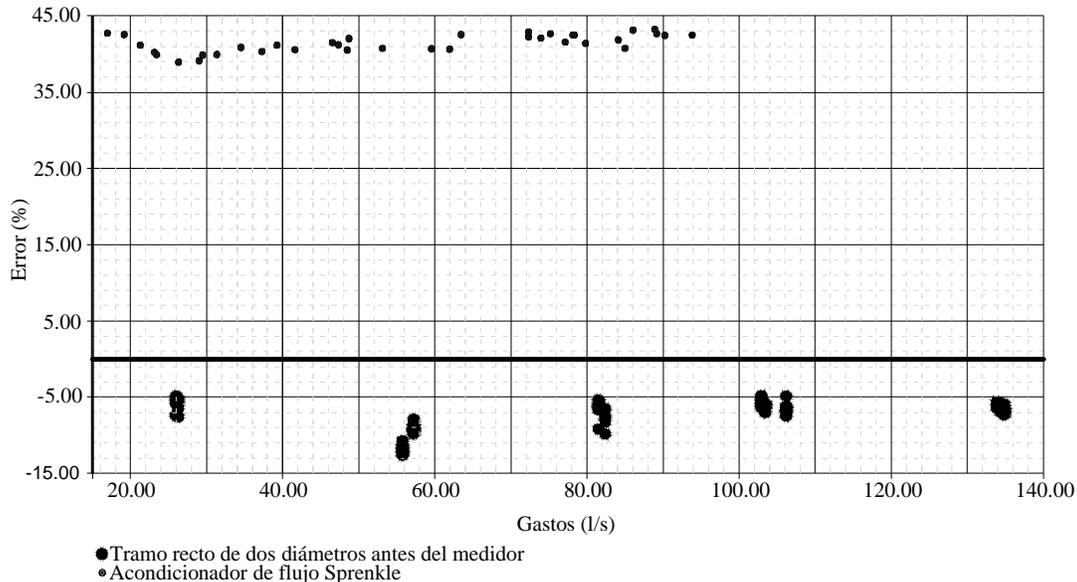


Figura 7.6 Gráfica comparativa entre errores colocados un tramo recto de dos diámetros y errores colocados el acondicionador de flujo Sprenkle.

En esta comparación, como se puede apreciar, es notorio el desfase de los errores por parte del acondicionador ya que éstos están en el orden de un 40% positivo, además de que su distribución es no uniforme ya que los valores de los errores oscilan, debido a esto, el acondicionador es descalificado como un elemento para mejorar los errores en la medición.

7.2.4. Comparación entre orientador de cruz vs tramo recto de dos diámetros

En la gráfica de la Figura 7.7 se puede observar la diferencia entre los errores de un orientador de cruz con una longitud de dos diámetros con respecto a un tramo recto de dos diámetros.

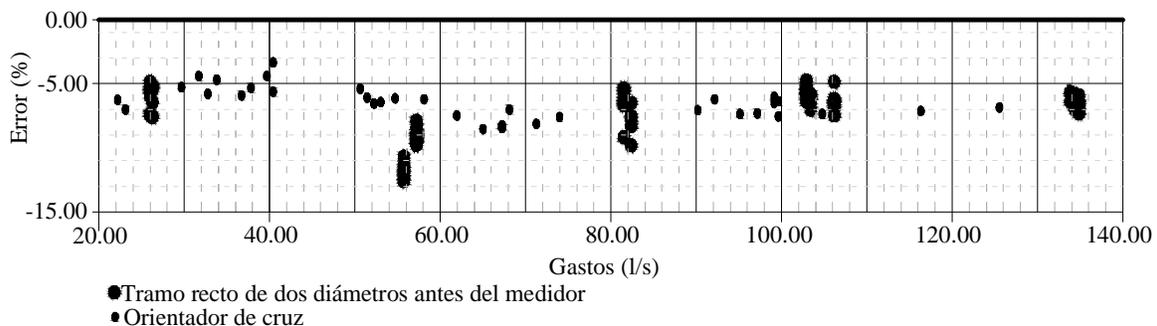


Figura 7.7 Gráfica comparativa entre errores colocados un tramo recto de dos diámetros y errores colocados el orientador de cruz.

Como se puede observar en la gráfica, los errores entre estas pruebas son similares tanto en comportamiento como en valores, con lo que se puede aseverar que la colocación de un orientador de cruz sería una inversión innecesaria, debido a la similitud de sus errores, además de que los resultados no se verían beneficiados de alguna manera con la colocación de éste.

7.2.5. Comparación entre orientador AMCA vs tramo recto de dos diámetros

En la gráfica de la Figura 7.8 se puede observar la diferencia entre los errores de un orientador AMCA con una longitud de un 0.7 veces el diámetro con respecto a un tramo recto de dos diámetros.

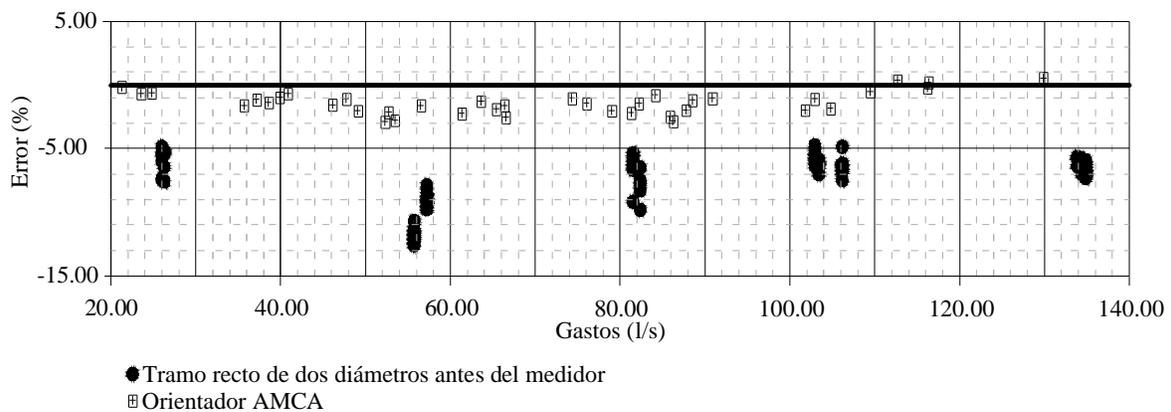


Figura 7.8 Gráfica comparativa entre errores colocados un tramo recto de dos diámetros y errores colocados el orientador AMCA.

Los errores que se presentan con el orientador de flujo AMCA, como se puede observar en la gráfica son mínimos, de manera que quedan dentro del error nominal permitido por las especificaciones del medidor para cualquiera que sea el gasto, además de mostrar una distribución más o menos uniforme a lo largo de la prueba, es decir que los errores no se ven afectados por que se aumente el gasto en o bien se disminuya, este acondicionador tiene 0.7 del diámetro de longitud, lo que lo hace cercano a la condición desfavorable de no tener tramo recto antes del medidor, pero que a la vez hace que la medición sea más certera. Por lo visto hasta aquí, este es el único orientador que mejora la medición.

7.2.6. Comparación entre acondicionador Gallagher (aspas) vs tramo recto de dos diámetros

En la gráfica de la Figura 7.9 se puede observar la diferencia entre los errores de un acondicionador Gallagher con una longitud de un 1.25 veces el diámetro con respecto a un tramo recto de dos diámetros.

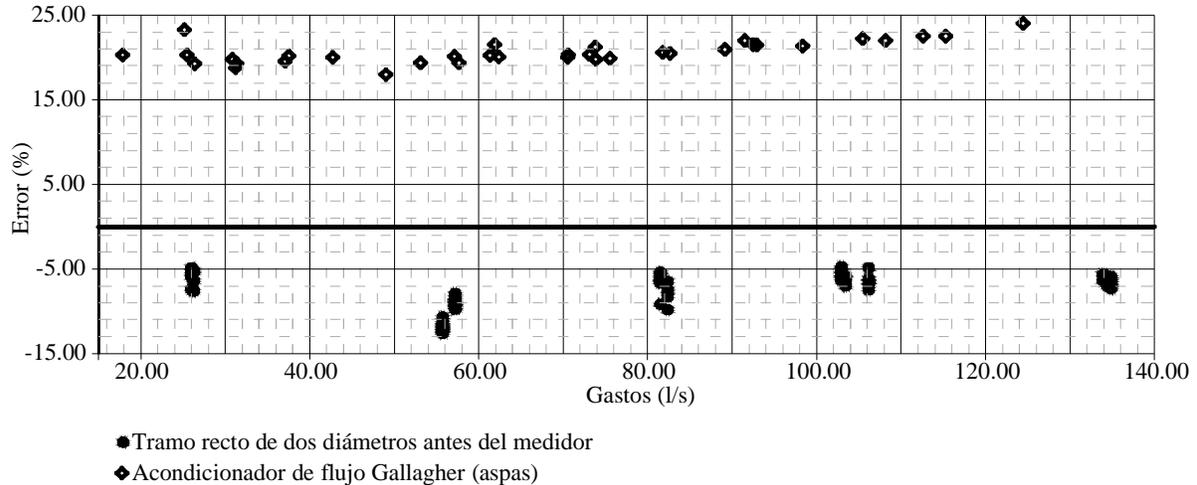


Figura 7.9 Gráfica comparativa entre errores colocado un tramo recto de dos diámetros y errores colocado el acondicionador de flujo Gallagher con aspas como dispositivo anti-turbulencia.

Como se observa en la gráfica, el uso del acondicionador de flujo Gallagher no muestra mejora alguna con respecto a la colocación de un tramo recto de dos diámetros de longitud. Los errores que se presentan por el uso del acondicionador son altos alrededor del 17% y no se muestran uniformes, siendo los errores mínimos para los gastos alrededor de 50 l/s.

7.2.7. Comparación entre acondicionador Zanker vs tramo recto de dos diámetros

En la gráfica de la Figura 7.10 se puede observar la diferencia entre los errores de un acondicionador Zanker con una longitud de un diámetro con respecto a un tramo recto de dos diámetros.

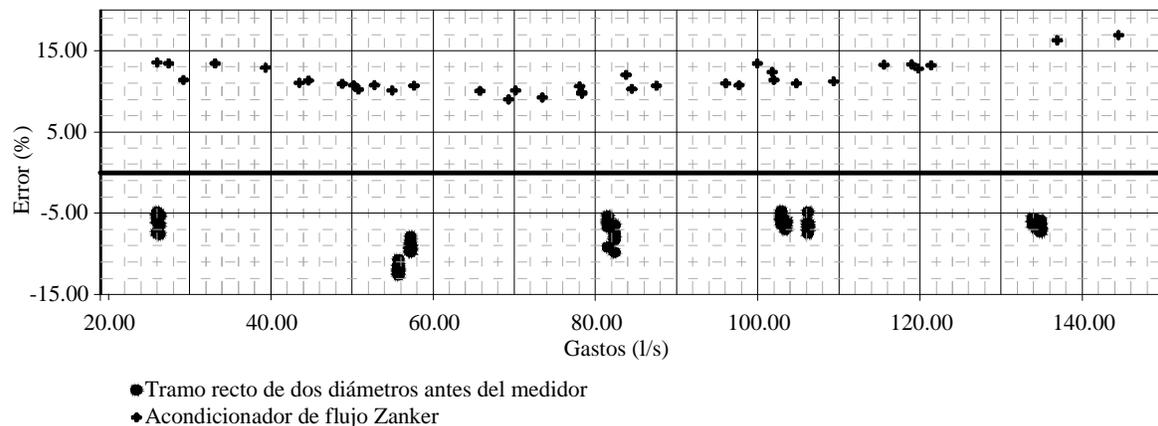


Figura 7.10 Gráfica comparativa entre errores colocado un tramo recto de dos diámetros y errores colocado el acondicionador de flujo Zanker.

El acondicionador de flujo Zanker como se puede observar en la gráfica, al igual que otros acondicionadores incrementa los errores con respecto a la colocación únicamente de un tramo recto de dos diámetros. Los errores que se presentan por el uso del acondicionador Zanker son del orden de 14% positivo, son no uniformes y los valores mínimos de los errores se presentan para los gastos entre 60 y 80 l/s.

7.2.8. Comparación entre los acondicionadores de carrete

En la gráfica de la

Figura 7.11 se puede observar la diferencia entre los errores de los diferentes acondicionadores.

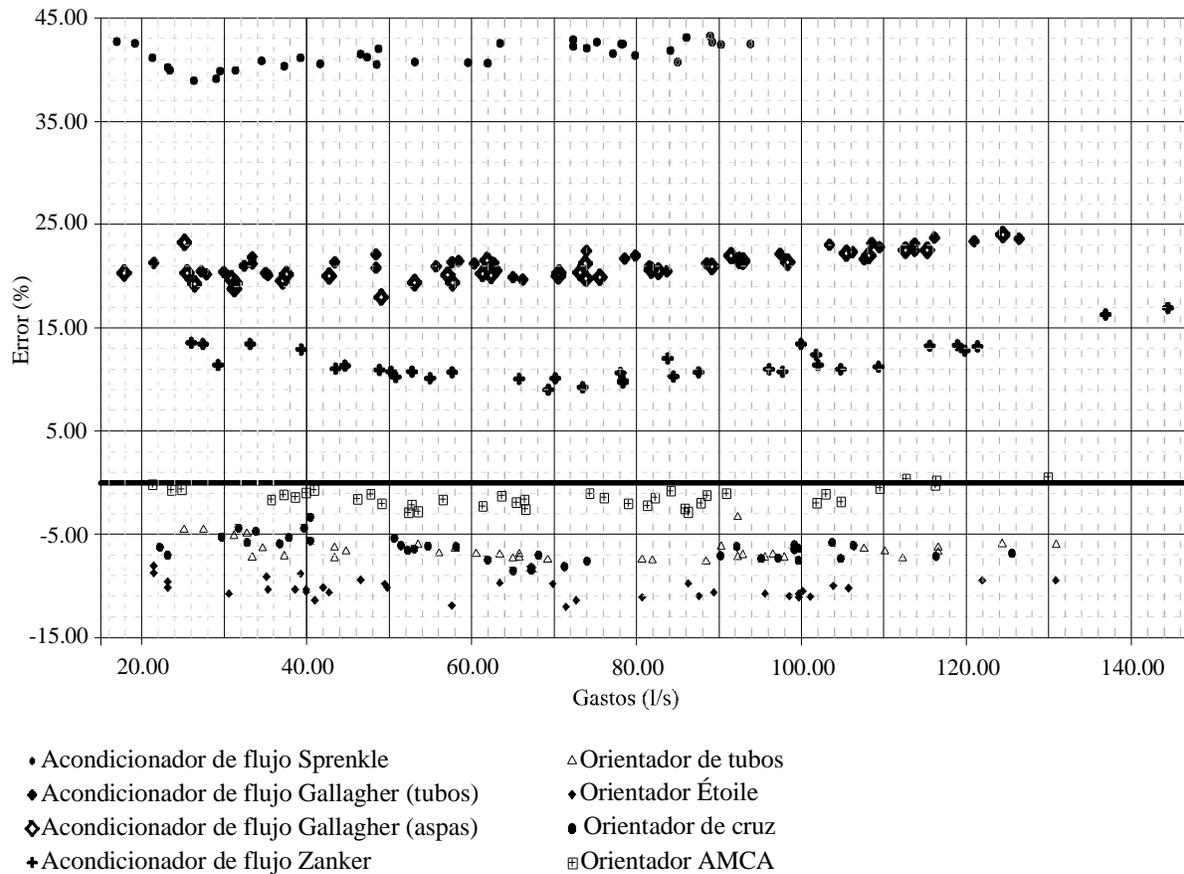


Figura 7.11 Gráfica comparativa entre errores colocados los diferentes acondicionadores de flujo de carrete.

Si de alguna manera se puede evaluar el desempeño de los acondicionadores, ésta puede ser la comparación entre ellos, en la gráfica se puede observar claramente como se comportan los errores para cada uno de los acondicionadores, siendo el acondicionador AMCA, el que tiene un desempeño eficiente con respecto al resto teniendo que los errores generados por éste se observan cercanos a cero, además de que quedan dentro del error nominal especificado por el medidor.

7.3. Comparación entre acondicionadores de placa y ausencia de tramo recto aguas arriba del medidor

Los acondicionadores de placa no representan ningún tramo recto ya que cuentan con escaso espesor; por ésta razón se debe considerar que una prueba con un acondicionador de placa puede ser comparada con una prueba de condición de ausencia de tramo recto aguas arriba del medidor, ya que al contar un una distancia casi nula, se puede comparar la eficiencia entre éstas. Cabe mencionar que las placas acondicionadoras tienen dos tipos de espesores 0.125 y 0.15 veces el diámetro del medidor. A continuación se tienen las comparaciones entre las placas acondicionadoras de flujo con la condición de ausencia de tramo recto aguas arriba del medidor.

7.3.1. Comparación entre acondicionador de placa NEL (Spearman) vs ausencia de tramo recto

En la gráfica de la Figura 7.12 se puede observar la diferencia entre los errores de un acondicionador de placa NEL (Spearman) Zanker con un espesor de 0.15 veces el diámetro con respecto a una condición de ausencia de tramo recto aguas arriba del medidor.

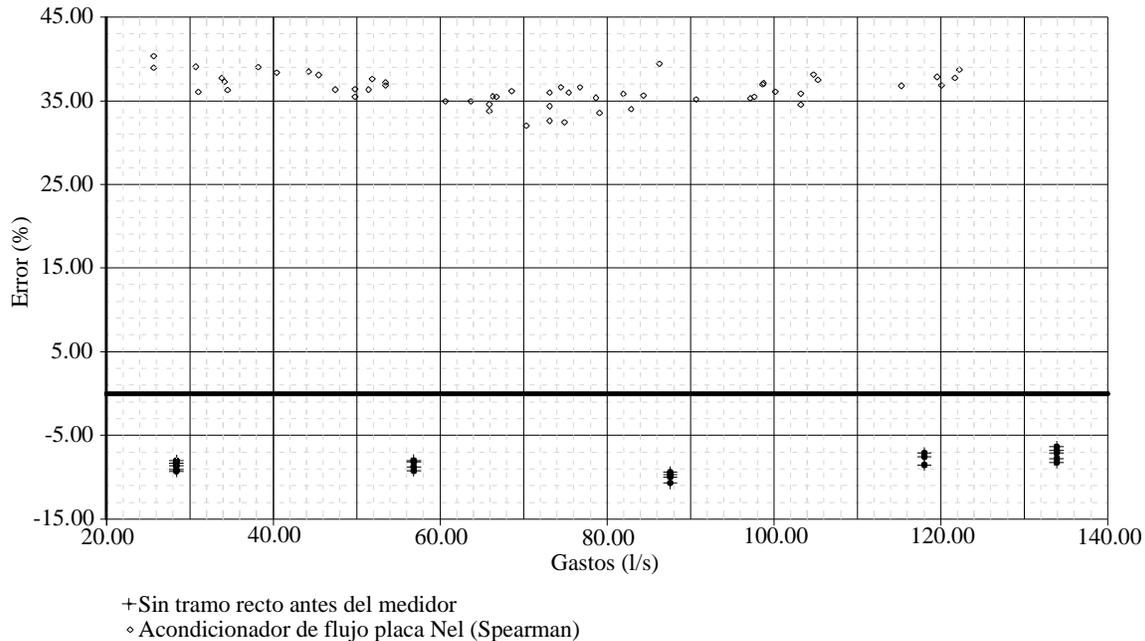


Figura 7.12 Gráfica comparativa entre errores sin tramo recto antes del medidor y errores colocado el acondicionador de flujo placa NEL (Spearman).

Se puede apreciar en la gráfica, que los errores no son disminuidos por este acondicionador de placa, mas bien son incrementados en un rango de error de alrededor de 40% , estando en el orden de 37% positivo, además de ser no uniformes; mientras los errores generados por por la ausencia de tramos rectos son del orden de 7% negativo, por tanto que la adición de el acondicionador de placa NEL (Spearman) no mejora la eficiencia del medidor.

7.3.2. Comparación entre el diseño NOVA de la placa Acondicionadora K-Lab vs ausencia de tramo recto

En la gráfica de la Figura 7.13 se puede observar la diferencia entre los errores de un diseño NOVA de la placa acondicionadora K-Lab con un espesor de 0.15 veces el diámetro con respecto a una condición de ausencia de tramo recto aguas arriba del medidor.

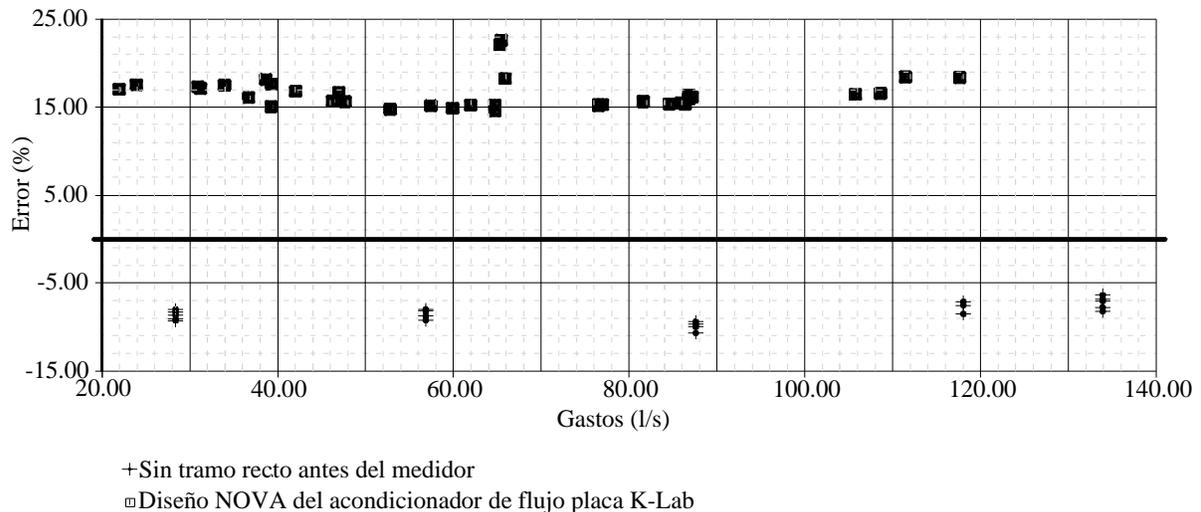


Figura 7.13 Gráfica comparativa entre errores sin tramo recto antes del medidor y errores colocado el diseño NOVA del acondicionador de flujo placa K-Lab.

Como se puede apreciar en la gráfica, la adición de esta placa acondicionadora a la tubería, no ayuda a disminuir los errores y no hace más eficiente el trabajo del medidor, la distribución de los errores es dispersa y no uniforme, sus errores son del orden del 15% positivo, mientras que los generados por la ausencia de tramo recto aguas arriba del medidor son del orden de 7% negativo, por tanto la adición de ésta placa acondicionadora no se recomienda.

7.3.3. Comparación entre el acondicionador de placa Zanker vs ausencia de tramo recto

En la gráfica de la Figura 7.14 se puede observar la diferencia entre los errores de un acondicionador de placa Zanker con un espesor de 0.125 veces el diámetro con respecto a una condición de ausencia de tramo recto aguas arriba del medidor, este es el más delgado de los acondicionadores de placa y también es parte de un acondicionador adicionado de una estructura interna.

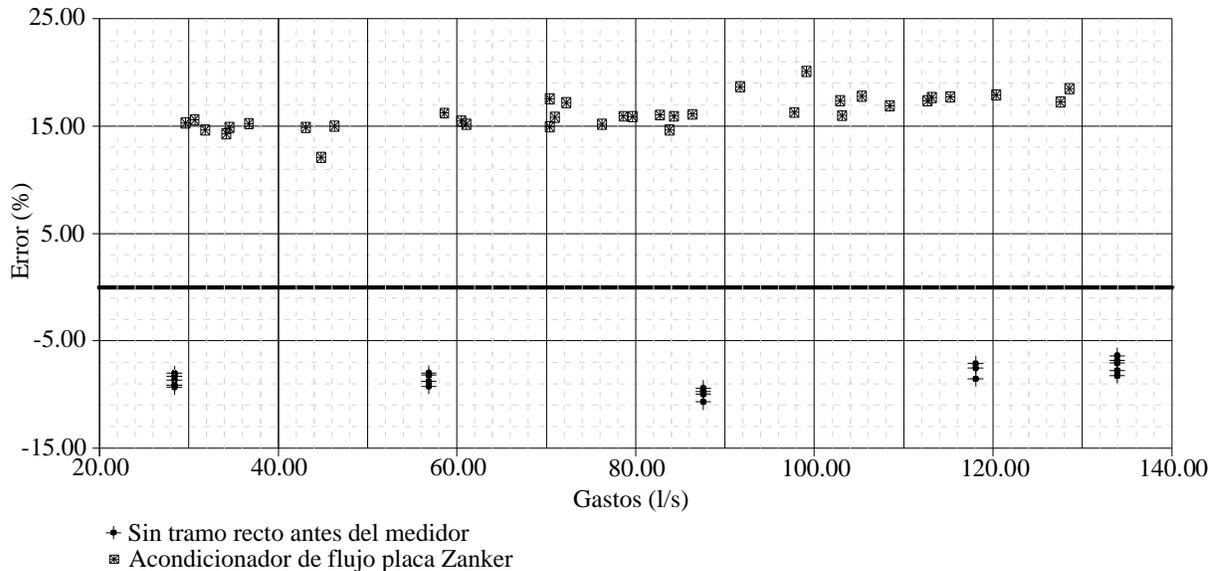


Figura 7.14 Gráfica comparativa entre errores sin tramo recto antes del medidor y errores colocado el acondicionador de placa Zanker.

Como se observa en la gráfica, el acondicionador de placa Zanker no ayuda a mejorar la eficiencia del medidor ya que no ayuda a disminuir los errores, los errores generados por ésta placa son del orden del 16% positivo; mientras los errores que se presentan por la ausencia de tramos rectos son del orden del 7% negativo, por lo que se asevera que ésta placa acondicionadora no se recomienda.

7.3.4. Comparación entre los acondicionadores de placa

Aunque se ha mostrado en las gráficas de las comparaciones anteriores que los acondicionadores de placa colocados aguas arriba del medidor sin tramo recto alguno entre ellos, no ayudan a disminuir los errores ocasionados por la ausencia de tramo recto aguas arriba del medidor y por tanto no mejorar el desempeño del medidor, en la gráfica de la Figura 7.15 se hace la comparación de los errores entre las placas acondicionadoras donde se aprecian los diferentes errores generados por ellas y su comparación tomando en cuenta la similitud entre la geometría de dos de ellas.

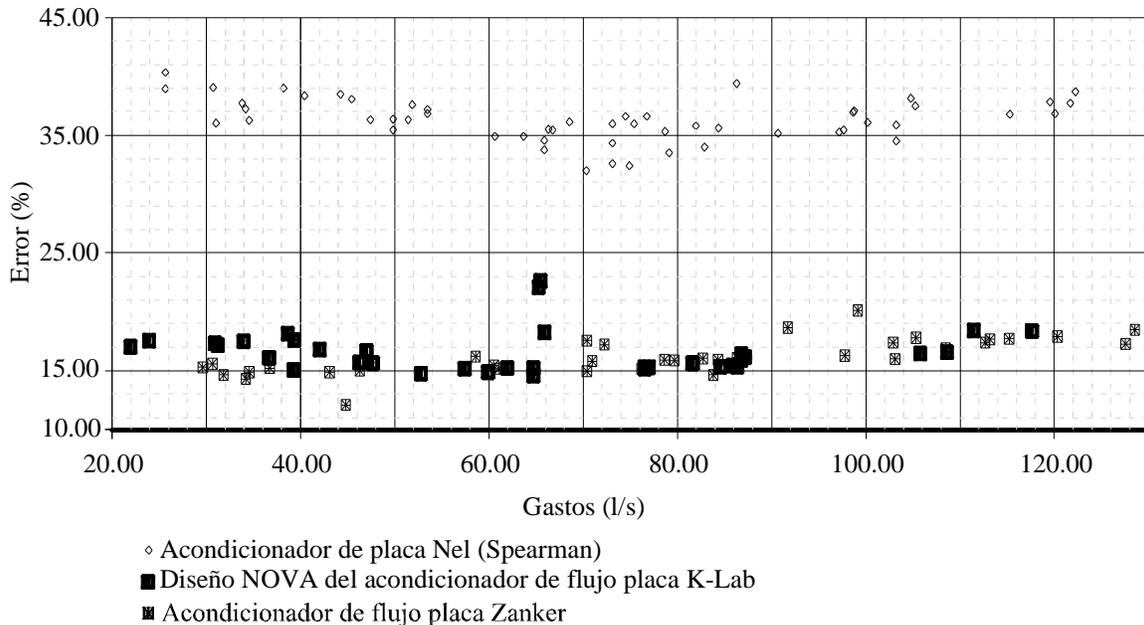


Figura 7.15 Gráfica comparativa entre errores colocados los diferentes acondicionadores de placa.

Como se puede observar en la gráfica, el comportamiento de los errores generados por los acondicionadores de placa diseño NOVA del Acondicionador de placa K-Lab y del acondicionador de placa Zanker, son muy similares cosa que no era de esperarse ya que su forma, las perforaciones difirieren en el tamaño y su distribución, además de que no cuentan con el mismo espesor de placa; a diferencia del acondicionador de placa NEL (Spearman) que es del mismo espesor que el diseño NOVA del acondicionador de placa K-Lab y cuenta con un número similar de perforaciones y un acomodo distribuido y sin embargo se puede ver como sus errores son mayores con respecto a los otros dos.

Conviene recordar las especificaciones del proyecto gubernamental de mejoramiento, donde se recomienda la colocación de acondicionadores de flujo, refiriéndose a éstos como una placa que va colocada antes de un tramo recto y antes del medidor. Si consideramos la combinación de un tramo recto y una placa como un acondicionador, habrá que tomar en cuenta la longitud de éste y el tipo de placa; recordando que de los acondicionadores de carrete, únicamente uno mostró una disminución de los errores y un desempeño eficiente del medidor, sin embargo éste consistía en un armado específico dentro de él; después de observar el desempeño de los acondicionadores de placa se puede concluir que no presentan mejora en el desempeño del medidor, tomando la condición sin tramo recto aguas arriba del medidor como la condición más desfavorable en el arreglo de un tren de descarga, que se pretende mejorar.

7.4. Acondicionador de flujo AMCA, la mejor opción

Como se vio en las gráficas mostradas, el acondicionador AMCA reduce los errores generados por el medidor, haciendo que éstos queden dentro del error nominal permitido por las especificaciones del fabricante, por lo que se compara en la gráfica de la Figura 7.16 los errores generados por éste acondicionador aguas arriba del medidor, con los generados por un tramo recto de dos diámetros aguas arriba del medidor y los generados por la condición sin tramo recto aguas arriba del medidor con uno y dos codos de 90° que se consideran condiciones desfavorables para un tren de descarga.

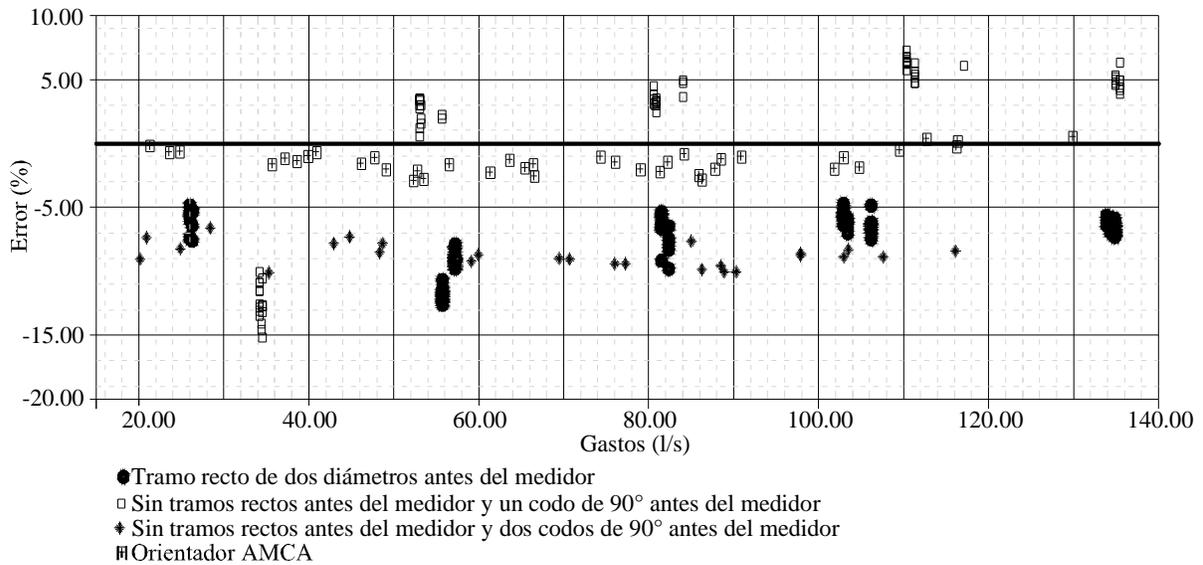


Figura 7.16 Gráfica comparativa entre errores sin tramo recto y errores colocado el orientador AMCA.

Este acondicionador puede mejorar el desempeño del medidor sin importar las piezas que se colocaron que provocan disturbios en el flujo, como se puede observar en la grafica, los errores generados por éste son menores a los generados bajo las otras condiciones, para este caso los errores se sitúan entre las magnitudes de los errores de las otras pruebas mostradas en la gráfica, proximas a no tener error.

8. CONCLUSIONES

Se buscó corroborar la eficiencia de los acondicionadores de flujo, el resumen de los errores generados por las distintas configuraciones de la tubería se tabulan en la Tabla 8.1; en dicha tabla se pueden observar los errores mínimo y máximo, así como el rango de error generado por cada acondicionador, como una muestra general de su comportamiento:

Tabla 8.1. Resumen de errores de los acondicionadores de flujo

Número de prueba	Pieza(s) aguas arriba del medidor	Errores		Rango de error
		Mínimo	Máximo	
1	Tramo recto de diez diámetros de longitud	-0.76	-8.02	7.26
2	Tramo recto de dos diámetros de longitud	-4.75	-12.62	7.87
3	Codo de 90°	7.25	-15.18	22.43
5	Dos codos de 90°	-6.39	-10.13	3.74
6	Dos codos de 90°	-6.39	-10.68	4.29
18	Dos codos de 90°	9.02	17.69	8.67
7	Orientador de tubos	-3.26	-7.52	4.26
8	Acondicionador Sprengle	38.94	43.25	4.31
9	Orientador Étoile	-8.09	-12.01	3.92
10	Acondicionador Gallagher (tubos)	19.67	23.72	4.05
11	Orientador de cruz	-3.36	-8.53	5.17
12	El Acondicionador de flujo; placa, NEL (Spearman)	32.01	40.34	8.33
13	Diseño NOVA del Acondicionador de flujo placa perforada K-Lab	14.62	18.47	3.85
14	Orientador AMCA	0.53	-2.9	3.43
15	Acondicionador de placa Zanker	14.35	20.18	5.83
16	Acondicionador Gallagher (aspas)	18	24.05	6.05
17	Acondicionador Zanker	-10.33	-7.53	2.8

De los datos aquí mostrados se puede hacer notar lo siguiente:

La adición de tramo recto aguas arriba del medidor trabaja adecuadamente para gastos de extracción en un pozo agrícola "comunes" como lo es el rango 80 a 125 l/s, lo cual, al menos bajo esta condición confirma las recomendaciones de los fabricantes de medidores respecto a la adición de tramo recto. Si se comparan los errores generados por la adición de un tramo recto de dos diámetros (prueba 2) con la condición de ausencia de tramo recto (prueba 3), se tiene un incremento en los errores generados; sin embargo, al comparar con la condición de ausencia de tramo recto (prueba 5) se tiene que la ausencia de tramo recto no afecta de manera considerable a la medición; esto debido a un codo de 90° adicional (como se mencionó previamente) que incrementó el error, pero lo redistribuyó.

Al compararse el tramo recto de dos diámetros aguas arriba (prueba 2) con el orientador de flujo de tubos (prueba 7) y con el orientador de cruz (prueba 11), se observa en ambos casos una disminución mínima del error, pero al compararse con el orientador Étoile (prueba 9), se tiene un aumento en el error. El orientador Étoile cuenta con ocho aspas, mientras el orientador de cruz cuenta con cuatro, presentando el orientador de cruz menor error; podría ser entonces que la adición de placas rompen con la paralelidad del flujo en la tubería o quizá su longitud sea muy corta para estabilizar el flujo por completo, cabe señalar que el bisel hecho en estas piezas no está afinado lo cual podría repercutir en cambio de dirección brusca del flujo al chocar con la placa.

Respecto a los acondicionadores de placa (pruebas, 12, 13 y 15) se puede observar que dos de ellas presentan errores similares, mientras la tercera genera casi el doble en sus errores con respecto a las otras dos, esto podría deberse a la configuración de las perforaciones y sus diámetros, ninguna placa tiene biselado en sus perforaciones, lo que podría llevar a la generación de pequeños vórtices al paso del agua por la placa.

Al comparar los errores generados por la placa Zanker con el acondicionador Zanker (pruebas 15 y 17) se aprecia que la adición de longitud y una estructura interna al acondicionador de placa Zanker disminuye los errores generados por ésta, por sí sola.

El acondicionador gallagher en sus dos variantes, no presenta mucha diferencia en sus errores pero se puede apreciar un aumento en el rango de error.

El acondicionador AMCA mostró que podía mejorar el desempeño del medidor reduciendo los posibles errores en éste, además de la diferencia notoria en los errores con respecto al resto de los acondicionadores con lo que queda abierta la recomendación de realizar pruebas con este acondicionador, bajo diferentes condiciones de configuración de tubería y con la colocación de diferentes piezas que causen cambio de dirección en el flujo, así se podrá conocer su desempeño y posible beneficio en su uso.

Acerca de este acondicionador se puede hacer notar lo siguiente:

- Es el único con una longitud de 0.7 veces el diámetro de la tubería
- Tiene una estructura interna con acomodo tipo rejilla que cubre la longitud del acondicionador.
- Tiene una relación de área total, con respecto a área de vacíos de 0.62
- Cuenta con biseles en las placas en el lado aguas arriba (biseles no finos)

Debe tenerse reserva en cuanto a extrapolar estos resultados, ya que son válidos únicamente para las circunstancias presentes al realizarse los experimentos, entre otras, dichas circunstancias son:

- El diámetro probado es de 12 pulgadas.
- El medidor es de turbina marca Arad.
- Las piezas que causan cambio de dirección en el flujo son un par de codos de 90° colocados en un plano horizontal.
- La temperatura promedio del agua es de 19°C
- El material de los Acondicionadores es Nylacero y PVC
- La construcción de los acondicionadores es artesanal.
- Solamente se probaron los acondicionadores descritos en las normas ISO; cualquier otro acondicionador podría tener otro comportamiento

Se recomienda en base al trabajo realizado, que la pretención de colocar acondicionadores para el mejoramiento de la medición en pozos agrícolas con trenes de descarga con espacio insuficiente, deberá acompañarse de resultados favorables en pruebas de laboratorio realizadas para condiciones similares a las del tren de descarga en el que se desea colocar el acondicionador. En caso de no ser así debe evitarse la colocación del acondicionador.

También se recomienda considerar el tipo de acondicionador en caso de que se desee colocar, considerando el error generado previo a la colocación del acondicionador, para este caso particular la colocación de un tramo recto de tan sólo dos diámetros de longitud, generó errores del orden de 7% negativo, siendo dicho valor el que se buscó mejorar para recomendar la colocación de un acondicionador.

9. ANEXOS

9.1. Análisis dimensional

La manera de relacionar los parámetros que intervienen en la medición se hace por medio del análisis de factores que intervienen en ésta, tales como la geometría de la tubería, el tipo de fluido que se utiliza, las piezas que se prueban y la geometría de ellas mismas, el análisis se puede hacer por medio de productos adimensionales, en lo que se conoce como un análisis dimensional.

El análisis dimensional proporciona información utilizando las variables que intervienen en un problema, a su vez reduce el número de variables estableciendo fuerzas o relaciones de las mismas que permiten determinar una variable específica.

En lo que respecta al desempeño de los acondicionadores de flujo, se hace hincapié en el hecho de que este trabajo se hizo como un estudio práctico con las características propias de la instalación, sin embargo se puede buscar una comparación entre su desempeño y su geometría por medio de un análisis dimensional, ya que a pesar de la geometría tan similar en algunos casos, las piezas elaboradas según las normas ISO presentan diferencias en sus errores. Se planteó la posibilidad de obtener alguna relación geométrica entre las características de los acondicionadores y los errores ocasionados por cada uno de ellos. Para llevar a cabo este análisis se cuestionó inicialmente qué variables se deben tomar en cuenta, se decidió considerar el diámetro de la tubería, el material con el que fueron realizados, la relación de vacíos, la pérdida de carga entre la entrada del acondicionador y la salida del medidor, por mencionar algunas de ellas; deben seleccionarse las variables con cuidado ya que de no ser así, los datos serán erráticos y mostrarán dispersiones inesperadas, otro cuestionamiento que influyó en la decisión es la consideración de los resultados, debido a que las pruebas muestran que no disminuyen los errores en la medición y surge la pregunta ¿en realidad vale la pena llevar a cabo un análisis dimensional?, de ser así, ¿este deberá ser estricto o ligero?.

Se presentan a continuación las tablas donde se tienen los datos de cada prueba de manera sintetizada, recordando que el diámetro es de doce pulgadas para todas.

Tabla 9.1 Comparación entre las características de las diferentes pruebas con tramo recto y sin él.

	Error mínimo	Error máximo	Rango	Longitud (m)	Relación de vacíos	Pérdida de presión para $Q_{\text{aprox}} = 75$ l/s (m.c.a.)
Diez diámetros de tramo recto	-0.76	-8.02	7.26	3.048	1	-
Dos diámetros de tramo recto	-4.75	-12.62	7.87	0.6096	1	-
Sin tramo recto	7.25	-15.18	22.43	0	1	0.289

Tabla 9.2 Comparación entre la colocación de un codo y dos codos antes del medidor.

	Error mínimo	Error máximo	Rango	Longitud (m)	Relación de vacíos	Pérdida de presión para $Q_{\text{aprox}} = 75$ l/s (m.c.a.)
Colocado un codo antes del medidor	7.25	-15.18	22.43	0	1	-
Colocando dos codos antes del medidor	-4.43	-9.81	5.38	0	1	-

A pesar de que estas pruebas no incluyen acondicionador en su estructura, es conveniente comparar los datos que se tienen contra los errores que generaron, que dan por entrada el error que se debe erradicar.

Tabla 9.3 Comparación entre los acondicionadores de flujo de placa.

	Error mínimo	Error máximo	Rango	Espesor (m)	Relación de vacíos	Pérdida de presión para $Q_{\text{aprox}} = 75$ l/s (m.c.a.)
Placa acondicionadora NEL (Spearman)	31.04	40.34	8.33	0.0381	0.536	0.164
Placa acondicionadora K-lab	14.62	18.47	3.88	0.0381	0.467	0.146
Placa acondicionadora Zanker	14.35	20.18	5.83	0.0127	0.617	0.289

Como ejemplo: las placas acondicionadoras son muy similares en su configuración, poseen perforaciones circulares sin bisel, difiriendo en distribución y diámetro de las perforaciones, el espesor de la placa Zanker es menor que las otras dos, sin embargo posee errores muy similares a la placa K-Lab, la relación de vacíos entre las tres difiere en máximo 0.15, por lo que se puede decir que no tienen relación en cuanto a sus datos.

Tabla 9.4 Comparativa entre los diferentes acondicionadores.

	Error mínimo	Error máximo	Rango	Longitud (m)	Relación de vacíos	Pérdida de presión para $Q_{\text{aprox}} = 75$ l/s (m.c.a.)
Acondicionador de tubos	-3.26	-7.52	4.26	0.601	0.861	-
Acondicionador Sprengle	38.94	43.25	4.31	0.6381	0.195	1.785
Orientador Étoile	-8.09	-12.01	3.92	0.601	0.895	0.092
Acondicionador Gallagher (tubos)	19.67	23.72	4.05	0.7883	0.861	0.162
Orientador de cruz	-3.36	-8.53	5.17	0.601	0.947	0.082
Acondicionador AMCA	0.53	-2.9	3.43	0.2092	0.617	0.171
Acondicionador Gallagher (aspas)	18	24.05	6.05	0.7883	0.884	0.157
Acondicionador Zanker	-7.53	-10.33	2.8	0.30	0.437	0.059

Es notorio resaltar el hecho de que este tipo de análisis son llevados a cabo por personas con mucha experiencia, eso representa una complicación ya que hay pocos antecedentes de pruebas realizadas con acondicionadores de flujo y análisis dimensionales en los que se presente el comportamiento de estas piezas, ante esta situación y el objetivo práctico de este trabajo no se realizó el análisis dimensional, sin embargo las siguientes recomendaciones que pueden ser útiles para fines teóricos:

No es recomendable establecer una ecuación para predecir resultados de un acondicionador de flujo de un diámetro cualquiera, con respecto a otro, esto aplica para diámetros mayores a seis pulgadas debido a que la propela de la turbina no cubre por completo el interior de la tubería.

En tuberías cerradas el producto adimensional que rige es el número de Reynolds, con símbolo Re , donde intervienen V que es la velocidad del flujo dentro de la tubería, D que es el diámetro de la tubería, y ν es la viscosidad del fluido que viaja a través de ella, que se define como:

$$Re = \frac{VD\rho}{\mu} = \frac{VD}{\nu}$$

recordando que la viscosidad del fluido es la medida de su resistencia a fluir,

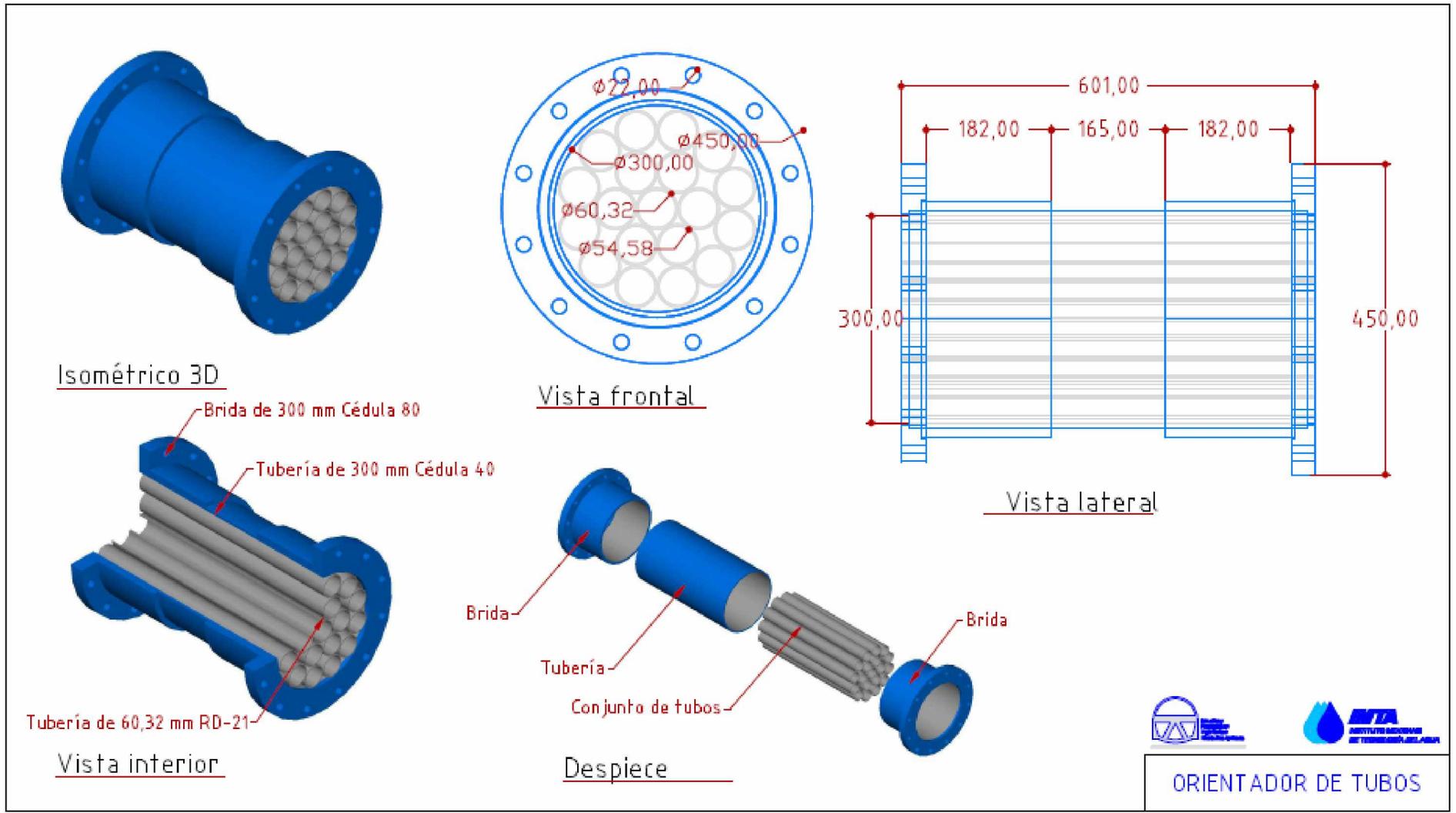
como resultado de la interacción y cohesión de sus moléculas, la viscosidad se anula cuando se habla de un flujo turbulento, con lo que tenemos un ruido adicional al considerar el número de Reynolds

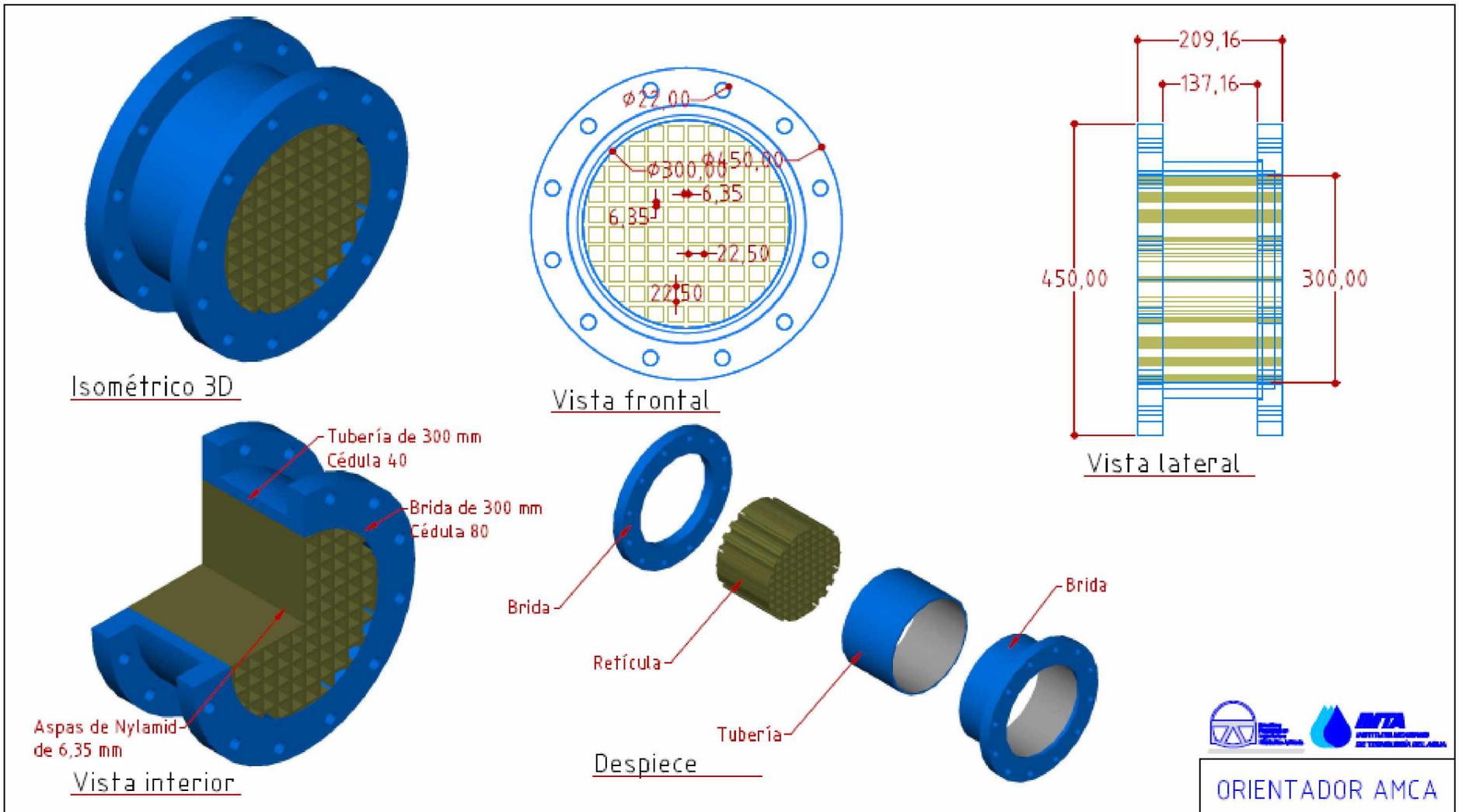
Podría pensarse que con un análisis dimensional a estas piezas daría resultados que ayudarían a decidir sobre la colocación de tales, prediciendo el comportamiento ya sea en piezas con diseño similar o bien para la misma pieza en otro diámetro ya sea mayor o menor, para esto se agruparon las pruebas con acondicionadores similares, con piezas similares o con objetivo similar, de tal

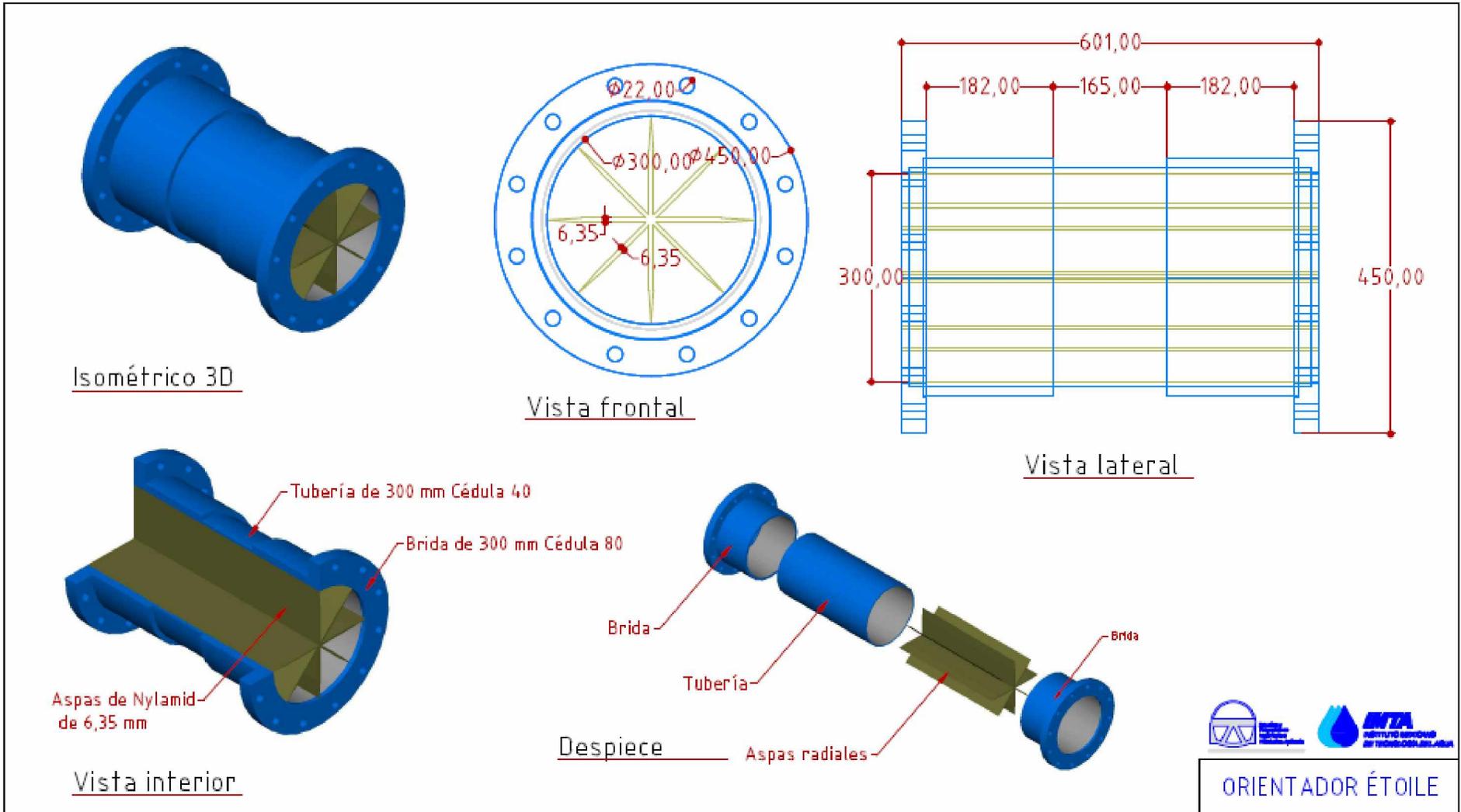
manera que podrían mostrarse los resultados en cuanto a sus errores, su relación de vacíos, longitud del acondicionador y la pérdida de presión para un gasto promedio. Al comparar estas tablas se pueden encontrar cosas que difieren a pesar del parecido entre las piezas.

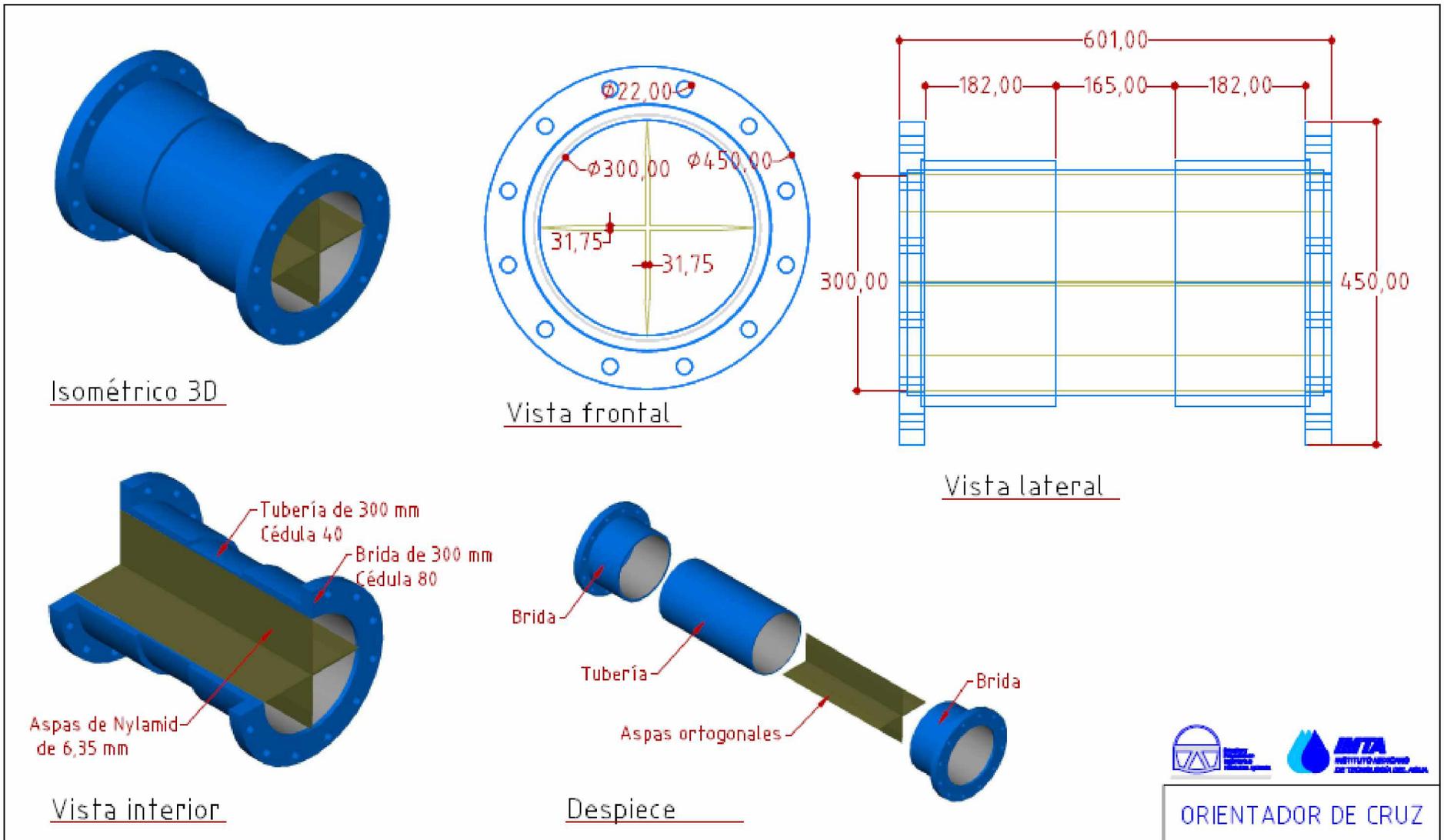
Lo mostrado no anula la posibilidad de que alguna persona con experiencia en análisis dimensional logre establecer una relación entre los diferentes acondicionadores de flujo, siendo este un trabajo extenso que pueden ser de utilidad, pero es recomendable que sea comparado con los resultados reales obtenidos en pruebas de laboratorio para las condiciones más próximas a las supuestas en el análisis, ya que para el caso de ésta tesis que fue práctica en su totalidad no presenta beneficio alguno.

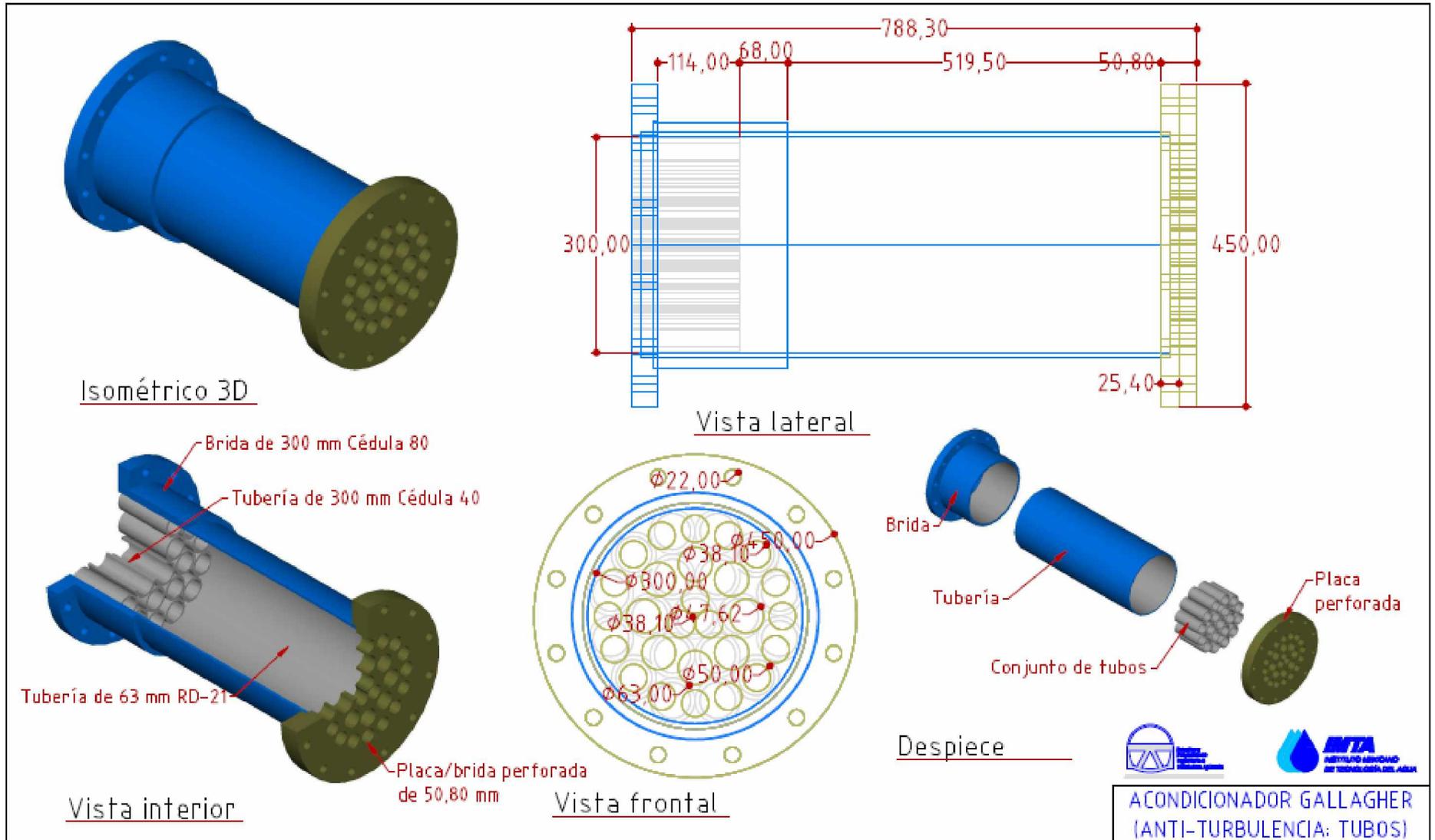
9.2. Esquemas de construcción de los acondicionadores de flujo

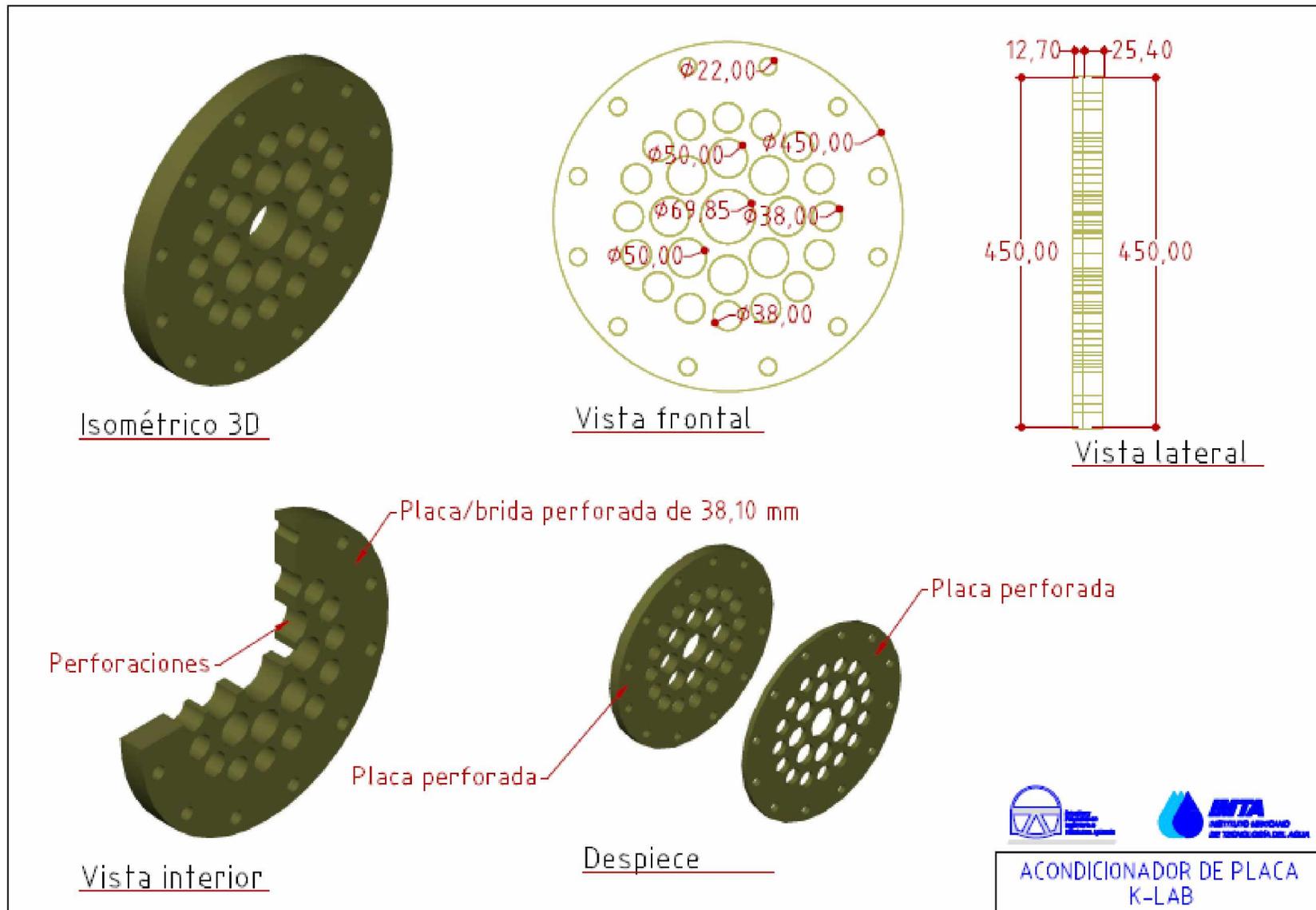


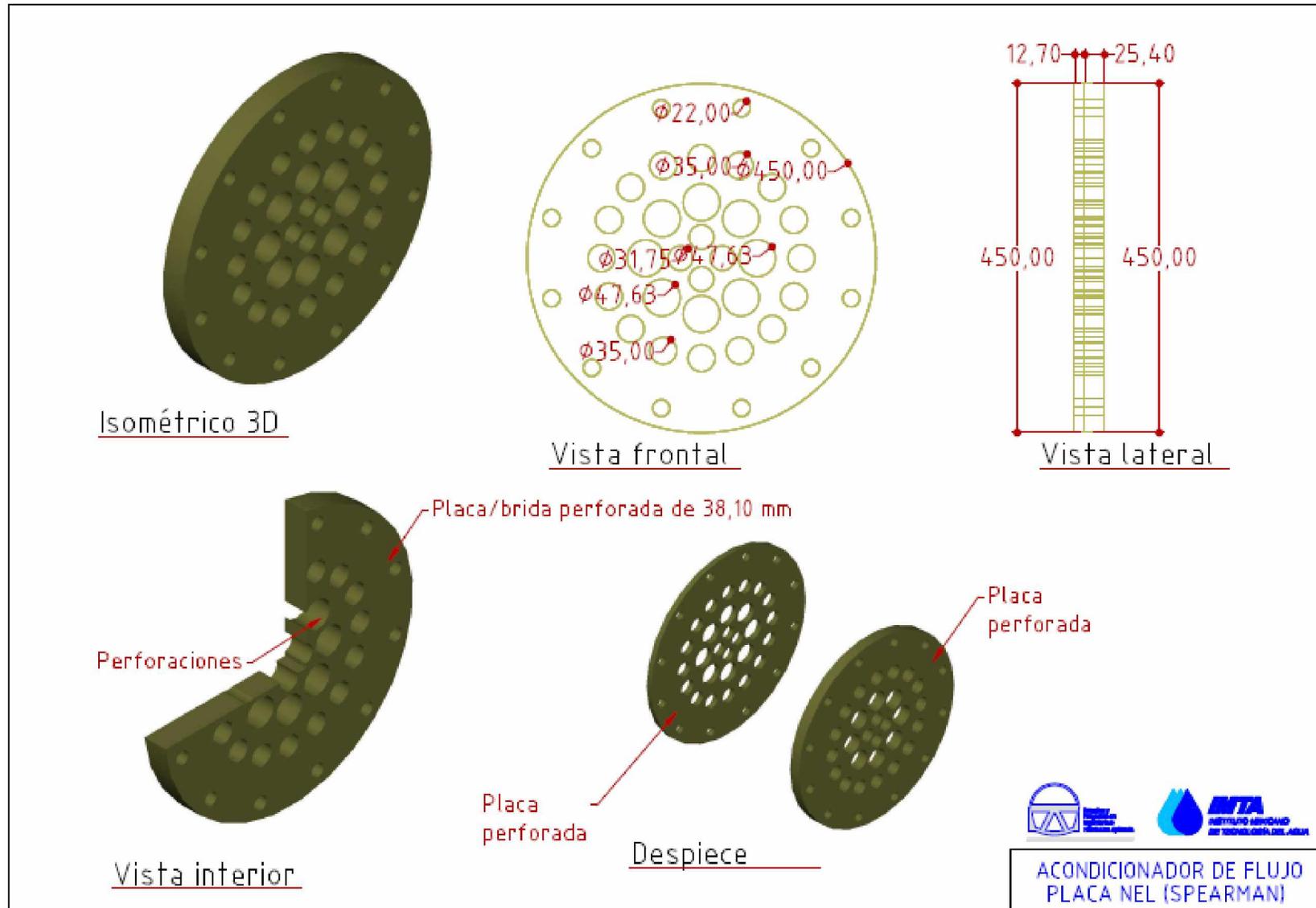


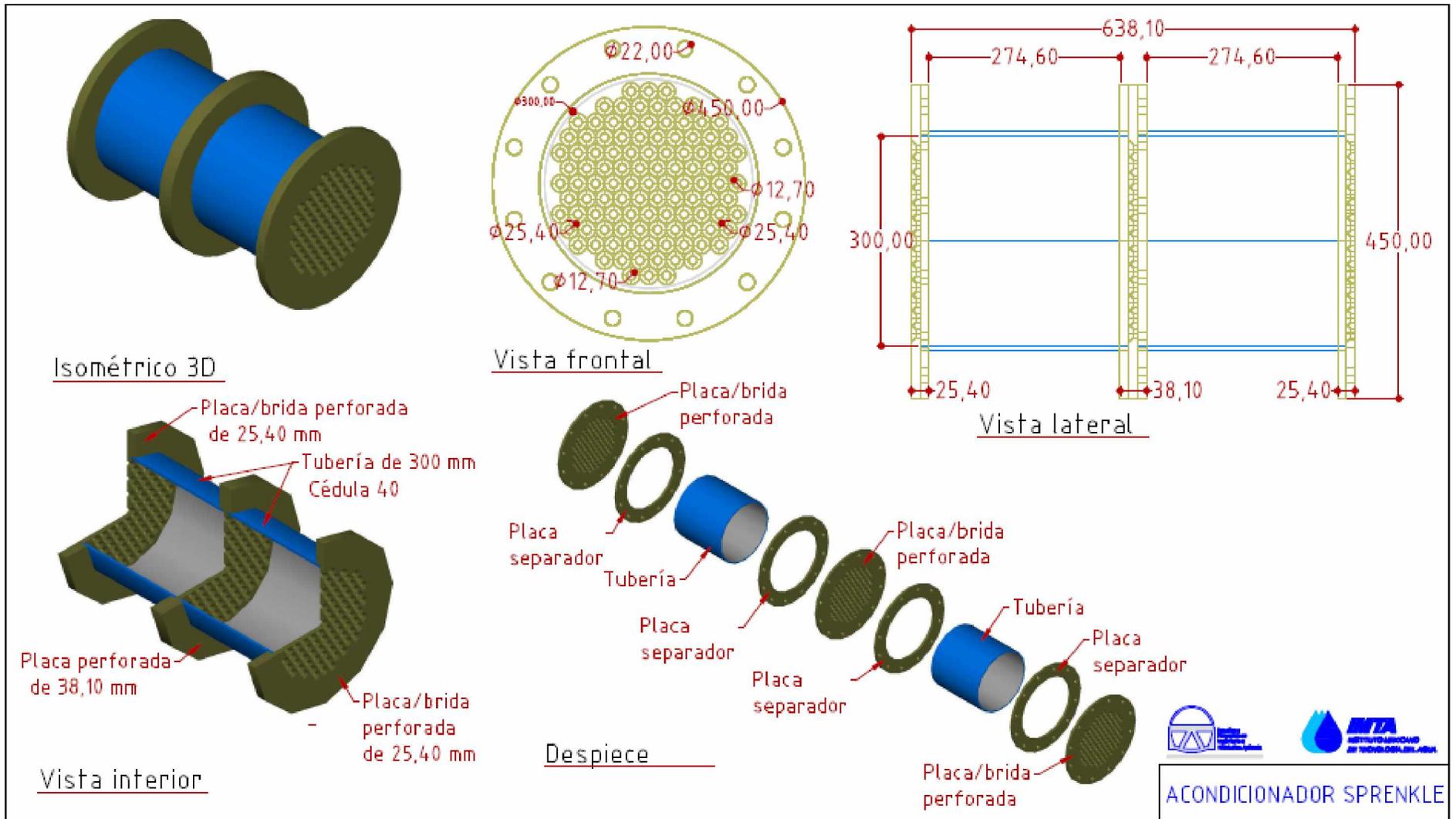












10. REFERENCIAS.

- ✘ Arroyo Correa, Víctor Manuel; Aguilar Chávez, Ariosto; Alvarez Bretón, Ricardo Andrés; Bonola Alonso, Isaac; Gómez Lugo, Luis; López Vázquez, Alejandro; Mejía Astudillo, Víctor; Millán Barrera, Cecilia; Pedroza González, Edmundo; Santana Sepúlveda, Sergio, "Mejoramiento de la medición en presas de almacenamiento y pozos agrícolas", Informe final, IMTA, Diciembre de 2004.
- ✘ Cabrera, E., Espert, V., Garcia-Serra, J., Martínez, F. UD "Mecánica de fluidos Universidad Politécnica de Valencia". Andrés, M., García, M. Aguas de Valencia, S. A. Ingeniería Hidráulica. aplicada a los sistemas de distribución de agua volumen I.
- ✘ CONAGUA; Subdirección General de Infraestructura Hidroagrícola, Gerencias: de Unidades y Distritos de Riego, "*Terminos de Referencia y Especificaciones Técnicas para el Programa de Instalación de Medidores en Fuentes de Abastecimiento en Unidades y Distritos de Riego*", 2007.
- ✘ Constitución política de los Estados Unidos Mexicanos.
- ✘ D.W. Spitzer Editor, "Flow Measurement", Practical Guides for measurement and control.
- ✘ Echávez Aldape, Gabriel, "Introducción a los modelos hidráulicos de fondo fijo y a la ingeniería experimental", Universidad Nacional Autónoma de México Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología Asociación Mexicana de Hidráulica.
- ✘ Endress + Hauser, "Medición de caudal", 1ra. Edición española 2005.
- ✘ Hanson, B.R. y Schwank, L.J. (1998). Error analysis of flowmeter measurements, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol. 124, N| 5, September/October, ASCE, 248-255.
- ✘ Internacional Estándar Office, "Norma ISO 5167; 1, 2, 3, y 4", C-Medición del gasto - Tuberías cerradas, a- Diferencia de presión.
- ✘ Ley de Aguas Nacionales y su reglamento 2004.
- ✘ Ortiz Medel, Josefina, "Comportamiento del error en medidores de propela con insuficientes tramos rectos", Informe final. Convenio UG/IMTA/HC-0417, Universidad de Guanajuato, septiembre 2005.
- ✘ Pedroza González, Edmundo, "Selección, Diseño y Evaluación de Sistemas de Riego" Tomo II, Medidores de gasto y volumen para pozos profundos. Publicación SEMARNAT; CONAGUA; IMTA.

- ✘ SEMARNAT, “Estadísticas del agua en México” Ed, 2007.
- ✘ Sotelo Ávila, Gilberto, “Hidráulica general” volumen I. Fundamentos Ed. Limusa.
- ✘ Sierra Martínez, Coral, “Estimación del Error en un Medidor de Propela Instalado con Insuficientes Tramos Rectos”, Tesis profesional Universidad de Guanajuato, Facultad de Ingeniería en Geomatica e Hidráulica, 2007.

Consulta digital

- ✘ <http://www.actaris.com/html/products-1537.html>

Página web. Compañía an-altron (construye medidores y sistemas y productos asociados); consultada en agosto y septiembre del 2007.

Pdf's:

- estabilizadores de flujo.
- filtros.

- ✘ <http://news.thomasnet.com/fullstory/450282/954>

Página web. Buscador (conecta industrias); consultada en septiembre del 2007.

- ✘ <http://www.flowconditioner.com/articles>

Página web; consultada en septiembre del 2007.

- ✘ <http://www.jerman.com/kmmeters.html>

Página web, proviene de <http://www.watermeters.com>. Ventas (a cargo de Daniel L. Jerman co; director. Equipos y accesorios); consultada en diciembre del 2007.

- ✘ <http://www.cpacl.com/products/flowc.htm>

Página web. Canada pipeline accesories (compañía fundada en 1997, por Dale y Blaine Sawchuck, construye acondicionador de flujo CPA 50E); consultada en diciembre del 2007.

Pdf's:

- CPA Tech Note; The CPA 50E and Swirl
- Phil Barg, P.Eng. Blaine Sawchuk, P.Eng. Dale Sawchuk, C.E.T Canada Pipeline Accessories Company Ltd; Retrofitting Tube Bundles with the CPA 50E Flow Conditioner – a standards driven issue.
- CPA Tech Note; Liquids, Gases (or Reynolds Number Range).
- API 14.3 Flow Conditioner Performance Test for the CPA 50E Flow Conditioner.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Objetivos de la medición en pozos agrícolas

La medición tiene como objetivo inmediato cuantificar y preparar para el análisis un fenómeno u objeto, mediante el uso de dispositivos y técnicas; pero se mide con intenciones ajenas a la propia adquisición de datos. En cuanto a la medición en pozos agrícolas, se pueden mencionar algunos de los objetivos de ésta, siendo éstos de los más importantes:

- a) Cobro del servicio del agua
- b) Ahorro de energía eléctrica al evitar el abatimiento de los acuíferos
- c) El ejercicio de la autoridad en la entrega del agua
- d) Impulso a los Bancos de Agua
- e) Control de la sobreexplotación de los acuíferos

1.1.1. Cobro por servicio del agua

La Autoridad del Agua en nuestro país no cobra por el derecho al agua, sino por la capacidad de entregarla en la cantidad solicitada. Este costo involucra la infraestructura hidráulica, el personal, los vehículos, los edificios de oficinas, los suministros y todo lo necesario para cumplir el propósito ya descrito. Por lo tanto es indispensable medir para saber cuánta agua se ha entregado a cada usuario y consecuentemente cobrarle lo que corresponda.

1.1.2. Ahorro de energía eléctrica al evitar el abatimiento de los acuíferos

Los usuarios de pozos tiene permitido la extracción de un volumen máximo anual. Dicho volumen está estimado en función de la recarga del acuífero. Para hacer una extracción sustentable de dicho acuífero no se debe extraer más agua que la que entra. Al no medir el agua extraída en cada pozo, se corre el gran riesgo de sobreexplotar el acuífero; hecho que sucede en ocasiones, con la repercusión perjudicial del abatimiento del nivel freático, por lo que aumenta el costo de extracción ya que los equipos de bombeo requieren extraer el agua desde profundidades mayores para entregar el gasto adecuado, lo que requiere mayor potencia y mayor consumo de energía eléctrica. La sobreexplotación tiene muchos y graves riesgos para el medio ambiente, más adelante se abunda sobre esto; pero en este caso solamente se hace referencia al descenso del nivel del agua, peligro en el que se cae fácilmente si no se controla la extracción; y la medición es una acción indispensable para lograr dicho control.

1.1.3. El ejercicio de la autoridad en la entrega del agua

La entrega del agua en la cantidad adecuada es verificada por las mediciones de la autoridad del agua y de los usuarios. La experiencia dice que siempre el usuario tiende a decir que se le entrega menos agua. En esos casos, una medición con calidad apoyará a la autoridad para decir que la cantidad de agua que se entrega es correcta. Este hecho adelante se menciona con más detalle; se enfatiza porque además de medir, se debe medir bien.

1.1.4. Impulso a los Bancos de Agua

En ocasiones el usuario no usa el agua concesionada por imposibilidad de tipo crediticio o de cualquier otra índole y quiere transferir su derecho a otro usuario. Para dichas transferencias de una manera ordenada se ha mantenido la idea de los Bancos de Agua, una entidad similar a los bancos de dinero, donde precisamente el recurso que se guarda, se presta, se recibe, es el agua. Sin la medición del agua, dichos Bancos estarán impedidos para apoyar efectivamente la función de organizador de las transferencias de agua. Si el agua que se maneje en dichas transferencias se cobra, es decir, el usuario receptor del agua paga al usuario emisor, la posible problemática por los desacuerdos en las cantidades de agua pueden derivar en serios conflictos. Supóngase ahora una situación de escasez del recurso, las negociaciones en los Bancos de Agua serán así mismo complicadas y el papel de la medición, será definitivamente sustantiva.

1.1.5. Control de la sobreexplotación de los acuíferos

Como se menciona en el punto 1.1.2, una de las prioridades es la atención de los acuíferos sobreexplotados. La importancia del agua subterránea queda de manifiesto por la magnitud del volumen utilizado, ya que el 37% del volumen total concesionado para usos agrícolas es de origen subterráneo (CNA, 2007). Dada la magnitud del perjuicio en este aspecto, se incluye la siguiente información referente a este gran problema.

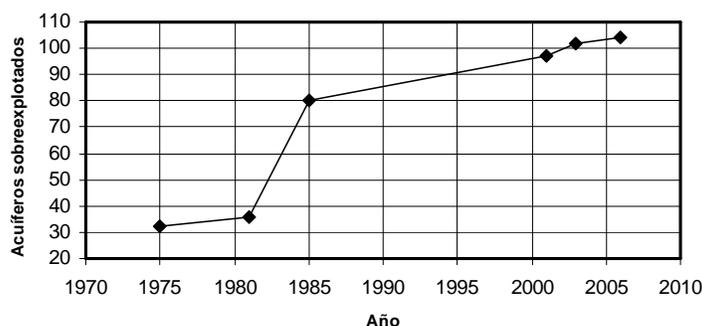


Figura 1.1 Aumento del número de acuíferos sobreexplotados en los últimos 30 años.

El país está dividido en 653 acuíferos, que a partir de la década de los sesenta se han sobreexplotado de manera creciente y alarmante, como se observa en la gráfica de la Figura 1.1. La evolución de la extracción de agua de los acuíferos, no tiene un panorama muy favorable, llegando hasta la intrusión salina en algunos casos. La intrusión salina se entiende como el fenómeno en el que el agua de mar se introduce por el subsuelo hacia el interior del continente, ocasionando la salinización del agua subterránea; esto ocurre cuando la extracción de agua provoca abatimientos del nivel de agua subterránea por debajo del nivel del mar alterando el balance dinámico natural entre el agua de mar y el agua dulce.

El fenómeno de salinización de suelos y aguas subterráneas salobres son factores que afectan las aguas subterráneas; el primero al propiciar la recarga con agua salinizada y es segundo al inducir el arrastre de agua congénita salina. Una idea concisa se genera a partir de la Tabla 1.1 donde se aprecia la distribución de la explotación de los acuíferos en el país.

Tabla 1.1 Acuíferos del país, por Región Hidrológico-Administrativa, 2006

Región Hidrológico Administrativa		Número de Acuíferos			
		Total	Sobreexplotado	Con intrusión marina	Bajo el fenómeno de salinización de suelos y aguas subterráneas salobres
I	Península de Baja California	87	7	9	4
II	Noroeste	63	15	5	0
III	Pacífico Norte	24	1	0	0
IV	Balsas	47	2	0	0
V	Pacífico Sur	34	0	0	0
VI	Río Bravo	100	16	0	4
VII	Cuencas Centrales del Norte	68	24	0	8
VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	127	33	1	0
IX	Golfo Norte	40	2	0	0
X	Golfo Centro	22	0	2	0
XI	Frontera Sur	23	0	0	0
XII	Península de Yucatán	4	0	0	1
XIII	Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala	14	4	0	0
Total		653	104	17	17

Fuente: Conagua. Subdirección General Técnica.

La reserva de agua subterránea se está reduciendo a un ritmo de cerca de 6 mil millones de metros cúbicos por año, si consideramos el fenómeno de salinización que existe en 17 acuíferos, también tenemos agua un deterioro en la calidad del agua. (CONAGUA; *Estadísticas del agua en México, 2007*).

En resumen, los efectos negativos más importantes asociados con sobreexplotación son:

- Desaparición de manantiales, vegetación nativa, humedales, lagos, gasto base de ríos y ecosistemas locales.
- Reducción del gasto de los pozos y afectación en su vida útil.
- Deterioro de la calidad del agua subterránea (intrusión salina).
- Abatimiento del nivel del agua subterránea, lo que ha inducido el incremento de los costos de extracción debido a mayores consumos de energía eléctrica.
- Asentamiento y agrietamiento del terreno.
- Disminución de la rentabilidad de la actividad agrícola.

Queda clara la imperiosa necesidad de medir el agua extraída de pozos agrícolas para tener el control de los volúmenes y evitar la sobreexplotación.

1.2. La obligatoriedad de la medición de pozos

La obligatoriedad de la medición del agua se encuentra sustentada en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos y más especialmente en la Ley de Aguas Nacionales.

En el artículo 27 de la Constitución en materia de agua se menciona que “las aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional son propiedad de la nación y ésta puede autorizar la explotación, el uso o el aprovechamiento a particulares conforme a las leyes mexicanas, mediante concesiones otorgadas por el Ejecutivo Federal, de acuerdo con las reglas y condiciones que establezcan las Leyes. Para lo cual se debe controlar la explotación de los

acuíferos y dar un uso eficiente al recurso incluyendo el cumplimiento de las leyes que por cierto apoyan la medición”.

La Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento 2004, establece lo siguiente: “Cada concesionario tiene derecho a extraer un volumen máximo de agua, para que éste pueda ser otorgado debe cumplir con lo mencionado en el Reglamento”. A continuación se toman algunos textos de dicha Ley con objeto de enfatizar la obligación legal que se tiene en la medición.

TÍTULO CUARTO. Derechos de explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales. Capítulo III. Derechos y obligaciones de los concesionarios o asignatarios; Artículo 29.

Los concesionarios tendrán las siguientes obligaciones, en adición a las demás asentadas en el presente Título:

- Párrafo II. “Instalar dentro de los cuarenta y cinco días siguientes a la recepción del título respectivo por parte del interesado, los medidores de agua respectivos o los demás dispositivos o procedimientos de medición directa o indirecta que señalen las disposiciones legales y reglamentarias aplicables, así como las Normas Oficiales Mexicanas”.
- Párrafo III. “Conservar y mantener en buen estado de operación los medidores u otros dispositivos de medición de volumen de agua explotada, usada u aprovechada”.
- Párrafo VIII. “Permitir al personal de “la Autoridad del Agua” o, en su caso, de “la Procuraduría”, según compete y conforme a esta ley y sus reglamentos, la inspección de las obras hidráulicas para explotar, usar o aprovechar las aguas nacionales, incluyendo la perforación y alumbramiento de aguas del subsuelo; los bienes nacionales a su cargo; la perforación y alumbramiento de aguas nacionales del subsuelo; y permitir la lectura y verificación del funcionamiento y precisión de los medidores, y las demás actividades que se requieran para comprobar el cumplimiento de lo dispuesto en esta Ley y sus disposiciones reglamentarias, normas y títulos de concesión, de asignación o permiso de descarga”;
- Párrafo XI. “No explotar, usar, aprovechar o descargar volúmenes mayores a los autorizados en los títulos de concesión”.
- Párrafo XII. “Permitir a “la Autoridad del Agua” con cargo al concesionario, asignatario o permisionario y con carácter de crédito fiscal para su cobro, la instalación de dispositivos para la medición del agua explotada, usada o aprovechada, en el caso de que por si mismos no la realicen, sin menoscabo de la aplicación de las sanciones previstas en esta Ley sus respectivos reglamentos”.
- Párrafo XIII. “Dar aviso inmediato por escrito a “la Autoridad del Agua” en caso de que los dispositivos de medición dejen de funcionar, debiendo el concesionario o asignatario reparar o en su caso remplazar dichos dispositivos dentro del plazo de 30 días naturales”.

También en el TÍTULO DÉCIMO. Infracciones, Sanciones y Recursos. Capítulo I Infracciones y Sanciones Administrativas; Artículo 119; se encuentra lo siguiente:

- Párrafo VII. “No instalar, no conservar, no reparar o no sustituir, los dispositivos necesarios para el registro de la medición de la cantidad y calidad de las aguas, en los términos que establece esta Ley, su reglamento y demás disposiciones aplicables, o el modificar o alterar las instalaciones y equipos para medir los volúmenes de agua explotados, usados o aprovechados, sin permiso correspondiente, incluyendo aquellos que en ejercicio de sus facultades hubiere instalado “la Autoridad del Agua””.

- Párrafo X. “Impedir u obstaculizar las visitas, inspecciones, reconocimientos, verificaciones y fiscalizaciones que realice “la Autoridad del Agua” en los términos de esta Ley y sus reglamentos”.
- Párrafo XI. “No entregar los datos requeridos por “la Autoridad del Agua” o “la Procuraduría”, según el caso, para verificar el cumplimiento de las disposiciones contenidas en esta Ley y sus títulos de concesión, asignación o permiso de descarga, así como en otros ordenamientos jurídicos”.

Con esto, se concluye que por disposición legal “se pide medir” los volúmenes de agua explotados, usados o aprovechados.

2. ANTECEDENTES

2.1. Programa gubernamental para el mejoramiento de la medición

El Gobierno Federal ha implantado un ambicioso proyecto de mejoramiento de la medición en pozos agrícolas (“Mejoramiento de la medición en presas de almacenamiento y pozos agrícolas”); dicho mejoramiento se basa en los siguientes puntos:

- a) Censo de pozos agrícolas
- b) Compra de medidores de calidad
- c) Correcta colocación de los medidores
- d) Recopilación de información de medición

En el censo de pozos agrícolas se hace un levantamiento de información diversa de cada pozo con objeto de contar con datos para seleccionar el tipo de medidor más adecuado y para saber si se deben hacer modificaciones al tren de descarga para que el medidor quede bien colocado. También se hicieron grandes esfuerzos para comprar medidores de calidad que cumplieran con estándares nacionales e internacionales de calidad en su producción y funcionamiento.

Otra actividad fue la intención de colocar correctamente los medidores ya que un medidor de buena calidad no medirá adecuadamente si no se coloca correctamente. Por último el programa pretende realizar la recopilación de la información de medición en varias modalidades, ya sea en visitas periódicas a los medidores para tomar las lecturas o bien, el envío de la información por medio las tecnologías de comunicación existentes.

2.1.1. Propuesta de uso de acondicionadores en la medición

Una de las principales preocupaciones del grupo de trabajo que diseñó el programa del proyecto de mejoramiento, fue que los medidores se colocaran correctamente. Para ello se deben cumplir dos requisitos primordiales: (a) que el tubo se encuentre totalmente lleno y (b) que el flujo escurra aproximadamente paralelo a las paredes del tubo. El primer requisito es necesario porque el gasto es calculado multiplicando el área hidráulica por la velocidad media en la sección donde se coloca el medidor. Dicha área hidráulica se considera invariablemente el área de la circunferencia definida por el tubo; y si el tubo no está lleno, se tendrá un importante error en el cálculo del gasto. El otro requisito de flujo paralelo, se debe respetar porque la velocidad media utilizada para el cálculo del gasto considera, entre otras implicaciones, que la dirección de dicha velocidad sea perpendicular a la sección transversal. El escurrimiento del agua en los trenes de descarga no siempre presenta esta característica debido a la presencia de accesorios tales como codos y válvulas que alteran el flujo y provocan un escurrimiento irregular.

Los fabricantes de medidores recomiendan que éstos se coloquen a cierta distancia de los accesorios para que el flujo naturalmente escurra paralelo después de pasar por los disturbios. Normalmente se recomiendan de 5 a 10 diámetros de tramo recto antes del medidor. Si esta recomendación no se respeta, no se asegura que el error de medición se mantenga en valores bajos.

Ante esta situación, el grupo de trabajo decidió proponer el uso de acondicionadores de flujo en aquellos casos donde no se lograra la longitud de tramo recto suficiente, hecho que en el caso de pozos agrícolas es muy común ya que en numerosas ocasiones no se dejan tramos rectos suficientes para colocar correctamente los medidores.



Figura 2.1 Tres casos de tramo recto insuficiente para la correcta colocación de un medidor.

Todos los requisitos que debieran cumplirse para lograr el pretendido mejoramiento en la medición se plasmaron en un documento denominado “Terminos de Referencia y Especificaciones Técnicas para el programa de Instalación de Medidores en Fuentes de Abastecimiento en Unidades y Distritos de Riego” (CONAGUA, 2007). En las primeras versiones de dichos Términos, el uso del acondicionador de flujo, mencionado en dicho documento como perfilador de flujo, era obligatorio para todos los casos. En versiones posteriores, dicha recomendación se modificó indicándose que “el perfilador de flujo se instalará en casos especiales cuando por las características del tren de descarga se requiera”; y haciendo la recomendación de que “el perfilador sea colocado únicamente cuando el número de tramos rectos aguas arriba especificado por la marca del medidor no se ajuste”. Nótese que el término “acondicionador” es usado para describir ambos terminos, orientadores de flujo y acondicionadores de flujo como lo indica la norma ISO 5167; en todas sus partes, un orientador “orienta” el flujo con respecto a una dirección mientras un acondicionador trata de dar calidad al perfil de flujo, diferencias mostradas en el capítulo 4.

En los términos de dicho documento, no se definió qué tipo de acondicionador se debería usar y solamente se incluyó la figura siguiente de la cual se puede suponer que el acondicionar deberá ser de placa además de que se le agregará un tramo recto.

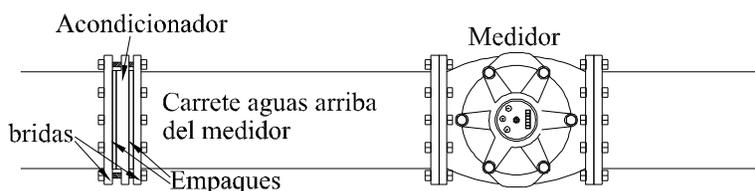


Figura 2.2 Localización del perfilador.

Dicha recomendación se hizo sin tener ninguna evidencia del beneficio de los acondicionadores y tampoco se dieron indicaciones de dónde colocarlo; por ejemplo, junto al codo aguas arriba o junto al medidor, o si debiera colocarse algún tramo recto corto antes, etc. El acondicionador que se comenzó a utilizar tiene un costo muy parecido al del medidor, por lo que muchos usuarios preguntaron sobre el beneficio al usar los acondicionadores. Se hizo evidente la necesidad de investigar sobre el desempeño de los acondicionadores de flujo en trenes de descarga con insuficiente longitud de tramos rectos.

2.2. Uso de los acondicionadores de flujo en gas

Una de las primeras acciones para investigar sobre el uso y beneficio de los acondicionadores fue la investigación bibliográfica. Lo primero que saltó a la vista fue la gran cantidad de referencias relacionadas con el uso de acondicionadores para gas. No se encontraron trabajos de medición en agua.

En éste caso se encontró que los remolinos que se forman en el gas, dentro de la tubería que lo transporta (www.cpacl.com), son la causa de los errores de medición. Su efecto depende del diseño del medidor y de la fuerza del remolino, en términos generales los medidores miden menos gas del que realmente circula. En el gas, un remolino ocasionado por algún codo, alguna mezcladora o alguna compresora puede persistir por más o menos 200 diámetros, afectando de manera notoria las mediciones. El gas natural comúnmente se mide con el medidor de orificio. Diversas investigaciones han demostrado mejoría en la medición por el uso de los acondicionadores de flujo.

La investigación relacionada con los acondicionadores se ha realizado por parte de los fabricantes que están interesados en difundir y mostrar la calidad de sus productos. Un ejemplo es la *Canada Pipeline Accesories* que ha contribuido bastante con sus múltiples investigaciones; principalmente con el acondicionador de flujo CPA 50E que consiste en una placa con 25 perforaciones distribuidas como se muestra en la figura, según el fabricante “es la solución más simple y tecnológicamente avanzada por su capacidad para acondicionar el flujo”. Este acondicionador ha sido evaluado extensivamente, diseñado y recomendado para aplicaciones en gas natural y con “posibles usos en otros gases y líquidos”.

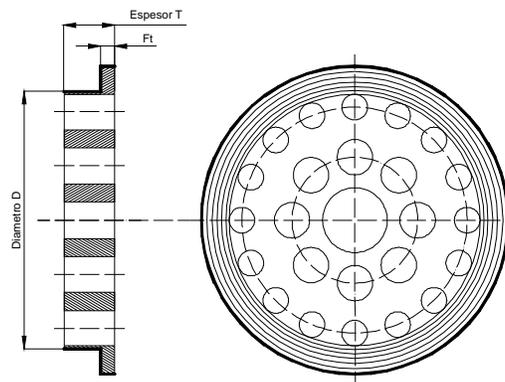


Figura 2.3 Acondicionador de flujo CPA 50E.

Muchos acondicionadores de flujo han sido evaluados por el *Gas Research Institute* con propósito de compararlos entre ellos y su desempeño. También han sido desarrollados estudios por la *Savat Measurement Corporation USA*, además de la ya mencionada *Canada Pipeline Accesories*. Estos estudios muestran la eficiencia del uso de acondicionadores en gas, recomendando ampliamente su uso para este fluido, así como posibles aplicaciones para otros fluidos, por ejemplo el agua.

2.3. Medidores de uso frecuente en pozos agrícolas

Se considera pertinente incluir una pequeña descripción de los medidores que son factibles para su uso en pozos agrícolas. Ello con objeto de conocer brevemente sus partes principales y formas de funcionamiento, ya que se trata precisamente de mejorar la medición que finalmente realizan los medidores y no los acondicionadores, además se uso uno de los medidores que se describen a continuación.

2.3.1. Elementos primarios en medidores de propela, turbina y electromagnéticos

Todos los medidores tienen tres partes básicas: (a) elemento primario; (b) transmisión y (c) registro como se puede apreciar en la Figura 2.4. Existen diversos tipos de medidores; las diferencias entre cada uno tienen que ver con varios e importantes aspectos.

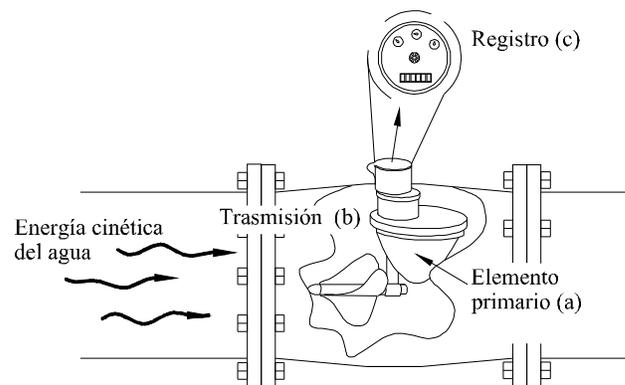


Figura 2.4 Elementos principales de un medidor.

El elemento primario es la parte del medidor que recibe información directamente del agua y normalmente el tipo de medidor se define por el tipo de elemento primario. La Figura 2.5, muestra una clasificación de elementos primarios. Existen algunos más, pero no son tan conocidos, como los másticos o los de tipo Vortex. Un tipo muy usual es el volumétrico pero es para tuberías pequeñas, prácticamente inexistentes en pozos agrícolas.

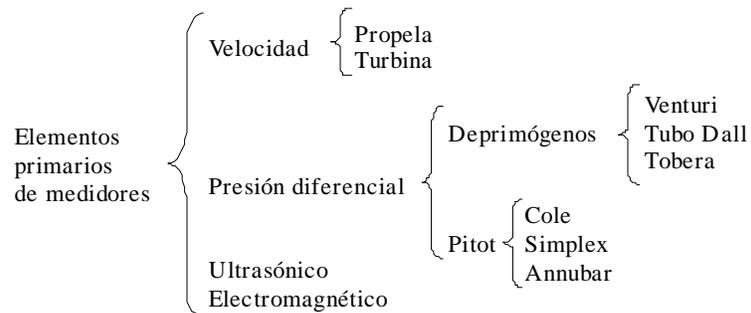


Figura 2.5 Clasificación simplificada de elementos primarios de medidores en conductos presurizados.

Cualquier tipo de elemento primario es útil, sin embargo algunos presentan mayores ventajas que otros. Los de presión diferencial son usados en el sector urbano e industrial. Los más usados en el sector agrícola son los de propela, en un porcentaje muy alto. En un estudio realizado en 4300 pozos se encontró que de éstos, 2740 contaban con medidor, siendo 2581 de propela (94.2%) y

159 de placa de orificio (5.8%) (Pedroza et al 2001). Los ultrasónicos son caros pero muy útiles como medidores portátiles. Los electromagnéticos también se pueden utilizar y recientemente han aparecido modelos con batería interna que los hacen muy atractivos por sus ventajas y precio.

La propela es básicamente un tubo llamado rotor y aspas o álabes montados sobre este. Los álabes tienen un desarrollo helicoidal sobre el rotor, comúnmente el número de álabes son tres y el rotor gira sobre un eje apoyado en un solo lado. El agua impacta a los álabes de manera diagonal obligándolos a girar.

La turbina es esencialmente lo mismo que una propela, en cuanto a que cuenta con aspas o álabes montados en un rotor. Sin embargo, el rotor es corto y tiene más álabes, entre 8 y 14. Los álabes también son helicoidales pero al ser corto el rotor, su desarrollo prácticamente no es notorio a la vista. A diferencia de la propela cuyo rotor gira sobre un apoyo, el rotor de la turbina gira sobre un eje apoyado en dos puntos. También reciben el choque del agua en forma inclinada.

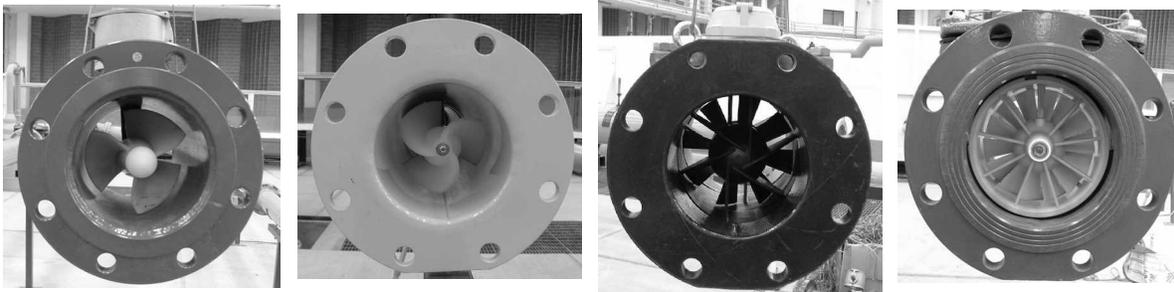


Figura 2.6 Diferentes propelas y turbinas.

Estos dos tipos de elementos primarios son los más comunes y el de turbina es más usual en el sector urbano industrial. Cualquier dispositivo que gire al recibir el agua es útil como elemento primario de velocidad, de aquí que existan otros elementos primarios tales como las paletas y las hélices. El elemento primario de un medidor electromagnético consiste en los electrodos colocados en extremos opuestos de la tubería.

2.3.2. Transmisión, registro y sujeción de los medidores

La transmisión es el elemento que recibe información del elemento primario y lo transmite al registro. En los medidores de turbina y propela, la transmisión comienza desde el eje donde giran los rotores apoyados en baleros o bujes. El tipo más usual de transmisión es el magnético. Hasta hace poco también se usaban transmisiones mecánicas, pero eran muy susceptibles a que la humedad pasara al registro. Las componentes más importantes de la transmisión son el eje, los engranes y un imán. Puede considerarse que la transmisión tiene dos cámaras, una húmeda y otra seca, separadas herméticamente. La transmisión del giro se pasa de una cámara a otra por medio de imanes. Además de la imprescindible función de transmitir el giro de la propela o turbina al registro, la transmisión cumple labores de acondicionador de los giros, por ejemplo, la turbina o propela giran a 500 vueltas por minuto y la transmisión las convierte a cinco por medio de engranes. Esto alarga la vida útil de la transmisión y permite un manejo más simple de los giros en el registro. Cada marca de medidor tiene transmisiones diferentes. En los medidores electromagnéticos, la transmisión puede considerarse como el cable que conecta los electrodos con la unidad electrónica.

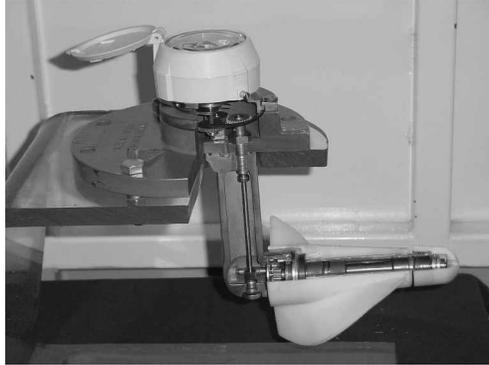


Figura 2.7 Transmisión y otras partes de un medidor de propela (Cortesía de Medidores Azteca).

Al registro también se le puede llamar presentador de datos, carátula, pantalla, etc; recibe los giros de la turbina o propela por medio el transmisor y convierte los giros a lecturas. Para esto se tienen dos formas comunes de hacerlo: los registros mecánicos y los electrónicos. Los mecánicos reciben los giros de la transmisión en unos engranes que a su vez, mueven discos marcados con números donde se indica el volumen y/o el gasto. Los registros mecánicos pueden variar en la presentación de los resultados, algunos solamente muestran el volumen y otros tienen, además, una aguja para mostrar el gasto. Además se pueden presentar los datos en diferentes % de unidades (litros, galones, metros cúbicos, segundos, minutos, horas, etc.). El número de dígitos también puede cambiar, algunos tienen cinco y otros tienen 6. Es importante determinar la cantidad de dígitos que se requieren en la medición del volumen, antes de decidir por algún tipo de registro. Algunos registros cambian o inician en “ceros” cada cien mil unidades de gasto. Tienen cinco dígitos, por lo tanto solamente alcanzan a acumular 99,999 unidades de volumen. En cambio se tienen registros con seis dígitos, por lo que reiniciarán cada millón de unidades de volumen; el último registro será de 999,999 antes de regresar a cero, dicho en forma matemática, registran, para n dígitos, un total de $10^n - 1$ unidades.

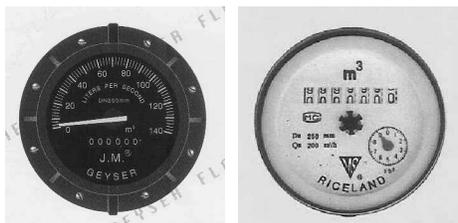


Figura 2.8 Registros mecánicos.

El otro tipo de registro es totalmente electrónico y recibe la información generalmente de un imán. La información ya es una corriente eléctrica y se maneja por medio de tarjetas o circuitos electrónicos que presentan la información en pantallas que pueden ser de cristal líquido. Esto significa que se requiere energía, suministrada en la mayoría de los casos con baterías de larga duración de cadmio, litio o parecidas. Estos registros son más versátiles, se puede cambiar las unidades y en la mayoría de los casos presentan tanto gasto como volumen.



Figura 2.9 Registro electrónico de un medidor de propela.

El registro de los medidores electromagnéticos es un componente electrónico que recibe la señal que captan los electrodos. Este componente le da un tratamiento digital a la información y la presenta en la pantalla que tiene para ese fin.

La manera en cómo se sujetan las partes del medidor al tubo también es diferente, no solamente por la marca del medidor, también una sola marca puede presentar diferentes formas de sujeción. Los medidores de turbina no presentan opciones. Siempre vienen en un carrete y el registro viene montado en una placa encima de dicho carrete. El elemento primario y la transmisión vienen sujetos al registro formando un solo conjunto. Esto es muy útil para fines de mantenimiento.

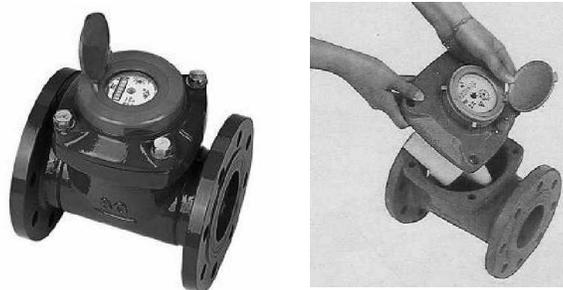
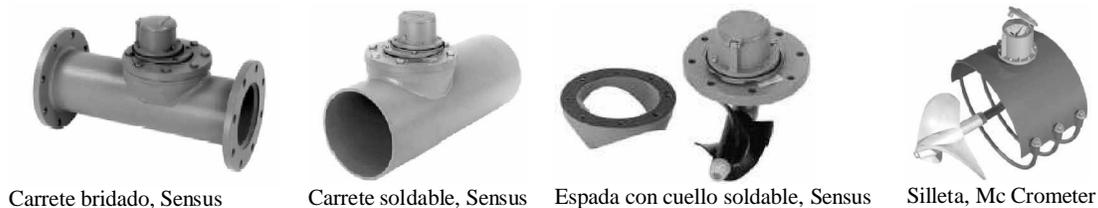


Figura 2.10 Medidores de turbina, FMT-Dorot y Arad.

Los medidores de propela sí presentan diversas formas de sujeción, las más comunes son: carrete soldable; carrete bridado; espada con cuello soldable y silleta.



Carrete bridado, Sensus

Carrete soldable, Sensus

Espada con cuello soldable, Sensus

Silleta, Mc Crometer

Figura 2.11 Diferentes tipos de sujeción en medidores de propela.

Los medidores de carrete bridado y carrete soldable son muy parecidos; con la diferencia obvia de que el primero se une con bridas y el segundo se solda. El medidor de espada con cuello soldable, se solda sobre un orificio perforado en la tubería. Por último, el medidor de silleta se coloca en la tubería por medio de un orificio y se sujeta con abrazaderas. De los tipos aquí mencionados el más usual, y con mucho, es el de carrete bridado. De hecho, muchos fabricantes de medidores de propela únicamente presentan este tipo de sujeción.

La sujeción más común en los medidores electromagnéticos es el carrete. También se presenta un modelo de medidor electromagnético de inserción, sin embargo, este tipo de medidores no es recomendable para pozos agrícolas puesto que requieren de mayores tramos rectos.

2.4. Comportamiento de medidores ante la ausencia e insuficiencia de tramos rectos

A continuación se describen algunos experimentos realizados por Hanson (*Hanson, 1998*); y otros experimentos realizados en el laboratorio de hidráulica de la Universidad de Guanajuato. Dichos experimentos informan sobre el comportamiento del error de medición de medidores de turbina, propela y electromagnéticos ante diferentes longitudes de tramos rectos antes y después del medidor.

Estos experimentos están estrechamente relacionados con el uso de acondicionadores de flujo, ya que se tiene la idea, ampliamente difundida como ya se a notado, de que los medidores requieren de tramos rectos, principalmente aguas arriba, antes de éstos, y después de cualquier accesorio que provoque disturbios y turbulencia en la corriente que escurre por ellos, para que dicha turbulencia se disminuya y la corriente sea paralela al pasar por los medidores, requisito indispensable para una correcta medición.

La pregunta que se intentó constestar con los experimentos fue: ¿cuánto afecta a los medidores el hecho de tener nada o un tramo corto recto antes de ellos? Pregunta bastante pertinente ya que puede resultar que el perjuicio en la medición no sea tan grande como para requerirse de acondicionadores de flujo que me mejoren la medición ante la ausencia o insuficiencia de tramos rectos.

2.4.1. Los experimentos de Hanson

En pruebas de laboratorio Hanson (*Hanson, 1998*) encontró que los medidores más afectados por la turbulencia son los que miden la velocidad puntualmente. Por el contrario, los menos afectados son los que de alguna manera promedian la medición de la velocidad (turbina y propela, por ejemplo). Para los medidores de tipo propela, Hanson detectó que los tramos rectos insuficientes le afectan poco cuando el accesorio aguas arriba es un codo de 90° o una válvula check. En cambio si el accesorio es una válvula de mariposa o el conjunto de codo con válvula de mariposa, se tienen errores muy grandes como se aprecia en la Tabla 2.1 a continuación, se presentan los resultados para este caso, considerando que las pruebas se realizaron en tubos de 8 pulgadas de diámetro.

Tabla 2.1 Error en un medidor de propela colocado después de diferentes accesorios.

Longitud del tramo recto aguas arriba del medidor		Tipo de accesorio							
		Codo 90°		Válvula Check		Válvula de mariposa		Codo 90° y válvula de mariposa	
Diámetros	Metros	Gasto	Error	Gasto	Error	Gasto	Error	Gasto	Error
2	0.41	29.2	3.5	29.7	-1.1	24.8	14.2	23.2	28.0
5	1.02	29.5	1.7	---	---	25.0	8.6	24.2	28.9
10	2.03	29.2	3.9	---	---	24.7	7.9	26.5	21.9
15	3.05	30.2	0.5	---	---	24.7	7.9	23.5	20.2
2	0.41	45.5	1.2	46.3	3.8	42.8	15.1	55.3	11.6
5	1.02	45.7	0.7	---	---	43.2	8.1	53.0	16.3
10	2.03	43.7	6.3	---	---	43.2	7.4	56.8	6.7
15	3.05	46.2	0.0	---	---	40.8	10.5	54.8	9.8
2	0.41	56.7	0.6	61.2	0.9	81.3	2.4	73.0	0.2
5	1.02	57.3	0.7	---	---	80.3	2.8	75.0	-1.7
10	2.03	57.8	0.2	---	---	81.0	2.8	75.2	-0.4
15	3.05	58.3	-1.5	---	---	80.8	3.6	---	---

Gasto en l/s y error en porcentaje

(Fuente Hanson, 1998)

En el mismo trabajo de Hanson (Hanson, 1998), se presentan los errores para medidores que no promedian la velocidad, ya que la miden de manera puntual, particularmente los medidores de paletas y un medidor de calibración de velocidad, parecido al tubo Pitot. Sin embargo, el uso de medidores puntuales no es recomendable en pozos agrícolas, ya que requieren más tramos rectos (normalmente los fabricantes recomiendan 10 diámetros de tramo recto aguas arriba y cinco aguas abajo) y como ya se mencionó, es bastante común que los trenes de descarga de pozos agrícolas tengan serias limitaciones de espacio; inclusive, se tiene gran cantidad de pozos con problemas para lograr los tramos rectos de cinco y tres diámetros aguas arriba y abajo, respectivamente.

2.4.2. Experimentos en medidores de turbina, propela y electromagnético en la Univesidad de Guanajuato

En la Univesidad de Guanajuato, se construyó un módulo experimental en el Laboratorio de Hidráulica. Dicho módulo está integrado por un sistema de alimentación, la línea de conducción, el tramo de pruebas y el tanque volumétrico (Sierra, 2007). El tramo de pruebas consiste en una tubería de fierro galvanizado de 4" de diámetro y 34.5 m de longitud. Está delimitado por dos codos de 90° en ambos extremos del tramo. Esta característica de usar codos como perturbadores del flujo, y no otros accesorios, se justifica con el hecho de que en los pozos agrícolas se usan bombas verticales y sumergibles, por lo tanto, en ambos casos el accesorio aguas arriba del medidor siempre será un codo. El codo de aguas abajo del tramo de pruebas se utilizó por simplicidad. El tanque volumétrico es de concreto armado y sección rectangular. Tiene una capacidad de 26 m³ y está provisto de una escala graduada que permite conocer el ascenso en el nivel del mismo. El tanque volumétrico es utilizado como medidor de referencia. El tramo de pruebas y el tanque volumétrico se conectan entre sí mediante un cuello de ganso, cuya función es asegurar el flujo a tubo lleno en el tramo de pruebas.

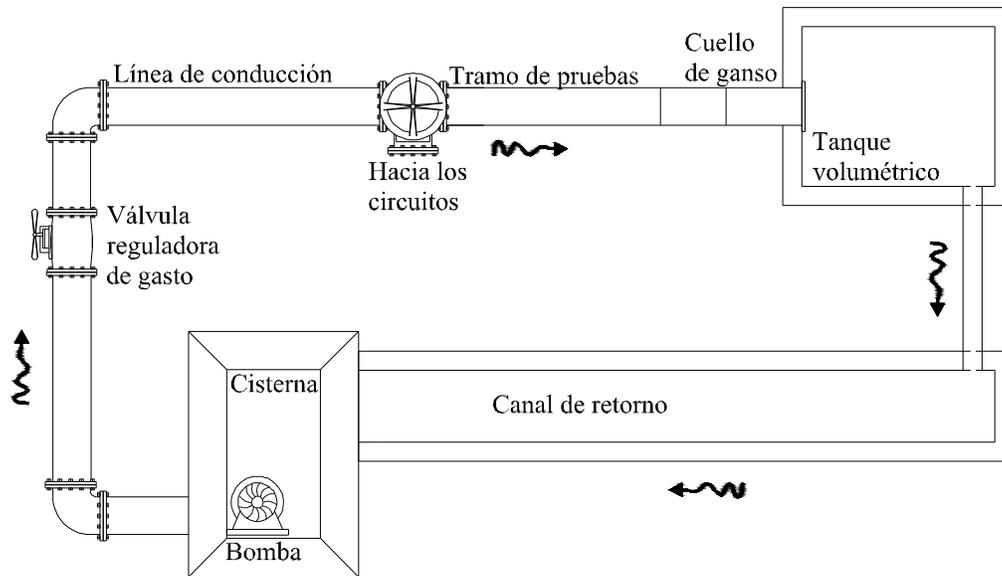


Figura 2.12 Esquema del módulo experimental de la Universidad de Guanajuato.



Figura 2.13 Vista del tramo de pruebas.

La longitud del tramo de pruebas estuvo dada por la siguiente ecuación determinada de acuerdo al módulo experimental:

$$LT = (A + B)D + L \quad (1)$$

Donde:

- LT ; Longitud del tramo de pruebas
- A ; Número de diámetros de tramo recto aguas arriba del medidor
- B ; Número de diámetros de tramo recto aguas abajo del medidor
- D ; Diámetro del tubo
- L ; Longitud del carrete del medidor

Con $A=5$, $B=3$, $D=4''$ y $L=10''$; la longitud del tramo de pruebas resultó ser:

$$LT = (5 + 3)4'' + 10'' = 42''$$

El primer experimento se realizó con un medidor de turbina. Las pruebas se diseñaron haciendo variar la colocación del medidor en el tramo de pruebas. Se inició colocando inicialmente el medidor junto al codo de aguas arriba (Condición inicial) y se terminó con el medidor colocado junto al codo de aguas abajo (Condición final). En la tabla que sigue a estos arreglos se presenta la colocación del medidor para cada prueba.

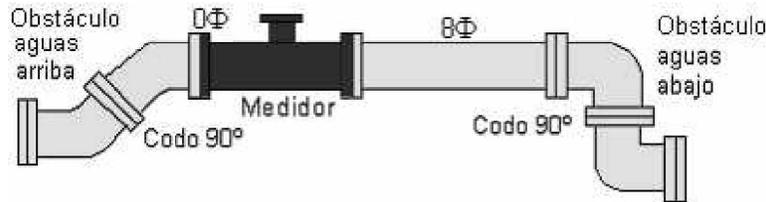


Figura 2.14 Condición inicial, sin tramo recto aguas arriba y tramo recto de ocho diámetros aguas abajo del medidor.

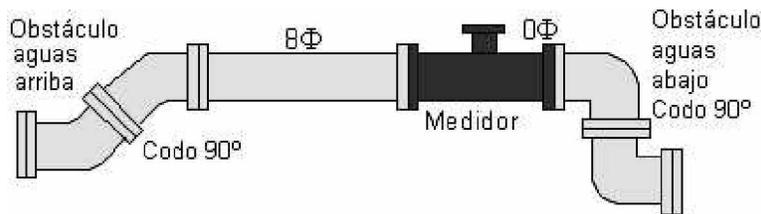


Figura 2.15 Condición final, tramo recto de ocho diámetros aguas arriba y sin tramo recto aguas abajo del medidor.

Tabla 2.2 Colocación del medidor de turbina para cada prueba.

Número de la prueba	Número de diámetros del tramo aguas arriba del medidor	Número de diámetros del tramo aguas abajo del medidor
1	0	8
2	1	7
3	2	6
4	3	5
5	4	4
6	5	3
7	6	2
8	7	1
9	8	0

Se llevaron a cabo las nueve pruebas programadas en la Tabla 2.2 Se establecieron 5 diferentes gastos en cada uno, tratando que los valores se mantuvieran lo más cerca posible de 10, 15, 20 y 25 l/s, respectivamente, resultando 45 experimentos en total. Las pruebas se realizaron de la siguiente manera: el medidor de turbina no presenta el gasto, solamente presenta el volumen, por lo tanto, se midió el tiempo en que circulaban 2 m^3 por el medidor y se estimaba el gasto. Este mismo volumen fue utilizado para estimar el gasto en el tanque volumétrico. Este procedimiento se repitió 20 veces y el gasto utilizado para realizar las comparaciones fue el promedio de las 20 lecturas, tanto en el medidor como en el tanque; y esto se hizo para cada uno de los 5 gastos.

El porcentaje de error se calculó considerando como valor convencionalmente verdadero el gasto estimado con el tanque volumétrico, se utilizó la siguiente ecuación:

$$E = 100(M - T)/T \quad (2)$$

Donde E , es el porcentaje de error de medición; M , es el gasto registrado en el medidor, en l/s y T , es el gasto en el tanque volumétrico, en l/s.

Con objeto de comparar los resultados se agruparon los resultados por gastos, pero dichos gastos no fueron valores cerrados de 10, 15, 20 o 25 l/s, sino valores cercanos a los mismos.

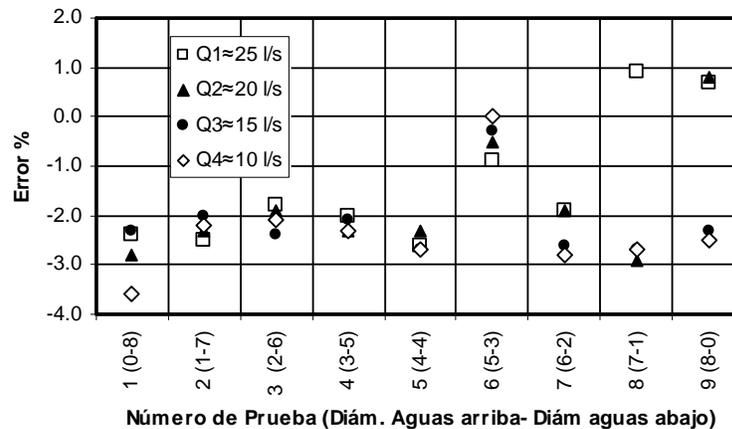


Figura 2.16 Desempeño de un medidor de turbina con diferentes tramos rectos.

Como puede apreciarse en la Figura 2.16 todos los valores se mantienen en una banda de variación que va desde un error negativo de tres por ciento hasta un valor positivo de uno por ciento; solamente un valor del error es mayor (3.6 %), y se presenta en la prueba número 1, con cero diámetros aguas arriba y 8 aguas abajo y un gasto de 9.074 l/s. El error expresado en litros por segundo en ningún caso es mayor a uno. Los mejores resultados se presentaron para los tramos rectos requeridos por el fabricante con cinco y tres diámetros, aguas arriba y aguas abajo, respectivamente.

Resulta interesante que existe la creencia de suponer que mientras más tramos rectos aguas arriba se tengan, mejores resultados se tendrán. Lo cual queda rebatido al menos para estas pruebas, al observar que el desempeño del medidor es mejor cuando se tiene la combinación de cinco diámetros de tramo recto aguas arriba y tres aguas abajo, en cualquier otra combinación de tramos rectos el medidor no presenta mejor desempeño.

En el mismo módulo experimental anterior se realizó otra serie de experimentos con un medidor de propela y con uno electromagnético; bajo idénticas circunstancias que para el medidor de turbina (Sierra, 2007). En la gráfica de la Figura 2.17 se observa como se repite el resultado ya encontrado con el medidor de turbina; es decir, con cinco diámetros antes y tres después, el medidor presenta su mejor desempeño con errores menores al uno por ciento en todos los gastos probados. Cabe mencionar que la norma mexicana correspondiente indica que el máximo error aceptable en el campo superior es de 2%. Comparativamente con los medidores de turbina y electromagnético, en los experimentos realizados, al medidor de propela le afectan menos la insuficiencia de tramo recto antes del mismo.

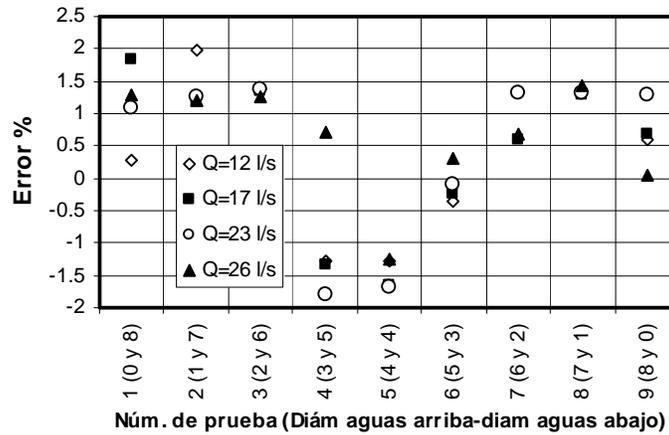


Figura 2.17 Desempeño de un medidor de propela con diferentes tramos rectos.

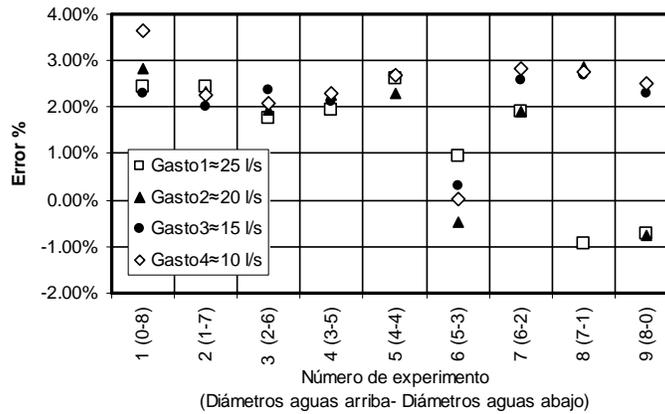


Figura 2.18 Desempeño de un medidor electromagnético con diferentes tramos rectos.

Un aspecto peculiar en las pruebas del medidor electromagnético, es el hecho de que presenta su mejor desempeño en la prueba número 6, con 5 diámetros de tramo recto aguas arriba y tres aguas abajo; el mismo caso que para los medidores de propela y turbina. Esta situación contrasta con la recomendación de los fabricantes de medidores magnéticos en el sentido de recomendar tres diámetros de tramos rectos aguas arriba y uno aguas abajo. Como puede notarse en esta situación que corresponde a la prueba número cuatro en la que se tiene un tramo recto aguas arriba de tres diámetros, pero el error es mayor al 2%.

Por supuesto que estos resultados no pueden extrapolarse a otras condiciones; por ejemplo, si se tuvieran diámetros diferentes o si se tienen otros dispositivos como válvulas de mariposa o de compuerta.

2.4.3. Experimentos de Hanson con orientadores de flujo

Los orientadores, como su nombre lo indica, “orientan” el flujo para que escurra paralelamente a la tubería y con ello se mejore la medición. Hanson (Hanson, 1989) no recomienda la sustitución de tramos rectos por orientadores. Algunos fabricantes mencionan mejoras en la medición cuando

se usan orientadores (<http://www.jerman.com/knmmeters.html>); sin embargo, ninguno presenta recomendaciones cuantitativas ni arreglos específicos ante insuficientes tramos rectos. Se presentan enseguida resultados en un medidor de propela, colocado en un tubo de 8 pulgadas de PVC, con orientadores ubicados un diámetro después de un codo de 90°, en un arreglo de seis placas de 89 mm de ancho por 76 mm de largo, colocadas radialmente en el tubo. Los orientadores se pusieron a 2 diámetros aguas arriba del medidor (Hanson, 1998).

Tabla 2.3 Efecto de orientadores sobre el error de medición.

Sin orientador		Con seis orientadores	
Gasto	Error	Gasto	Error
29.2	3.5	30.0	2.9
45.5	1.2	48.0	3.4
56.7	0.6	60.8	3.6

Gasto en l/s y error en porcentaje

Para el gasto más bajo el arreglo de orientadores sí disminuye el error, pero contrariamente a lo esperado, en los otros casos, para gastos más altos, el error es mayor cuando se tienen orientadores.

2.4.4. Conclusión de los experimentos de Hanson y de la Universidad de Guanajuato

Considerando que este trabajo se relaciona con el comportamiento de los acondicionadores de flujo ante circunstancias desfavorables para la medición como lo es la ausencia o insuficiencia de tramos rectos aguas arriba del medidor, enfocadas en mejorar la medición; debe observarse con atención el resultado de los experimentos realizados por Hanson y por personal de la Universidad de Guanajuato.

Es notable que no se rebasa el valor de 4% de error en la mayoría de los casos; únicamente se tiene un error de 6.3% en los experimentos de Hanson Tabla 2.3, error que no se considera representativo por que resulta poco creíble si se compara con los demás.

Se enfatiza que los resultados sólo valen para las circunstancias propias de cada experimento y no puede afirmarse que eso sucederá siempre. Una de las características particulares que más se deben considerar es el diámetro de los tubos en cada uno de los experimentos. En el experimento de Hanson se utilizó un tubo de 8 pulgadas de diámetro; y en los experimentos de la Universidad de Guanajuato, se usó un tubo de 4 pulgadas de diámetro. Otra peculiaridad importante es el tipo de accesorio colocado aguas arriba de los medidores para perturbar el flujo, en ambos casos se usaron codos de 90°. Es pertinente la observación ya que no es posible afirmar que se tendrán errores de la misma magnitud cuando se tengan diámetros diferentes y el accesorio que provoca los disturbios es un codo.

En virtud de la aclaración anterior, sería muy audaz afirmar la imposibilidad de acondicionar para mejorar una situación que inicialmente no es grave; pero si es conveniente dudar del desempeño de un acondicionador en el sentido de que si se tiene un error máximo de 4% lo disminuya; y será razonable la posición de exigir pruebas a quien afirme que el acondicionador mejorará la medición en ausencia o insuficiencia de tramos rectos.

3. PLANTEAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA Y OBJETIVO DE LA TESIS

3.1. Problemática

La medición debe realizarse por cuestiones legales, la Constitución de nuestro país y la Ley de Aguas Nacionales así lo establecen. El ordenamiento legal de medir tiene, a su vez, origen en el ordenamiento y uso sustentable del agua como recurso. Se debe medir en muchos ámbitos para responder a las intenciones de uso sustentable y como atención a los ordenamientos legales. En el ámbito de la medición en pozos agrícolas es importante medir por razones específicas, entre las que se puede mencionar la disminución y posterior reconversión de la sobreexplotación de los acuíferos mexicanos. En resumen, se debe medir para apoyar el uso sustentable del recurso y además, porque de no hacerlo significa un incumplimiento de la Ley.

Sin embargo, no basta medir, como ya mencionó, adicionalmente, se debe medir bien; y para medir bien en pozos se deben cumplir inevitablemente dos requisitos: (a) tubo lleno en la sección del medidor y (b) tramo recto de tubería, sin aditamentos ni accesorios que alteren el flujo, tanto aguas arriba del medidor, como aguas abajo.

El segundo requisito es difícil de cumplir en innumerables ocasiones, en el caso de pozos agrícolas, ya que es común la construcción de trenes de descarga con severas restricciones de espacio, lo que obliga a disminuir los tramos rectos suficientes para colocar correctamente los medidores, en detrimento de la incertidumbre en la medición.

El gobierno federal a través a través de la Comisión Nacional del Agua ha emprendido un gran programa de mejoramiento de la medición en pozos agrícolas. Atendiendo a la peculiaridad de la falta de tramos rectos en muchos de los trenes de descarga y basados en la recomendación de los fabricantes de acondicionadores de flujo para gas, propusieron el uso de estos dispositivos con objeto de mejorar la medición.

La recomendación del uso de acondicionadores no se hizo con base en reportes de laboratorio que demostraran la eficacia de los éstos y dado el alto costo de los mencionados dispositivos, fue natural que surgiera la pertinencia de corroborar la efectividad de los acondicionadores de flujo.

Otra circunstancia especial lo significan los experimentos de Hanson y de la Universidad de Guanajuato en los que se demuestra que para tuberías de 4 y 8 pulgadas de diámetro la ausencia e insuficiencia de tramos rectos no demerita en exceso la incertidumbre en la medición; los errores máximos no rebasan el 4%. Es, otra vez natural, dudar que un dispositivo reduzca dicho valor. Inclusive, Hanson (*Hanson, 1998*), encontró que un cierto tipo de acondicionador, no mejoró sustancialmente la medición y para una de las magnitudes del gasto probado, el error aumentó.

En resumen y para enfatizar, a continuación se enlistan los hechos que representan la problemática expuesta.

- a) Se debe medir por cuestiones legales y de sustentabilidad.
- b) Se debe medir con calidad.
- c) La calidad en la medición en pozos agrícolas exige tubo lleno y tramos rectos.
- d) En trenes de descarga de pozos en numerosas ocasiones no se tiene espacio suficiente para colocar medidores con suficientes tramos rectos.
- e) Los fabricantes de acondicionadores han demostrado la eficacia de estos dispositivos en el mejoramiento de la medición en gas y recomiendan se amplíe su uso a otros líquidos y fluidos, sin presentar pruebas de buen desempeño en agua.
- f) El Gobierno Federal impulsa un programa de mejoramiento de la medición y recomienda el uso de acondicionadores de flujo en aquellos casos donde no se logre la suficiencia en la longitud de los tramos rectos mínimos necesarios. El tipo de acondicionador no se especifica pero se menciona acudir a las recomendaciones de las normas ISO.
- g) El costo de los acondicionadores es similar al del medidor lo que encarece la instalación
- h) Los experimentos de Hanson y de la Universidad de Guanajuato demuestran que para tuberías de 4 y 8 pulgadas y un codo como accesorio de disturbio la ausencia e insuficiencia de tramos rectos no provoca errores mayores al 4%.
- i) Hanson encontró que un tipo de acondicionador no disminuye el error y para una magnitud del gasto aumenta dicho error.

Se considera que existen argumentos para tener una conveniente y saludable duda del éxito de los acondicionadores.

3.2. *Objetivo de la tesis*

Ante la insuficiencia de trabajos sobre el desempeño de acondicionadores de flujo en agua, surge la necesidad de saber si efectivamente dichos dispositivos representarán una mejora en la medición del agua extraída de pozos agrícolas cuyos trenes de descarga tengan problemas de espacio para lograr los tramos rectos mínimos recomendados por los fabricantes de medidores. El estudio cobra una gran importancia ya que actualmente se llevan a cabo programas de mejoramiento en la medición de pozos agrícolas y se ha recomendado el uso de acondicionadores de flujo en los casos donde no se logren los tramos rectos suficientes; aún sin tener evidencia de su beneficio.

El objetivo del presente trabajo es conocer la influencia de los acondicionadores de flujo, en los errores de medición, en condiciones desfavorables con turbulencia y sin tramos rectos; para determinar su posible eficiencia o deficiencia al ser colocados en trenes de descarga de pozos agrícolas.

Para llevar a cabo el estudio se colocarán varios tipos de acondicionadores en una tubería de doce pulgadas de diámetro y se compararán los datos de medición que arroje cada uno de ellos.

El resultado del trabajo contestará la siguiente pregunta: ¿Cuál de los acondicionadores recomendados por las normas ISO presentará ventajas en el mejoramiento de la medición ante la ausencia de tramos rectos?

Es de suponerse también que los acondicionadores provocarán una pérdida de carga, puede suceder que un acondicionador resulte favorable, pero la pérdida de carga que provoca lo haga poco factible. Esto también se considerara en este trabajo.

3.2.1. Enfoque y alcances del trabajo

Es conveniente aclarar la naturaleza del estudio es completamente experimental. No se realizarán estudios de índole teórica y la misma forma de proceder en la experimentación será del tipo “caja negra”; es decir, es posible utilizar instrumentación más sofisticada de manera de visualizar el comportamiento de las líneas de corriente sin los acondicionadores y posteriormente comparar los patrones de flujo con la presencia de dichos acondicionadores. Sin embargo, se decidió realizar los trabajos comparando únicamente el comportamiento de los errores de medición sin detallar las causas turbulentas que provocan los disturbios y el detrimento de la calidad de medición. Cabe recalcar la importancia de los estudios como reporte de la eficiencia de los dispositivos para orientar y acondicionar el flujo, y no de su alteración en el flujo total, lo cual es un parámetro cuya medición resulta trivial.

Otra circunstancia a resaltar es el hecho de probar acondicionadores de flujo cuyos croquis constructivos se encuentran en varias normas ISO (*en su serie ISO 5167:1, 2, 3 y 4*) de tal manera que ante la imposibilidad de conseguir los modelos comerciales, se construyeron modelos con base en los croquis presentados en las normas utilizando materiales que parecieron más adecuados. Por lo anterior es pertinente advertir que los resultados encontrados solamente serán definitivos para los modelos construidos con los materiales utilizados. En investigaciones posteriores a los experimentos se encontraron otros modelos de acondicionadores que probablemente tengan comportamientos diferentes a los encontrados en este estudio.

4. ORIENTADORES Y ACONDICIONADORES DE FLUJO

4.1. Diferencia entre un orientador y un acondicionador de flujo

En la traducción textual del diccionario; se tiene que un orientador, como la palabra lo dice “orienta” con respecto a dos puntos determinados, como es el caso del eje de la tubería, encaminando en esta dirección al flujo; mientras que un acondicionador trata de dar calidad al perfil de velocidades dentro de la tubería con fines de medición. La ISO (*Internacional Standar Office*) en su serie de normas ISO 5167:1, 2, 3 y 4 describe algunos de los orientadores y acondicionadores y menciona (*Anexo C; Norma 5167-1*) que el término *acondicionador de flujo* puede ser usado para describir ambos términos acondicionador de flujo y orientador de flujo. Estos dispositivos remueven o reducen significativamente la turbulencia. Sin embargo un orientador, trata de impulsar a un flujo a fluir de forma paralela a la tubería, mientras un acondicionador además de remover significativamente la turbulencia, está diseñado para redistribuir el perfil de velocidades en un arreglo apropiado para lograr que la relación de la velocidad axial local a la máxima velocidad axial en la sección transversal esté dentro del 5% de aquella que conseguiría en un flujo libre de turbulencia en la misma posición radial en una sección transversal localizada en el extremo de un tramo recto muy largo, mayor a 100 diámetros, de una tubería similar; es decir, flujo completamente desarrollado (*Norma ISO 5167-1*).

4.1.1. Ejemplos de orientadores y acondicionadores de flujo

Algunos ejemplos de orientadores de flujo están dados por la norma ISO 5167 y se muestran en la tabla a continuación

Tabla 4.1 Ejemplos de los diferentes acondicionadores

Dispositivos		Observaciones
Orientadores	De tubos	contiene al menos 19 tubos en su interior
	AMCA	compuesto con rejilla como panal de abejas
	Étoile	su nombre viene del francés "estrella"
Acondicionadores	Gallagher	Tiene dos modalidades de construcción; con tubos o aspas en su interior
	Sprenkle	Incluye 3 placas perforadas distribuidas en el carrete
	Zanker	Incluye una placa perforada y una rejilla en su interior
Acondicionadores de placa	Diseño NOVA de la placa acondicionadora K-Lab	Estos acondicionadores se componen únicamente de una placa; fáciles de construir, instalar y acomodar, la geometría de la placa es importante para determinar el desempeño, la efectividad y la pérdida de presión a través de la placa; tienen como ventaja el espesor alrededor de D/8, además debido a que pueden ser perforados en lugar de ser fabricados, se obtiene un dispositivo más robusto que ofrece un desempeño constante.
	NEL (Spearman)	
	Zanker	

Fuente: Norma ISO 5167

En la industria de la medición hay más acondicionadores de flujo que los anteriormente mencionados, para darse una idea se anotan aquí otros también disponibles (pueden ser placas o incluir aspas): Akashi, Bellinga, Bosch & Hebrard, ISO, Kinghorn, Laws, Nova 50E, PG&E, Sens & Teule y Stuart C-3.

4.2. Orientadores de flujo

4.2.1. Orientador de tubos

Este orientador consiste en un conjunto de tubos paralelos unidos entre ellos y que descansan en la tubería a la cual son sostenidos rígidamente; se debe asegurar que los tubos sean paralelos entre sí y al eje de la tubería; de lo contrario, pueden introducir turbulencia adicional al flujo.

Debe haber al menos 19 tubos de longitud mayor o igual a $10d_t$, donde d_t es el diámetro del tubo (Norma ISO 5167-2).

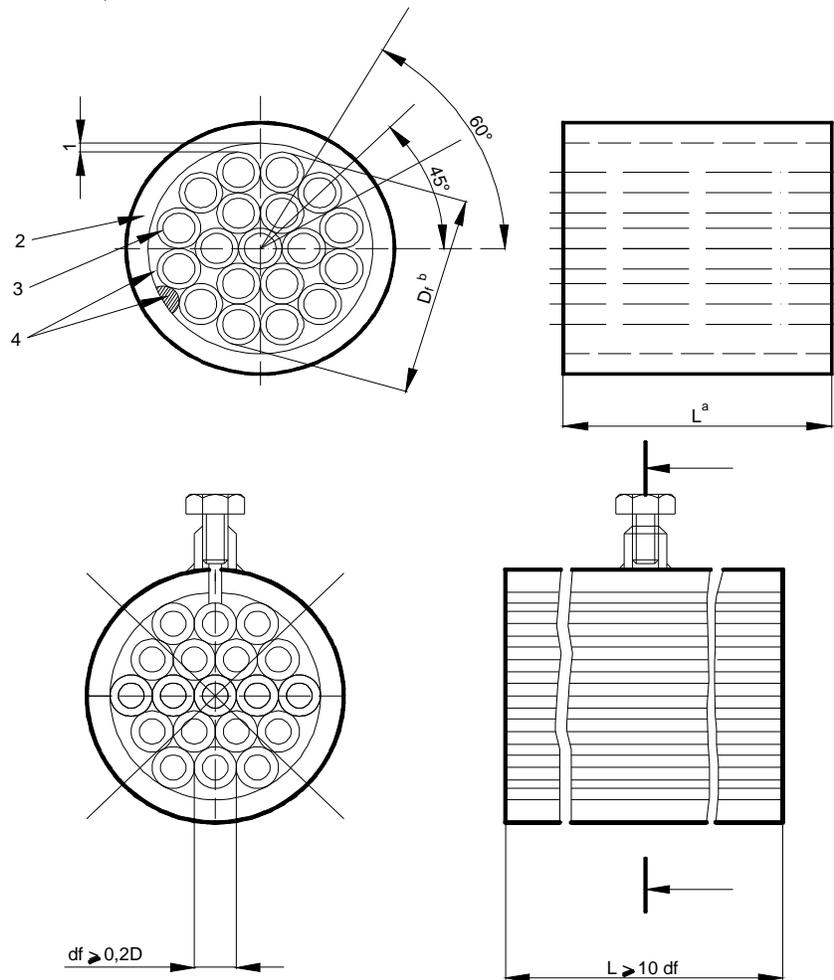


Figura 4.1 Ejemplos del Orientador de tubos.

Donde:

- 1 Hueco minimizado
- 2 Pared de la tubería
- 3 Espesor de la pared del tubo (menor que $0.025D$)
- 4 Opciones del centrado de espaciamiento - típicamente 4 lugares
- ^a la longitud, L , de los tubos debe estar entre $2D$ y $3D$, preferiblemente tan cercano a $2D$ como sea posible.
- ^b D_f Diámetro exterior del orientador de flujo y $0.95 \leq D_f \leq D$.

El coeficiente de pérdida de carga, K , para el orientador conjunto de tubos depende del número de tubos y de sus espesores, para el que contiene 19 tubos en su interior (Norma ISO 5167-2, 1998) es aproximadamente igual a 0.75, donde K está dado por la siguiente ecuación:

$$K = \frac{\Delta p_c}{\frac{1}{2} \rho V^2} \quad (3)$$

Donde:

Δp_c es la pérdida de presión a través del orientador de flujo.

V es la velocidad axial media del fluido en la tubería.

4.2.2. Orientador AMCA

Este orientador consiste en una malla con celdas cuadradas cuyas dimensiones son 0.075 del diámetro de la tubería por lado, las placas deben ser tan delgadas como sea posible pero deben proveer la fortaleza adecuada para evitar deformaciones en ella, siendo la longitud de este de 0.7 del diámetro de la tubería (Norma ISO 5167-2).

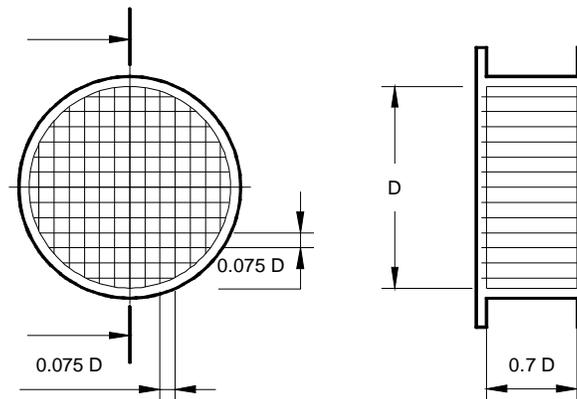


Figura 4.2 Orientador AMCA.

El coeficiente de pérdida de presión, K , para el orientador AMCA es aproximadamente igual a 0.25.

4.2.3. Orientador Étoile

Este orientador se compone de ocho aspas radiales con igual espaciado angular entre ellas, con una longitud de dos veces el diámetro de la tubería. Las aspas deben ser tan delgadas como sea posible pero deben proveer la fortaleza adecuada para evitar deformaciones que no ayuden a orientar el flujo. El coeficiente de pérdida de presión, K , para el orientador Étoile es aproximadamente igual a 0.25 (Norma ISO 5167-2).

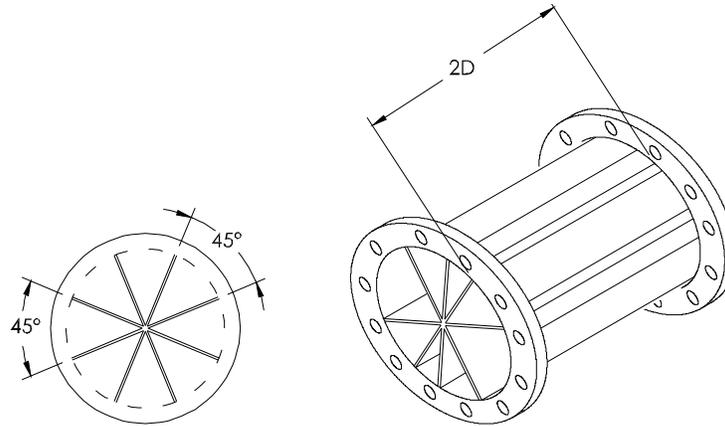


Figura 4.3 Orientador de flujo Étoile.

4.2.4. Orientador de cruz

Este orientador fue diseñado con base en las normas ISO, se compone de cuatro aspas perpendiculares entre sí, con una longitud igual a dos diámetros de la tubería. Las aspas deben ser tan delgadas como sea posible, pero deben proveer la fortaleza adecuada, para evitar que la fuerza del flujo las deforme, deberán contar con un afilamiento en la parte frontal de las aspas, sobre el lado aguas arriba para disminuir la pérdida de presión a la entrada del orientador.

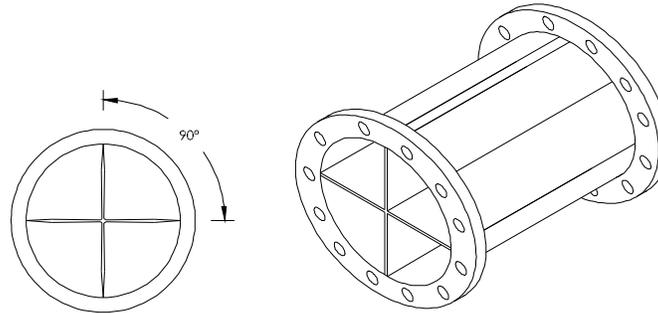


Figura 4.4 Orientador de cruz.

Para este orientador aún no se define un coeficiente de pérdida de presión, K , ya que se planeó su diseño y su construcción se llevará a cabo con el resto de los acondicionadores, para ser probado en el laboratorio.

4.3. Acondicionadores de flujo

4.3.1. Acondicionador Gallagher

El acondicionador de flujo Gallagher está patentado. Consta de un accesorio anti-turbulencia, una cámara y un dispositivo perfil. El coeficiente de pérdida de presión, K , para el acondicionador de flujo Gallagher depende de la especificación de fabricación del acondicionador; es aproximadamente igual a 2 (Norma ISO 5167-2).

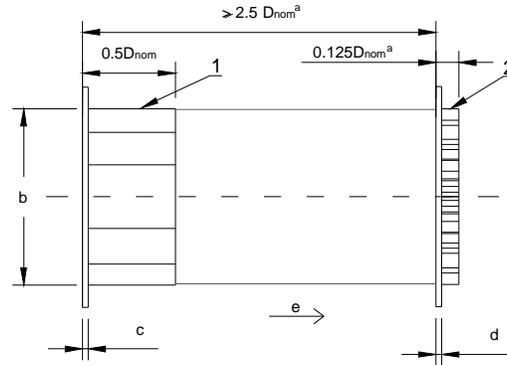


Figura 4.5 Arreglo típico del acondicionador de flujo Gallagher.

Donde:

- 1 Dispositivo anti-turbulencia
- 2 Dispositivo perfil
- a D_{nom} = Diámetro nominal de la tubería
- b Longitud igual al diámetro de la cara levantada/elevada
- c 3.2 mm para D_{nom} = 50 mm a 75 mm estilo tubo
6.4 mm para D_{nom} = 100 mm a 450 mm estilo tubo
12.7 mm para D_{nom} = 500 mm a 600 mm estilo tubo
12.7 mm para D_{nom} = 50 mm a 300 mm estilo veleta
17.1 mm para D_{nom} = 350 mm a 600 mm estilo veleta
- d 3.2 mm para D_{nom} = 50 mm a 75 mm
6.4 mm para D_{nom} = 100 mm a 450 mm
12.7 mm para D_{nom} = 500 mm a 600 mm
- e Dirección del flujo.

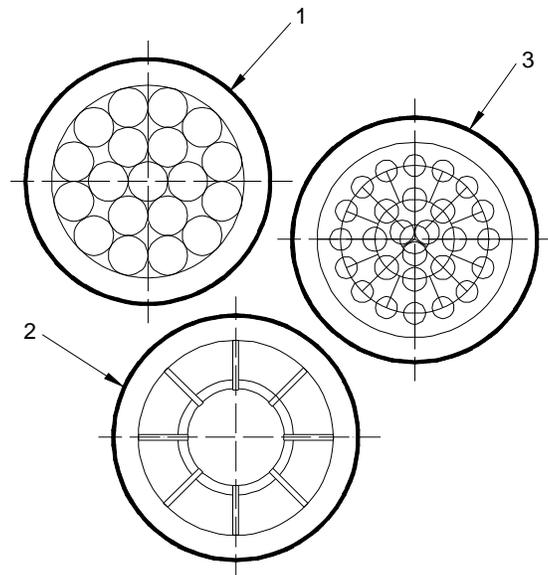


Figura 4.6 Componentes de un acondicionador de flujo Gallagher (vista frontal).

Donde:

- 1 Dispositivo anti-turbulencia – opción estilo tubo: conjunto de tubos concéntrico uniforme que consta de 19 tubos
- 2 Dispositivo anti-turbulencia – opción estilo aspa: 8 placas de longitud $0.125D$ a $0.25D$, concéntrico con la tubería
- 3 Dispositivo perfil: patrón 3-8-16 (ver nota)

Nota: El patrón 3-8-16 para un dispositivo perfil es:

3 orificios en un arreglo circular con un diámetro de $0.15D$ a $0.155D$; su diámetro es tal que la suma de sus áreas es 3% a 5% del área de la tubería.

8 orificios en un arreglo circular con un diámetro de $0.44D$ a $0.48D$; su diámetro es tal que la suma de sus áreas es 19% a 21% del área de la tubería.

16 orificios en un arreglo circular con un diámetro de $0.81D$ a $0.85D$; su diámetro es tal que la suma de sus áreas es 25% a 29% del área de la tubería.

4.3.2. Diseño NOVA del acondicionador de flujo placa perforada K-Lab

El diseño NOVA de la placa perforada K-Lab, conocido como el acondicionador de flujo K-Lab NOVA, está patentado. Consiste de una placa con 25 orificios biselados arreglados en un patrón simétricamente circular. El espesor de la placa perforada, t_c , es tal que $0.125D \leq t_c \leq 0.15D$. El espesor de la pestaña depende de la aplicación; el diámetro externo y la superficie de la cara de la pestaña dependen del tipo de pestaña y de la aplicación. Las dimensiones de los orificios son función del diámetro interno de la tubería, D , y depende del número de Reynolds (*Norma ISO 5167-2*).

Para: $Re_D \geq 8 \times 10^5$ se tiene:

- Un orificio central de diámetro $0.18629D \pm 0.00077D$;
- Un anillo de 8 orificios de diámetro $0.163D \pm 0.00077D$ en un arreglo circular con un diámetro de $0.5D \pm 0.5mm$, y
- Un anillo de 16 orificios de diámetro $0.1203D \pm 0.00077D$ en un arreglo circular con un diámetro de $0.85D \pm 0.5mm$.

Para: $8 \times 10^5 > Re_D \geq 10^5$ se tiene:

- Un orificio central de diámetro $0.22664D \pm 0.00077D$;
- Un anillo de 8 orificios de diámetro $0.16309D \pm 0.00077D$ en un arreglo circular con un diámetro de $0.5D \pm 0.5mm$, y
- Un anillo de 16 orificios de diámetro $0.12422D \pm 0.00077D$ en un arreglo circular con un diámetro de $0.85D \pm 0.5mm$.

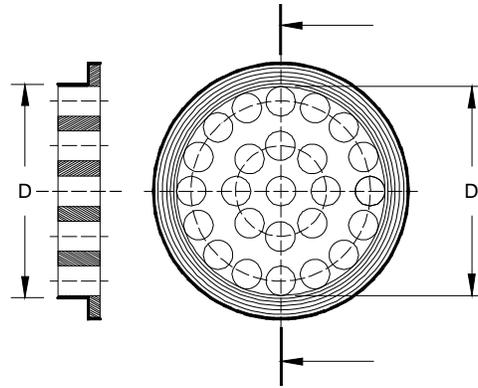


Figura 4.7 El diseño NOVA del acondicionador de flujo placa K-Lab.

El coeficiente de pérdida de presión, K , para el acondicionador de flujo K-Lab NOVA es aproximadamente igual a 2.

4.3.3. Acondicionador de flujo NEL (Spearman)

Éste es una placa perforada con orificios circulares cuyas dimensiones están en función del diámetro interno de la tubería, D , está compuesto por:

Un anillo de 4 orificios ($d1$) de diámetro $0.10D$, en un arreglo circular con diámetro de $0.18D$;
 Un anillo de 8 orificios ($d2$) de diámetro $0.16D$, en un arreglo circular con diámetro de $0.48D$ y
 Un anillo de 16 orificios ($d3$) de diámetro $0.12D$, en un arreglo circular con diámetro de $0.86D$
 (Norma ISO 5167-2).

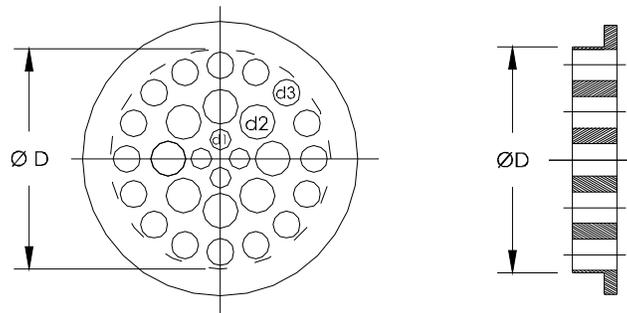


Figura 4.8 Acondicionador de flujo NEL (Spearman).

El espesor de la placa perforada es $0.12D$.

El coeficiente de pérdida de carga, K , para el acondicionador de flujo NEL (Spearman) es aproximadamente igual a 3.2.

4.3.4. Acondicionador Sprengle

Éste consta de tres placas perforadas en serie con una longitud igual a $D \pm 0.1D$ entre placas sucesivas. Los orificios deben preferiblemente estar biselados 45° sobre el lado aguas arriba para reducir la pérdida de presión, y el área total de los orificios en cada placa deber ser mayor que 40% del área de la sección transversal de la tubería. El cociente entre el espesor de la placa y el

diámetro del orificio debe ser al menos 1 y el diámetro de los orificios deber ser menor o igual a $0.05D$ (Norma ISO 5167-2).

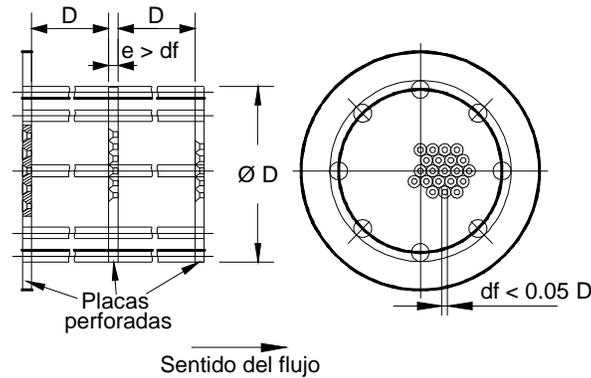


Figura 4.9 Acondicionador Sprengle.

Las tres placas se sostienen juntas mediante barras, las cuales están localizadas alrededor de la periferia del bisel de la tubería, y deben ser de un diámetro tan pequeño como sea posible pero deben proveer la resistencia requerida. El coeficiente de pérdida de carga K , para el acondicionador Sprengle es aproximadamente igual a 11 si hay un filo interno o 14 si no hay.

4.3.5. Acondicionador de flujo Zanker

Éste consta de una placa perforada con orificios de tamaños especificados seguidos por un número de canales (uno para cada orificio) formados por la intersección de un número de placas, éstas deben ser tan delgadas como sea posible pero deben proveer una resistencia adecuada.

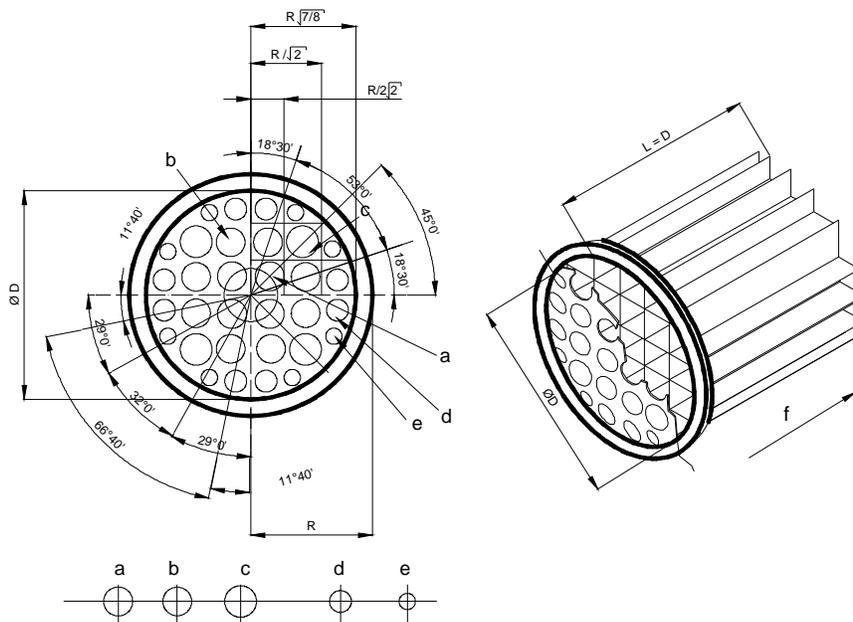


Figura 4.10 Acondicionador de flujo Zanker.

Donde:

- a* 4 orificios de diámetro $0.141D$, en arreglo circular con un diámetro de $0.25D$.
- b* 8 orificios de diámetro $0.139D$, en arreglo circular con un diámetro de $0.56D$.
- c* 4 orificios de diámetro $0.1365D$, en arreglo circular con un diámetro de $0.75D$.
- d* 8 orificios de diámetro $0.11D$, en arreglo circular con un diámetro de $0.85D$.
- e* 4 orificios de diámetro $0.077D$, en arreglo circular con un diámetro de $0.90D$.
- f* dirección del flujo.

(Norma ISO 5167-2).

El coeficiente de pérdida de carga, K , para el acondicionador de flujo Zanker es aproximadamente igual a 5.

4.3.6. Acondicionador de flujo placa Zanker

Ésta placa es un desarrollo del acondicionador de flujo Zanker antes descrito, tiene la misma distribución de orificios pero no cuenta con la distribución de placas añadida, en su lugar el espesor de la placa es de $D/8$.

El acondicionador placa Zanker mostrado, está compuesto de un arreglo de 32 orificios en un patrón circular simétrico, el diámetro de los orificios esta en función del diámetro interno de la tubería, para el cual tenemos.

- a* Un anillo de 4 orificios centrales de diámetro $0.141D \pm 0.001D$ en un arreglo circular con diámetro de $0.25D \pm 0.0025D$;
- b* Un anillo de 8 orificios de diámetro $0.139D \pm 0.001D$ en un arreglo circular con diámetro de $0.56D \pm 0.0056D$;
- c* Un anillo de 4 orificios de diámetro $0.1365D \pm 0.001D$ en un arreglo circular con diámetro de $0.75D \pm 0.0075D$;
- d* Un anillo de 8 orificios de diámetro $0.110D \pm 0.001D$ en un arreglo circular con diámetro de $0.85D \pm 0.0085D$;
- e* Un anillo de 8 orificios de diámetro $0.077D \pm 0.001D$ en un arreglo circular con diámetro de $0.90D \pm 0.009D$.

La tolerancia en el diámetro de cada orificio es $\pm 0.1\text{mm}$ para $D < 100\text{mm}$ (Norma ISO 5167-2).

El espesor de la placa perforada, t_c , es tal que $0.12D \leq t_c \leq 0.15D$. El espesor de la pestaña depende de la aplicación; el diámetro externo y las superficies de la cara de la pestaña dependen del tipo de pestaña y de la aplicación, de manera práctica se puede decir que el espesor es igual a una octava parte del el diámetro.

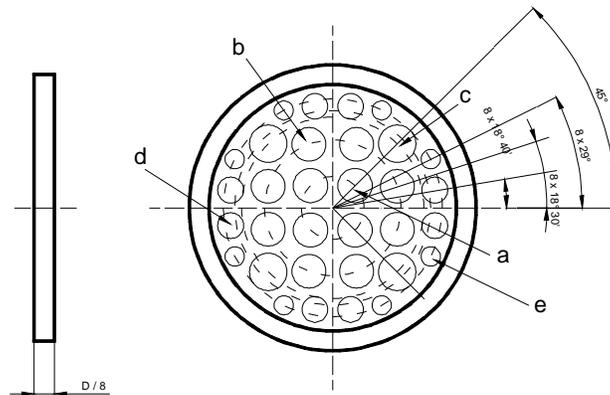


Figura 4.11 Acondicionador de flujo placa Zanker.

Donde:

- a* 4 orificios de diámetro $0.141D$, en un arreglo circular con diámetro de $0.25D$.
- b* 8 orificios de diámetro $0.139D$, en un arreglo circular con diámetro de $0.56D$.
- c* 4 orificios de diámetro $0.1365D$, en un arreglo circular con diámetro de $0.75D$.
- d* 8 orificios de diámetro $0.11D$, en un arreglo circular con diámetro de $0.85D$.
- e* 8 orificios de diámetro $0.077D$, en un arreglo circular con diámetro de $0.90D$.

(Norma ISO 5167-2)

El coeficiente de pérdida de carga, K , para el acondicionador de flujo placa Zanker es aproximadamente igual a 3.

4.4. Diseño y construcción de los orientadores y acondicionadores

En la norma ISO 5167 se hace mención de algunos orientadores y acondicionadores de flujo, también se detallan las especificaciones de las dimensiones para cada uno de éstos, ahí mencionados. Debido a la poca información sobre la instalación de mediciones con acondicionadores de flujo en bancos de pruebas, y a la imposibilidad de conseguir los acondicionadores en el país, se tomó la determinación de hacer la reproducción de todos los que se encuentran descritos en dicha norma; cada uno de éstos bajo sus propias especificaciones, además se elaboró el diseño de un orientador de flujo en base a la información recopilada, así como su construcción. La manufactura de las piezas fue llevada a cabo por la empresa Estudios y proyectos en Ingeniería e Hidráulica Aplicada, como se describe en dicha norma. Siendo elaborados de PVC, PVC3 (acabado rústico) y láminas de nylacero para un diámetro de tubería de doce pulgadas. En seguida se presentan fotos de los orientadores y acondicionadores de flujo construidos. Se detallan en el Anexo A-1, dimensiones y elaboración.

a) Orientadores de flujo

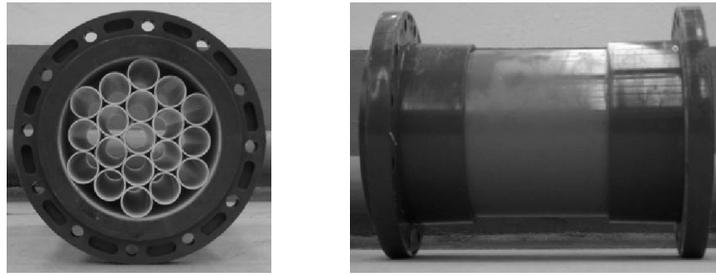


Figura 4.12 De tubos.



Figura 4.13 AMCA.

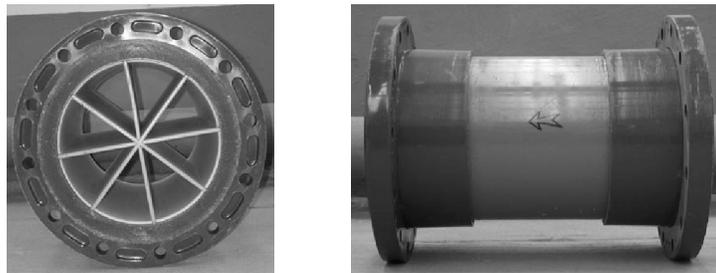


Figura 4.14 Étoile.

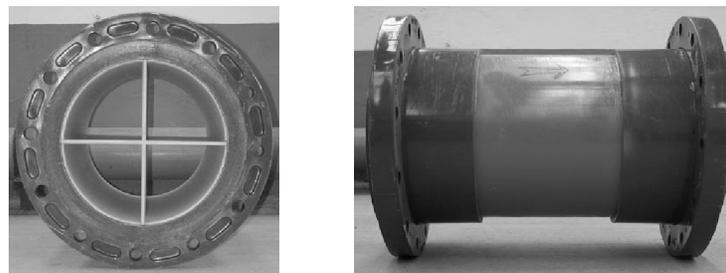


Figura 4.15 De cruz.

b) Acondicionadores de flujo



Figura 4.16 Gallagher (aspas).



Figura 4.17 Gallagher (tubos).

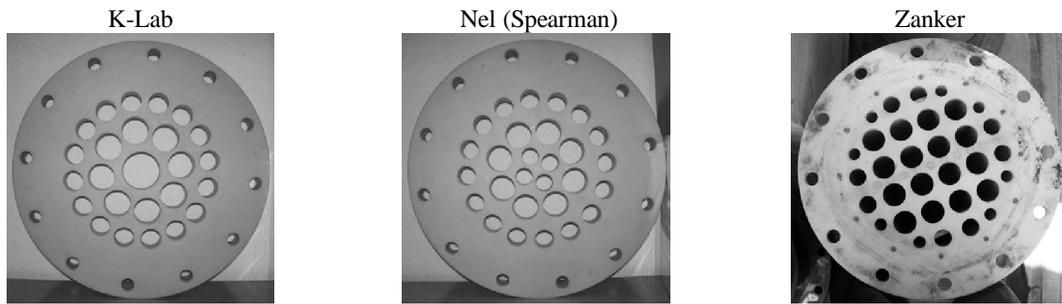


Figura 4.18 Acondicionadores de Placa.

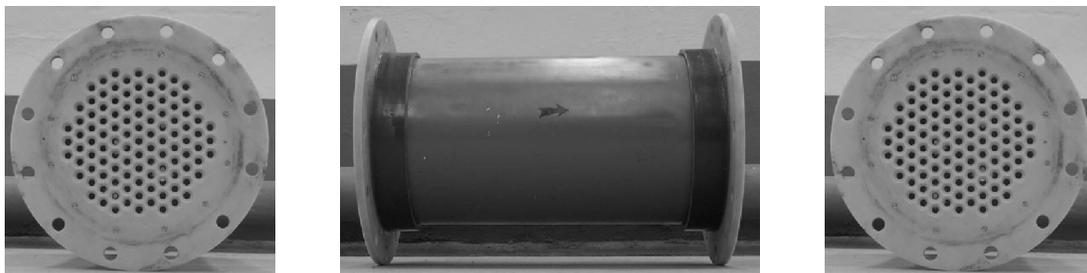


Figura 4.19 Sprengle.



Figura 4.20 Zanker.

5. DISEÑO EXPERIMENTAL

5.1. Instalación Experimental

Las pruebas se realizaron en el laboratorio de Hidráulica “Enzo Levi” del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Se aprovecharon las instalaciones de un modelo ya construido al cual se le hicieron modificaciones menores para adaptarlo a las necesidades de las pruebas. Se trató de representar el tren de descarga de un pozo profundo en el cual invariablemente el accesorio aguas arriba de los medidores es un codo. Sin embargo, fue necesario alargar el tramo de pruebas por cuestiones de facilidad y seguridad de maniobras por lo que se requirió la colocación de dos codos en lugar de uno, como se pretendió inicialmente. Debido a esto, las primeras pruebas se hicieron con un codo y posteriormente se hicieron con dos codos; en los resultados de cada prueba se aclaran estos cambios. El arreglo final del tren de descarga y del tramo de pruebas quedó como se muestra en el esquema de la Figura 5.1

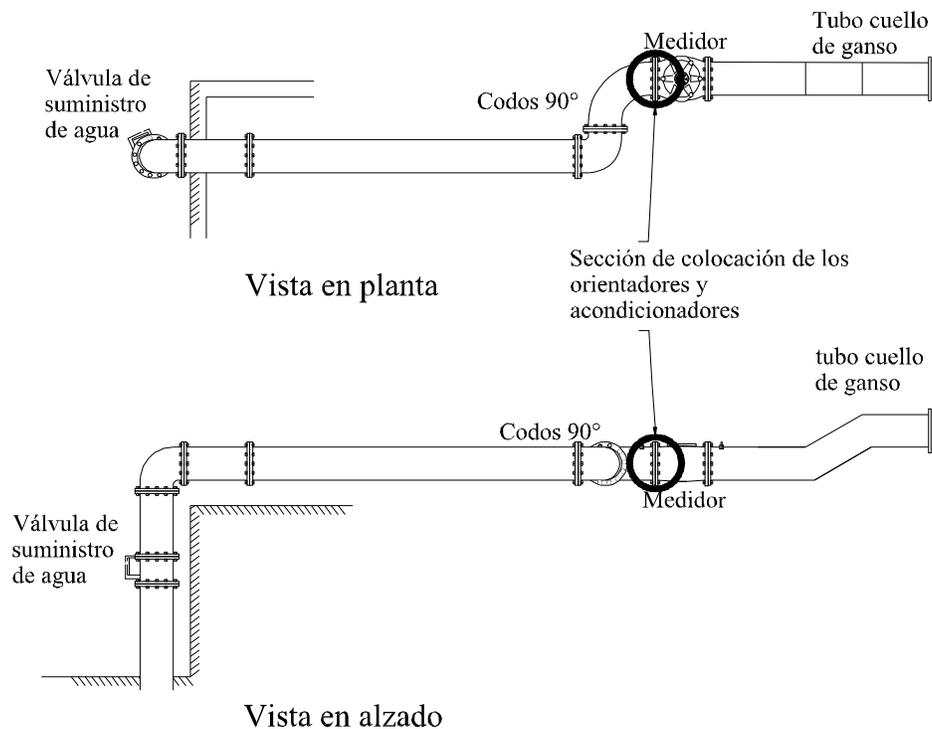


Figura 5.1 Esquema del tren de descarga; detalle planta y alzado.

Se colocó un tubo cuello de ganso al final de tramo de pruebas, para asegurar que la sección donde se colocaría el medidor y el acondicionador, trabaje a tubo lleno.

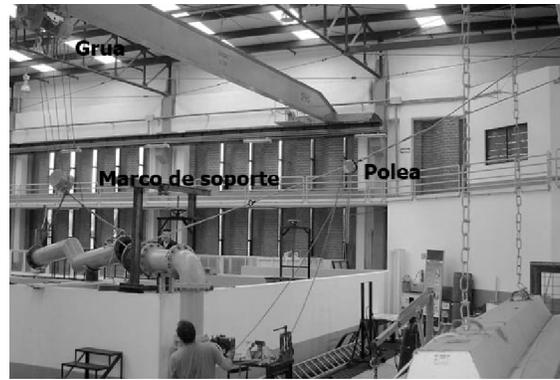


Figura 5.2 Dificultades para armado del tren de descarga a la salida del suministro de agua.

En el laboratorio “Enzo Levi” del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua se adaptó un modelo ya construido que cumple las características necesarias para que trabaje como banco de pruebas y simule la configuración de un pozo de extracción agrícola. Los pozos agrícolas tienen diámetros que van desde ocho pulgadas hasta doce pulgadas de diámetro, las propelas dentro de los medidores, van de acuerdo al diámetro de éstos y hasta seis pulgadas como máximo, en los medidores de diámetro mayor a seis pulgadas la propela no abarca toda la tubería, teniendo una condición desfavorable para la medición, que aumentará para gastos pequeños o flujo ligeramente inclinado, por ello se opta por trabajar con el mayor de los diámetros usados en pozos agrícolas equivalente a doce pulgadas que es también la condición más desfavorable para una buena medición. El modelo cuenta con un canal de retorno con un vertedor rectangular sin contracción, como estructura aforadora, y de un limnómetro para la lectura de los niveles de agua.

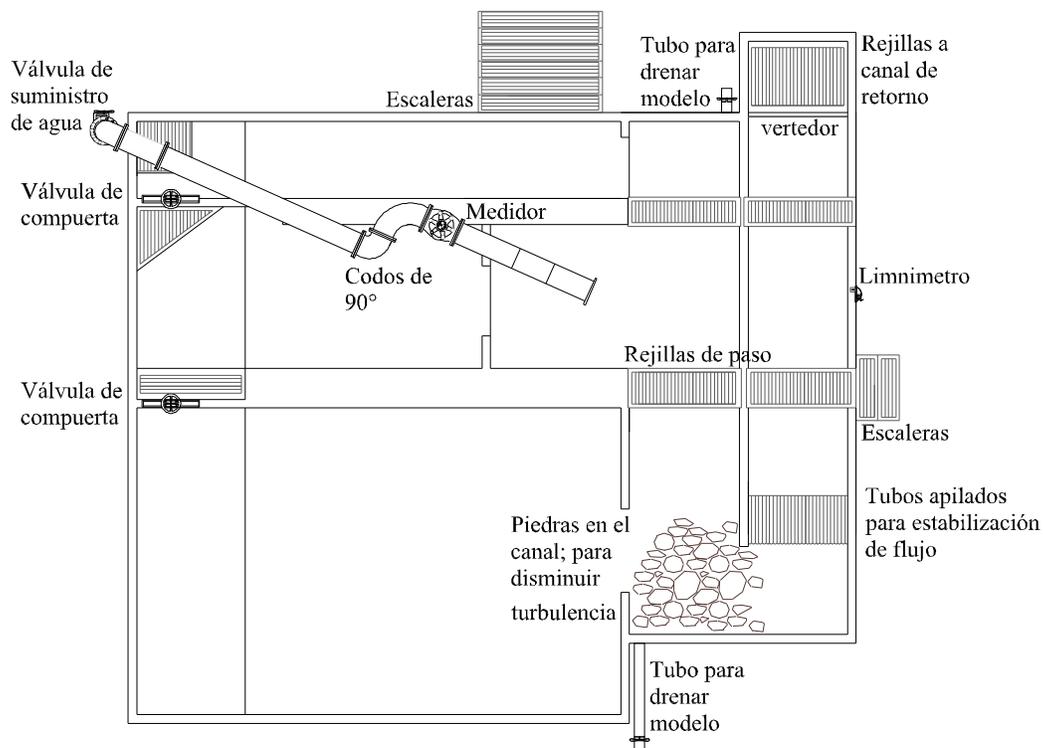


Figura 5.3 Croquis esquemático de la adaptación del modelo.

El banco de pruebas es alimentado por medio del equipo de bombeo del laboratorio y su tanque elevado; la línea de conducción es de hierro fundido de 12 pulgadas de diámetro. Se hicieron perforaciones a la salida del segundo codo de 90° y a la entrada de tubo cuello de ganso para la colocación de manómetro o manguera según sea el caso para medir la pérdida de presión entre ellos.



Figura 5.4 Fotografía de la vista panorámica del modelo.

El gasto nominal del medidor es $Q_n = 333.34 \text{ l/s}$ (Medidor ARAD WT300) marcado en la carátula del mismo; por lo tanto, el gasto mínimo para trabajar de una manera adecuada es el 5% del doble del gasto nominal, por lo que el gasto mínimo a usarse es de $Q_{5\%} = 16.67 \text{ l/s}$. El gasto máximo que puede pasar por el medidor de acuerdo al diámetro y a la velocidad media es de $Q_{\max} = 132.79 \text{ l/s}$. Para las pruebas en laboratorio el gasto mínimo será más alto que el gasto mínimo requerido por el medidor, para medir sin llegar al error permisible máximo de tolerancia. Este error es determinado en relación con el valor numérico de la designación del medidor, y el gasto máximo será más alto que el correspondiente al calculado para la tubería de 12 pulgadas de manera que se pueda forzar para obtener más información; por tanto el rango a usarse va alrededor de $Q_{\min} = 25 \text{ l/s}$ a $Q_{\max} = 150 \text{ l/s}$.

Las lecturas tomadas simultáneamente en el medidor y el vertedor rectangular del modelo se usarán para definir los errores con los que trabaja el medidor.

Datos del rendimiento:

Tamaño nominal		Q_{\max} Gasto máximo (l/s)	Q_{4064} ISO 4064 (l/s)	Q_n Gasto nominal (l/s)	Q_t Gasto de transición (l/s)	Q_{\min} Gasto mínimo (l/s)	Gasto inicial (l/s)	Capacidad máxima del registro (m ³)	Cantidad mínima leída (litro)	Precisión entre Q_{\max} y Q_t (l/s)	Precisión entre Q_t y Q_{\min} (l/s)
mm.	pulg.										
300	12	555.56	111.11	277.78	11.11	3.19	1.94	10 ³	100	+/- 2%	+/- 5%

Dimensiones	
L - Longitud (mm)	500
B - Ancho	460
H - Altura (mm)	465
h - Altura (mm)	330
Peso (kg)	95

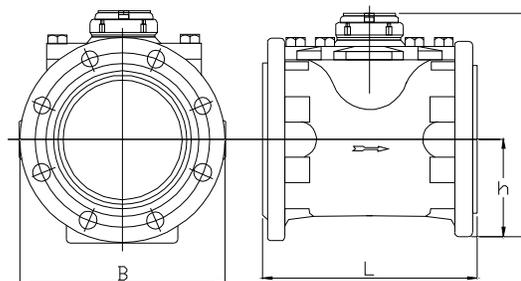


Figura 5.5 Medidor y sus características.

En la Figura 5.5 se pueden observar las especificaciones proporcionados por el fabricante para este tipo de medidores, similar al utilizado para las pruebas; cabe señalar que los datos aquí mostrados, difieren de los calculados, esto se debe a que se tomo directamente el gasto nominal de la carátula del medidor de manera práctica como se haría en campo, sin embargo son una referencia válida de comparación.

El vertedor rectangular (estructura aforadora) tiene las siguientes características mostradas en la Figura 5.6 con la ecuación $Q_v = 1498.2h^{1.4913}$ para el cálculo del gasto, siendo h el tirante de agua que pasa a través del vertedor:

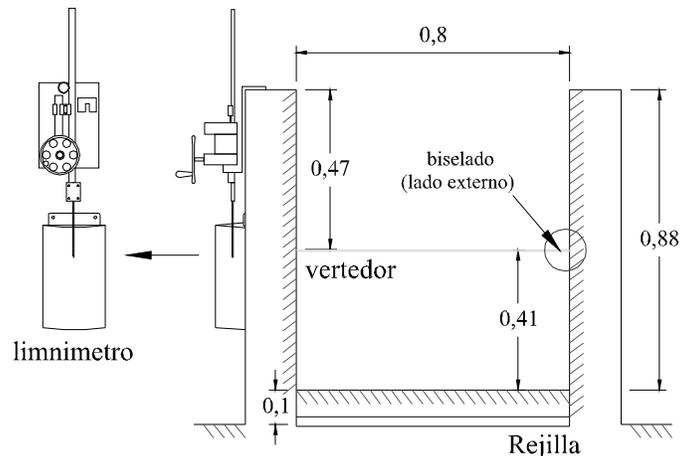


Figura 5.6 Estructura aforadora.

Para la operación en el banco de pruebas, se ajustaron los aparatos de medición, es decir se ajustó el limnómetro colocando el cero (o lectura inicial) en 20cm, condición que se revisó al inicio de cada prueba, se limpió el vertedor rectangular y revisó que no tuviera ninguna fuga o golpe que pudiese afectar la medición. El medidor fue previamente calibrado en el banco de pruebas del laboratorio.

La calibración del medidor se realizó obteniendo el porcentaje de error del volumen leído en el medidor con respecto al volumen leído en el tanque del banco de pruebas, los errores se determinaron por medio de la fórmula:

$$\% E = \left(\frac{Li - Lf}{Lf} \right) \times 100 \quad (4)$$

Donde:

$\% E$ = Porcentaje de error

Li = Gasto reportado por el medidor

Lf = Gasto reportado por el vertedor

Se comenzó con una serie de lecturas para conocer el error del medidor; trabajando con los gastos: 75, 50, y 25 l/s; en la Tabla 5.1 se muestra la tabulación de los datos generados.



Figura 5.7 Tanque volumétrico con el cual se calibró el medidor.

Tabla 5.1 Primera serie de lecturas al medidor.

Gasto propuesto (L/s)	Macromedidor					Tanque de aforo					
	Lectura Inicial (m ³ /s)	Lectura Final (m ³ /s)	Diferencia (m ³ /s)	Tiempo (m,s,c)	Gasto (V/T)	Altura Inicial (mm)	Altura Final (mm)	Diferencia (mm)	Volumen* (L)	Gasto (L/s)	Error %
75	920	925	5	1 5 0	76.92	693	969	276	4416	67.94	-13.22
50	815	820	5	1 40 5	49.98	961	1233	272	4352	43.50	-14.89
50	790	795	5	1 41 24	49.39	686	961	275	4400	43.46	-13.64
25	715	720	5	3 12 10	26.03	530	804	274	4384	22.82	-14.05
25	736	741	5	3 10 96	26.18	804	1076	272	4352	22.79	-14.89
25	753	758	5	3 10 32	26.27	1076	1348	272	4352	22.87	-14.89

* La constante del Tanque es de 16 litros por milímetro leído

Como se observa en la tabla, se obtuvo un error máximo de -14.89%, error que al ser negativo representa una sub-medición, el cual se buscó disminuir por medio de un ajuste al medidor, dicho ajuste se lleva a cabo moviendo una pieza que contiene el medidor para ese fin, después de dicho ajuste se procedió a realizar mediciones nuevamente.

En la Tabla 5.2, se muestran los datos tabulados de la serie de lecturas realizadas para el primer ajuste del medidor.

Tabla 5.2 Primer ajuste al medidor.

Gasto propuesto (L/s)	Macromedidor					Tanque de aforo					
	Lectura Inicial (m ³ /s)	Lectura Final (m ³ /s)	Diferencia (m ³ /s)	Tiempo (m,s,c)	Gasto (V/T)	Altura Inicial (mm)	Altura Final (mm)	Diferencia (mm)	Volumen* (L)	Gasto (L/s)	Error %
100	1321	1326	5	0 46 5	108.58	710	1017	307	4912	106.67	-1.76
100	1357	1362	5	0 46 17	108.3	1017	1327	310	4960	107.43	-0.8
100	1408	1413	5	0 45 69	109.43	864	1166	302	4832	105.76	-3.36
100	1487	1492	5	0 46 5	108.58	653	960	307	4912	106.67	-1.76
125	1556	1561	5	0 39 69	125.98	706	1016	310	4960	124.97	-0.8
125	1588	1593	5	0 39 99	125.03	1016	1326	310	4960	124.03	-0.8
75	1650	1655	5	1 6 20	75.529	660	962	302	4832	72.99	-3.36
75	1672	1677	5	1 6 10	75.643	962	1264	302	4832	73.10	-3.36
50	1727	1732	5	1 40 40	49.801	611	908	297	4752	47.33	-4.96
50	1743	1748	5	1 40 82	49.593	908	1204	296	4736	46.97	-5.28
25	1796	1801	5	2 52 68	28.955	533	827	294	4704	27.24	-5.92
25	1807	1812	5	2 50 93	29.252	827	1119	292	4672	27.33	-6.56
25	1820	1825	5	2 51 17	29.211	1119	1412	293	4688	27.39	-6.24

* La constante del Tanque es de 16 litros por milímetro leído

Al final de la toma de lecturas del primer ajuste al medidor, como se observa en la tabla el, se obtuvo el error máximo negativo de -6.56% para un gasto de 25 l/s, el error mínimo de -0.8% para un gasto de 125 l/s, se buscó disminuir aún más el rango de error. Al analizar el error promedio de - 3.12% se encontró que es próximo al correspondiente al gasto de 75 l/s, por ello se ajusto el medidor para éste gasto considerando que se afectarán todos los errores.

Después del segundo ajuste se llevó a cabo la serie de lecturas para los gastos de 25, 50, 75, 100 y 125 l/s, los datos obtenidos se muestran tabulados en la Tabla 5.3

Tabla 5.3 Segundo ajuste al medidor.

Gasto propuesto (L/s)	Macromedidor					Tanque de aforo							
	Lectura Inicial (m ³ /s)	Lectura Final (m ³ /s)	Diferencia (m ³ /s)	Tiempo (m,s,c)		Gasto (V/T)	Altura Inicial (mm)	Altura Final (mm)	Diferencia (mm)	Volumen* (L)	Gasto (L/s)	Error %	
125	2182	2187	5	0	38	61	129.5	547	858	311	4976	128.88	-0.48
125	2214	2219	5	0	38	98	128.27	858	1174	316	5056	129.71	1.12
100	2027	2032	5	0	52	36	95.493	671	982	311	4976	95.03	-0.48
100	2049	2054	5	0	52	48	95.274	982	1297	315	5040	96.04	0.8
100	2092	2097	5	0	52	37	95.475	853	1169	316	5056	96.54	1.12
125	2274	2279	5	0	38	64	129.4	808	1125	317	5072	131.26	1.44
75	1939	1944	5	1	5	57	76.254	548	859	311	4976	75.89	-0.48
75	1966	1971	5	1	5	61	76.208	859	1170	311	4976	75.84	-0.48
50	2350	2355	5	1	43	32	48.393	640	944	304	4864	47.08	-2.72
50	2363	2368	5	1	42	96	48.563	944	1250	306	4896	47.55	-2.08
25	2305	2310	5	3	8	69	26.498	661	963	302	4832	25.61	-3.36
25	2315	2320	5	3	8	86	26.475	963	1265	302	4832	25.59	-3.36

Como se observa en la tabla, el error máximo negativo es de -3.36%, y el error máximo positivo de 1.44%. Se consideró después de éste ajuste que el medidor ya asegura un buen funcionamiento, ya que éstos errores quedan dentro del rango permitido por las especificaciones de la marca del medidor.

Por otro lado, se colocaron piedras a la entrada del canal de retorno para romper la turbulencia provocada por la caída del agua al modelo y estabilizar así el flujo. También se colocaron tubos de PVC apilados para que orienten el flujo de forma paralela al canal; logrando con esto disminuir la turbulencia y orientar el flujo tal como lo haría un orientador de flujo.



Figura 5.8 Piedras y tubos de PVC a manera de estabilizador y orientador de flujo en el canal de retorno.

El tiempo de estabilización en el canal de retorno, para la toma de la lectura del nivel del agua, se determinó por medio de una serie de ensayos; se realizaron dos tipos de ensayo en el primero se dejaba correr un gasto mínimo por la tubería, una vez estabilizado el flujo en el canal, se abre la válvula hasta alcanzar un gasto máximo, tomando el tiempo que le lleva al flujo estabilizarse de un gasto mínimo a un gasto máximo, en el segundo se dejaba correr un gasto máximo por la tubería, una vez estabilizado el flujo en el canal, se cierra la válvula hasta un gasto mínimo, tomando el tiempo que le lleva al flujo estabilizarse. El tiempo máximo registrado en esta serie de ensayos fue de 4 minutos con 23 segundos, de manera que pasado este tiempo la lectura con el limnómetro es válida.

5.2. Diseño de los experimentos

Se propuso realizar dos grupos de pruebas, el primer grupo será el grupo de control donde no se usarían orientadores ni acondicionadores. Este grupo de pruebas servirían para contrastar el comportamiento del error con el segundo grupo donde se hará uso de orientadores y acondicionadores, estas pruebas se llevan a cabo en el laboratorio bajo las mismas condiciones. Las tablas siguientes muestra la organización de las pruebas.

Tabla 5.4 Grupo de pruebas sin orientadores ni acondicionadores de flujo.

Número de prueba	Se busca evaluar
Prueba_1	Medidor con tramo recto de diez diámetros de longitud
Prueba_2	Medidor con tramo recto de dos diámetros de longitud
prueba_3	Medidor sin tramo recto
prueba_4	Histéresis en vertedor*
prueba_5	Medidor sin tramo recto
prueba_6	Medidor sin tramo recto condición inicial
prueba_18	Medidor sin tramo recto condición final

Tabla 5.5 Grupo de pruebas con orientadores y acondicionadores de flujo.

Número de prueba	Se busca evaluar
prueba_7	Orientador de tubos
prueba_8	Acondicionador de flujo Sprengle
prueba_9	Orientador Étoile
prueba_10	Acondicionador de flujo Gallagher (tubos)
prueba_11	Orientador de cruz (diseñado)
prueba_12	Acondicionador de flujo placa NEL (Spearman)
prueba_13	Diseño NOVA del Acondicionador de flujo placa perforada K-Lab
prueba_14	Orientador AMCA
prueba_15	Acondicionador de flujo placa Zanker
prueba_16	Acondicionador de flujo Gallagher (aspas)
prueba_17	Acondicionador de flujo Zanker

En el grupo de control, no se tiene un número de mediciones concreto, en cada una de las pruebas con los acondicionadores de flujo se tomarán alrededor de treinta y siete mediciones más menos dos mediciones puntuales que generarán información suficiente para analizar los errores del acondicionador. La secuencia de las mediciones será aleatoria, para evitar así tendencias instrumentales, naturales y humanas que pueda haber, variando el gasto, aumentando y disminuyendo su volumen dentro del rango establecido para éste, tomando también para cada medición la pérdida de presión entre la pieza colocada y el medidor, disponiendo del tiempo necesario por prueba para llevarla a cabo de principio a fin.

Una vez terminada cada prueba, se cierra la válvula reguladora del gasto, se paran las bombas, se drena el modelo y se retira la carátula del medidor, sin olvidar el objetivo final que es obtener información de cómo trabajan los orientadores de flujo y acondicionadores de flujo.

La información recopilada será usada para evaluar lo siguiente:

- La influencia de los tramos rectos en la medición (pruebas 1, 2 y 3)
- La influencia en la medición con adición de disturbios en el flujo (pruebas 3 y 5)
- La verificación de histéresis (prueba 4)
- La comparación de los errores antes de comenzar a trabajar con los acondicionadores y al terminar las pruebas con ellos verificando así la condición de medidor (pruebas 6 y 18)
- Los errores que se obtienen por el uso de acondicionadores de flujo y las diferencias entre ellos (pruebas de la 7 a la 17)

* Cuando en un sistema el gasto se incrementa lentamente hasta un valor máximo y después se regresa también lentamente a cero, puede suceder que debido a la fricción interna o amortiguamiento de las partes, las curvas de carga y descarga no coincidan. A este efecto se le llama histéresis y puede afectar los errores del medidor. La prueba número cuatro fue realizada para detectar una posible histéresis en el vertedor que pudiese afectar los errores del medidor; debido a que los datos obtenidos no muestran el fenómeno, se da por hecho que no se presenta, los resultados son mostrados en su apartado correspondiente, sin mucho énfasis debido a que el objetivo no se basa en el vertedor y éste trabaja de forma adecuada.

6. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS

6.1. Tramo recto sin orientadores

6.1.1. Prueba 1. Tramo recto de diez diámetros aguas arriba del medidor

La prueba número uno se llevó a cabo los días 3 y 4 de octubre del 2007, ésta busca información sobre el desempeño del medidor con un tramo recto de diez diámetros de tubería aguas arriba de éste, la distribución del tren de descarga se puede observar en la Figura 6.1, a la salida del suministro de agua está colocado un codo de 90° que provoca disturbio en el flujo le sigue el tramo recto de diez diámetros de longitud, el medidor y un cuello de ganso para mantener la condición de de tubo lleno, condición antes mencionada para que el medidor trabaje adecuadamente; se tomaron lecturas, aproximándose a los gastos de 25, 50, 75, 100 y 125 l/s, al menos ocho lecturas para cada uno de los gastos.

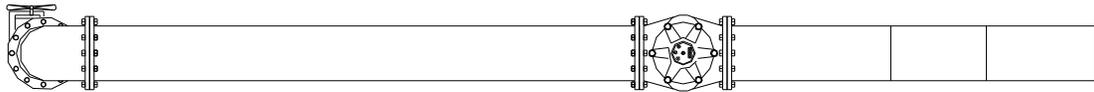


Figura 6.1 Distribución del tren de descarga con un tramo recto de diez diámetros aguas arriba.

Se tomó el tiempo con un cronometro de pulsera, sin inconvenientes durante el desarrollo de ésta y con una duración aproximada de 5 horas.



Figura 6.2 Fotografía del tren de descarga terminado.

Los gastos del medidor, del vertedor y el error se obtuvieron por medio de las siguientes formulas, mismas que se usaron para todas las pruebas.

$$Q_m = \frac{V}{t} \quad (5)$$

$$Q_v = 1498.2h^{1.4913} \quad (6)$$

$$\% E = \frac{Q_m - Q_v}{Q_v} \times 100 \quad (7)$$

Donde:

Q_m = Gasto que corre por el medidor, l/s

Q_v = Gasto que pasa por el vertedor, l/s

V = Volumen que pasa por el medidor, l

t = Tiempo que tarda en pasar el volumen de agua, s

h = Altura del tirante; leída en el limnómetro, cm

% E = Porcentaje de error

Para esta prueba se obtuvieron los resultados tabulados a continuación:

Tabla 6.1 Datos de la prueba con un tramo recto de diez diámetros antes del medidor.

Lectura del limnómetro: 20

Lectura Inicial en medidor	Lectura Final en medidor	Diferencia volumen (m ³)	Tiempo (m,s,c)			Gasto en medidor (l/s)	Altura del tirante h (m)	Gasto en vertedor (L/s)	Diferencia de gastos (L)	Error %
3500	3505	5	3	7	6	26.65	0.0705	28.70	2.05	-7.13
3509	3514	5	3	9	4	26.40	0.0705	28.70	2.30	-8.02
3509	3514	5	3	9	2	26.43	0.0705	28.70	2.27	-7.92
3517	3522	5	3	7	5	26.67	0.0705	28.70	2.03	-7.08
3517	3522	5	3	7	1	26.72	0.0705	28.70	1.98	-6.88
3525	3530	5	3	7	8	26.62	0.0705	28.70	2.08	-7.23
3525	3530	5	3	7	8	26.62	0.0705	28.70	2.08	-7.23
3546	3549	3	1	52	0	26.79	0.0705	28.70	1.91	-6.67
3552	3555	3	1	52	5	26.67	0.0705	28.70	2.03	-7.08
3558	3561	3	1	52	0	26.79	0.0705	28.70	1.91	-6.67
3558	3561	3	1	53	3	26.48	0.0705	28.70	2.22	-7.74
3563	3572	9	5	40	9	26.40	0.0705	28.70	2.30	-8.01
3563	3572	9	5	40	6	26.42	0.0705	28.70	2.28	-7.93
3573	3582	9	5	35	0	26.87	0.0705	28.70	1.83	-6.39
3573	3582	9	5	36	0	26.79	0.0705	28.70	1.91	-6.67
3659	3664	5	1	39	2	50.40	0.1055	52.35	1.95	-3.73
3659	3664	5	1	39	4	50.30	0.1055	52.35	2.05	-3.92
3666	3670	4	1	19	3	50.44	0.1055	52.35	1.91	-3.65
3666	3670	4	1	19	3	50.44	0.1055	52.35	1.91	-3.65
3674	3679	5	1	39	8	50.10	0.1045	51.62	1.52	-2.94
3674	3679	5	1	39	5	50.25	0.1045	51.62	1.36	-2.64
3688	3693	5	1	40	3	49.85	0.1045	51.62	1.76	-3.42
3688	3693	5	1	40	4	49.80	0.1045	51.62	1.81	-3.52
3698	3703	5	1	39	2	50.40	0.1045	51.62	1.21	-2.35
3698	3703	5	1	39	2	50.40	0.1045	51.62	1.21	-2.35
3706	3713	7	2	20	1	49.96	0.1045	51.62	1.65	-3.20
3716	3719	3	0	59	6	50.34	0.105	51.98	1.65	-3.17
3716	3719	3	0	59	2	50.68	0.105	51.98	1.31	-2.52
3726	3732	6	2	0	2	49.92	0.105	51.98	2.07	-3.98
3726	3732	6	2	0	1	49.96	0.105	51.98	2.03	-3.90
3735	3744	9	2	59	6	50.11	0.105	51.98	1.87	-3.60
3745	3754	9	2	59	0	50.28	0.105	51.98	1.70	-3.28

error máximo

error promedio (-3.59)

3746	3755	9	2	58	7	50.36	0.105	51.98	1.62	-3.12
3804	3809	5	1	6	8	74.85	0.1355	76.04	1.19	-1.56
3804	3809	5	1	6	7	74.96	0.1355	76.04	1.08	-1.41
3822	3827	5	1	5	5	76.34	0.137	77.30	0.96	-1.24
3836	3841	5	1	6	0	75.76	0.137	77.30	1.54	-1.99
3837	3842	5	1	6	4	75.30	0.137	77.30	2.00	-2.58
3847	3850	3	0	39	3	76.34	0.137	77.30	0.96	-1.24
3848	3851	3	0	39	4	76.14	0.137	77.30	1.15	-1.49
3857	3860	3	0	40	0	75.00	0.137	77.30	2.30	-2.97
3858	3861	3	0	40	0	75.00	0.137	77.30	2.30	-2.97
3872	3879	7	1	32	6	75.59	0.137	77.30	1.70	-2.20
3873	3880	7	1	32	5	75.68	0.137	77.30	1.62	-2.10
3892	3901	9	1	58	7	75.82	0.137	77.30	1.48	-1.91
3893	3902	9	1	59	9	75.06	0.137	77.30	2.23	-2.89
3031	3036	5	0	50	6	98.81	0.1635	100.62	1.81	-1.80
3063	3068	5	0	50	6	98.81	0.1635	100.62	1.81	-1.80
3082	3087	5	0	50	6	98.81	0.1635	100.62	1.81	-1.80
3106	3111	5	0	50	9	98.23	0.1635	100.62	2.39	-2.37
3114	3117	3	0	30	4	98.68	0.1635	100.62	1.94	-1.92
3120	3123	3	0	30	5	98.36	0.1635	100.62	2.26	-2.25
3127	3134	7	1	10	6	99.15	0.1635	100.62	1.47	-1.46
3137	3146	9	1	31	2	98.68	0.163	100.16	1.48	-1.48
4008	4012	4	0	32	9	121.58	0.1885	124.41	2.83	-2.27
4033	4038	5	0	41	3	121.07	0.1885	124.41	3.34	-2.69
4041	4046	5	0	40	9	122.25	0.1885	124.41	2.16	-1.73
4060	4063	3	0	24	3	123.46	0.1885	124.41	0.95	-0.76
4068	4071	3	0	24	6	121.95	0.1885	124.41	2.45	-1.97
4084	4091	7	0	56	9	123.02	0.1885	124.41	1.38	-1.11
4103	4112	9	1	13	5	122.45	0.1885	124.41	1.96	-1.57
4117	4126	9	1	13	3	122.78	0.1885	124.41	1.62	-1.30

error mínimo

Los datos tabulados en la Tabla 6.1, pueden ser representados de manera simplificada por medio de una gráfica mostrada en la Figura 6.3, que muestra el porcentaje de error obtenido respecto al gasto leído en el medidor.

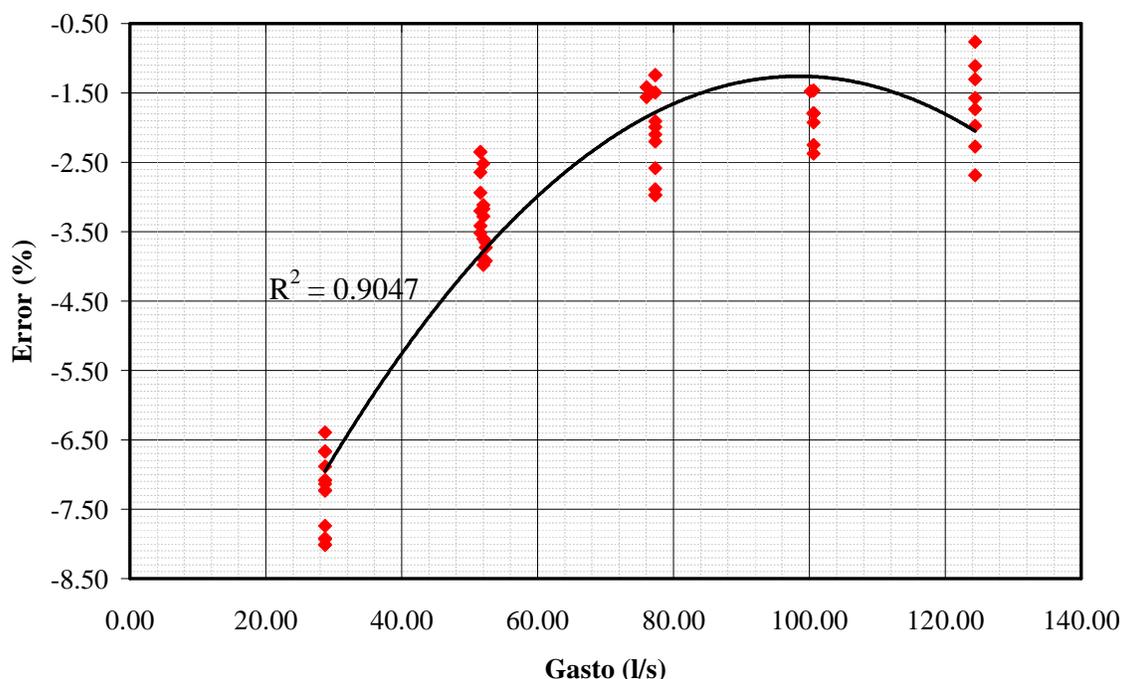


Figura 6.3 Gráfica de errores, colocado un tramo recto de diez diámetros antes del medidor.

En la gráfica se puede observar el error mínimo de -0.76% y el máximo de -8.02% lo que nos da un rango de 7.26 % de error, los errores mayores se presentan para gastos alrededor de 25 l/s. Si sólo se consideran gastos alrededor de 50 l/s y mayores, el rango se reduce a 3.22% y conforme aumenta el gasto el rango se estabiliza alrededor de 2 %, valor que permite se mantenga dentro del error nominal permitido. No se consideran representativos los errores para los gastos cercanos a los 25 l/s dado que es un gasto muy bajo, muy cercano al mínimo considerado. Esto debido a que la tubería es de un diámetro que de alguna manera permite gastos mucho mayores y un gasto pequeño como se puede observar genera errores más altos.

6.1.2. Prueba 2. Tramo recto de dos diámetros aguas arriba del medidor

La prueba número dos se llevó a cabo los días 11 y 12 de octubre del 2007. Esta prueba busca información sobre el desempeño del medidor con un tramo recto de dos diámetros de longitud, aguas arriba de éste, la distribución del tren de descarga se puede apreciar en la Figura 6.4, a la salida del suministro de agua se tiene un codo de 90° que provoca un disturbio en el flujo; le sigue un tramo recto de dos diámetros de longitud, seguido del medidor y un cuello de ganso para que el medidor trabaje a tubo lleno. Se tomaron lecturas, aproximándose a los gastos de 25, 50, 75, 100 y 125 l/s.

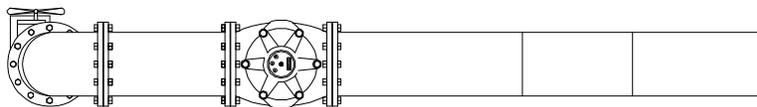


Figura 6.4 Distribución del tren de descarga con un tramo recto de dos diámetros aguas arriba.

La prueba tubo una duración aproximada de seis horas y media, se tomó el tiempo con un cronometro de pulsera, la prueba se realizó sin inconvenientes.



Figura 6.5 Fotografía del armado del tren de descarga.

Para esta prueba se obtuvieron los resultados tabulados a continuación:

Tabla 6.2 Datos de la prueba con un tramo recto de dos diámetros antes del medidor.

Lectura del limnómetro: 20

Lectura Inicial en medidor	Lectura Final en medidor	Diferencia volumen (m ³)	Tiempo (m,s,c)			Gasto en medidor (l/s)	Altura del tirante h (m)	Gasto en vertedor (L/s)	Diferencia de gastos (L)	Error %
5464	5469	5	3	23	1	24.62	0.066	26.01	1.39	-5.35
5473	5478	5	3	27	6	24.08	0.066	26.01	1.93	-7.41
5476	5479	3	2	4	5	24.10	0.066	26.01	1.91	-7.36
5480	5485	5	3	23	5	24.57	0.066	26.01	1.44	-5.54
5481	5484	3	2	3	4	24.31	0.0665	26.31	1.99	-7.58
5486	5491	5	3	20	9	24.89	0.0665	26.31	1.42	-5.39
5487	5496	9	6	0	9	24.94	0.0665	26.31	1.37	-5.20
5492	5497	5	3	20	6	24.93	0.0665	26.31	1.38	-5.25
5498	5509	11	7	26	8	24.62	0.0665	26.31	1.69	-6.41
5499	5504	5	3	22	0	24.75	0.066	26.01	1.26	-4.84
5521	5528	7	4	46	2	24.46	0.066	26.01	1.55	-5.97
5516	5523	7	4	44	5	24.60	0.066	26.01	1.41	-5.41
5828	5833	5	1	36	5	51.81	0.112	57.24	5.42	-9.47
5829	5834	5	1	36	1	52.03	0.112	57.24	5.21	-9.10
5835	5840	5	1	36	8	51.65	0.112	57.24	5.58	-9.75
5848	5852	4	1	16	9	52.02	0.112	57.24	5.22	-9.12
5849	5854	5	1	36	8	51.65	0.112	57.24	5.58	-9.75
5776	5779	3	0	57	8	51.90	0.112	57.24	5.33	-9.32
5868	5873	5	1	35	3	52.47	0.112	57.24	4.77	-8.33
5869	5876	7	2	14	1	52.20	0.112	57.24	5.04	-8.80
5877	5884	7	2	14	4	52.08	0.112	57.24	5.15	-9.00
5783	5795	12	3	49	9	52.20	0.112	57.24	5.04	-8.80
5803	5812	9	2	53	9	51.75	0.112	57.24	5.48	-9.58
5771	5781	10	3	11	6	52.19	0.112	57.24	5.04	-8.81
5843	5846	3	0	56	9	52.72	0.112	57.24	4.51	-7.88
5877	5882	5	1	36	3	51.92	0.112	57.24	5.31	-9.29
6974	6979	5	1	42	7	48.69	0.11	55.72	7.03	-12.62
6977	6982	5	1	42	4	48.83	0.11	55.72	6.89	-12.37
6980	6984	4	1	21	8	48.90	0.11	55.72	6.82	-12.24
6983	6988	5	1	40	5	49.75	0.11	55.72	5.97	-10.71
6986	6991	5	1	41	5	49.26	0.11	55.72	6.46	-11.59

error máximo

6992	6997	5	1	41	9	49.07	0.11	55.72	6.65	-11.94
6995	7002	7	2	23	3	48.85	0.11	55.72	6.87	-12.33
7000	7005	5	1	41	7	49.16	0.11	55.72	6.55	-11.76
7008	7015	7	2	22	8	49.02	0.11	55.72	6.70	-12.02
7007	7012	5	1	41	2	49.41	0.11	55.72	6.31	-11.33
7017	7024	7	2	22	2	49.23	0.11	55.72	6.49	-11.65
5627	5632	5	1	4	9	77.04	0.143	82.40	5.36	-6.50
5628	5631	3	0	39	7	75.57	0.143	82.40	6.83	-8.29
5637	5642	5	1	7	3	74.29	0.143	82.40	8.10	-9.84
5638	5643	5	1	5	8	75.99	0.143	82.40	6.41	-7.78
5648	5653	5	1	5	6	76.22	0.143	82.40	6.18	-7.50
5659	5662	3	0	38	9	77.12	0.142	81.54	4.42	-5.42
5664	5667	3	0	39	0	76.92	0.142	81.54	4.62	-5.66
5665	5672	7	1	31	5	76.50	0.142	81.54	5.04	-6.18
5670	5677	7	1	34	5	74.07	0.142	81.54	7.47	-9.16
5676	5685	9	1	58	0	76.27	0.142	81.54	5.27	-6.46
5680	5689	9	1	57	6	76.53	0.142	81.54	5.01	-6.14
5700	5710	10	2	9	6	77.16	0.142	81.54	4.38	-5.37
5703	5708	5	1	5	7	76.10	0.142	81.54	5.44	-6.67
5711	5716	5	1	5	6	76.22	0.142	81.54	5.32	-6.53
6032	6037	5	0	52	0	96.15	0.1665	103.39	7.23	-7.00
6033	6038	5	0	51	4	97.28	0.1665	103.39	6.11	-5.91
6043	6048	5	0	51	7	96.71	0.1665	103.39	6.67	-6.46
6050	6055	5	0	51	4	97.28	0.1665	103.39	6.11	-5.91
6060	6065	5	0	51	5	97.09	0.1665	103.39	6.30	-6.09
6061	6068	7	1	12	1	97.09	0.1665	103.39	6.30	-6.09
6073	6080	7	1	12	3	96.82	0.166	102.92	6.11	-5.93
6044	6047	3	0	30	9	97.09	0.166	102.92	5.84	-5.67
6053	6056	3	0	30	9	97.09	0.166	102.92	5.84	-5.67
6074	6079	5	0	51	9	96.34	0.166	102.92	6.58	-6.40
6084	6093	9	1	32	6	97.19	0.166	102.92	5.73	-5.57
6085	6094	9	1	32	6	97.19	0.166	102.92	5.73	-5.57
6099	6109	10	1	42	5	97.56	0.166	102.92	5.36	-5.21
6100	6105	5	0	51	0	98.04	0.166	102.92	4.88	-4.75
6814	6819	5	0	50	3	99.40	0.1695	106.18	6.77	-6.38
6816	6821	5	0	50	4	99.21	0.1695	106.18	6.97	-6.57
6824	6829	5	0	50	2	99.60	0.1695	106.18	6.58	-6.19
6825	6830	5	0	50	2	99.60	0.1695	106.18	6.58	-6.19
6833	6838	5	0	50	3	99.40	0.1695	106.18	6.77	-6.38
6834	6839	5	0	50	9	98.23	0.1695	106.18	7.95	-7.48
6839	6842	3	0	29	7	101.01	0.1695	106.18	5.17	-4.87
6842	6849	7	1	10	8	98.87	0.1695	106.18	7.31	-6.88
6843	6850	7	1	10	8	98.87	0.1695	106.18	7.31	-6.88
6219	6224	5	0	39	9	125.31	0.198	133.87	8.56	-6.39
6220	6225	5	0	39	6	126.26	0.198	133.87	7.61	-5.68
6227	6232	5	0	39	6	126.26	0.198	133.87	7.61	-5.68
6228	6233	5	0	39	7	125.94	0.199	134.88	8.94	-6.63
6236	6241	5	0	39	8	125.63	0.199	134.88	9.25	-6.86
6239	6243	4	0	32	0	125.00	0.199	134.88	9.88	-7.33

error mínimo

error promedio
(-7.37)

6245	6248	3	0	23	9	125.52	0.199	134.88	9.36	-6.94
6257	6264	7	0	55	9	125.22	0.199	134.88	9.66	-7.16
6258	6265	7	0	55	7	125.67	0.199	134.88	9.21	-6.83
6270	6279	9	1	11	1	126.58	0.199	134.88	8.30	-6.15
6271	6280	9	1	11	4	126.05	0.199	134.88	8.83	-6.55
6283	6293	10	1	19	9	125.16	0.199	134.88	9.72	-7.21
6320	6325	5	0	39	7	125.94	0.199	134.88	8.94	-6.63
6337	6342	5	0	39	9	125.31	0.199	134.88	9.57	-7.09
6251	6254	3	0	23	8	126.05	0.199	134.88	8.83	-6.55
6328	6333	5	0	39	4	126.90	0.199	134.88	7.98	-5.91
6500	6506	6	0	48	0	125.00	0.1985	134.38	9.38	-6.98
6501	6507	6	0	47	8	125.52	0.1985	134.38	8.85	-6.59
6516	6521	5	0	39	5	126.58	0.1985	134.38	7.79	-5.80
6515	6520	5	0	39	8	125.63	0.1985	134.38	8.75	-6.51
6528	6535	7	0	55	6	125.90	0.1985	134.38	8.48	-6.31
6526	6532	6	0	47	5	126.32	0.1985	134.38	8.06	-6.00
6545	6550	5	0	39	6	126.26	0.1985	134.38	8.11	-6.04
6546	6551	5	0	39	6	126.26	0.1985	134.38	8.11	-6.04

Los datos tabulados en la Tabla 6.2, contienen todas las lecturas de la prueba, ordenadas de acuerdo al gasto, se presentan de manera simplificada por medio de la gráfica de la figura 6.6, ésta muestra el porcentaje de error obtenido respecto al gasto leído en el medidor:

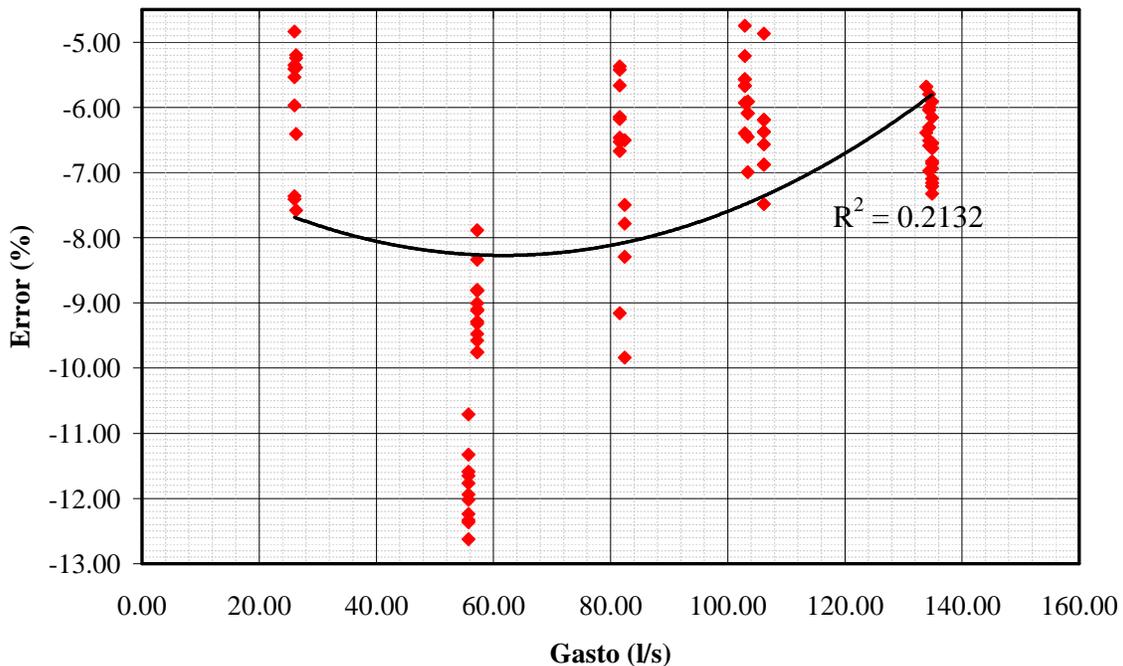


Figura 6.6 Gráfica de errores, colocado un tramo recto de dos diámetros antes del medidor.

El error mínimo que se tiene es de -4.75%, el máximo de -12.62%, esto da un rango de error de 7.82%, la mayoría de los errores se encuentra entre el -5.00% y -10.00%, se puede notar que en los gastos alrededor de 50 l/s, un ligero aumento en el gasto, disminuye el error un 2%. Si se anularan estas lecturas, el rango de error estaría alrededor de 5.00%, lo que muestra variabilidad respecto a un gasto.

6.1.3. Prueba 3. Medidor sin tramos rectos aguas arriba

La prueba número tres se llevó a cabo el día 19 de octubre del 2007. Esta prueba se realizó bajo las mismas condiciones de la prueba anterior la distribución del tren de descarga se puede observar en la Figura 6.7 y se tomaron lecturas tratando de aproximar los gastos a 25, 50, 75, 100 y 125 l/s.

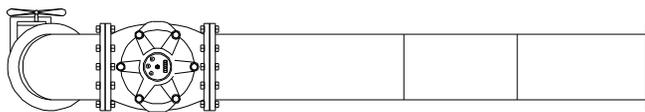


Figura 6.7 Distribución del tren de descarga sin tramo recto, a la salida del suministro de agua.

La prueba tubo una duración aproximada de tres horas y media, en la realización de esta prueba se contaba con dos cronómetros, por lo cual se tomaron lecturas simultáneas con objeto de disminuir el tiempo de duración de la prueba, sin embargo a pesar de que no hubo inconvenientes no se volvieron a realizar lecturas simultáneas en otra prueba. Se tomaron alrededor de 12 lecturas para cada gasto.

Para esta prueba se obtuvieron los resultados tabulados a continuación:

Tabla 6.3 Datos de la prueba sin tramo recto antes del medidor y con un codo de 90°.

Lectura del limnómetro: 20

Lectura Inicial en medidor	Lectura Final en medidor	Diferencia volumen (m ³)	Tiempo (m,s,c)			Gasto en medidor (l/s)	Altura del tirante h (m)	Gasto en vertedor (L/s)	Diferencia de gastos (L)	Error %
7985	7990	5	3	11	2	26.15	0.0725	29.92	3.77	-12.60
7990	7995	5	3	8	9	26.47	0.0725	29.92	3.45	-11.54
7986	7991	5	3	7	6	26.65	0.0725	29.92	3.27	-10.93
7992	7997	5	3	13	2	25.88	0.0725	29.92	4.04	-13.51
7996	8001	5	3	12	2	26.01	0.0725	29.92	3.91	-13.06
8001	8006	5	3	7	6	26.65	0.0725	29.92	3.27	-10.93
7998	8005	7	4	20	1	26.91	0.0725	29.92	3.01	-10.06
8007	8014	7	4	24	4	26.48	0.0725	29.92	3.45	-11.52
8007	8010	3	1	55	0	26.09	0.0725	29.92	3.84	-12.82
8010	8013	3	1	51	0	27.03	0.073	30.23	3.20	-10.60
8015	8024	9	5	43	0	26.24	0.073	30.23	3.99	-13.20
8024	8033	9	5	40	8	26.41	0.073	30.23	3.82	-12.64
8031	8036	5	3	9	5	26.39	0.073	30.23	3.85	-12.72
8034	8037	3	1	57	0	25.64	0.073	30.23	4.59	-15.18
8105	8110	5	3	13	3	25.87	0.0728	30.11	4.24	-14.08
8110	8115	5	3	14	4	25.72	0.0728	30.11	4.39	-14.57
7862	7867	5	1	44	1	48.03	0.0973	46.40	-1.63	3.51
7867	7872	5	1	44	2	47.98	0.0973	46.40	-1.58	3.41
7883	7888	5	1	46	5	46.95	0.0973	46.40	-0.55	1.18
7888	7893	5	1	44	6	47.80	0.0973	46.40	-1.40	3.01
7894	7899	5	1	44	2	47.98	0.0973	46.40	-1.58	3.41
7899	7904	5	1	44	9	47.66	0.0973	46.40	-1.26	2.72
7905	7909	4	1	23	4	47.96	0.0973	46.40	-1.56	3.36

error máximo

error promedio
0.49

7903	7906	3	1	4	3	46.66	0.0973	46.40	-0.25	0.55
7910	7917	7	2	27	5	47.46	0.0975	46.54	-0.91	1.96
7917	7924	7	2	26	0	47.95	0.0975	46.54	-1.40	3.01
7925	7934	9	3	7	6	47.97	0.0973	46.40	-1.57	3.39
7934	7944	10	3	31	6	47.26	0.0975	46.54	-0.71	1.53
8167	8172	5	1	40	7	49.65	0.1005	48.70	-0.96	1.96
8172	8177	5	1	40	4	49.80	0.1005	48.70	-1.10	2.27
7115	7120	5	1	8	3	73.21	0.1288	70.50	-2.71	3.84
7143	7148	5	1	8	6	72.89	0.1288	70.50	-2.39	3.39
7150	7155	5	1	7	9	73.64	0.1288	70.50	-3.14	4.45
7152	7157	5	1	8	8	72.67	0.1288	70.50	-2.17	3.08
7161	7168	7	1	35	8	73.07	0.1291	70.74	-2.32	3.29
7185	7194	9	2	2	9	73.23	0.1291	70.74	-2.49	3.51
7186	7191	5	1	8	4	73.10	0.1291	70.74	-2.35	3.33
7191	7196	5	1	8	6	72.89	0.1291	70.74	-2.14	3.03
7201	7206	5	1	8	5	72.99	0.1291	70.74	-2.25	3.18
7203	7212	9	2	4	2	72.46	0.1291	70.74	-1.72	2.43
7208	7218	10	2	17	4	72.78	0.129	70.66	-2.12	3.00
8197	8202	5	1	5	6	76.22	0.1325	73.54	-2.68	3.64
8202	8207	5	1	4	8	77.16	0.1325	73.54	-3.62	4.92
8209	8215	6	1	17	9	77.02	0.1325	73.54	-3.48	4.73
7287	7292	5	0	49	0	102.04	0.16	97.43	-4.62	4.74
7305	7310	5	0	48	3	103.52	0.16	97.43	-6.09	6.25
7311	7316	5	0	48	8	102.46	0.16	97.43	-5.03	5.17
7317	7322	5	0	48	6	102.88	0.16	97.43	-5.45	5.60
7322	7327	5	0	49	0	102.04	0.16	97.43	-4.62	4.74
7331	7336	5	0	48	7	102.67	0.16	97.43	-5.24	5.38
7336	7341	5	0	48	3	103.52	0.159	96.52	-7.00	7.25
7360	7367	7	1	8	3	102.49	0.159	96.52	-5.97	6.19
7367	7374	7	1	8	2	102.64	0.159	96.52	-6.12	6.34
7364	7373	9	1	27	6	102.74	0.159	96.52	-6.22	6.44
7377	7386	9	1	28	2	102.04	0.159	96.52	-5.52	5.72
7385	7396	11	1	46	8	103.00	0.159	96.52	-6.48	6.71
7377	7385	8	1	18	0	102.56	0.159	96.52	-6.04	6.26
7400	7403	3	0	29	2	102.74	0.159	96.52	-6.22	6.44
7403	7406	3	0	29	1	103.09	0.159	96.52	-6.57	6.81
8244	8250	6	0	55	2	108.70	0.1655	102.46	-6.23	6.08
7524	7529	5	0	40	6	123.15	0.1825	118.55	-4.61	3.89
7536	7541	5	0	40	4	123.76	0.1825	118.55	-5.22	4.40
7548	7553	5	0	40	2	124.38	0.1825	118.55	-5.83	4.92
7553	7558	5	0	40	2	124.38	0.1825	118.55	-5.83	4.92
7559	7562	3	0	23	8	126.05	0.1825	118.55	-7.50	6.33
7562	7565	3	0	24	3	123.46	0.1825	118.55	-4.91	4.14
7572	7575	3	0	24	3	123.46	0.182	118.06	-5.39	4.57
7665	7672	7	0	56	3	124.33	0.182	118.06	-6.27	5.31
7675	7682	7	0	56	6	123.67	0.182	118.06	-5.61	4.75
7647	7656	9	1	12	6	123.97	0.182	118.06	-5.90	5.00
7670	7679	9	1	12	5	124.14	0.182	118.06	-6.07	5.15

error mínimo

Los datos tabulados en la Tabla 6.3 se pueden presentar de manera simplificada por medio de la gráfica mostrada en la Figura 6.8, donde se muestra el porcentaje de error obtenido con respecto al gasto leído en el medidor.

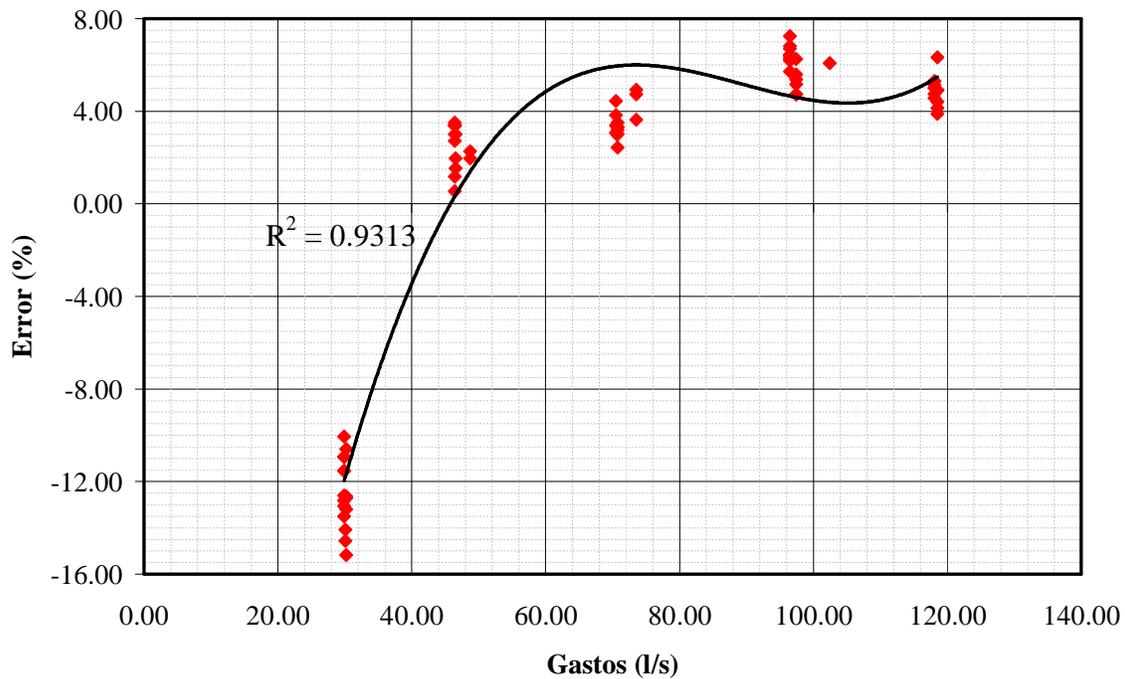


Figura 6.8 Gráfica de errores, con ausencia de tramo recto y un codo de 90° antes del medidor.

Se puede observar un rango de error amplio en esta gráfica, incluye valores positivos y negativos, el error mínimo es de 7.25% mientras que el máximo de -15.18%; haciendo un rango de error 22.43%, los valores negativos solo están dados para los gastos alrededor de 25 l/s. Este es el mismo caso que la prueba número uno en la que se hacía la observación que dicho valor tan bajo del error se puede deber a que la magnitud del gasto está muy cercano al gasto mínimo del medidor y en dicha magnitud el medidor no trabaja adecuadamente. Si consideramos los gastos alrededor de 50 l/s y mayores el rango de error disminuye notoriamente, quedando un rango alrededor de 7.00%. Se tiene un comportamiento interesante, si se eliminará el resultado de los gastos cercanos a 25 l/s. El medidor presenta errores muy parecidos en rango, todos de signo positivo a diferencia de los encontrados con el tramo recto de dos diámetros. Una conclusión parcial hasta aquí es que la ausencia de tramos rectos no afecta de manera considerable a la medición; en este caso tenemos un resultado parecido al encontrado por la Universidad de Guanajuato en los experimentos de Ortiz y Sierra.

6.1.4. Prueba 4. Verificación de histéresis

Ésta prueba, se llevó a cabo el día 5 de noviembre del 2007, con una duración aproximada de cuatro horas. Como se mencionó, con esta prueba se busca obtener información para conocer si se presenta el fenómeno de histéresis en el vertedor que podrían afectar los resultados de errores del medidor. Se tomaron las lecturas partiendo de un gasto definido como el mínimo de la prueba, aumentándolo y tomando varias lecturas cada vez que se aumentaba a un gasto que se consideró como máximo. Posteriormente se fue disminuyendo el gasto y se tomaron varias lecturas para cada disminución de gasto hasta llegar de nuevo alrededor del gasto mínimo previamente definido. En esta prueba se tuvo un cambio importante en la configuración de la

tubería; como ya se comentó, resultaba peligroso y complicado realizar maniobras para colocar la tubería a la salida del suministro de agua ya que las tuberías son muy pesadas y la grúa viajera con que cuenta el laboratorio, no alcanzaba a situarse encima del área de pruebas, para poder llevara cabo el acomodo, las maniobras se hacían con malacates y poleas de una manera inadecuada. Por esta circunstancia se decidió colocar un tramo de tubería adicional de manera que la grúa pudiera colocarse encima del tubo para realizar maniobras seguras. Además se debió colocar un par de codos para que la salida del tren de descarga arrojara el agua al canal de retorno. El tren de descarga quedó como se muestra en la Figura 6.9.

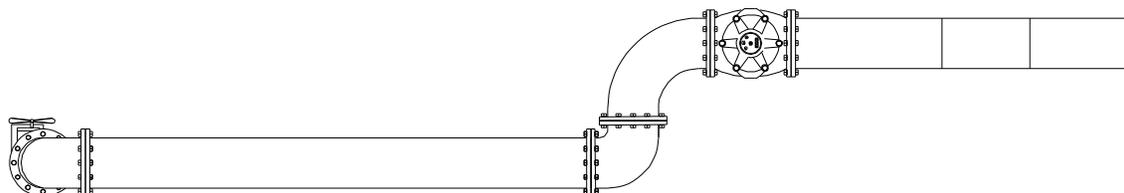


Figura 6.9 Adaptación del tren de descarga, agregando un tramo recto de diez diámetros y dos codos 90° para facilidad de maniobra.

Para esta prueba se obtuvieron los resultados tabulados a continuación:

Tabla 6.4 Datos de la prueba para la verificación de histéresis.

Lectura del limnómetro: 20

Lectura Inicial en medidor	Lectura Final en medidor	Diferencia volumen (m ³)	Tiempo (m,s,c)			Gasto en medidor (l/s)	Altura del tirante h (m)	Gasto en vertedor (L/s)	Diferencia de gastos (L)	Error %
8319	8324	5	3	56	9	21.11	0.06	22.56	1.46	-6.46
8326	8331	5	3	58	9	20.93	0.0605	22.85	1.92	-8.39
8333	8338	5	3	59	2	20.90	0.0601	22.62	1.72	-7.59
8362	8367	5	1	45	3	47.48	0.1049	51.91	4.43	-8.53
8368	8373	5	1	45	9	47.21	0.1042	51.39	4.18	-8.13
8377	8382	5	1	46	1	47.13	0.1042	51.39	4.27	-8.31
8385	8390	5	1	46	0	47.17	0.1042	51.39	4.22	-8.22
8413	8419	6	1	19	3	75.66	0.144	83.26	7.60	-9.13
8421	8426	5	1	5	9	75.87	0.144	83.26	7.39	-8.87
8433	8438	5	1	6	1	75.64	0.144	83.26	7.62	-9.15
8439	8444	5	1	6	5	75.19	0.144	83.26	8.07	-9.69
8482	8487	5	0	50	9	98.23	0.1705	107.11	8.88	-8.29
8492	8497	5	0	50	5	99.01	0.1705	107.11	8.10	-7.56
8498	8503	5	0	50	4	99.21	0.1705	107.11	7.91	-7.38
8512	8517	5	0	51	3	97.47	0.1705	107.11	9.65	-9.01
8518	8523	5	0	50	1	99.80	0.1705	107.11	7.31	-6.83
8571	8576	5	0	43	7	114.42	0.1892	125.10	10.68	-8.54
8578	8582	4	0	34	8	114.94	0.1892	125.10	10.15	-8.12
8586	8591	5	0	43	6	114.68	0.1892	125.10	10.42	-8.33
8602	8607	5	0	43	6	114.68	0.1882	124.11	9.43	-7.60
8613	8618	5	0	43	8	114.16	0.1882	124.11	9.96	-8.02
8691	8696	5	0	38	9	128.53	0.2	135.89	7.36	-5.41
8701	8706	5	0	39	0	128.21	0.2	135.89	7.69	-5.66
8708	8713	5	0	38	7	129.20	0.2	135.89	6.69	-4.93

8718	8723	5	0	39	0	128.21	0.2	135.89	7.69	-5.66	
8741	8746	5	0	39	2	127.55	0.2	135.89	8.34	-6.14	
8748	8753	5	0	38	9	128.53	0.2	135.89	7.36	-5.41	
8755	8760	5	0	38	5	129.87	0.2	135.89	6.02	-4.43	error mínimo
8831	8836	5	0	43	9	113.90	0.1872	123.13	9.23	-7.50	
8837	8842	5	0	44	2	113.12	0.1875	123.42	10.30	-8.35	
8843	8848	5	0	43	6	114.68	0.1875	123.42	8.74	-7.08	
8859	8864	5	0	43	6	114.68	0.1875	123.42	8.74	-7.08	
8891	8896	5	0	56	4	88.65	0.1602	97.61	8.95	-9.17	
8897	8901	4	0	44	7	89.49	0.1602	97.61	8.12	-8.32	
8904	8909	5	0	56	4	88.65	0.1602	97.61	8.95	-9.17	
8910	8915	5	0	56	8	88.03	0.1602	97.61	9.58	-9.81	error máximo
8916	8921	5	0	56	1	89.13	0.1602	97.61	8.48	-8.69	
8945	8950	5	1	16	9	65.02	0.13	71.48	6.46	-9.04	
8951	8956	5	1	17	1	64.85	0.13	71.48	6.63	-9.28	
8957	8962	5	1	17	2	64.77	0.13	71.48	6.71	-9.39	
8981	8986	5	1	52	7	44.37	0.1	48.34	3.97	-8.21	
8987	8992	5	1	51	6	44.80	0.1	48.34	3.53	-7.31	
8995	9000	5	1	52	3	44.52	0.1	48.34	3.81	-7.89	
9001	9006	5	1	52	9	44.29	0.1	48.34	4.05	-8.38	
9016	9021	5	3	52	4	21.51	0.062	23.70	2.18	-9.20	
9022	9027	5	3	48	9	21.84	0.062	23.70	1.85	-7.81	
9028	9033	5	3	49	1	21.82	0.062	23.70	1.87	-7.90	error promedio (-7.86)
9034	9039	5	3	49	4	21.80	0.062	23.70	1.90	-8.02	

Para corroborar que no se presenta el fenómeno de histéresis se tiene en la Figura 6.10 la gráfica con las lecturas en el limnómetro con respecto al gasto leído en el medidor.

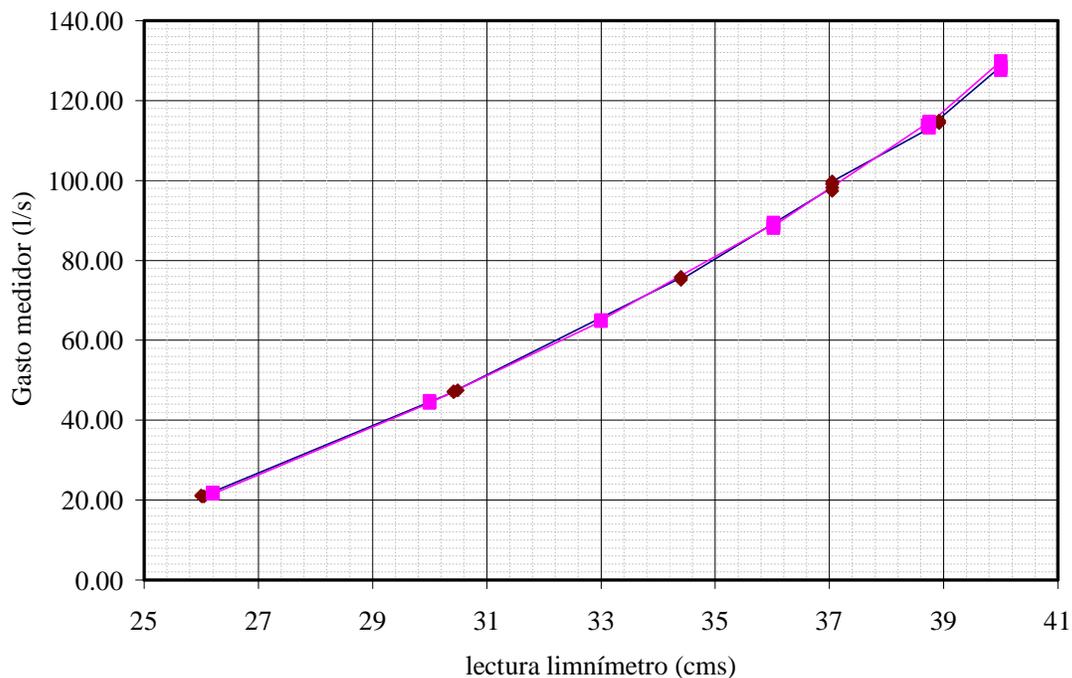


Figura 6.10 Verificación de histéresis.

Como se puede observar en la Figura 6.10 al graficar las lecturas tomadas incrementado el gasto, después disminuyendolo y uniendolas en este orden con una línea, se mantienen muy unidas, cruzándose en algunos puntos y separándose un poco en los conjuntos de lecturas, lo que demuestra la no existencia de histéresis.

6.1.5. Prueba 5. Medidor sin tramo recto y dos codos aguas arriba del medidor

La prueba número cinco se llevo a cabo los días 7 y 15 de noviembre del 2007, ésta busca información sobre el desempeño del medidor sin tramo recto alguno aguas arriba de éste. Como se muestra en la Figura 6.11 y desde la prueba anterior, la distribución del tren de descarga tiene un arreglo con dos codos de 90° antes del medidor. Se hace la observación de que en esta prueba se ensayaron otras magnitudes de gasto. En las pruebas anteriores se trataban de ajustar los gastos a 25, 50, 75, 100 y 125 l/s, pero el tiempo que tomaba lograr la magnitud del gasto requerido era notoria; así que se decidió tomar lecturas puntuales variando el gasto, aumentando y disminuyendo sin orden alguno, es decir de forma aleatoria, con lo que se ganó enormemente en tiempo de prueba, además de que la distribución de los errores dan un idea mas certera de su comportamiento.

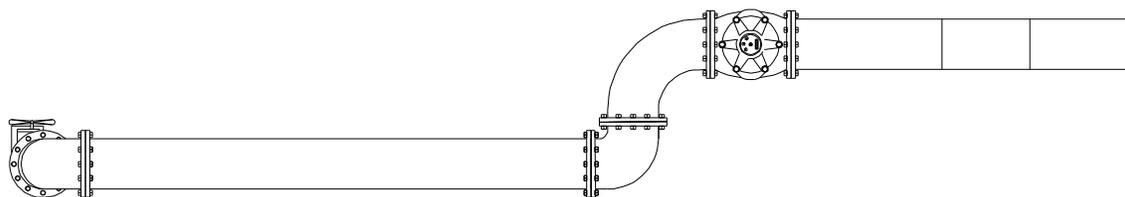


Figura 6.11 Distribución del tren de descarga sin tramo recto colocado y dos codos de 90° antes del medidor.

Esta prueba debió suspenderse al poco tiempo de iniciada, debido a que se haría uso de las bombas para otras actividades del laboratorio, reanudándola días después, se tomaron lecturas hasta obtener una muestra representativa de la amplitud de gasto considerado. Se tomó el tiempo con cronometro.

Para esta prueba se obtuvieron los resultados tabulados a continuación:

Tabla 6.5 Datos de la prueba sin tramos rectos aguas arriba del medidor, pero colocados dos codos de 90° antes de éste.

Lectura del limnómetro: 20

Lectura Inicial en medidor	Lectura Final en medidor	Diferencia volumen (m ³)	Tiempo (m,s,c)			Gasto en medidor (l/s)	Altura del tirante h (m)	Gasto en vertedor (L/s)	Diferencia de gastos (L)	Error %
9119	9124	5	0	56	0	89.29	0.1605	97.88	8.59	-8.78
9131	9136	5	0	55	9	89.45	0.1605	97.88	8.43	-8.62
9154	9159	5	1	2	5	80.00	0.1505	88.93	8.93	-10.04
9166	9171	5	1	2	5	80.00	0.15	88.49	8.49	-9.59
9214	9219	5	0	47	0	106.38	0.18	116.13	9.75	-8.40
9258	9263	5	1	17	8	64.27	0.129	70.66	6.40	-9.05
9279	9284	5	2	37	6	31.73	0.081	35.30	3.58	-10.13
9314	9319	5	1	31	4	54.70	0.1155	59.92	5.22	-8.71
9331	9336	5	2	6	5	39.53	0.0923	42.89	3.37	-7.85
9355	9360	5	1	3	7	78.49	0.146	84.99	6.50	-7.64

error promedio
(-8.61)

error máximo

9369	9374	5	1	4	3	77.76	0.1475	86.30	8.54	-9.89
9387	9392	5	4	18	2	19.36	0.057	20.90	1.54	-7.36
9416	9421	5	1	12	6	68.87	0.1355	76.04	7.17	-9.43
9458	9463	5	1	1	6	81.17	0.152	90.25	9.08	-10.06
9490	9495	5	1	33	1	53.71	0.1145	59.15	5.45	-9.21
9517	9522	5	3	8	5	26.53	0.07	28.40	1.87	-6.59
9534	9539	5	2	0	5	41.49	0.095	44.78	3.28	-7.33
9657	9662	5	1	35	7	52.25	0.1115	56.86	4.61	-8.11
9924	9929	5	0	39	9	125.31	0.198	133.87	8.56	-6.39
9944	9949	5	0	52	7	94.88	0.1666	103.48	8.60	-8.31
9964	9969	5	1	53	1	44.21	0.1	48.34	4.13	-8.54
9979	9984	5	1	19	1	63.21	0.1275	69.44	6.23	-8.97
9999	10004	5	3	39	3	22.80	0.064	24.84	2.04	-8.23
10038	10043	5	0	51	0	98.04	0.171	107.58	9.54	-8.87
10061	10066	5	0	53	3	93.81	0.166	102.92	9.12	-8.86
10075	10080	5	1	11	4	70.03	0.137	77.30	7.27	-9.40
10091	10096	5	1	51	4	44.88	0.1005	48.70	3.81	-7.83
10108	10113	5	4	32	9	18.32	0.0556	20.14	1.82	-9.04

error mínimo

Los datos tabulados en la Tabla 6.5, se pueden presentar de manera simplificada por medio de la gráfica de la Figura 6.12, donde se muestra el porcentaje de error obtenido correspondiente al gasto leído en el medidor.

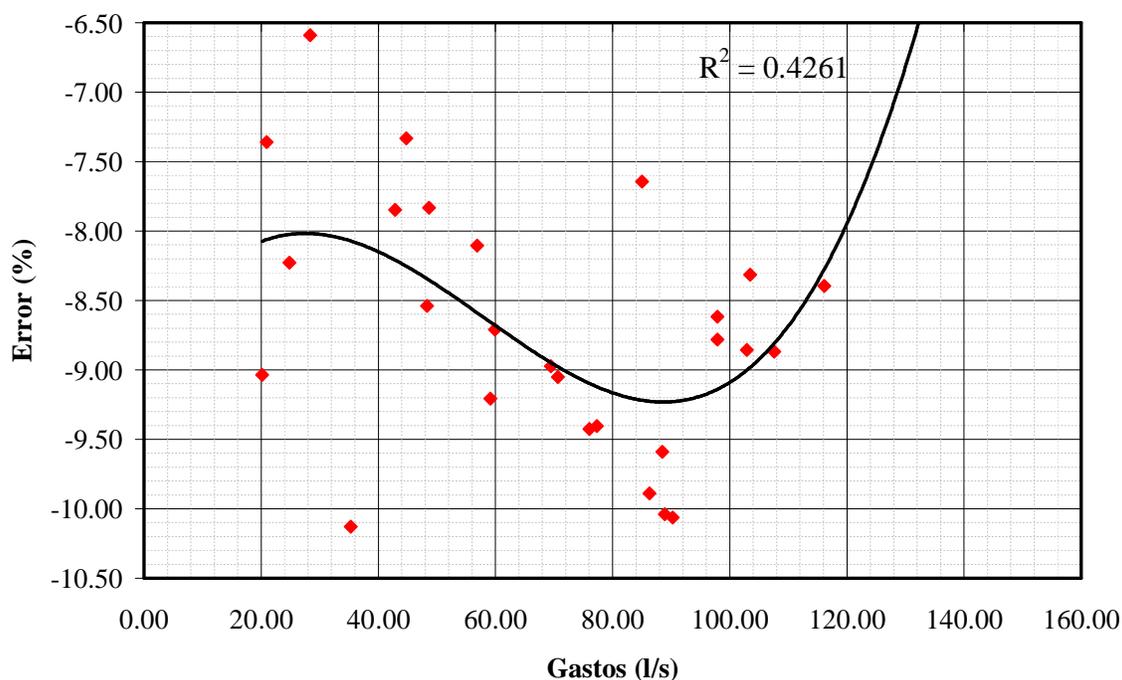


Figura 6.12 Gráfico de errores sin tramo recto y dos codos de 90° antes del medidor.

En la grafica se puede observar que el error mínimo de -6.39% y el máximo de -10.13%, siendo el rango de error de 4.74%, las lecturas muestran mucha dispersión entre sí, pero se puede apreciar como al aumentar el gasto los errores tienen un ligero incremento al aumentarlo mas pasado de los 100 l/s, éste vuelve a disminuir quedando los errores alrededor de 8.7%

6.1.6. Prueba 6. Medidor sin tramo recto aguas arriba; previa a las pruebas con acondicionadores de flujo

La prueba seis se llevó a cabo el día 15 de noviembre del 2007, se pretende comparar los resultados de esta prueba con una de características similares, pero realizada al terminar de probar los orientadores y acondicionadores de flujo, con objeto de descartar la posibilidad de desajustes en el medidor por la manipulación de éste durante la realización de las pruebas. Para esta prueba, en particular, se volvieron a tomar cinco lecturas aproximándose a cada uno de los siguientes gastos: 25, 50, 75, 100 y 125 l/s.

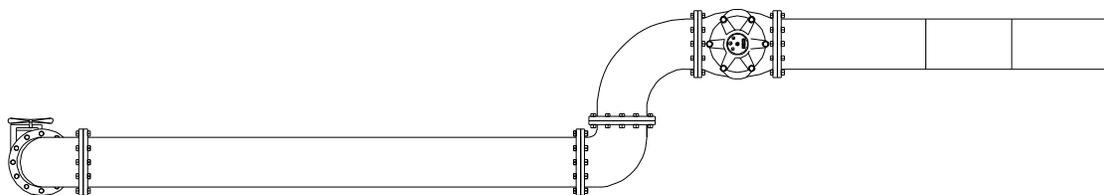


Figura 6.13 Distribución del tren de descarga sin tramo recto y dos codos de 90° antes del medidor.

La prueba tubo una duración aproximada de tres horas, tomando el tiempo con cronometro, sin inconvenientes durante su realización.

Para esta prueba se obtuvieron los resultados tabulados a continuación:

Tabla 6.6 Datos de la prueba sin rectos aguas arriba del medidor, previa a las pruebas con acondicionadores de flujo.

Lectura del limnómetro: 20

Lectura Inicial en medidor	Lectura Final en medidor	Diferencia volumen (m ³)	Tiempo (m,s,c)			Gasto en medidor (l/s)	Altura del tirante h (m)	Gasto en vertedor (L/s)	Diferencia de gastos (L)	Error %
9590	9595	5	3	12	0	26.04	0.07	28.40	2.35	-8.29
9596	9601	5	3	11	4	26.12	0.07	28.40	2.27	-8.01
9602	9607	5	3	12	8	25.93	0.07	28.40	2.46	-8.67
9608	9613	5	3	13	7	25.81	0.07	28.40	2.58	-9.10
9615	9620	5	3	14	1	25.76	0.07	28.40	2.64	-9.28
9626	9631	5	1	35	8	52.19	0.1115	56.86	4.66	-8.20
9632	9637	5	1	36	9	51.60	0.1115	56.86	5.26	-9.24
9638	9643	5	1	35	6	52.30	0.1115	56.86	4.55	-8.01
9644	9649	5	1	36	9	51.60	0.1115	56.86	5.26	-9.24
9650	9655	5	1	36	4	51.87	0.1115	56.86	4.99	-8.77
9703	9708	5	1	3	4	78.86	0.149	87.61	8.74	-9.98
9709	9714	5	1	3	2	79.11	0.149	87.61	8.49	-9.70
9715	9720	5	1	3	9	78.25	0.149	87.61	9.36	-10.68
9721	9726	5	1	3	0	79.37	0.149	87.61	8.24	-9.41
9727	9732	5	1	3	9	78.25	0.149	87.61	9.36	-10.68
9811	9816	5	0	45	6	109.65	0.182	118.06	8.41	-7.13
9817	9822	5	0	45	8	109.17	0.182	118.06	8.89	-7.53
9823	9828	5	0	45	6	109.65	0.182	118.06	8.41	-7.13
9829	9834	5	0	46	3	107.99	0.182	118.06	10.07	-8.53
9835	9840	5	0	45	8	109.17	0.182	118.06	8.89	-7.53

error máximo

error promedio (-8.46)

9875	9880	5	0	40	1	124.69	0.198	133.87	9.18	-6.86	error mínimo
9882	9887	5	0	39	9	125.31	0.198	133.87	8.56	-6.39	
9889	9894	5	0	40	2	124.38	0.198	133.87	9.49	-7.09	
9896	9901	5	0	40	5	123.46	0.198	133.87	10.41	-7.78	
9903	9908	5	0	40	7	122.85	0.198	133.87	11.02	-8.23	

Los datos tabulados en la Tabla 6.6, se pueden presentar de forma simplificada como se muestra en la gráfica de la Figura 6.14, donde se aprecia el porcentaje de error obtenido respecto al gasto leído en el medidor.

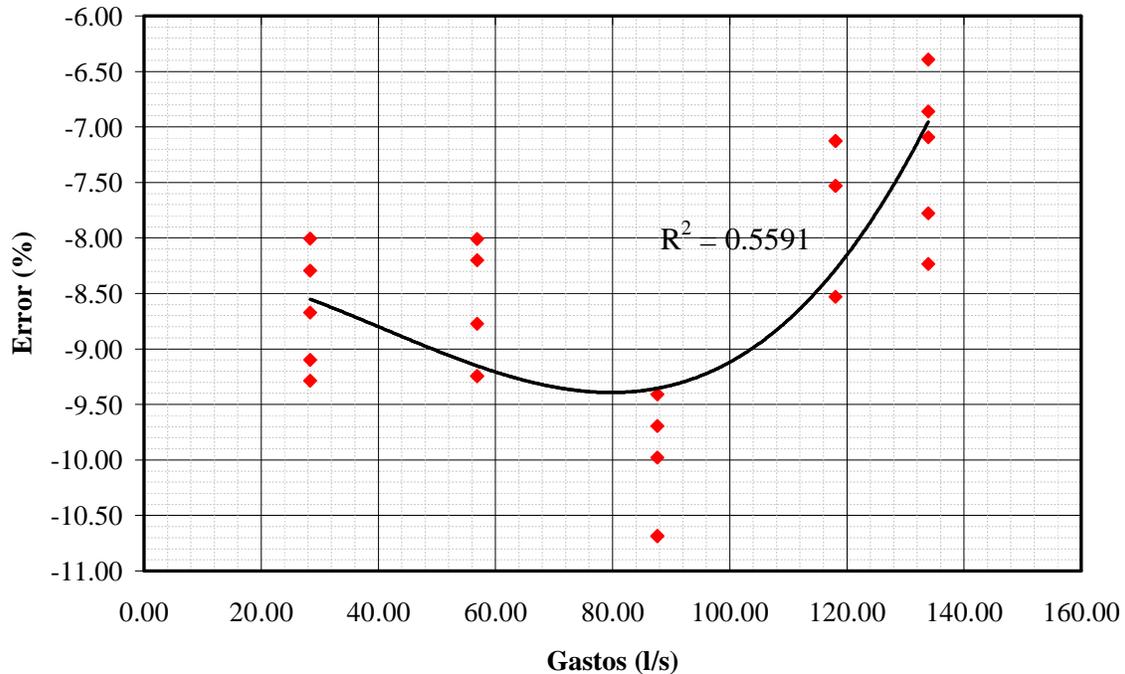


Figura 6.14 Gráfica de errores sin tramo recto y colocados dos codos de 90° antes del medidor. Tomada como condición inicial del medidor.

En la grafica se puede observar que el error minimo de -6.39% y el máximo de -10.68%, siendo el rango de error de 4.29%, las lecturas son ordenadas muestran para gastos pequeños similitud, al aumentar el gasto los errores tiene incrementan y al aumentarlo más, los errores comienzan a disminuir con tendencia al error minimo.

6.1.7. Prueba 18. Medidor sin tramo recto aguas arriba; posterior a las pruebas con acondicionadores de flujo

La prueba 18 se llevó a cabo el día 17 de diciembre del 2007. Esta prueba se realizó después de probar los orientadores y acondicionadores, se presenta en esta parte del documento por su finalidad comparativa. El objeto de comparar los resultados de esta prueba con los de la prueba número 6, realizada anteriormente, es corroborar que no se hayan provocado desajustes en el medidor por su manejo durante las pruebas. Nuevamente se varió el gasto de forma aleatoria hasta tener una muestra representativa del rango de gasto determinado. En esta prueba también se comenzó a tomar la pérdida de carga después del medidor.

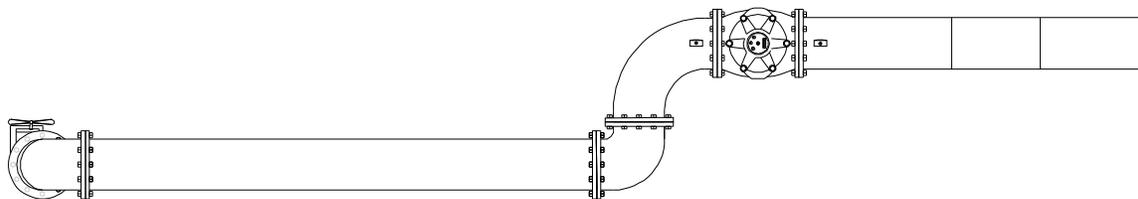


Figura 6.15 Distribución del tren de descarga sin tramo recto y dos codos de 90° antes del medidor.

La prueba tubo una duración aproximada de cuatro horas, el tiempo se tomó con cronometro y la pérdida de presión se midió en metros columna de agua, la prueba se realizó sin inconvenientes.

Para esta prueba se obtuvieron los resultados tabulados a continuación:

Tabla 6.7 Datos de la prueba sin rectos aguas arriba del medidor; posterior a las pruebas con acondicionadores de flujo.

Lectura del limnómetro: 20 m.c.a = 0.1kg/cm²

Lectura Inicial en medidor	Lectura Final en medidor	Diferencia volumen (m ³)	Tiempo (m,s,c)			Gasto en medidor (l/s)	Altura del tirante h (m)	Gasto en vertedor (L/s)	Diferencia de gastos (L)	Pérdida de carga (m. c. a.)	Error %
23075	23080	5	0	41	1	121.65	0.1729	109.37	-12.29	0.7520	11.23
23147	23152	5	1	25	5	58.48	0.1061	52.80	-5.68	0.1710	10.76
23165	23170	5	2	49	3	29.53	0.066	26.01	-3.52	0.0450	13.54
23179	23184	5	1	29	3	55.99	0.1034	50.81	-5.18	0.1600	10.20
23207	23213	6	1	4	4	93.17	0.1454	84.47	-8.70	0.4420	10.30
23265	23270	5	1	40	6	49.70	0.0948	44.64	-5.07	0.1290	11.35
23303	23308	5	0	37	0	135.14	0.1838	119.81	-15.33	0.9250	12.79
23366	23371	5	0	44	0	113.64	0.165	102.00	-11.64	0.6560	11.41
23421	23426	5	1	4	7	77.28	0.1284	70.17	-7.11	0.2940	10.13
23453	23458	5	0	58	1	86.06	0.1382	78.31	-7.75	0.3720	9.90
23477	23482	5	2	33	5	32.57	0.0714	29.25	-3.33	0.0550	11.37
23491	23496	5	1	52	6	44.40	0.0871	39.34	-5.07	0.1020	12.88
23509	23515	6	1	9	5	86.33	0.1379	78.06	-8.28	0.3760	10.60
23542	23547	5	0	58	2	85.91	0.1382	78.31	-7.60	0.3720	9.71
23572	23577	5	0	38	2	130.89	0.1794	115.56	-15.33	0.8660	13.27
23604	23609	5	0	46	2	108.23	0.1603	97.70	-10.53	0.5950	10.77
23651	23656	5	1	29	9	55.62	0.1026	50.22	-5.40	0.1500	10.74
23667	23672	5	1	43	5	48.31	0.0932	43.52	-4.79	0.1210	11.01
23686	23691	5	1	6	2	75.53	0.1273	69.28	-6.25	0.2890	9.02
23715	23720	5	0	43	0	116.28	0.168	104.78	-11.50	0.6930	10.98
23785	23790	5	0	29	6	168.92	0.2084	144.49	-24.43	1.4160	16.91
23817	23822	5	0	31	4	159.24	0.201	136.91	-22.33	1.2480	16.31
23868	23873	5	1	9	1	72.36	0.1229	65.74	-6.62	0.2740	10.07
23900	23905	5	0	46	9	106.61	0.1585	96.07	-10.54	0.576	10.97
23934	23939.5	5.5	0	58	6	93.86	0.1446	83.78	-10.08	0.455	12.03
23969	23974	5	1	32	3	54.17	0.1007	48.84	-5.33	0.148	10.91
23987	23992	5	2	40	7	31.11	0.0684	27.43	-3.68	0.046	13.41
23998	24003	5	2	13	1	37.57	0.0776	33.11	-4.45	0.076	13.44
24027	24032	5	1	18	4	63.78	0.1125	57.62	-6.16	0.213	10.69

error mínimo

error promedio
(11.84)

24063	24068	5	0	51	6	96.90	0.1489	87.52	-9.38	0.4700	10.72
24084	24089	5	0	43	7	114.42	0.1648	101.82	-12.60	0.6670	12.38
24112	24117	5	0	36	4	137.36	0.1854	121.37	-16.00	0.9680	13.18
24168	24173	5	1	2	3	80.26	0.1324	73.46	-6.80	0.3290	9.25
24182	24187	5	1	22	6	60.53	0.109	54.96	-5.57	0.1950	10.13
24208	24213	5	0	44	1	113.38	0.1628	99.98	-13.40	0.6410	13.40
24228	24233	5	2	8	8	38.82	0.08	34.65	-4.17	0.0780	12.02
24243	24248	5	2	56	1	28.39	0.064	24.84	-3.55	0.0420	14.28
24254	24259	5	0	58	1	86.06	0.135	75.62	-10.44	0.3720	13.80
24275	24280	5	1	6	9	74.74	0.1256	67.90	-6.83	0.2900	10.07
24301	24306	5	0	52	1	95.97	0.142	81.54	-14.43	0.4670	17.69

error máximo

Los datos tabulados en la Tabla 6.7, se presentan de forma simplificada por medio de la gráfica de la Figura 6.16; donde se muestra el porcentaje de error obtenido respecto al gasto leído en el medidor.

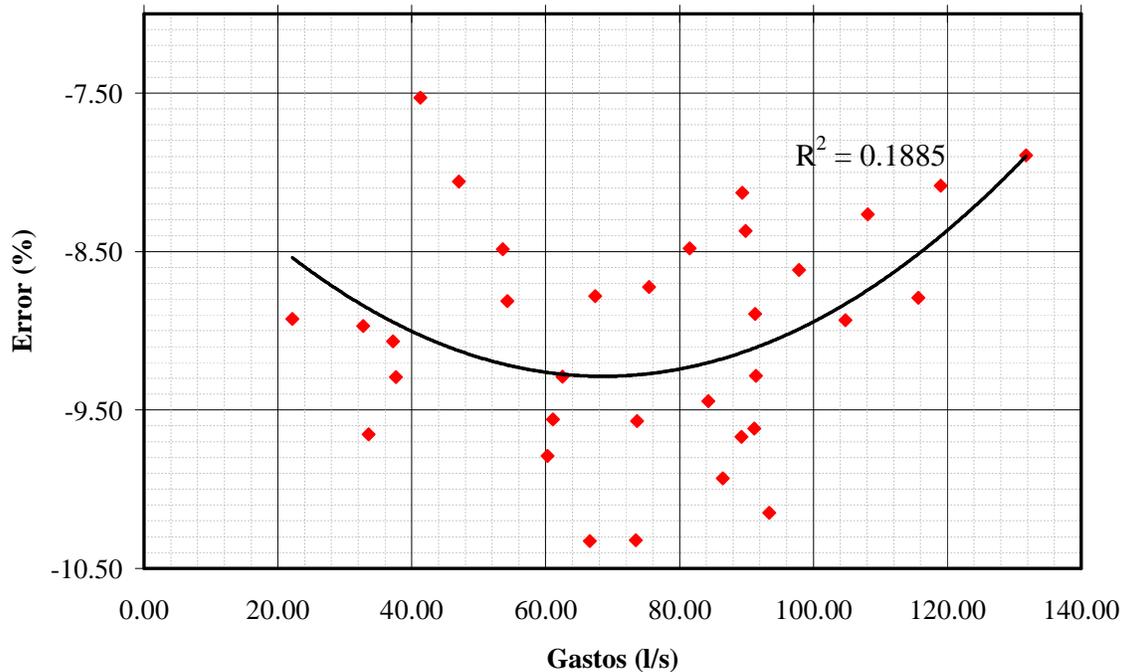


Figura 6.16 Gráfica de errores sin tramo y colocados dos codos de 90° antes del medidor. Tomada como la condición final del medidor.

A pesar que la grafica muestra mucha dispersión entre las lecturas, se puede observar que su error mínimo es de -7.53% y el máximo de -10.33%, teniendo con esto un rango de tan solo 2.8%, la mayoría de las lecturas se ubican entre -8.50% y -10.00% de error, disminuyendo el rango si sólo se considera esta tendencia.

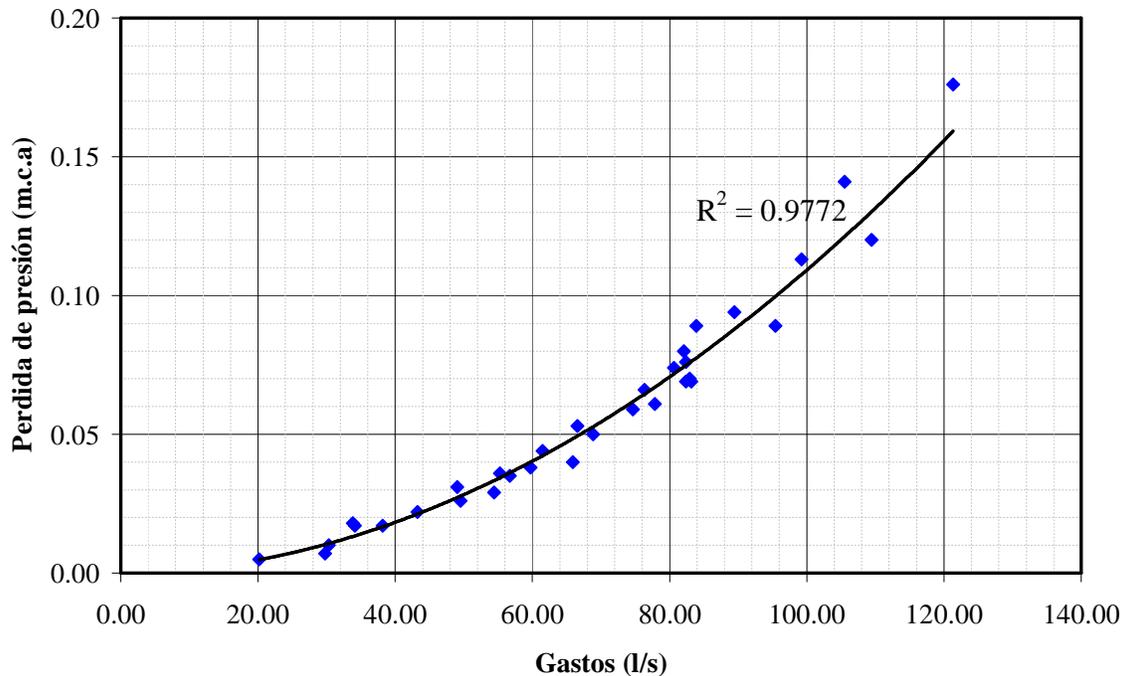


Figura 6.17 Gráfica de la pérdida de presión ocasionada por el medidor.

En general como se puede apreciar en la grafica de la Figura 6.17, la pérdida de presión tendió a aumentar conforme aumentaba el gasto sólo que con oscilaciones mínimas, en un arreglo general de una línea ligeramente curva. Como se esperaba, las pérdidas de carga no son considerables.

6.2. Pruebas con orientadores y acondicionadores

6.2.1. Prueba 7. Orientador de tubos

La prueba número siete se llevó a cabo el día 17 de noviembre del 2007, ésta busca información sobre el desempeño del medidor colocado el orientador de tubos antes de éste. La distribución del tren de descarga se puede apreciar en la Figura 6.18, colocado después de los dos codos de 90°, el orientador de flujo, el medidor y un carrete cuello de ganso para que el medidor trabaje a tubo lleno; se tomaron lecturas puntuales, variando el gasto de forma aleatoria hasta tener una muestra representativa de la amplitud de gasto determinado.

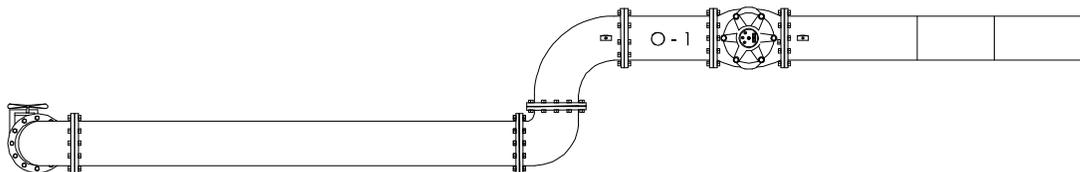


Figura 6.18 Distribución del tren de descarga, colocado el orientador de flujo de tubos.

La prueba tubo una duración aproximada de cinco horas, el tiempo se tomó con cronometro y se pretendió tomar la perdida de presión por medio de manómetros, sin embargo la pérdida era mínima y los manómetros no tenían colocada glicerina para que la aguja vibrara menos por lo

que las lecturas no eran correctas y se eliminaron del registro, para ésta prueba no se tiene la pérdida de presión.

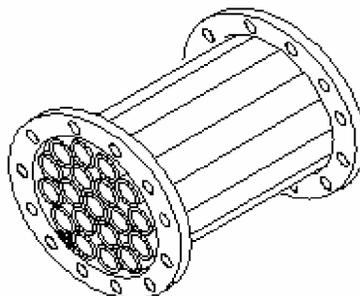


Figura 6.19 Orientador de tubos.

Para esta prueba se obtuvieron los resultados tabulados a continuación:

Tabla 6.8 Datos de la prueba con el orientador de tubos.

Lectura del limnómetro: 20

Lectura Inicial en medidor	Lectura Final en medidor	Diferencia volumen (m ³)	Tiempo (m,s,c)			Gasto en medidor (l/s)	Altura del tirante h (m)	Gasto en vertedor (L/s)	Diferencia de gastos (L)	Error %
10171	10176	5	1	22	9	60.31	0.122	65.02	4.71	-7.24
10193	10198	5	0	48	6	102.88	0.1737	110.12	7.24	-6.58
10228	10233	5	1	28	6	56.43	0.1163	60.54	4.11	-6.79
10254	10259	5	0	59	0	84.75	0.152	90.25	5.51	-6.10
10284	10289	5	1	24	6	59.10	0.12	63.44	4.34	-6.84
10307	10312	5	0	58	3	85.76	0.1543	92.30	6.53	-7.08
10320	10325	5	0	56	0	89.29	0.1543	92.30	3.01	-3.26
10346	10351	5	1	18	0	64.10	0.1272	69.20	5.10	-7.36
10400	10405	5	0	40	6	123.15	0.195	130.86	7.70	-5.89
10444	10449	5	2	40	5	31.15	0.077	32.73	1.58	-4.83
10466	10471	5	1	39	4	50.30	0.107	53.47	3.17	-5.92
10485	10490	5	0	57	8	86.51	0.155	92.92	6.42	-6.90
10520	10525	5	1	1	1	81.83	0.15	88.49	6.65	-7.52
10566	10571	5	0	48	0	104.17	0.176	112.31	8.14	-7.25
10613	10618	5	2	2	9	40.68	0.093	43.38	2.69	-6.21
10642	10647	5	2	49	0	29.59	0.0745	31.16	1.58	-5.06
10675	10680	5	1	5	9	75.87	0.1425	81.97	6.10	-7.44
10687	10692	5	3	28	2	24.02	0.0645	25.13	1.12	-4.45
10704	10709	5	1	21	5	61.35	0.123	65.82	4.47	-6.79
10729	10734	5	1	6	9	74.74	0.141	80.69	5.95	-7.37
10767	10772	5	0	34	2	146.20	0.217	153.47	7.27	-4.74
10798	10803	5	0	45	9	108.93	0.1805	116.61	7.68	-6.59
10822	10827	5	2	24	3	34.65	0.084	37.27	2.62	-7.03
10845	10850	5	2	33	9	32.49	0.08	34.65	2.16	-6.25
10867	10872	5	0	45	7	109.41	0.1805	116.61	7.21	-6.18
10916	10921	5	0	55	0	90.91	0.1605	97.88	6.97	-7.12
10946	10951	5	1	32	0	54.35	0.113	58.00	3.65	-6.30
10959	10964	5	3	10	3	26.27	0.0685	27.49	1.22	-4.44

error mínimo

error máximo

10973	10978	5	1	21	8	61.12	0.123	65.82	4.69	-7.13
11005	11010	5	0	49	6	100.81	0.171	107.58	6.77	-6.30
11032	11037	5	0	55	6	89.93	0.159	96.52	6.59	-6.83
11049	11054	5	2	4	2	40.26	0.093	43.38	3.12	-7.19
11059	11064	5	1	59	5	41.84	0.095	44.78	2.94	-6.56
11070	11075	5	1	35	7	52.25	0.1104	56.02	3.77	-6.74
11090	11095	5	0	56	3	88.81	0.158	95.62	6.81	-7.12
11110	11115	5	2	41	4	30.98	0.078	33.37	2.39	-7.16
11147	11152	5	0	42	7	117.10	0.1885	124.41	7.31	-5.88

error
promedio
(-6.39)

Los datos tabulados en la Tabla 6.8, se pueden mostrar de manera simplificada en por medio de la Figura 6.20, que muestra el porcentaje de error obtenido respecto al gasto leído en el medidor.

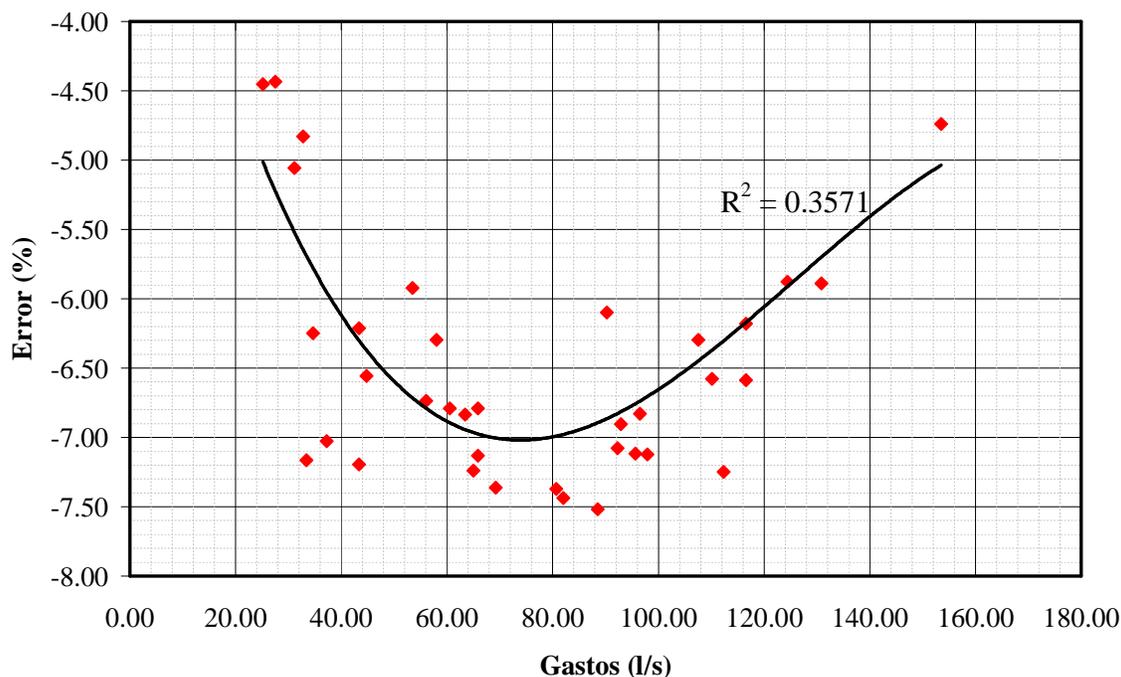


Figura 6.20 Gráfica de errores colocados el orientador de tubos antes del medidor y después de los codos de 90°.

Se puede observar que en la muestra, que el error mínimo es de -3.26 % y el máximo de -7.52 %, con lo que se tiene un rango de 4.26 %, la dispersión de ésta semeja una parábola; teniendo los valores mayores alrededor de los gastos de 80 l/s, gastos alrededor de la media de la amplitud del gasto.

6.2.2. Prueba 8. Acondicionador de flujo Sprengle

La prueba número ocho se llevó a cabo el día 21 de noviembre del 2007, ésta busca información sobre el desempeño del medidor con el acondicionador de flujo Sprengle. La distribución del tren de descarga se puede apreciar en la Figura 6.22, colocado después de los dos codos de 90°, el acondicionador de flujo, el medidor y un carrete cuello de ganso para que el medidor trabaje a tubo lleno; se tomaron lecturas puntuales, variando el gasto de forma aleatoria hasta tener una muestra representativa de la amplitud de gasto determinado.

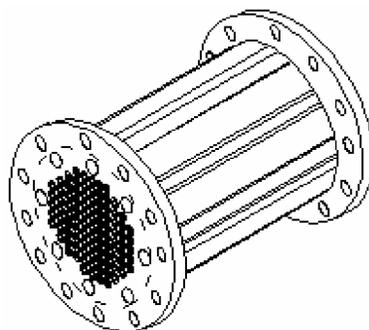


Figura 6.21 Acondicionador Sprengle.

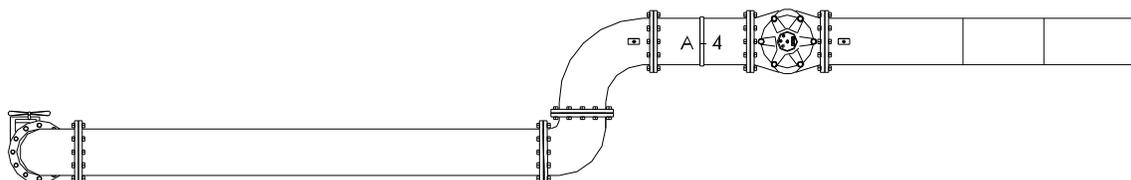


Figura 6.22 Distribución del tren de descarga, colocado el acondicionador de flujo Sprengle.

La prueba tubo una duración aproximada de cuatro horas, se tomó el tiempo con cronometro y la pérdida de carga a través del acondicionador y el medidor en metros columna de agua, la prueba se realizó sin inconvenientes.

Para esta prueba se obtuvieron los resultados tabulados a continuación:

Tabla 6.9 Datos de la prueba con el acondicionador Sprengle

Lectura del limnometro: 20 m.c.a = 0.1kg/cm²

Lectura Inicial en medidor	Lectura Final en medidor	Diferencia volumen (m ³)	Tiempo (m,s,c)			Gasto en medidor (l/s)	Altura del tirante h (m)	Gasto en vertedor (L/s)	Diferencia de gastos (L)	Pérdida de carga (m. c. a.)	Error %
11170	11175	5	1	6	9	74.74	0.1065	53.10	-21.64	1.785	40.76
11205	11210	5	2	1	2	41.25	0.0718	29.49	-11.76	0.380	39.88
11222	11227	5	0	55	3	90.42	0.12	63.44	-26.98	1.560	42.53
11253	11258	5	3	2	9	27.34	0.0538	19.18	-8.16	0.043	42.55
11274	11279	5	0	44	9	111.36	0.138	78.14	-33.22	4.220	42.51
11282	11287	5	0	44	8	111.61	0.1382	78.31	-33.30	4.220	42.52
11335	11340	5	0	46	6	107.30	0.1345	75.20	-32.09	3.928	42.68
11366	11371	5	1	12	3	69.16	0.1005	48.70	-20.46	1.600	42.01
11382	11387	5	2	46	4	30.05	0.0577	21.29	-8.76	0.036	41.16
11399	11404	5	2	32	6	32.77	0.0615	23.41	-9.35	0.029	39.96
11442	11447	5	0	45	8	109.17	0.1368	77.13	-32.04	4.125	41.54
11477	11482	5	0	41	8	119.62	0.146	84.99	-34.63	4.910	40.74
11546	11551	5	0	38	9	128.53	0.152	90.25	-38.28	5.806	42.42
11602	11607	5	0	40	6	123.15	0.1472	86.03	-37.12	5.115	43.14
11638	11644	6	0	57	1	105.08	0.133	73.96	-31.12	3.827	42.08
11701	11706	5	2	34	2	32.43	0.061	23.13	-9.30	0.030	40.20
11712	11717	5	1	14	8	66.84	0.0986	47.33	-19.51	1.404	41.23
11730	11735	5	1	15	9	65.88	0.0975	46.54	-19.33	1.403	41.53

error promedio (41.45)

11755	11760	5	0	39	3	127.23	0.1508	89.19	-38.04	5.704	42.65	
11785	11790	5	0	37	4	133.69	0.156	93.82	-39.87	6.200	42.50	
11820	11826	6	0	47	1	127.39	0.1505	88.93	-38.46	5.613	43.25	error máximo
11863	11868	5	0	44	3	112.87	0.14	79.83	-33.03	4.523	41.38	
11896	11901	5	1	13	4	68.12	0.1002	48.48	-19.64	1.602	40.51	
11918	11923	5	2	16	8	36.55	0.0665	26.31	-10.24	0.170	38.94	error mínimo
11941	11946	5	2	3	9	40.36	0.071	29.00	-11.35	0.361	39.14	
12082	12087	5	0	48	6	102.88	0.131	72.30	-30.58	3.529	42.29	
12022	12027	5	0	59	7	83.75	0.115	59.54	-24.21	2.371	40.67	
12040	12045	5	3	26	8	24.18	0.0495	16.94	-7.24	0.054	42.75	
12054	12059	5	1	35	6	52.30	0.084	37.27	-15.03	0.835	40.33	
12069	12074	5	0	48	4	103.31	0.131	72.30	-31.00	3.632	42.88	
12096	12101	5	0	57	4	87.11	0.1181	61.95	-25.16	2.568	40.62	
12162	12167	5	0	41	9	119.33	0.145	84.12	-35.21	5.123	41.85	
12191	12196	5	1	30	2	55.43	0.087	39.27	-16.16	0.930	41.15	
12206	12211	5	1	25	4	58.55	0.0905	41.65	-16.90	1.021	40.57	
12259	12264	5	0	41	9	119.33	0.145	84.12	-35.21	4.915	41.85	
12301	12306	5	1	54	0	43.86	0.0748	31.35	-12.51	0.504	39.91	
12315	12320	5	1	42	8	48.64	0.0798	34.52	-14.11	0.571	40.88	

Los datos tabulados en la Tabla 6.9, se muestran de forma simplificada en la grafica de la Figura 6.23, donde se muestran el porcentaje de error obtenido con respecto a el gasto leído en el medidor.

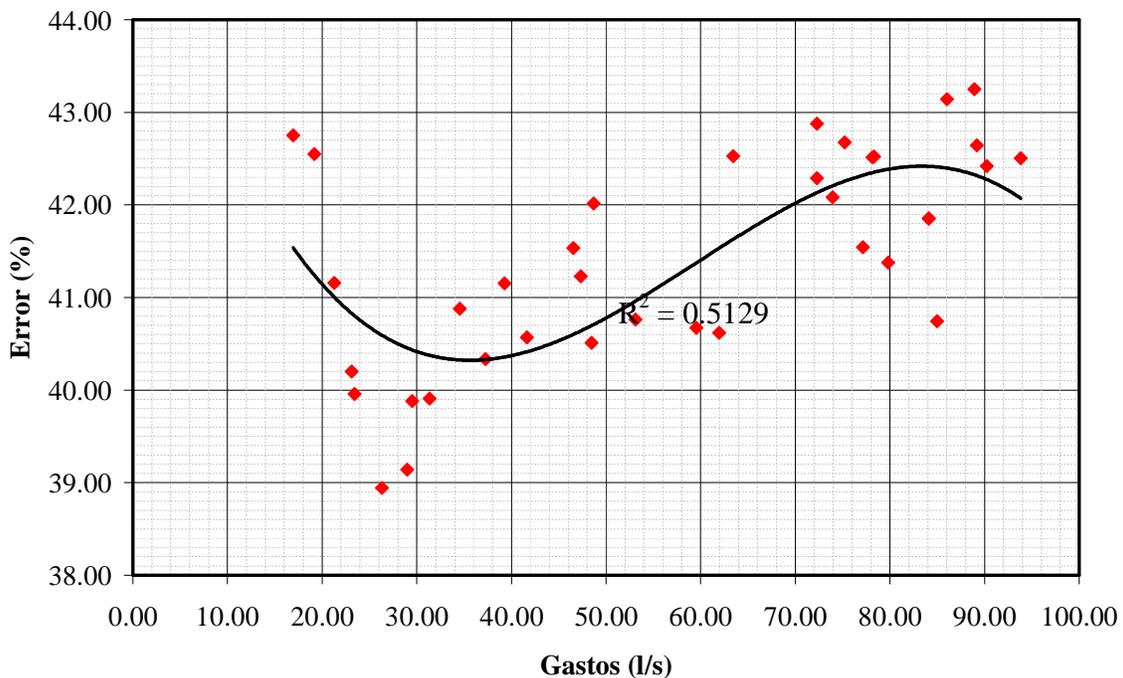


Figura 6.23 Gráfica de errores colocado el acondicionador de flujo Sprengle.

En la gráfica de la muestra, se ve que los valores están muy dispersos se tiene un rango de error de 4.31 %, siendo el error máximo de 43.23 % y el mínimo de 38.94 % se puede observar que se forman 2 agrupaciones de lecturas la primera para gastos menores a 60 l/s, (con los errores

menores) y la segunda para gastos mayores de 70 l/s (con los errores mayores) Llama la atención la magnitud tan alta de los errores.

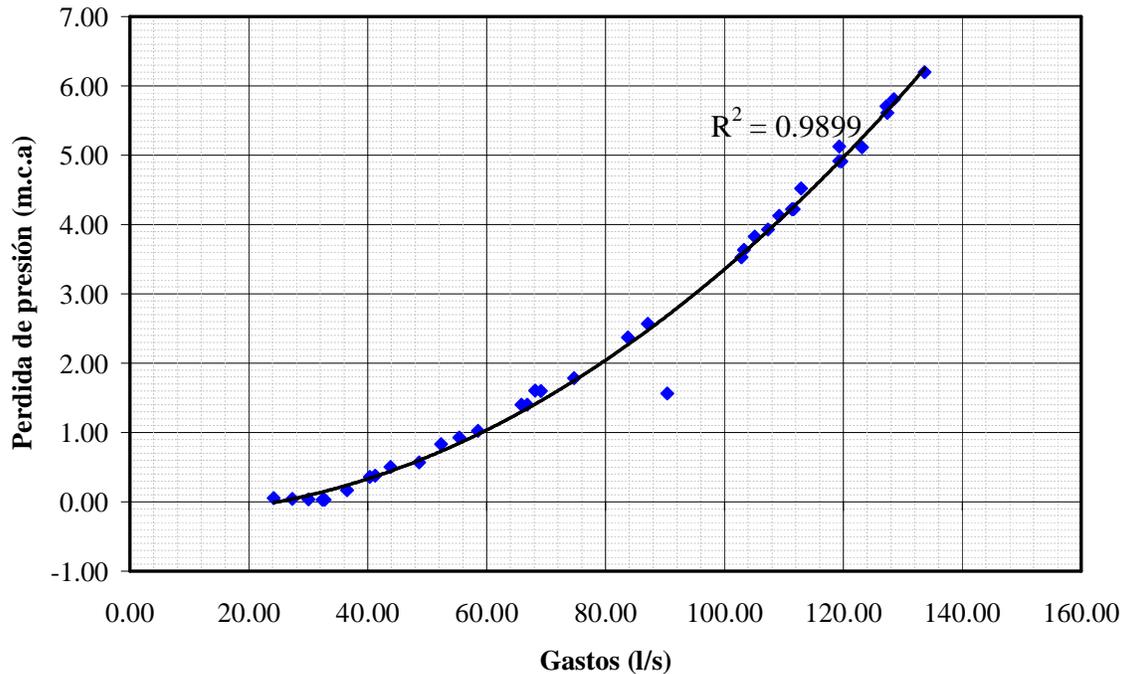


Figura 6.24 Gráfica de pérdida de presión, colocado el acondicionador de flujo Sprenkle.

En la grafica de la Figura 6.24 se observa que la pérdida de presión que a partir de los 30 l/s tiende a aumentar de forma proporcional al aumento del gasto, de forma regular, en una curva ligera, sus pérdidas son de consideración con valores altos.

6.2.3. Prueba 9. Orientador Étoile

La prueba número nueve se llevó a cabo los días 22 y 23 de noviembre del 2007, ésta busca información del desempeño del medidor con el orientador de flujo Étoile. La distribución del tren de descarga se puede observar en la Figura 6.26, colocado después de los dos codos de 90°, el orientador de flujo, el medidor y un carrete cuello de ganso para que el medidor trabaje a tubo lleno; se tomaron lecturas puntuales, variando el gasto de forma aleatoria hasta tener una muestra representativa de la amplitud de gasto determinado y se tomó la pérdida de presión en metros columna da agua.

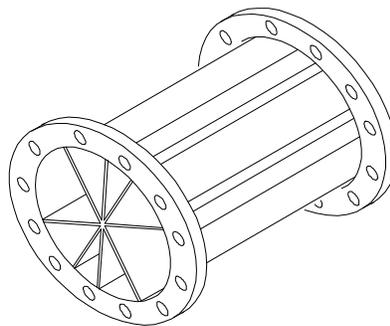


Figura 6.25 Orientador Étoile.

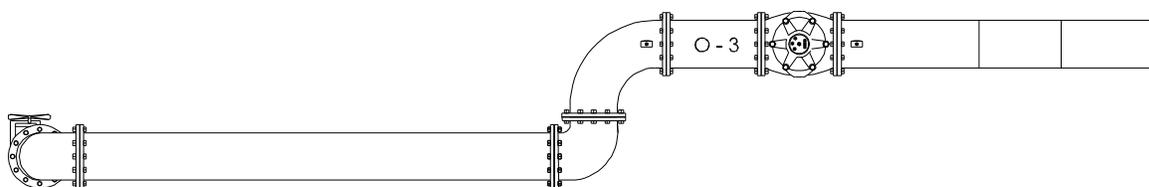


Figura 6.26 Croquis de la distribución del tren de descarga, colocado el orientador Étoile.

La prueba tubo una duración aproximada de 6 horas; se tomó el tiempo con un cronómetro, y las lecturas de la pérdida de presión en metros columna de agua, la prueba se realizó sin inconvenientes.

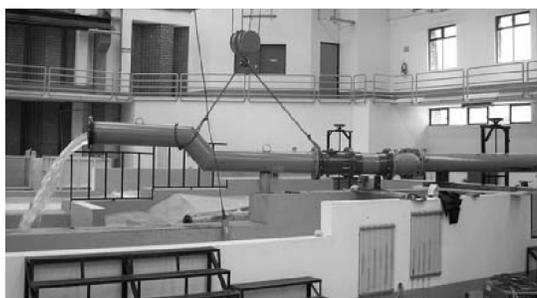


Figura 6.27 Fotografía del tren de descarga con el orientador Étoile.

Para esta prueba se obtuvieron los resultados tabulados a continuación.

Tabla 6.10 Datos de la prueba con el orientador Étoile.

Lectura del limnómetro: 20 m.c.a = 0.1kg/cm²

Lectura Inicial en medidor	Lectura Final en medidor	Diferencia volumen (m ³)	Tiempo (m,s,c)			Gasto en medidor (l/s)	Altura del tirante h (m)	Gasto en vertedor (L/s)	Diferencia de gastos (L)	Pérdida de carga (m. c. a.)	Error %
12330	12335	5	1	58	6	42.159	0.0975	46.54	4.39	0.0320	-9.42
12350	12355	5	1	4	2	77.882	0.1475	86.30	8.41	0.0920	-9.75
12382	12387	5	1	51	8	44.723	0.102	49.78	5.06	0.0320	-10.17
12395	12400	5	2	36	7	31.908	0.0807	35.11	3.20	0.0230	-9.11
12410	12415	5	0	57	0	87.719	0.1612	98.52	10.80	0.1240	-10.96
12444	12449	5	0	45	3	110.375	0.186	121.95	11.58	0.1820	-9.49
12486	12491	5	1	27	3	57.274	0.12	63.44	6.16	0.0550	-9.72
12500	12505	5	4	13	6	19.716	0.058	21.45	1.74	0.0130	-8.09
12542	12547	5	0	52	7	94.877	0.169	105.71	10.83	0.148	-10.25
12573	12578	5	0	56	4	88.652	0.1625	99.70	11.05	0.119	-11.08
12597	12602	5	1	9	7	71.736	0.141	80.69	8.95	0.084	-11.09
12621	12626	5	2	19	6	35.817	0.087	39.27	3.45	0.029	-8.80
12644	12649	5	1	2	6	79.872	0.151	89.37	9.49	0.099	-10.62
12689	12694	5	2	20	0	35.714	0.088	39.95	4.23	0.026	-10.59
12699	12704	5	2	12	5	37.736	0.091	41.99	4.26	0.028	-10.14
12721	12726	5	0	56	2	88.968	0.1625	99.70	10.74	0.116	-10.77
12752	12757	5	0	58	6	85.324	0.158	95.62	10.29	0.115	-10.76
12781	12786	5	0	53	5	93.458	0.167	103.85	10.39	0.13	-10.01
12809	12814	5	0	42	2	118.483	0.195	130.86	12.37	0.177	-9.46

error mínimo
error promedio
(-10.28)

12877	12882	5	1	52	2	44.563	0.1015	49.42	4.86	0.038	-9.83
12898	12903	5	3	59	1	20.912	0.061	23.13	2.22	0.014	-9.58
12913	12918	5	2	19	6	35.817	0.088	39.95	4.13	0.027	-10.34
12931	12936	5	1	17	6	64.433	0.1315	72.71	8.28	0.093	-11.39
12952	12957	5	1	19	5	62.893	0.13	71.48	8.59	0.063	-12.01
12980	12985	5	2	17	7	36.311	0.0895	40.97	4.66	0.023	-11.36
12991	12996	5	2	11	1	38.139	0.092	42.68	4.55	0.027	-10.65
13003	13008	5	2	24	5	34.602	0.086	38.60	4.00	0.029	-10.36
13014	13019	5	4	15	5	19.569	0.058	21.45	1.88	0.013	-8.78
13023	13028	5	4	0	6	20.781	0.061	23.13	2.35	0.014	-10.15
13032	13037	5	1	19	4	62.972	0.128	69.85	6.88	0.063	-9.84
13069	13074	5	0	55	6	89.928	0.164	101.08	11.15	0.129	-11.03
13090	13095	5	0	55	8	89.606	0.163	100.16	10.56	0.118	-10.54
13134	13139	5	1	4	1	78.003	0.149	87.61	9.60	0.098	-10.96
13153	13158	5	1	38	5	50.761	0.1125	57.62	6.86	0.046	-11.90
13170	13175	5	3	3	4	27.263	0.0735	30.54	3.28	0.019	-10.73
13189	13194	5	2	38	0	31.646	0.081	35.30	3.66	0.025	-10.36

error máximo

Los datos tabulados en la Tabla 6.10, se pueden presentar de una manera más simplificada por medio de la gráfica de en la Figura 6.28, donde se muestra el porcentaje de error obtenido con respecto al gasto leído por el medidor y la pérdida de presión que se tuvo durante la prueba.

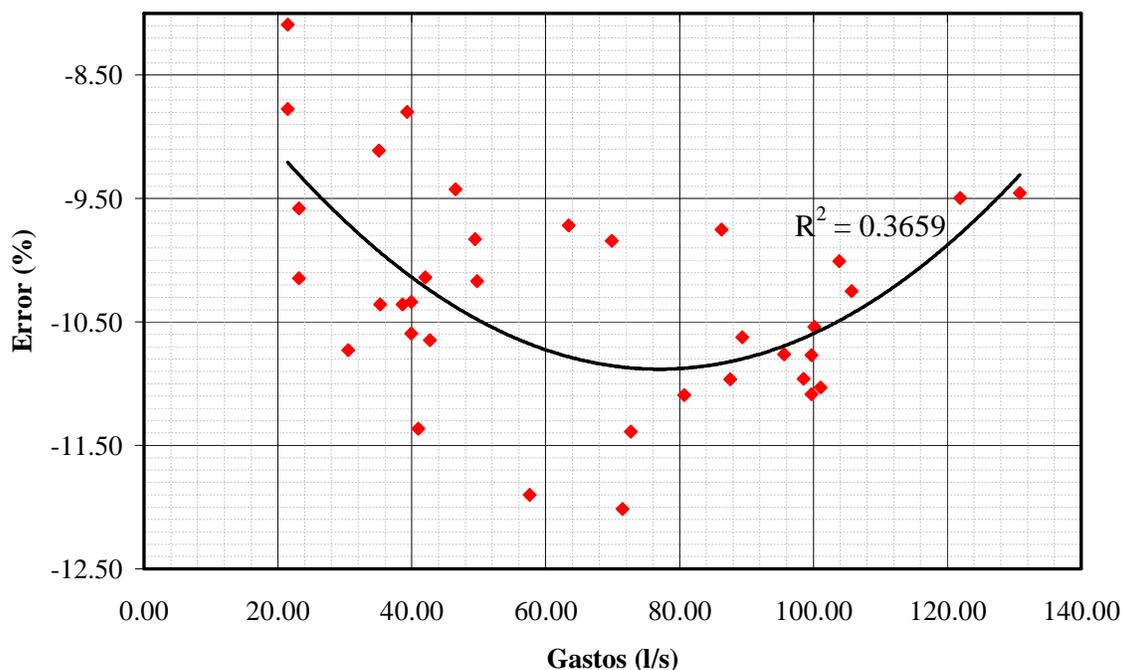


Figura 6.28 Gráfica de errores, colocado el orientador Étoile.

En la grafica se puede apreciar la distribución de los errores obtenidos en la prueba que van desde el error mínimo de -8.09% hasta el error máximo de -12.01% , con lo que tenemos un rango igual a 3.92% , aunque el rango no es muy grande hay dispersión en la muestra, se pueden observar dos agrupaciones que quizá serían mas notorias si se manejara una escala mas reducida del eje de las ordenadas; la primer agrupación entre los gastos de 30 y 50 l/s con errores

alrededor de -10.50% y la segunda con gastos entre 90 y 110 l/s con errores alrededor de -11.00%.

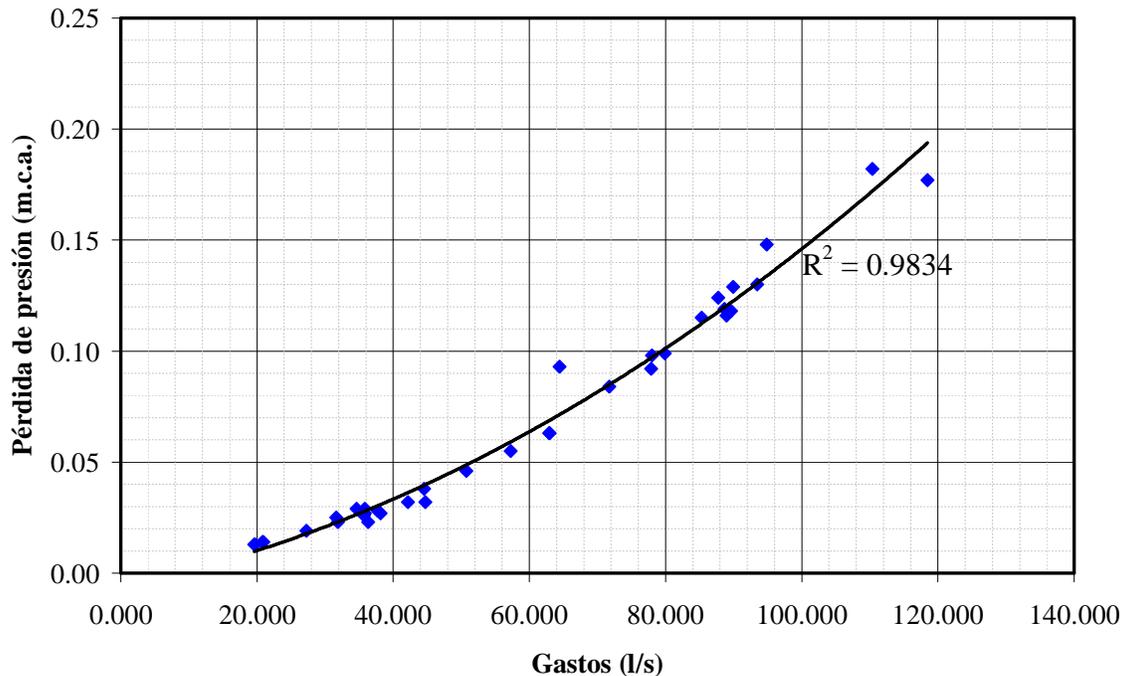


Figura 6.29 Gráfica de pérdida de presión, colocado el orientador Étoile.

Como se puede observar en la gráfica de la Figura 6.29, la pérdida de presión se incrementa de manera proporcional al aumento del gasto, con una distribución regular, con poca oscilación entre sus valores y ligeramente curva, sin embargo sus pérdidas son de menos de 0.20 m.c.a.

6.2.4. Prueba 10. Acondicionador de flujo Gallagher; con dispositivo anti-turbulencia de tubos

La prueba número diez se llevó a cabo el día 24 de noviembre del 2007, ésta busca información del desempeño del medidor con el acondicionador de flujo Gallagher; con dispositivo anti-turbulencia de tubos. La distribución del tren de descarga se puede observar en la Figura 6.30, colocado después de los dos codos de 90°, el acondicionador de flujo, el medidor y un carrete cuello de ganso para que el medidor trabaje a tubo lleno; se tomaron lecturas puntuales, variando el gasto de forma aleatoria hasta tener una muestra representativa de la amplitud de gasto determinado y se tomó la pérdida de presión en metros columna de agua.

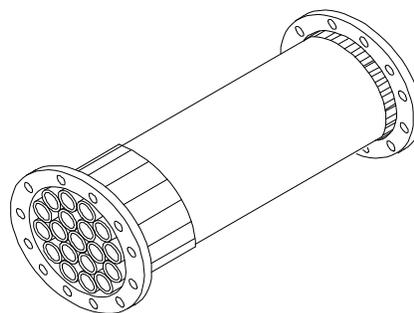


Figura 6.30 Acondicionador de flujo Gallagher con tubos en su interior.

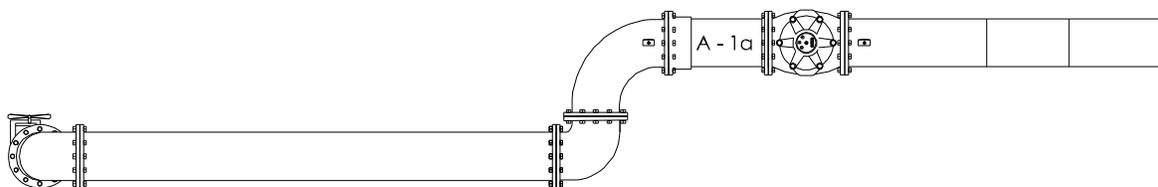


Figura 6.31 Distribución del tren de descarga, colocado el acondicionador de flujo Gallagher.

La prueba tubo una duración aproximada de 5 horas; tomando el tiempo con un cronómetro y las lecturas de la pérdida de presión a través del acondicionador y el medidor en metros columna de agua, la prueba se realizó sin inconvenientes.

Para esta prueba se obtuvieron los resultados tabulados a continuación:

Tabla 6.11 Datos de la prueba con el acondicionador Gallagher

Lectura del limnómetro: 20 m.c.a = 0.1kg/cm²

Lectura Inicial en medidor	Lectura Final en medidor	Diferencia volumen (m ³)	Tiempo (m,s,c)		Gasto en medidor (l/s)	Altura del tirante h (m)	Gasto en vertedor (L/s)	Diferencia de gastos (L)	Pérdida de carga (m. c. a.)	Error %	
13190	13195	5	2	29	7	33.40	0.069	27.79	-5.61	0.0360	20.17
13216	13221	5	1	8	4	73.10	0.116	60.31	-12.79	0.1550	21.20
13233	13238	5	1	10	5	70.92	0.1135	58.38	-12.54	0.1400	21.48
13263	13268	5	0	49	6	100.81	0.1445	83.69	-17.12	0.3140	20.45
13295	13304	9	1	32	4	97.40	0.14	79.83	-17.57	0.2630	22.01
13332	13337	5	0	33	5	149.25	0.185	120.98	-28.28	0.6430	23.37
13398	13403	5	0	35	7	140.06	0.1775	113.74	-26.32	0.5880	23.14
13455	13460	5	0	39	3	127.23	0.1665	103.39	-23.84	0.4420	23.06
13503	13508	5	1	25	5	58.48	0.1001	48.41	-10.07	0.109	20.81
13519	13524	5	1	24	6	59.10	0.1001	48.41	-10.69	0.105	22.09
13536	13541	5	2	7	5	39.22	0.0765	32.42	-6.80	0.05	20.97
13550	13555	5	1	57	9	42.41	0.081	35.30	-7.11	0.061	20.13
13575	13580	5	1	14	2	67.39	0.11	55.72	-11.67	0.133	20.94
13593	13598	5	0	34	8	143.68	0.18	116.13	-27.54	0.589	23.72
13627	13632	5	0	37	2	134.41	0.173	109.46	-24.95	0.51	22.79
13712	13717	5	0	38	2	130.89	0.171	107.58	-23.31	0.476	21.67
13754	13759	5	1	58	8	42.09	0.0805	34.98	-7.11	0.055	20.33
13777	13782	5	3	12	2	26.01	0.058	21.45	-4.56	0.026	21.27
13791	13796	5	1	11	5	69.93	0.1125	57.62	-12.31	0.144	21.37
13834	13839	5	1	35	0	52.63	0.093	43.38	-9.25	0.086	21.33
13857	13862	5	1	5	8	75.99	0.1195	63.04	-12.94	0.162	20.53
13886	13891	5	0	46	6	107.30	0.15	88.49	-18.81	0.313	21.26
13919	13924	5	0	55	2	90.58	0.133	73.96	-16.62	0.231	22.48
13947	13952	5	2	3	0	40.65	0.078	33.37	-7.28	0.053	21.82
13970	13975	5	1	5	8	75.99	0.119	62.65	-13.34	0.162	21.29
13998	14003	5	0	38	5	129.87	0.1695	106.18	-23.69	0.479	22.31
14039	14044	5	0	52	3	95.60	0.1385	78.56	-17.04	0.258	21.69
14087	14092	5	0	35	9	139.28	0.1775	113.74	-25.54	0.543	22.45
14124	14129	5	2	18	8	36.02	0.0725	29.92	-6.10	0.043	20.39
14157	14162	5	0	50	7	98.62	0.142	81.54	-17.08	0.28	20.94

error promedio
(21.56)

error máximo

14204	14209	5	0	32	0	156.25	0.1905	126.38	-29.87	0.672	23.64
14249	14254	5	0	37	4	133.69	0.172	108.52	-25.17	0.484	23.19
14305	14310	5	2	32	6	32.77	0.068	27.20	-5.57	0.036	20.48
14319	14324	5	2	3	6	40.45	0.078	33.37	-7.08	0.051	21.23
14337	14342	5	1	3	1	79.24	0.1235	66.22	-13.02	0.177	19.67
14364	14371	7	1	29	8	77.95	0.122	65.02	-12.93	0.177	19.88
14406	14411	5	0	42	0	119.05	0.16	97.43	-21.62	0.399	22.19

error mínimo

Los datos tabulados en la Tabla 6.11, se pueden presentar de una manera simplificada por medio de la gráfica de la Figura 6.32; ésta muestra el porcentaje de error obtenido con respecto a los gastos leídos en el medidor.

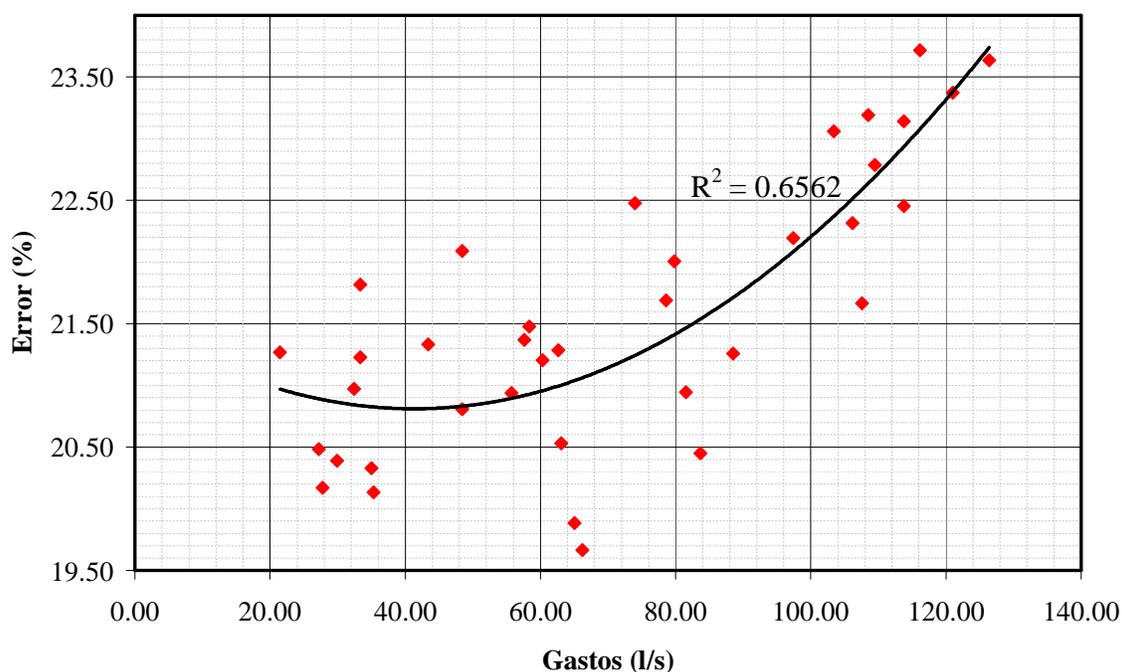


Figura 6.32 Gráfica de errores, colocado el acondicionador de flujo Gallagher con tubos en su interior.

Se puede observar en la gráfica el error mínimo de la prueba de 19.67% y el error máximo de 23.72 %, estos errores nos dan un rango de error de 4.05 %, se puede apreciar que hay dispersión en las lecturas de la muestra, sin embargo conforme el gasto aumenta, el error tiende a aumentar como se observa a partir de 100 l/s se tienen los errores más altos, mientras que de 20 l/s hasta 100 l/s se mantiene el error debajo de 22.50 %. Este acondicionador también cuenta con errores altos, contrariamente a la mejora esperada.

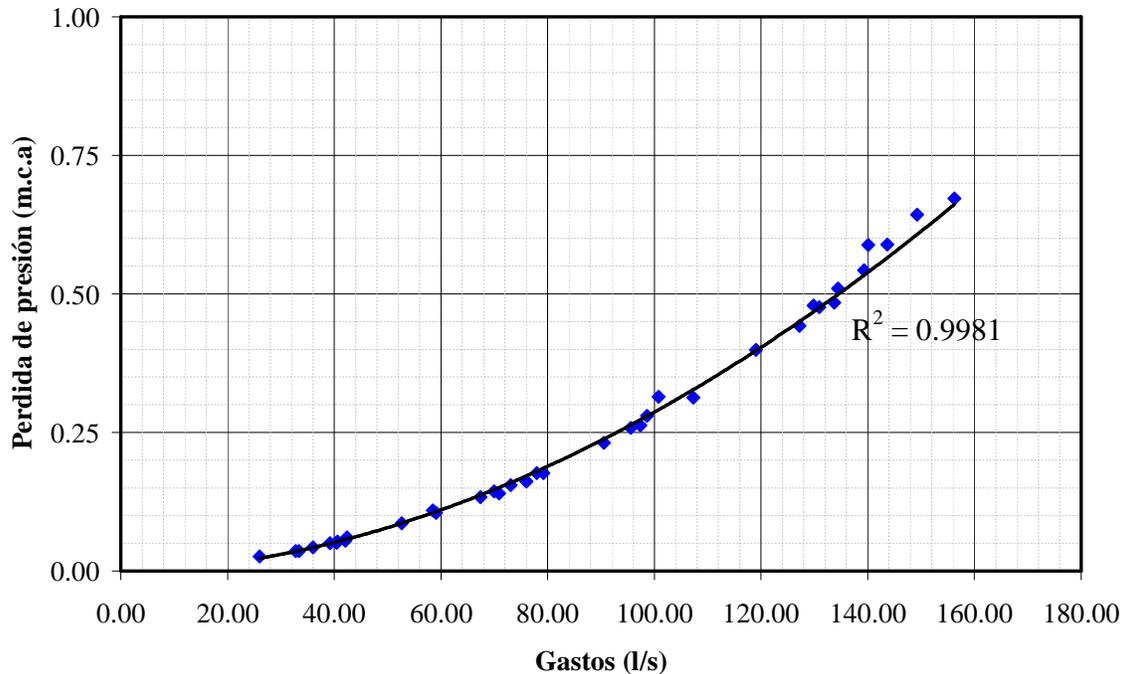


Figura 6.33 Gráfica de pérdida de presión, colocado el acondicionador Gallagher con tubos en su interior.

Se puede observar en la grafica de la Figura 6.33, que la perdida de presión aumenta de forma proporcional al aumento del gasto, en la grafica se observa que va de 0.00 hasta aproximadamente 0.65 m.c.a.; lo hace de una manera regular y ligeramente curva, presentando valores mayores en comparación con los anteriores.

6.2.5. Prueba 11. Orientador de cruz

La prueba número once se llevó a cabo el día 27 de noviembre del 2007, ésta busca información del desempeño del medidor con el orientador de cruz, diseñado en el laboratorio. La distribución del tren de descarga se puede observar en la Figura 6.35, colocado después de los dos codos de 90°, el orientador de flujo, el medidor y un carrete cuello de ganso para que el medidor trabaje a tubo lleno; se tomaron lecturas puntuales, variando el gasto de forma aleatoria hasta tener una muestra representativa de la amplitud de gasto determinado y se tomó la pérdida de presión en metros columna de agua.

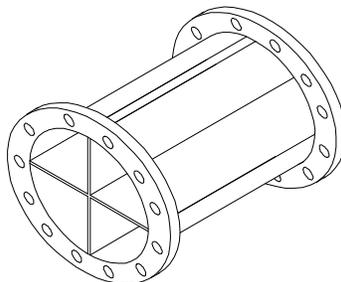


Figura 6.34 Orientador de cruz.

El tiempo se tomó con un cronómetro y las lecturas de la pérdida de presión a través del orientador y el medidor en metros columna de agua, la prueba se realizó sin inconvenientes.

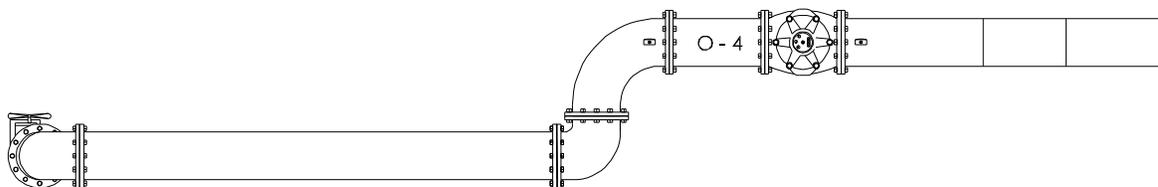


Figura 6.35 Distribución del tren de descarga , colocado el orientador de cruz.

Para esta prueba se obtuvieron los resultados tabulados a continuación

Tabla 6.12 Datos de la prueba con el orientador de cruz.

Lectura del limnómetro: 20 m.c.a = 0.1kg/cm²

Lectura Inicial en medidor	Lectura Final en medidor	Diferencia volumen (m ³)	Tiempo (m,s,c)			Gasto en medidor (l/s)	Altura del tirante h (m)	Gasto en vertedor (L/s)	Diferencia de gastos (L)	Pérdida de carga (m. c. a.)	Error %
14453	14458	5	2	29	3	33.49	0.08	34.65	1.16	0.0240	-3.36
14481	14486	5	1	2	9	79.49	0.146	84.99	5.50	0.0860	-6.47
14504	14508	4	0	50	0	80.00	0.1465	85.42	5.42	0.0920	-6.35
14557	14562	5	1	53	6	44.01	0.098	46.90	2.89	0.0320	-6.16
14593	14598	5	1	4	8	77.16	0.144	83.26	6.10	0.0850	-7.33
14616	14621	5	0	49	9	100.20	0.171	107.58	7.38	0.1300	-6.86
14655	14660	5	1	6	2	75.53	0.142	81.54	6.01	0.0820	-7.37
14672	14679	7	4	50	7	24.08	0.065	25.43	1.35	0.0160	-5.29
14688	14693	5	3	8	9	26.47	0.0695	28.09	1.63	0.018	-5.79
14715	14720	5	1	32	1	54.29	0.1135	58.38	4.09	0.043	-7.01
14731	14736	5	2	0	8	41.39	0.094	44.08	2.68	0.03	-6.09
14748	14753	5	2	1	8	41.05	0.093	43.38	2.33	0.033	-5.36
14759	14764	5	2	42	9	30.69	0.0765	32.42	1.72	0.02	-5.32
14769	14774	5	2	32	9	32.70	0.08	34.65	1.95	0.061	-5.63
14805	14810	5	1	25	3	58.62	0.12	63.44	4.82	0.02	-7.60
14817	14822	5	0	54	0	92.59	0.1625	99.70	7.11	0.149	-7.13
14917	14922	5	1	34	6	52.85	0.1125	57.62	4.76	0.111	-8.27
14930	14935	5	2	33	8	32.51	0.079	34.01	1.50	0.027	-4.41
14945	14950	5	1	47	1	46.69	0.102	49.78	3.10	0.034	-6.23
14965	14970	5	1	57	5	42.55	0.096	45.48	2.93	0.031	-6.44
14976	14981	5	4	31	3	18.43	0.055	19.82	1.39	0.012	-7.01
14985	14990	5	3	0	9	27.64	0.071	29.00	1.36	0.018	-4.70
15004	15009	5	0	58	4	85.62	0.153	91.14	5.52	0.104	-6.06
15025	15030	5	1	9	6	71.84	0.137	77.30	5.46	0.076	-7.06
15038	15043	5	1	41	8	49.12	0.1065	53.10	3.98	0.035	-7.49
15056	15061	5	1	2	6	79.87	0.146	84.99	5.12	0.077	-6.02
15073	15078	5	1	29	1	56.12	0.117	61.09	4.97	0.046	-8.14
15089	15094	5	4	40	4	17.83	0.0535	19.02	1.19	0.012	-6.24
15099	15104	5	1	59	5	41.84	0.095	44.78	2.94	0.032	-6.56
15116	15121	5	0	59	7	83.75	0.1505	88.93	5.17	0.093	-5.82
15135	15140	5	1	3	3	78.99	0.1465	85.42	6.44	0.083	-7.53
15157	15162	5	1	0	1	83.19	0.1515	89.81	6.61	0.117	-7.36
15173	15178	5	1	34	8	52.74	0.1125	57.62	4.87	0.043	-8.46

error mínimo

error promedio (-6.43)

15184	15189	5	2	48	8	29.62	0.075	31.47	1.85	0.018	-5.89	error máximo
15194	15199	5	1	7	5	74.07	0.139	78.99	4.91	0.076	-6.22	
15219	15224	5	1	38	1	50.97	0.11	55.72	4.75	0.034	-8.53	
15230	15235	5	3	12	3	26.00	0.068	27.20	1.19	0.016	-4.39	

Los datos tabulados en la Tabla 6.12, se pueden presentar de manera simplificada por medio la grafica de la Figura 6.36, ésta muestra el porcentaje de error obtenido respecto al gasto leído en el medidor.

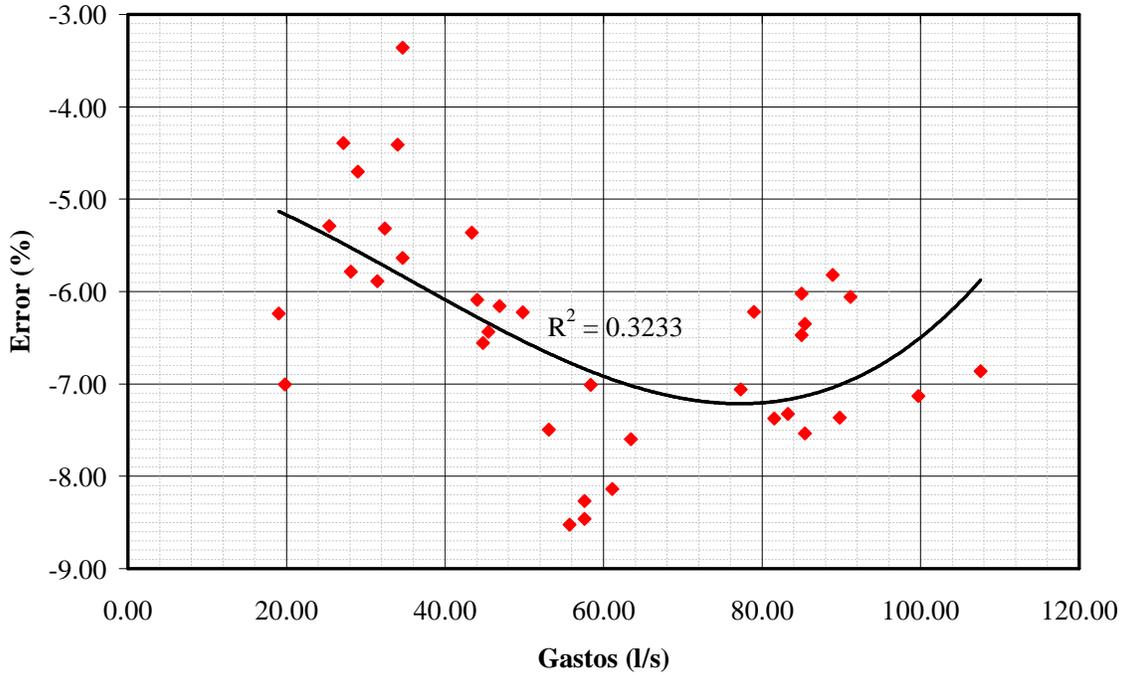


Figura 6.36 Gráfica de errores, colocado el orientador de cruz.

Se puede observar en la gráfica que el error mínimo es de -3.36% y el error máximo de -8.53%, teniendo un rango de error de 5.17%, se puede observar que conforme aumenta el gasto, los errores tienen también un aumento, pero de una manera no muy constante ya que pasando los 60 l/s, los errores disminuyen, pero oscilan. Este orientador no parece provocar un efecto notorio en la medición.

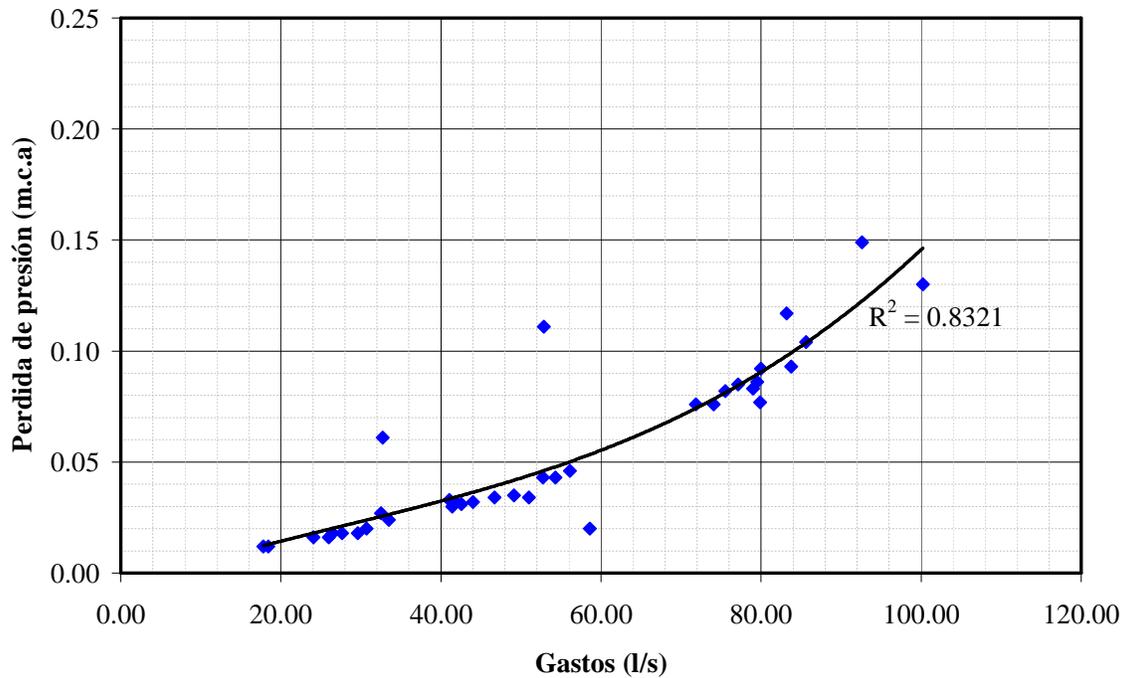


Figura 6.37 Gráfica de pérdidas de presión, colocado el orientador de cruz.

Se puede observar en la grafica de la Figura 6.37, que las pérdidas de presión aumentan conforme se aumenta el gasto, sin embargo son muy pequeñas y poco significativa, la mayor no pasa de 0.15 m.c.a., de comportamiento con tendencia a formar una ligera curva pero con oscilaciones entre sí.

6.2.6. Prueba 12. Acondicionador de flujo placa NEL (Spearman)

La prueba número doce se llevó a cabo el día 1 de diciembre del 2007, ésta busca información del desempeño del medidor con el acondicionador de flujo placa NEL (Spearman). La distribución del tren de descarga se puede observar en la Figura 6.39, colocado después de los dos codos de 90°, la placa acondicionadora, el medidor y un carrete cuello de ganso para que el medidor trabaje a tubo lleno; se tomaron lecturas puntuales, variando el gasto de forma aleatoria hasta tener una muestra representativa de la amplitud de gasto determinado y se tomó la pérdida de presión en metros columna de agua.

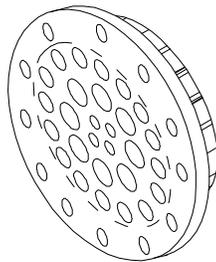


Figura 6.38 Acondicionador de flujo placa NEL (Spearman).

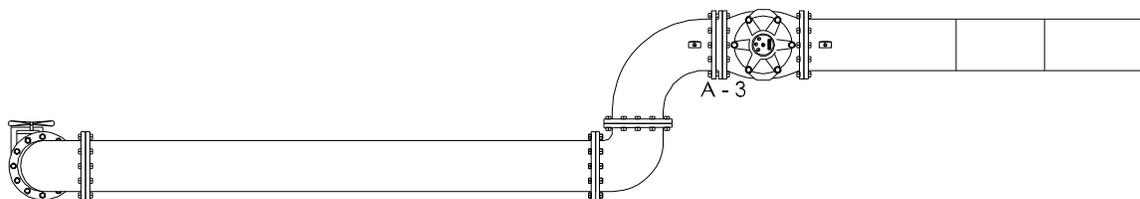


Figura 6.39 Distribución del tren de descarga, colocado el Acondicionador de flujo placa NEL (Spearman).

Al graficar los datos de esta prueba se encontraron resultados dispersos por lo que el día 2 de diciembre se tomaron 19 lecturas más para corroborar la dispersión de los errores, incluyendo éstos datos como parte de la prueba junto con los previamente obtenidos, se tomó el tiempo con cronómetro y las lecturas de la pérdida de presión en metros columna de agua.

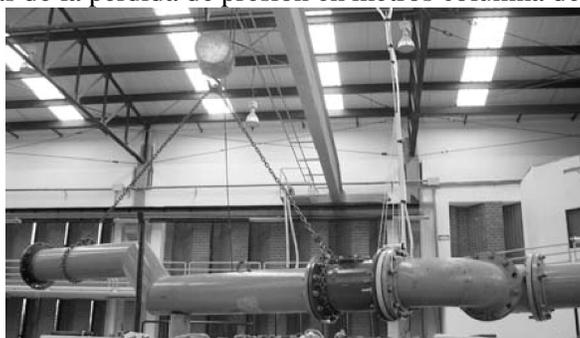


Figura 6.40 Fotografía del tren de descarga con un acondicionador de placa.

Para esta prueba se obtuvieron los resultados tabulados a continuación:

Tabla 6.13 Datos de la prueba con el acondicionador de placa NEL (Spearman).

Lectura del limnómetro: 20 m.c.a = 0.1kg/cm²

Lectura Inicial en medidor	Lectura Final en medidor	Diferencia volumen (m ³)	Tiempo (m,s,c)			Gasto en medidor (l/s)	Altura del tirante h (m)	Gasto en vertedor (L/s)	Diferencia de gastos (L)	Pérdida de carga (m. c. a.)	Error %
15284	15289	5	0	35	5	140.85	0.166	102.92	-37.92	0.5500	36.84
15384	15389	5	1	21	8	61.12	0.0945	44.43	-16.70	0.1050	37.59
15409	15414	5	0	42	8	116.82	0.147	85.86	-30.96	0.3750	36.06
15439	15444	5	0	44	4	112.61	0.144	83.26	-29.35	0.3400	35.25
15458	15463	5	0	58	8	85.03	0.121	64.23	-20.81	0.1950	32.39
15472	15477	5	2	3	9	40.36	0.072	29.61	-10.74	0.0470	36.27
15483	15488	5	1	35	2	52.52	0.085	37.93	-14.59	0.0840	38.46
15506	15511	5	0	42	0	119.05	0.15	88.49	-30.56	0.3970	34.54
15551	15556	5	0	44	1	113.38	0.1445	83.69	-29.69	0.359	35.47
15617	15622	5	1	4	5	77.52	0.112	57.24	-20.28	0.168	35.44
15646	15651	5	1	44	3	47.94	0.08	34.65	-13.29	0.068	38.34
15613	15618	5	2	41	9	30.88	0.059	22.01	-8.88	0.023	40.34
15672	15677	5	2	16	7	36.58	0.0665	26.31	-10.27	0.038	39.05
15685	15690	5	0	52	5	95.24	0.1295	71.07	-24.17	0.256	34.00
15708	15713	5	0	55	2	90.58	0.1255	67.82	-22.76	0.231	33.55
15726	15731	5	1	7	9	73.64	0.1085	54.59	-19.05	0.15	34.89
15758	15763	5	1	0	2	83.06	0.119	62.65	-20.40	0.193	32.57
15774	15779	5	1	26	5	57.80	0.092	42.68	-15.12	0.1	35.42

error máximo

15800	15805	5	0	56	9	87.87	0.1215	64.62	-23.25	0.212	35.98	error mínimo
15819	15824	5	0	40	3	124.07	0.1515	89.81	-34.26	0.423	38.15	
15849	15854	5	0	34	4	145.35	0.168	104.78	-40.57	0.56	38.72	
15923	15929	6	0	51	8	115.83	0.1455	84.56	-31.27	0.351	36.99	
15936	15941	5	1	2	8	79.62	0.116	60.31	-19.31	0.186	32.01	
15953	15958	5	2	18	2	36.18	0.067	26.60	-9.58	0.036	36.01	
15963	15968	5	2	4	3	40.23	0.0715	29.31	-10.92	0.046	37.25	
15992	15997	5	1	19	7	62.74	0.0965	45.83	-16.90	0.11	36.87	
16003	16008	5	0	40	3	124.07	0.152	90.25	-33.82	0.414	37.47	
16046	16051	5	0	41	6	120.19	0.15	88.49	-31.71	0.39	35.83	
16068	16073	5	1	6	2	75.53	0.111	56.48	-19.05	0.159	33.74	
16087	16092	5	1	4	9	77.04	0.1115	56.86	-20.19	0.162	35.50	
16101	16106	5	0	48	5	103.09	0.133	73.96	-29.14	0.285	39.40	
16124	16129	5	0	58	7	85.18	0.119	62.65	-22.53	0.206	35.96	
16147	16152	5	1	30	3	55.37	0.089	40.63	-14.75	0.09	36.30	
16164	16169	5	1	19	5	62.89	0.0965	45.83	-17.06	0.116	37.22	
16179	16184	5	0	55	6	89.93	0.123	65.82	-24.11	0.221	36.63	
16210	16215	5	1	5	8	75.99	0.111	56.48	-19.51	0.164	34.55	
16221	16226	5	1	2	5	80.00	0.114	58.77	-21.23	0.1760	36.13	
16272	16277	5	0	34	8	143.68	0.1675	104.31	-39.36	0.5570	37.74	
16337	16343	6	1	8	8	87.21	0.1205	63.83	-23.38	0.2090	36.62	
163375	163380	5	1	33	0	53.76	0.0865	38.94	-14.83	0.0830	38.08	error promedio (36.31)
16403	16408	5	1	23	2	60.10	0.094	44.08	-16.02	0.1030	36.35	
16435	16440	5	2	5	2	39.94	0.071	29.00	-10.93	0.0470	37.69	
16459	16464	5	1	25	9	58.21	0.092	42.68	-15.52	0.0930	36.37	
16501	16506	5	0	43	1	116.01	0.1456	84.64	-31.37	0.3630	37.06	
16593	16598	5	0	54	8	91.24	0.125	67.42	-23.82	0.225	35.33	
16641	16646	5	0	47	6	105.04	0.1375	77.72	-27.32	0.297	35.16	
16697	16702	5	0	37	0	135.14	0.1615	98.79	-36.34	0.507	36.79	
16759	16764	5	0	35	4	141.24	0.1655	102.46	-38.78	0.534	37.85	
16812	16817	5	0	59	4	84.18	0.119	62.65	-21.52	0.187	34.35	
16876	16881	5	1	49	9	45.50	0.077	32.73	-12.76	0.067	38.99	
16926	16931	5	0	51	0	98.04	0.131	72.30	-25.74	0.26	35.59	
16973	16978	5	0	52	4	95.42	0.1285	70.25	-25.16	0.312	35.82	
16991	16996	5	1	11	3	70.13	0.105	51.98	-18.14	0.137	34.90	
17025	17030	5	2	43	5	30.58	0.059	22.01	-8.58	0.028	38.97	

Los datos tabulados en la Tabla 6.13, se pueden presentar de manera simplificada en la gráfica de la Figura 6.41, ésta muestra el porcentaje de error obtenido respecto al gasto leído por el medidor.

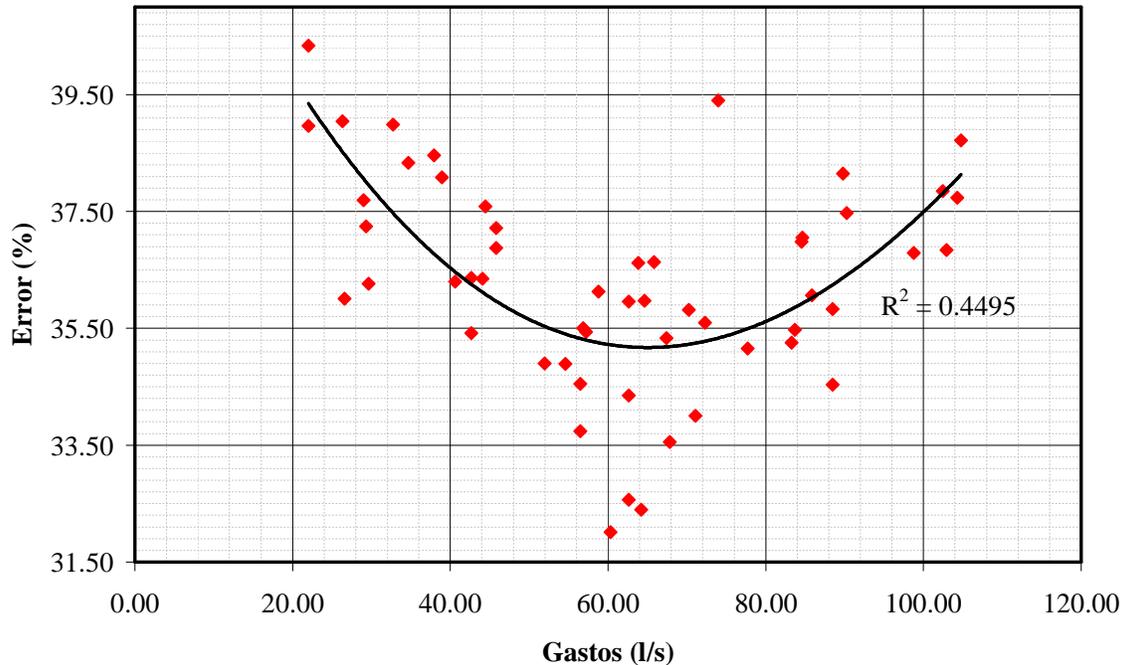


Figura 6.41 Gráfica de errores, colocado el acondicionador de flujo placa NEL (Spearman).

Como se observa en la gráfica, el error mínimo de la prueba es de 32.01% y el error máximo de 40.34%, teniendo un rango de error de 8.33 %, la muestra tiene dispersión, pero a pesar de esto se puede notar una tendencia de los puntos a formar una parábola invertida, para los gastos mínimos los errores son mayores; para los gastos alrededor de 60 l/ los errores son los menores y conforme aumenta el gasto se puede observar que vuelven a aumentar. Se presentan errores de magnitudes altas.

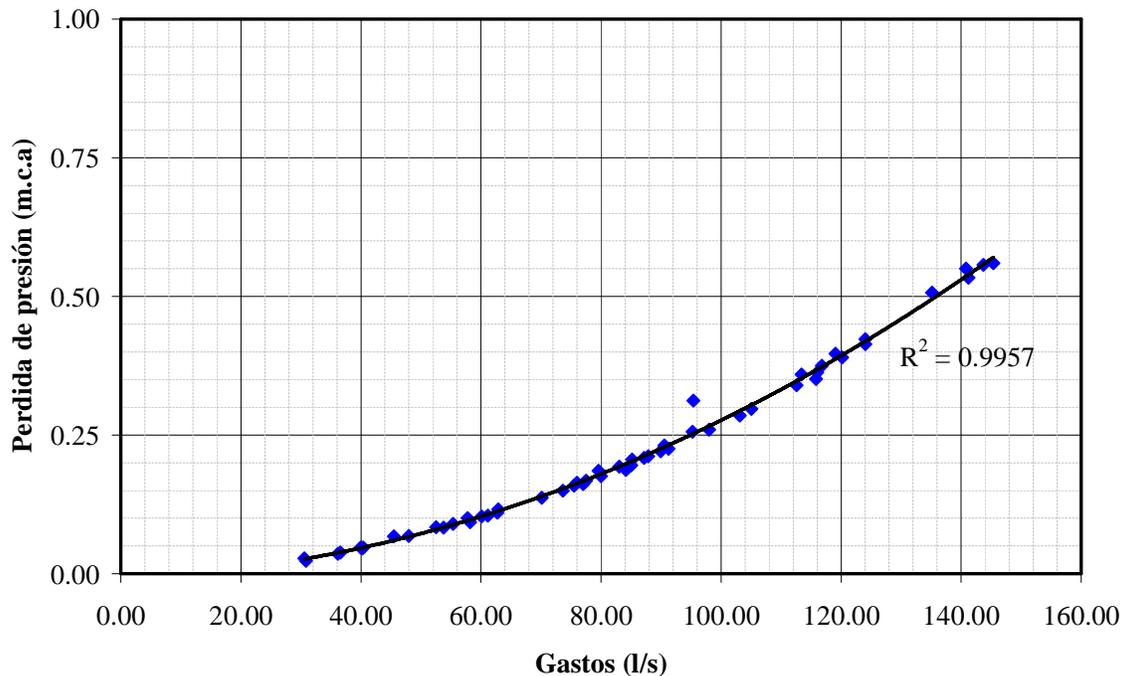


Figura 6.42 Gráfica de pérdida de presión, colocado el acondicionador de flujo placa NEL (Spearman).

En la gráfica de la Figura 6.42 se puede observar que las pérdidas de presión aumenta conforme aumenta el gasto, inicia para un gasto alrededor de 30 l/s con una pérdida de aproximadamente 0.023 m.c.a. con una tendencia a formar una ligera curva regular, alcanzando una pérdida de 0.56 m.c.a. para el gasto mayor registrado, la magnitud de las pérdidas de presión sitúan a este acondicionador entre los que pierden relativamente poca carga sin ser el mejor en este aspecto.

6.2.7. Prueba 13. Diseño NOVA del acondicionador de flujo placa perforada K-Lab

La prueba número trece se llevó a cabo el día 04 de diciembre del 2007, ésta busca información del desempeño del medidor con el diseño NOVA del acondicionador de flujo placa perforada K-Lab. La distribución del tren de descarga se puede observar en la Figura 6.41, colocado después de los dos codos de 90°, la placa acondicionadora, el medidor y un carrete cuello de ganso para que el medidor trabaje a tubo lleno; se tomaron lecturas puntuales, variando el gasto de forma aleatoria hasta tener una muestra representativa de la amplitud de gasto determinado y se tomó la pérdida de presión en metros columna de agua.

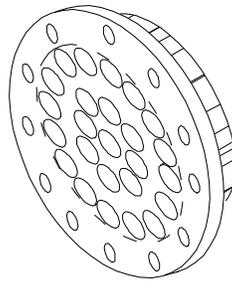


Figura 6.43 Diseño NOVA del acondicionador de flujo placa perforada K-Lab.

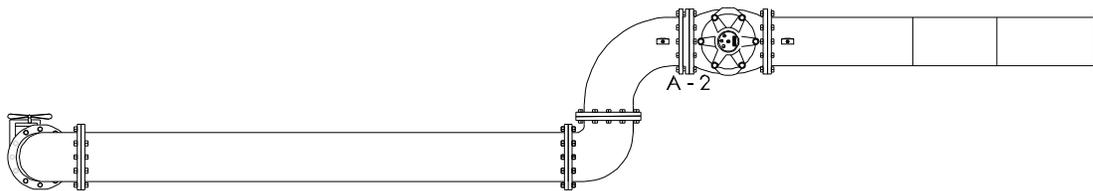


Fig. 6.41 Distribución del tren de descarga, colocado el Diseño NOVA del acondicionador de flujo placa perforada K-Lab.

Se tomó el tiempo con cronómetro y las lecturas de la pérdida de presión en metros columna de agua, la prueba se llevó a cabo sin inconvenientes.

Para esta prueba se obtuvieron los resultados tabulados a continuación:

Tabla 6.14 Datos de la prueba con el diseño NOVA del acondicionador de placa K-Lab.

Lectura del limnómetro: 20 m.c.a = 0.1kg/cm²

Lectura Inicial en medidor	Lectura Final en medidor	Diferencia volumen (m ³)	Tiempo (m,s,c)			Gasto en medidor (l/s)	Altura del tirante h (m)	Gasto en vertedor (L/s)	Diferencia de gastos (L)	Pérdida de carga (m. c. a.)	Error %
17036	17041	5	1	41	9	49.07	0.091	41.99	-7.07	0.0680	16.84
17064	17070	6	1	8	1	88.11	0.136	76.46	-11.65	0.2080	15.24
17137	17142	5	0	50	4	99.21	0.147	85.86	-13.35	0.2560	15.54
17165	17170	5	1	7	5	74.07	0.1215	64.62	-9.45	0.1460	14.62
17223	17228	5	1	57	6	42.52	0.083	36.61	-5.91	0.0540	16.14
17242	17246	4	1	14	8	53.48	0.097	46.19	-7.29	0.0770	15.78
17258	17263	5	2	16	9	36.52	0.0745	31.16	-5.36	0.0410	17.21
17279	17284	5	0	49	7	100.60	0.148	86.73	-13.87	0.264	15.99
17314	17319	5	0	40	6	123.15	0.169	105.71	-17.44	0.397	16.50
17357	17362	5	0	35	9	139.28	0.1815	117.58	-21.70	0.493	18.45
17404	17409	5	0	50	2	99.60	0.1475	86.30	-13.31	0.263	15.42
17428	17433	5	1	48	2	46.21	0.087	39.27	-6.94	0.062	17.67
17437	17442	5	1	22	6	60.53	0.106	52.72	-7.81	0.099	14.81
17464	17469	5	1	31	3	54.76	0.098	46.90	-7.86	0.09	16.77
17517	17522	5	1	50	8	45.13	0.0869	39.20	-5.92	0.061	15.11
17597	17605	8	1	30	2	88.69	0.1365	76.88	-11.82	0.209	15.37
17640	17645	5	0	49	5	101.01	0.148	86.73	-14.28	0.257	16.46
17697	17702	5	2	18	1	36.21	0.074	30.85	-5.36	0.04	17.36
17715	17720	5	0	39	5	126.58	0.172	108.52	-18.06	0.42	16.64
17758	17762	4	1	0	5	66.12	0.1122	57.39	-8.73	0.113	15.21
17798	17803	5	1	10	1	71.33	0.118	61.87	-9.46	0.141	15.29
17818	17823	5	2	5	5	39.84	0.0788	33.88	-5.96	0.042	17.59
17905	17910	5	0	53	0	94.34	0.142	81.54	-12.80	0.229	15.70
17972	17977	5	1	7	1	74.52	0.1215	64.62	-9.89	0.145	15.31
18050	18055	5	1	49	6	45.62	0.086	38.60	-7.02	0.068	18.19
18072	18077	5	1	12	7	68.78	0.1154	59.85	-8.93	0.121	14.92
18190	18195	5	3	15	0	25.64	0.0588	21.89	-3.75	0.021	17.11
18166	18171	5	0	53	0	94.34	0.142	81.54	-12.80	0.231	15.70
18202	18207	5	1	4	2	77.88	0.123	65.82	-12.06	0.152	18.33
18220	18225	5	0	51	3	97.47	0.1454	84.47	-13.00	0.244	15.39
18248	18253	5	0	56	7	88.18	0.136	76.46	-11.73	0.202	15.34
18277	18283	6	1	48	9	55.10	0.099	47.62	-7.48	0.0810	15.71
18293	18298	5	2	58	1	28.07	0.0623	23.87	-4.21	0.0240	17.63
18315	18320	5	0	49	4	101.21	0.1484	87.08	-14.13	0.2720	16.23
18344	18349	5	0	37	9	131.93	0.175	111.36	-20.57	0.4400	18.47

error mínimo

error promedio
(16.29)

error máximo

Los datos tabulados en la Tabla 6.14, se pueden mostrar de forma simplificada por medio de la gráfica de la Figura 6.44, ésta muestra el porcentaje de error obtenido respecto al gasto leído en el medidor.

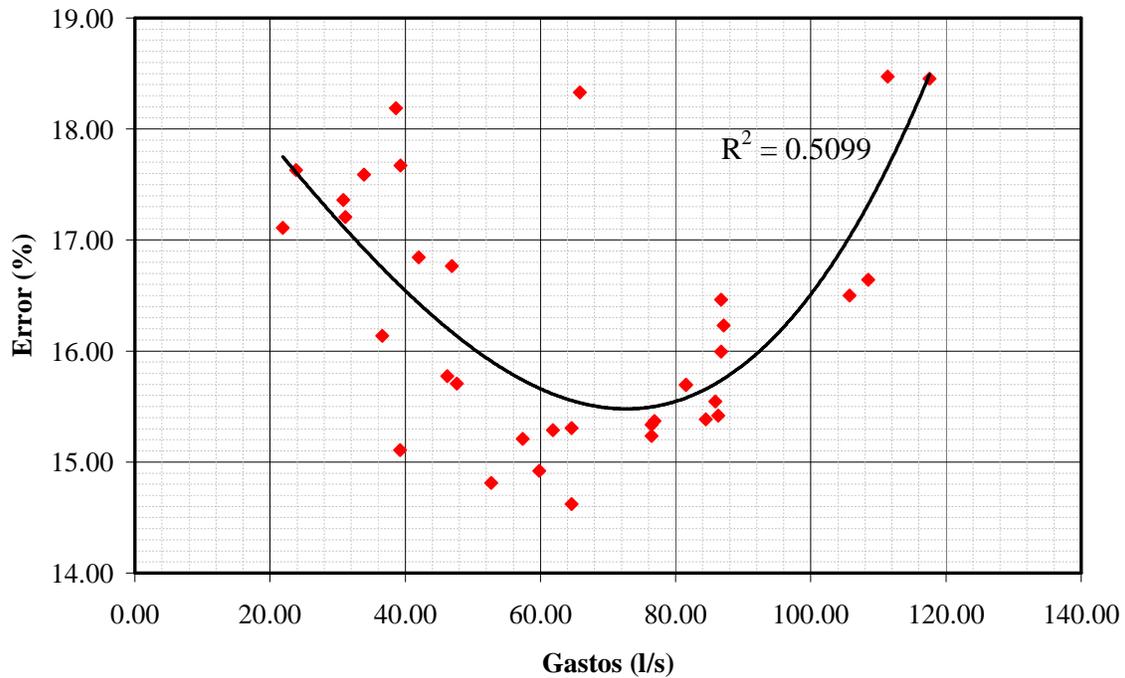


Figura 6.44 Gráfica de errores, colocado el Diseño NOVA del acondicionador de placa perforada K-Lab.

Se puede observar en la gráfica la dispersión de las lecturas, el error mínimo es de 14.62 % y el error máximo de 18.47 %, teniendo un rango de error de 3.85 %, se pueden identificar agrupaciones de errores; para los gastos entre 20 y 50 l/s se presentan los errores mayores, que van de 15% a 18%, y para los gastos entre 50 y 110 l/s se tienen los errores menores que van de 14 % a 16 % y para los gastos que pasan los 110 l/s da un salto en las lecturas incrementado los errores casi en 2.00%.

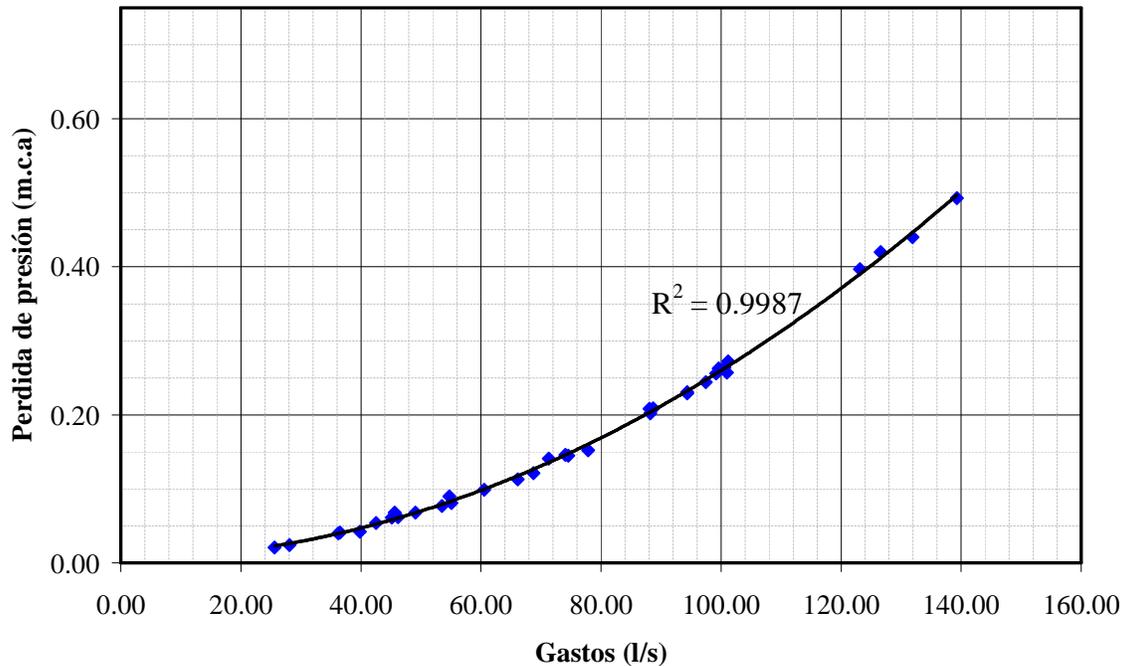


Figura 6.45 Gráfica de pérdida de presión, debidas al uso del Diseño NOVA del acondicionador de flujo placa perforada K-Lab.

En la gráfica de la Figura 6.45 se puede observar que las pérdidas de presión aumentan conforme aumenta el gasto, formando una línea ligeramente curva de comportamiento regular, iniciando para un gasto de alrededor de 25 l/s con una pérdida de 0.02 m.c.a. y con una pérdida de 0.5 m.c.a. para el gasto mayor de alrededor de 140 l/s, siendo así una placa acondicionadora que relativamente tiene poca pérdida de presión.

6.2.8. Prueba 14. Orientador AMCA

La prueba número catorce se llevó a cabo el día 7 de diciembre del 2007, ésta busca obtener información sobre el desempeño del medidor con el Orientador de flujo denominado AMCA. La distribución del tren de descarga se puede observar en la Figura 6.47, colocado después de los dos codos de 90°, el orientador, el medidor y un carrete cuello de ganso para que el medidor trabaje a tubo lleno; se tomaron lecturas puntuales, variando el gasto de forma aleatoria hasta tener una muestra representativa de la amplitud de gasto determinado y anotando la pérdida de presión.

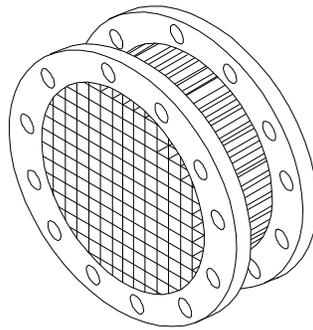


Figura 6.46 Orientador AMCA.

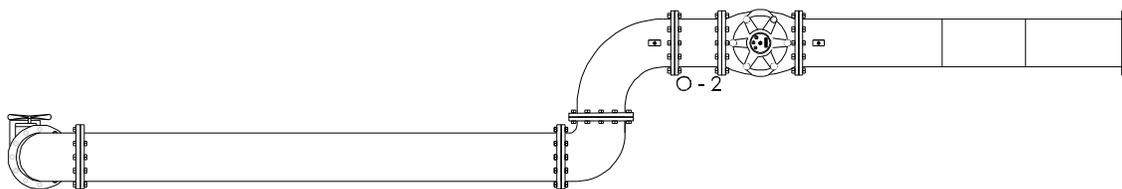


Figura 6.47 Distribución del tren de descarga, colocado el orientador AMCA.

Se tomó el tiempo con cronómetro y las lecturas de la pérdida de presión en metros columna de agua, la prueba se realizó sin inconvenientes.

Para esta prueba se obtuvieron los resultados tabulados a continuación:

Tabla 6.15 Datos de la prueba con el orientador AMCA.

Lectura del limnómetro: 20 m.c.a = 0.1kg/cm²

Lectura Inicial en medidor	Lectura Final en medidor	Diferencia volumen (m ³)	Tiempo (m,s,c)			Gasto en medidor (l/s)	Altura del tirante h (m)	Gasto en vertedor (L/s)	Diferencia de gastos (L)	Pérdida de carga (m. c. a.)	Error %
18359	18364	5	3	34	0	23.36	0.0617	23.52	0.16	0.0100	-0.68
18373	18378	5	1	8	0	73.53	0.1334	74.29	0.76	0.1590	-1.02
18397	18404	7	1	47	2	65.30	0.1237	66.38	1.08	0.1270	-1.63
18452	18457	5	1	1	7	81.04	0.1428	82.23	1.19	0.2000	-1.45
18480	18485	5	0	43	1	116.01	0.1801	116.23	0.22	0.4170	-0.19
18531	18536	5	1	6	7	74.96	0.1355	76.04	1.08	0.1710	-1.41
18559	18564	5	1	50	1	45.41	0.0969	46.12	0.71	0.0630	-1.53
18590	18595	5	1	46	0	47.17	0.0991	47.69	0.52	0.068	-1.09
18613	18618	5	2	3	3	40.55	0.0893	40.83	0.28	0.047	-0.68
18636	18641	5	1	17	9	64.18	0.1225	65.42	1.23	0.13	-1.89
18666	18671	5	0	42	9	116.55	0.1802	116.33	-0.22	0.43	0.19
18707	18712	5	0	38	3	130.55	0.194	129.86	-0.69	0.525	0.53
18749	18754	5	0	50	1	99.80	0.1648	101.82	2.02	0.315	-1.98
18773	18778	5	1	36	2	51.98	0.107	53.47	1.49	0.078	-2.79
18792	18797	5	2	11	3	38.08	0.086	38.60	0.52	0.041	-1.35
18809	18814	5	2	16	2	36.71	0.0838	37.14	0.43	0.04	-1.15
18827	18832	5	1	44	0	48.08	0.101	49.06	0.98	0.069	-2.00
18848	18853	5	0	59	9	83.47	0.145	84.12	0.65	0.211	-0.77
18885	18890	5	1	4	6	77.40	0.139	78.99	1.59	0.188	-2.01
18908	18913	5	1	2	9	79.49	0.1417	81.28	1.79	0.2	-2.21
18932	18937	5	0	49	1	101.83	0.166	102.92	1.09	0.329	-1.06
19004	19009	5	1	30	0	55.56	0.111	56.48	0.92	0.07	-1.63
19037	19042	5	2	22	4	35.11	0.0816	35.69	0.58	0.074	-1.62
19102	19107	5	1	23	4	59.95	0.1173	61.32	1.37	0.123	-2.23
19127	19132	5	0	44	2	113.12	0.1764	112.69	-0.44	0.417	0.39
19160	19165	5	0	48	6	102.88	0.168	104.78	1.90	0.352	-1.81
19200	19205	5	0	59	7	83.75	0.147	85.86	2.11	0.236	-2.45
19230	19235	5	0	59	7	83.75	0.1474	86.21	2.46	0.237	-2.85
19257	19262	5	0	45	9	108.93	0.173	109.46	0.53	0.391	-0.48
19287	19292	5	0	58	1	86.06	0.1492	87.78	1.72	0.238	-1.96
19304	19309	5	1	17	1	64.85	0.1239	66.54	1.69	0.139	-2.54
19325	19330	5	2	6	6	39.49	0.0879	39.88	0.38	0.05	-0.96
19337	19342	5	3	55	8	21.20	0.0576	21.23	0.03	0.0120	-0.13
19346	19351	5	3	23	0	24.63	0.0639	24.79	0.16	0.0220	-0.63
19358	19363	5	1	19	6	62.81	0.1202	63.60	0.78	0.1250	-1.23
19447	19452	5	1	38	5	50.76	0.1054	52.28	1.52	0.0910	-2.90
19472	19477	5	1	36	9	51.60	0.106	52.72	1.12	0.0900	-2.13
19487	19492	5	0	55	6	89.93	0.1527	90.87	0.94	0.2550	-1.04
19512	19517	5	0	57	2	87.41	0.15	88.49	1.07	0.2450	-1.21

error mínimo

Error promedio (-1.37)

error máximo

Los datos tabulados en la

Tabla 6.15, se pueden presentar de manera simplificada por medio de la gráfica de la Figura 6.48, esta muestra el porcentaje de error obtenido respecto al gasto leído en el medidor.

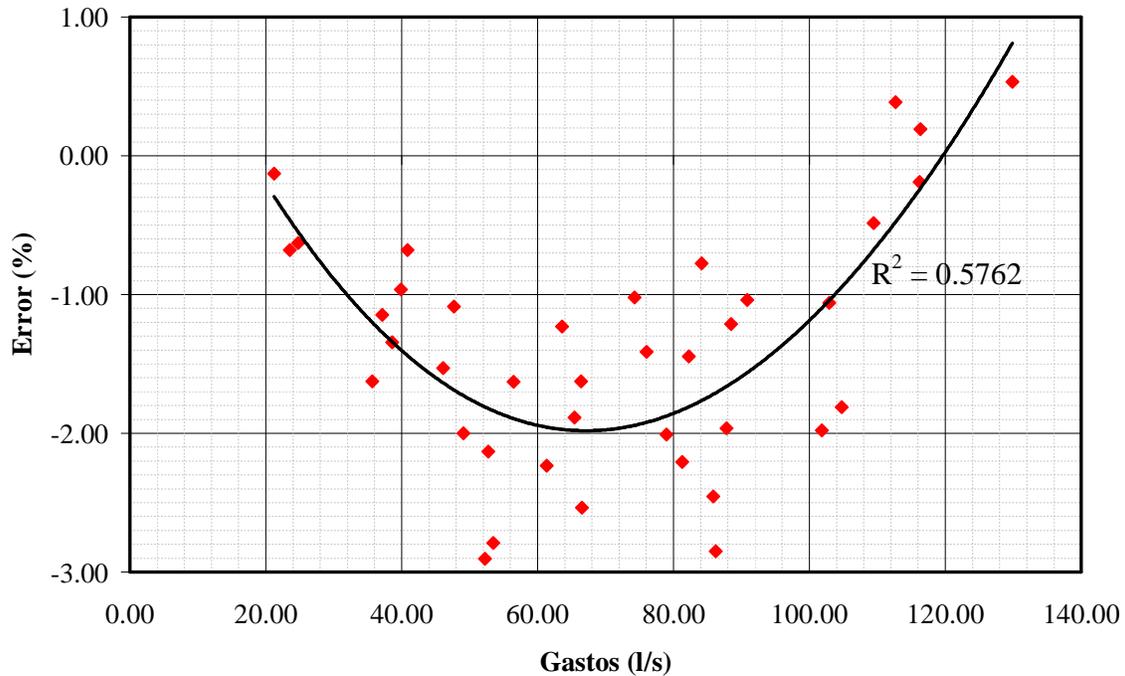


Figura 6.48 Gráfica de errores, colocado el orientador AMCA.

Se puede observar en la gráfica que el error mínimo que se tiene es de 0.53 % y el error máximo es de -2.9 % con esto tenemos que el rango de error de esta prueba es de 3.43 %, siendo los errores menores para los gastos mínimos y los gastos máximos, similar a una parábola invertida, con la diferencia que los errores menores se mantienen positivos, mientras los errores mayores vuelven negativos, siendo los errores máximos los generados por los gastos de entre 50 y 100 l/s y a pesar de la dispersión de la muestra, cabe mencionar que su rango de error es de 3.43% y los errores dentro de éste rango quedan dentro del error nominal aceptable.

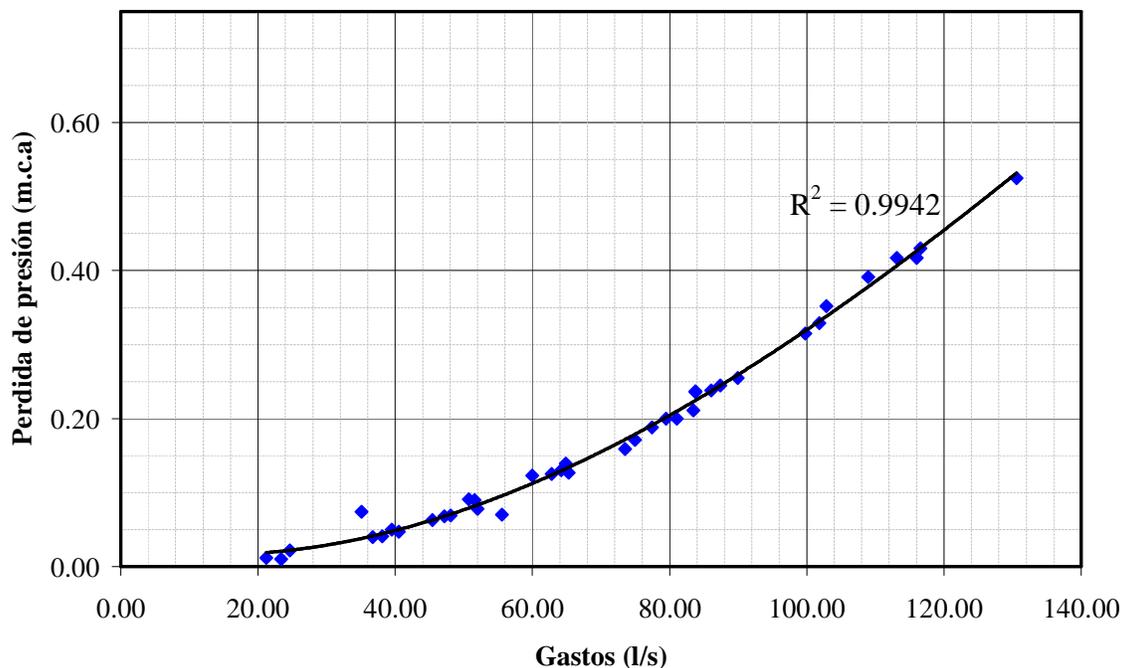


Figura 6.49 Gráfica de pérdida de presión, colocado el orientador AMCA.

Como se observa en la gráfica de la Figura 6.49 la pérdida de presión se incrementa conforme se incrementa el gasto para los gastos alrededor de 25 l/s son de alrededor 0.01 m.c.a. y van hasta los 0.5 m.c.a., para el gasto de alrededor 130 l/s haciendo una línea ligeramente curva.

6.2.9. Prueba 15. Acondicionador de flujo placa Zanker

La prueba número quince se llevó a cabo el día 11 de diciembre del 2007, ésta busca obtener información sobre el desempeño del medidor con el acondicionador de flujo placa Zanker. La distribución del tren de descarga se puede observar en la Figura 6.51, colocado después de los dos codos de 90°, el orientador, el medidor y un carrete cuello de ganso para que el medidor trabaje a tubo lleno: se tomaron lecturas puntuales, variando el gasto de forma aleatoria hasta tener una muestra representativa de la amplitud de gasto determinado y se tomó la pérdida de presión.

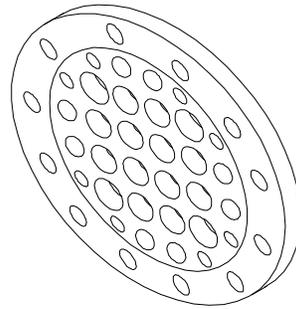


Figura 6.50 Acondicionador de flujo placa Zanker.

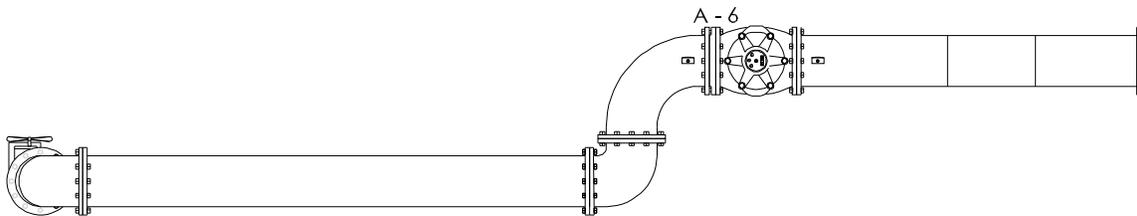


Figura 6.51 Distribución del tren de descarga, colocado el acondicionador de flujo placa Zanker.

La prueba tubo una duración de aproximadamente cuatro horas, se tomó el tiempo con cronómetro y las lecturas de la pérdida de presión en metros columna de agua, la prueba se realizó sin inconvenientes.

Para esta prueba se obtuvieron los resultados tabulados a continuación:

Tabla 6.16 Datos de la prueba con el acondicionador de placa Zanker.

Lectura del limnómetro: 20 m.c.a = 0.1kg/cm²

Lectura Inicial en medidor	Lectura Final en medidor	Diferencia volumen (m ³)	Tiempo (m,s,c)			Gasto en medidor (L/s)	Altura del tirante h (m)	Gasto en vertedor (L/s)	Diferencia de gastos (L)	Pérdida de carga (m. c. a.)	Error %
19529	19534	5	1	6	5	75.19	0.1223	65.26	-9.93	0.2890	15.21
19572	19577	5	0	46	0	108.70	0.155	92.92	-15.78	0.7070	16.98
19605	19610	5	1	4	0	78.13	0.1249	67.34	-10.78	0.3150	16.02
19656	19661	5	2	29	5	33.44	0.0714	29.25	-4.20	0.0630	14.35
19680	19685	5	1	58	0	42.37	0.0834	36.87	-5.50	0.1030	14.92
19710	19715	5	0	51	3	97.47	0.1446	83.78	-13.69	0.4890	16.34
19743	19748	5	1	0	8	82.24	0.1292	70.83	-11.41	0.3520	16.11
19774	19779	5	0	43	0	116.28	0.1614	98.70	-17.58	0.7010	17.81
19806	19811	5	0	38	3	130.55	0.1737	110.12	-20.42	0.9020	18.55
19845	19850	5	0	43	8	114.16	0.1595	96.97	-17.18	0.6560	17.72
19879	19884	5	1	12	1	69.35	0.116	60.31	-9.04	0.2610	14.98
19896	19901	5	1	11	0	70.42	0.1166	60.78	-9.65	0.2560	15.87
19914	19919	5	0	47	0	106.38	0.152	90.25	-16.13	0.5750	17.87
19943	19948	5	1	0	7	82.37	0.1304	71.81	-10.56	0.3560	14.71
19963	19968	5	1	23	0	60.24	0.1054	52.28	-7.96	0.1940	15.23
19976	19980	4	2	17	0	29.20	0.0648	25.31	-3.89	0.0480	15.36
19986	19991	5	2	27	2	33.97	0.0719	29.55	-4.41	0.0680	14.94
19999	20004	5	1	8	9	72.57	0.118	61.87	-10.70	0.2720	17.30
20018	20023	5	0	49	0	102.04	0.1459	84.90	-17.14	0.5470	20.18
20136	20141	5	0	59	7	83.75	0.1309	72.22	-11.53	0.3620	15.97
20202	20207	5	0	39	0	128.21	0.1728	109.27	-18.93	0.8570	17.32
20235	20240	5	0	48	8	102.46	0.1498	88.31	-14.15	0.552	16.02
20263	20268	5	0	48	3	103.52	0.1496	88.13	-15.39	0.545	17.46
20308	20313	5	1	49	7	45.58	0.0875	39.61	-5.97	0.115	15.07
20315	20320	5	1	23	5	59.88	0.1048	51.84	-8.04	0.19	15.52
20334	20339	5	0	53	6	93.28	0.1385	78.56	-14.72	0.446	18.74
20352	20357	5	1	3	2	79.11	0.126	68.23	-10.89	0.5040	15.96
20380	20385	5	0	44	1	113.38	0.159	96.52	-16.86	0.6580	17.47
20410	20416	6	1	42	9	58.31	0.1025	50.15	-8.16	0.1780	16.27
20425	20430	5	2	44	7	30.36	0.0664	26.25	-4.11	0.0540	15.67
20443	20448	5	1	10	5	70.92	0.116	60.31	-10.61	0.2930	17.59
20468	20473	5	0	58	2	85.91	0.133	73.96	-11.96	0.3880	16.17
20499	20504	5	0	41	1	121.65	0.1662	103.11	-18.55	0.7370	17.99
20536	20541	5	2	39	9	31.27	0.0681	27.25	-4.01	0.0560	14.73
20543	20548	5	2	18	1	36.21	0.0749	31.41	-4.79	0.0760	15.26

error mínimo

error máximo

error promedio
(16.39)

Los datos tabulados en la Tabla 6.16, se pueden presentar de manera simplificada por medio de la gráfica de la Figura 6.52, ésta muestra el porcentaje de error obtenido respecto al gasto leído en el medidor.

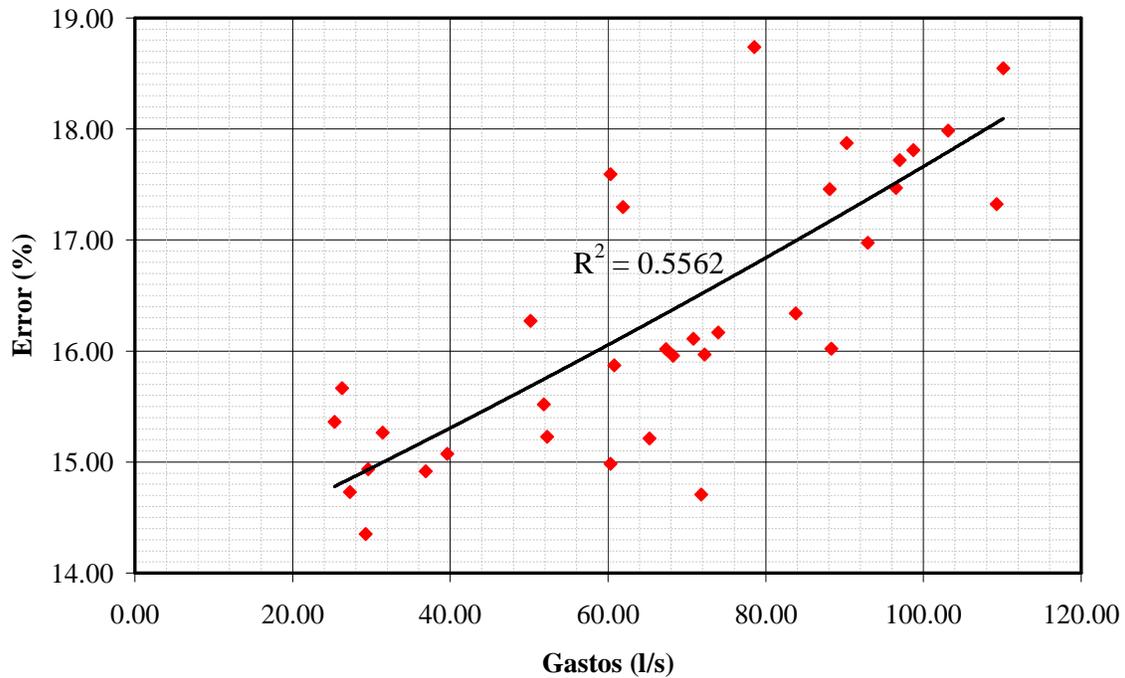


Figura 6.52 Gráfica de errores, colocado el acondicionador de flujo placa Zanker.

Se puede observar en la gráfica que el error mínimo que se tiene en la prueba es de 14.35% y el error máximo de 20.18% teniendo con esto un rango de error de 5.83 %, los errores menores se generan para los gastos entre 25 y 60 l/s, a partir de los 60 l/s se nota que los errores aumentan de una forma oscilatoria sin mucha consistencia. Este acondicionador provoca errores muy altos.

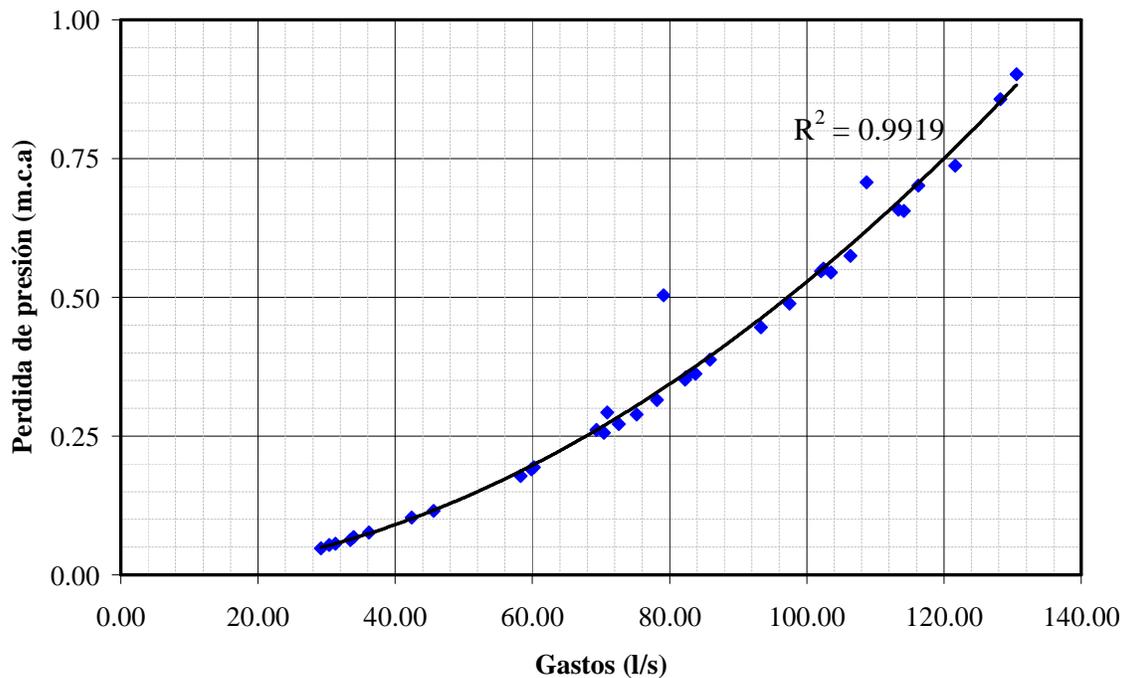


Figura 6.53 Gráfica de pérdidas de presión, colocado el acondicionador de flujo placa Zanker.

En la gráfica de la Figura 6.53 se puede observar que la pérdida de presión tiende a aumentar de una manera regular conforme el gasto aumenta, en una línea ligeramente curva, con ligeras variaciones que podrían deberse a causas ajenas a la pérdida de presión misma.

6.2.10. Prueba 16. Acondicionador de flujo Gallagher; con dispositivo anti-turbulencia de aspas

La prueba número dieciséis se llevó a cabo los días 14 y 15 de diciembre del 2007, ésta busca obtener información sobre el desempeño del medidor con el acondicionador de flujo gallagher; con dispositivo anti-turbulencia de aspas. La distribución del tren de descarga se puede observar en la Figura 6.55, colocado después de los dos codos de 90°, el acondicionador, el medidor y un carrete cuello de ganso para que el medidor trabaje a tubo lleno; se tomaron lecturas puntuales, variando el gasto de forma aleatoria hasta tener una muestra representativa de la amplitud de gasto determinado y se tomó la pérdida de presión en metros columna de agua.

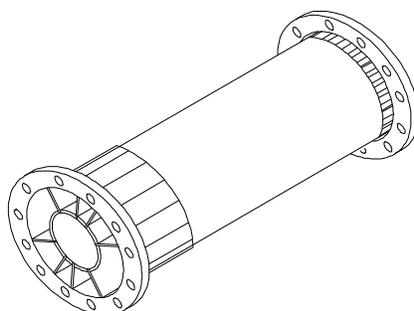


Figura 6.54 Acondicionador de flujo Gallagher con aspas en su interior.

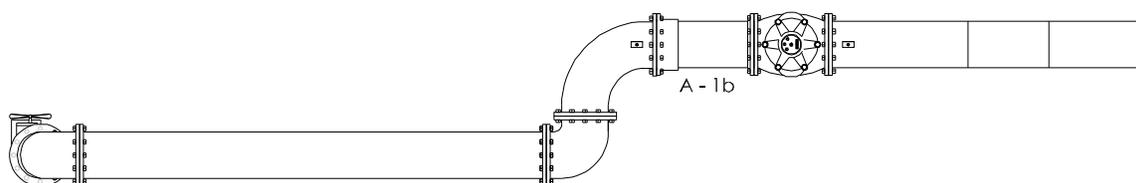


Figura 6.55 Distribución del tren de descarga, colocado el acondicionador de flujo Gallagher.

Para esta prueba se obtuvieron los resultados tabulados a continuación:

Tabla 6.17 Datos de la prueba con el acondicionador Gallagher.

Lectura del limnómetro: 20 m.c.a = 0.1kg/cm²

Lectura Inicial en medidor	Lectura Final en medidor	Diferencia volumen (m ³)	Tiempo (m,s,c)			Gasto en medidor (L/s)	Altura del tirante h (m)	Gasto en vertedor (L/s)	Diferencia de gastos (L)	Pérdida de carga (m. c. a.)	Error %
20614	20619	5	0	56	5	88.50	0.1329	73.87	-14.62	0.2210	19.80
20636	20641	5	0	58	9	84.89	0.1289	70.58	-14.31	0.2040	20.27
20662	20667	5	0	55	9	89.45	0.1328	73.79	-15.66	0.2250	21.22
20680	20685	5	1	26	5	57.80	0.1009	48.99	-8.82	0.1100	18.00

error mínimo

20692	20697	5	0	41	9	119.33	0.161	98.34	-21.00	0.3870	21.35
20735	20740	5	1	6	5	75.19	0.118	61.87	-13.32	0.1570	21.53
20769	20774	5	2	14	8	37.09	0.0746	31.22	-5.87	0.0440	18.79
20788	20793	5	2	39	0	31.45	0.0666	26.36	-5.08	0.0330	19.28
20812	20817	5	0	59	1	84.60	0.1288	70.50	-14.10	0.2050	20.00
20857	20862	5	2	15	3	36.95	0.074	30.85	-6.10	0.0490	19.79
20875	20880	5	0	35	4	141.24	0.1791	115.27	-25.97	0.5490	22.53
20924	20929	5	0	44	3	112.87	0.155	92.92	-19.95	0.3570	21.47
20945	20952	7	2	35	2	45.10	0.0844	37.53	-7.57	0.0610	20.17
20963	20967	4	3	6	1	21.49	0.0513	17.86	-3.63	0.0200	20.32
20972	20977	5	1	7	8	73.75	0.1173	61.32	-12.42	0.1540	20.26
21036	21041	5	1	12	6	68.87	0.1126	57.69	-11.18	0.1370	19.37
21058	21063	5	0	44	8	111.61	0.1534	91.49	-20.11	0.3540	21.98
21198	21202	4	0	29	0	137.93	0.1763	112.59	-25.34	0.5210	22.51
21241	21246	5	1	52	8	44.33	0.0837	37.07	-7.26	0.0900	19.57
21270	21275	5	0	37	9	131.93	0.1716	108.14	-23.78	0.4890	21.99
21312	21317	5	0	50	7	98.62	0.1423	81.80	-16.82	0.2780	20.56
21340	21345	5	1	37	6	51.23	0.092	42.68	-8.55	0.076	20.02
21358	21363	5	1	18	9	63.37	0.1065	53.10	-10.28	0.119	19.35
21397	21402	5	0	55	2	90.58	0.1349	75.54	-15.04	0.234	19.92
21449	21454	5	0	56	8	88.03	0.132	73.13	-14.90	0.214	20.38
21480	21485	5	0	44	5	112.36	0.1545	92.47	-19.89	0.344	21.50
21578	21583	5	1	12	9	68.59	0.1118	57.08	-11.50	0.0800	20.15
21606	21611	5	2	41	4	30.98	0.0645	25.13	-5.84	-0.0610	23.25
21637	21642	5	2	13	7	37.40	0.0748	31.35	-6.05	0.0640	19.29
21667	21672	5	0	50	2	99.60	0.1433	82.66	-16.94	0.4150	20.50
21728	21733	5	0	38	8	128.87	0.1687	105.43	-23.44	0.4820	22.23
21782	21787	5	0	32	4	154.32	0.1885	124.41	-29.91	0.6790	24.05
21848	21853	5	0	46	4	107.76	0.1507	89.10	-18.66	0.2920	20.94
21909	21914	5	1	6	8	74.85	0.1186	62.34	-12.51	0.1340	20.07
21925	21930	5	2	43	1	30.66	0.0651	25.48	-5.17	0.0300	20.30
21950	21955	5	0	32	2	155.28	0.191	126.87	-28.40	0.6670	22.39
21989	21994	5	0	49	5	101.01	0.1453	84.38	-16.63	0.2810	19.70

error
promedio
(20.67)
error máximo

Los datos tabulados en la Tabla 6.16, se pueden presentar de manera simplificada por medio de la gráfica de la Figura 6.56, ésta muestra el porcentaje de error obtenido respecto al gasto leído en el medidor.

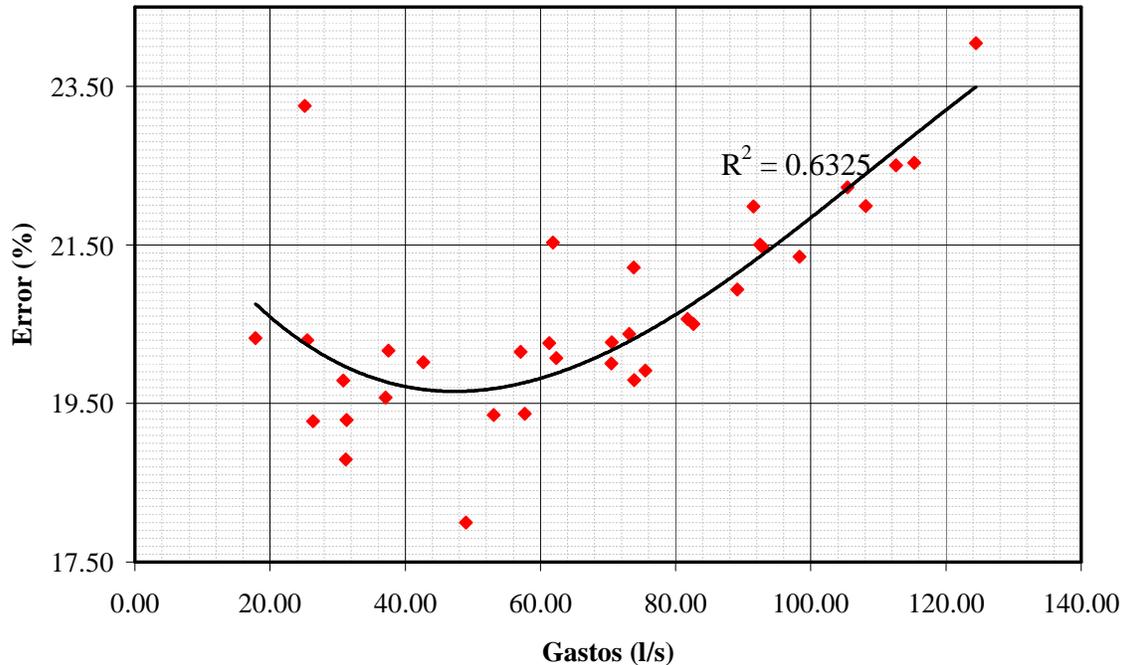


Figura 6.56 Gráfica de errores, colocado el acondicionador de flujo Gallagher con aspas en su interior.

Se puede observar en la gráfica, que el error mínimo que se tiene es de 14.35 % y el error máximo es de 24.18 %, que nos da un rango de error de 6.05 %; los gastos que generan los errores menores van de 20 a 90 l/s en este caso, con diferencia de tan solo 2 % a partir de los gastos de 90 l/s y mayores, los errores tienden a aumentar conforme aumenta el gasto. Se puede notar un error alto en un gasto cercano a 20 l/s, no debiera descartarse del resto de los errores, pero la mayoría de éstos se encuentra agrupados abajo del 20.5 %.

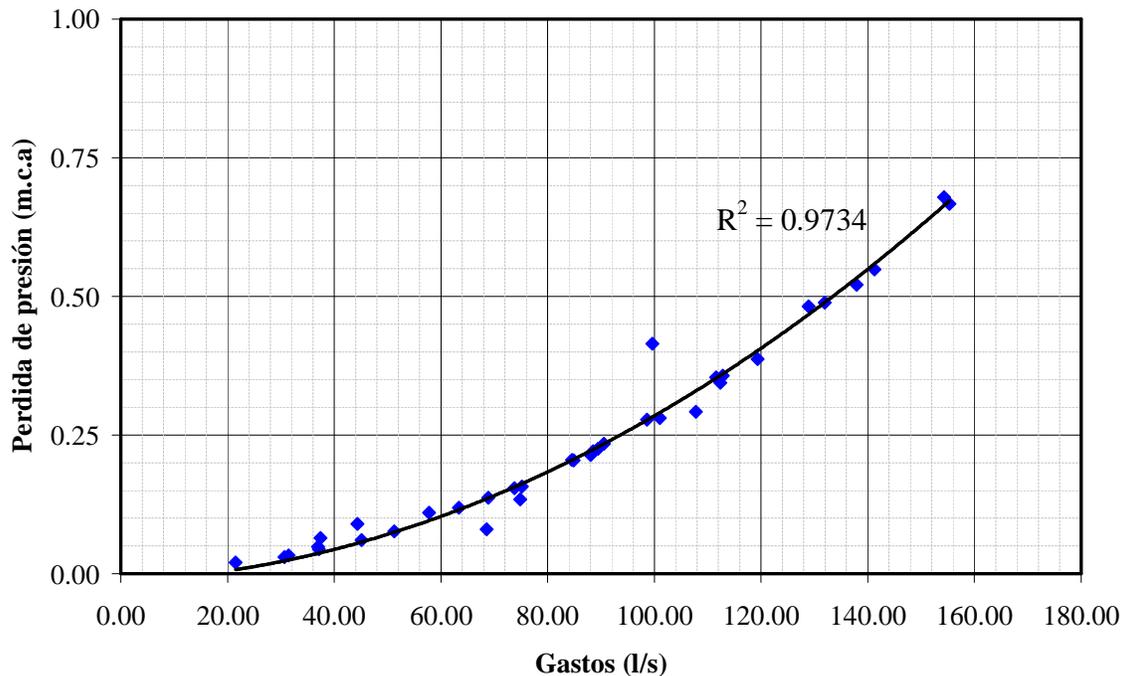


Figura 6.57 Gráfica de pérdida de presión, colocado el acondicionador de flujo Gallagher con aspas en su interior.

En la gráfica de la Figura 6.57, se puede observar que la pérdida de presión aumenta conforme el gasto aumenta de manera regular en una línea ligeramente curva con ligeras variaciones.

6.2.11. Prueba 17. Acondicionador de flujo Zanker

La prueba número diecisiete se llevó a cabo el día 19 de diciembre de 2007, ésta busca obtener información sobre el desempeño del medidor con el acondicionador de flujo Zanker. La distribución del tren de descarga se puede observar en la Figura 6.59, colocado después de los dos codos de 90°, el acondicionador, el medidor y un carrete cuello de ganso para que el medidor trabaje a tubo lleno; se tomaron lecturas puntuales, variando el gasto de forma aleatoria hasta tener una muestra representativa de la amplitud de gasto determinado y se tomó la pérdida de presión en metros columna de agua.

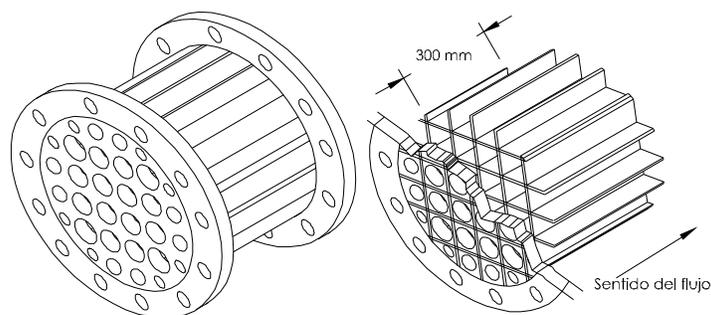


Figura 6.58 Acondicionador de flujo Zanker.

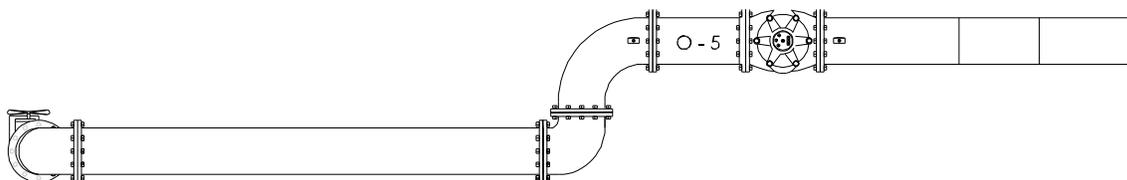


Figura 6.59 Distribución del tren de descarga, colocado el acondicionador de flujo Zanker.

Para esta prueba se obtuvieron los resultados tabulados a continuación:

Tabla 6.18 Datos de la prueba con el acondicionador Zanker.

Lectura del limnómetro: 20 m.c.a = 0.1kg/cm2

Lectura Inicial en medidor	Lectura Final en medidor	Diferencia volumen (m ³)	Tiempo (m,s,c)			Gasto en medidor (l/s)	Altura del tirante h (m)	Gasto en vertedor (L/s)	Diferencia de gastos (L)	Pérdida de carga (m. c. a.)	Error %
22172	22177	5	2	44	9	30.32	0.0783	33.56	3.24	0.0100	-9.65
22185	22190	5	1	21	3	61.50	0.125	67.42	5.92	0.0440	-8.78
22207	22212	5	0	45	7	109.41	0.183	119.03	9.62	0.1200	-8.08
22235	22240	5	1	0	7	82.37	0.153	91.14	8.77	0.0760	-9.62

22253	22258	5	1	23	7	59.74	0.124	66.62	6.88	0.0380	-10.33	error máximo
22268	22273	5	1	0	3	82.92	0.1533	91.40	8.49	0.0700	-9.28	
22290	22295	5	1	41	0	49.50	0.1081	54.29	4.78	0.0260	-8.81	error mínimo
22305	22310	5	1	12	6	68.87	0.1348	75.45	6.58	0.0500	-8.72	
22322	22327	5	2	47	8	29.80	0.077	32.73	2.94	0.0070	-8.97	error mínimo
22335	22340	5	2	10	9	38.20	0.09	41.31	3.11	0.0170	-7.53	
22355	22360	5	0	55	9	89.45	0.1605	97.88	8.43	0.0940	-8.62	error mínimo
22388	22393	5	1	15	9	65.88	0.1324	73.46	7.58	0.0400	-10.32	
22412	22417	5	1	5	5	76.34	0.1452	84.30	7.96	0.0660	-9.44	error mínimo
22452	22457	5	1	41	9	49.07	0.1072	53.62	4.55	0.0310	-8.48	
22470	22475	5	0	41	2	121.36	0.1959	131.76	10.40	0.1760	-7.89	error mínimo
22582	22587	5	2	26	6	34.11	0.0845	37.60	3.49	0.0170	-9.29	
22597	22602	5	0	59	6	83.89	0.1555	93.37	9.48	0.0890	-10.15	error mínimo
22720	22725	5	0	50	4	99.21	0.1716	108.14	8.94	0.1130	-8.27	
22742	22747	5	1	0	7	82.37	0.1516	89.90	7.52	0.0690	-8.37	error mínimo
22764	22769	5	1	31	9	54.41	0.116	60.31	5.90	0.0290	-9.79	
22777	22782	5	1	55	6	43.25	0.0982	47.04	3.79	0.0220	-8.06	error mínimo
22838	22843	5	4	7	6	20.19	0.0593	22.17	1.98	0.005	-8.93	
22849	22854	5	2	27	8	33.83	0.0839	37.20	3.37	0.018	-9.07	error promedio (-9.02)
22871	22876	5	1	0	1	83.19	0.1532	91.32	8.12	0.069	-8.89	
22899	22904	5	1	15	1	66.58	0.1326	73.62	7.05	0.053	-9.57	error promedio (-9.02)
22910	22915	5	1	7	0	74.63	0.142	81.54	6.91	0.059	-8.48	
22928	22933	5	0	47	4	105.49	0.1795	115.65	10.17	0.1410	-8.79	error promedio (-9.02)
22960	22965	5	0	52	4	95.42	0.168	104.78	9.36	0.0890	-8.93	
22986	22991	5	1	4	2	77.88	0.1477	86.47	8.59	0.0610	-9.93	error promedio (-9.02)
23007	23012	5	1	30	5	55.25	0.117	61.09	5.84	0.0360	-9.56	
23021	23026	5	1	0	9	82.10	0.151	89.37	7.27	0.0800	-8.13	error promedio (-9.02)
23040	23045	5	1	2	0	80.65	0.1509	89.28	8.63	0.0740	-9.67	
23057	23062	5	1	28	2	56.69	0.1188	62.49	5.81	0.0350	-9.29	error promedio (-9.02)

Los datos tabulados en la Tabla 6.18, se pueden mostrar de forma simplificada por medio de la gráfica de la Figura 6.60, ésta muestra el porcentaje de error obtenido con respecto al gasto leído en el medidor.

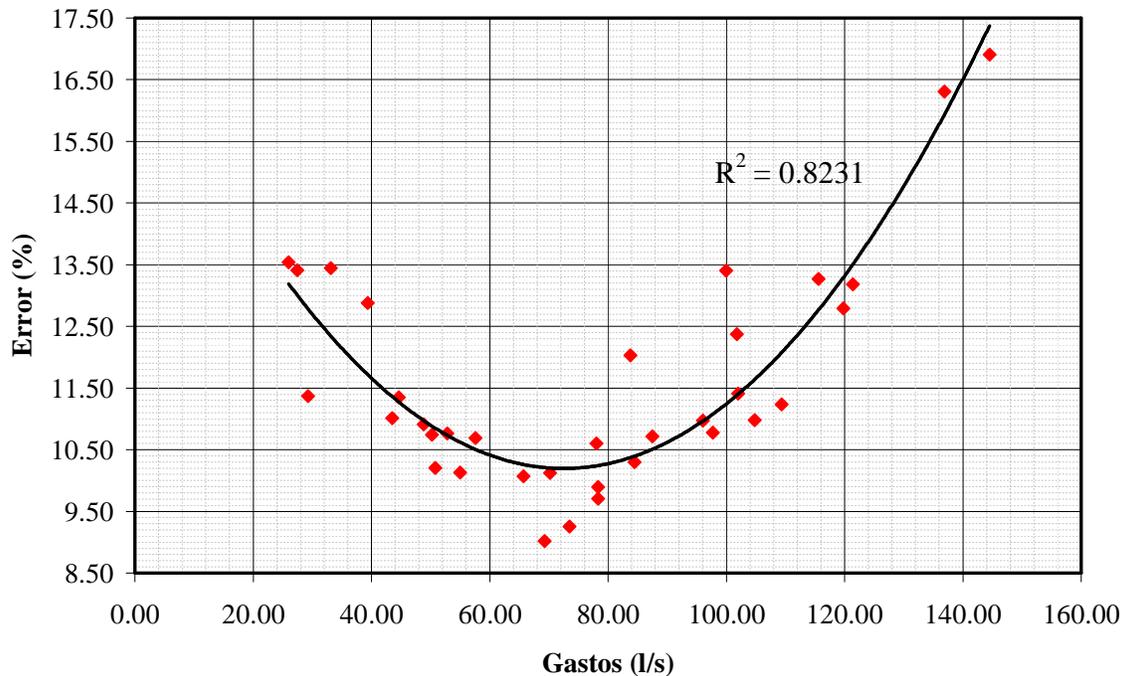


Figura 6.60 Gráfica de errores, colocado el acondicionador de flujo Zanker.

Se puede observar en la grafica que la concentración de errores de menor magnitud se encuentran entre los gastos de 40 y 100 l/s, el error mínimo de la prueba es de 9.02 % mientras el error máximo es de 17.69 %, esto da un rango de 8.67 %, los errores incrementan para gastos menores a 40 l/s y mayores de 100 l/s si se observan los errores alrededor de 60 y 80 l/s, se puede notar que se encuentran en un rango de 3%, y para los gastos de alrededor de 140 l/s el error es el máximo, teniendo una diferencia de 3 % con el de 120 l/s. Este acondicionador también provoca errores altos en lugar de disminuirlos.

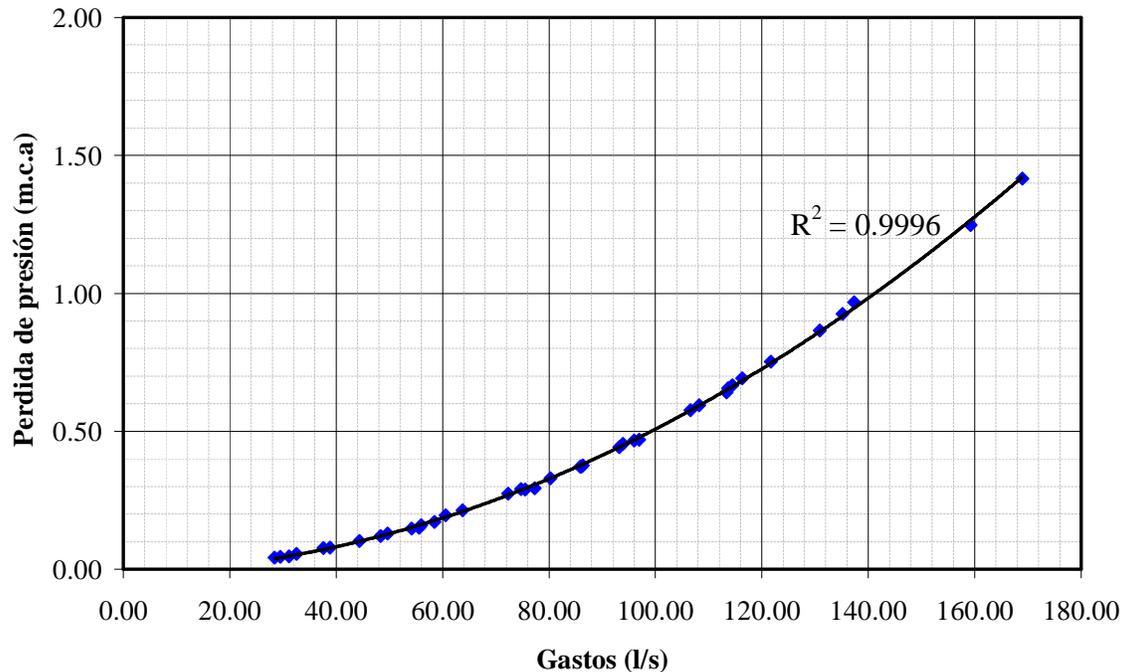


Figura 6.61 Gráfica de la pérdida de presión, colocado el acondicionador de flujo Zanker.

Se puede observar en la gráfica de la Figura 6.61 que la pérdida de presión para esta prueba se comporta de manera uniforme, aumentando conforme se incrementa el gasto, con valores que van desde 0.04 m.c.a. para gastos alrededor de 25 l/s y hasta 1.4 m.c.a. para gastos alrededor de 165 l/s. Es notoria la regularidad de los puntos, aunque la magnitud de la pérdida de presión es alta.

7. ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS

Los resultados de cada prueba realizada nos muestran el comportamiento de los errores que presenta el medidor bajo las condiciones específicas de configuración de la tubería etc., las graficas muestran la relación del porcentaje de error con respecto al gasto que se lee en el medidor de manera individual, sin embargo no basta observar sólo esos errores, es necesario compararlos de alguna manera para obtener información adicional del desempeño del medidor. Las comparaciones realizadas muestran la manera en que los errores de una prueba realizada se comportan con respecto a los errores de otra(s), se puede apreciar como se re-distribuyen, se desfasan o que tanta similitud hay entre ellos al tener tramo recto antes del medidor, algún acondicionador, codo de 90°, placa o pieza que genere un disturbio de flujo etc.

7.1. Comparación entre tramos rectos

7.1.1. Comparación entre diez, dos y ningún diámetro de tramo recto antes del medidor

En la gráfica de la Figura 7.1 se pueden apreciar las diferencias entre el comportamiento de los errores de acuerdo a las condiciones aquí descritas: con un tramo recto de diez diámetros aguas arriba del medidor; con un tramo recto de dos diámetros aguas arriba del medidor y la condición sin tramo recto aguas arriba del medidor. En los tres casos se tiene un codo de 90° que genera un disturbio en el flujo a través de la tubería.

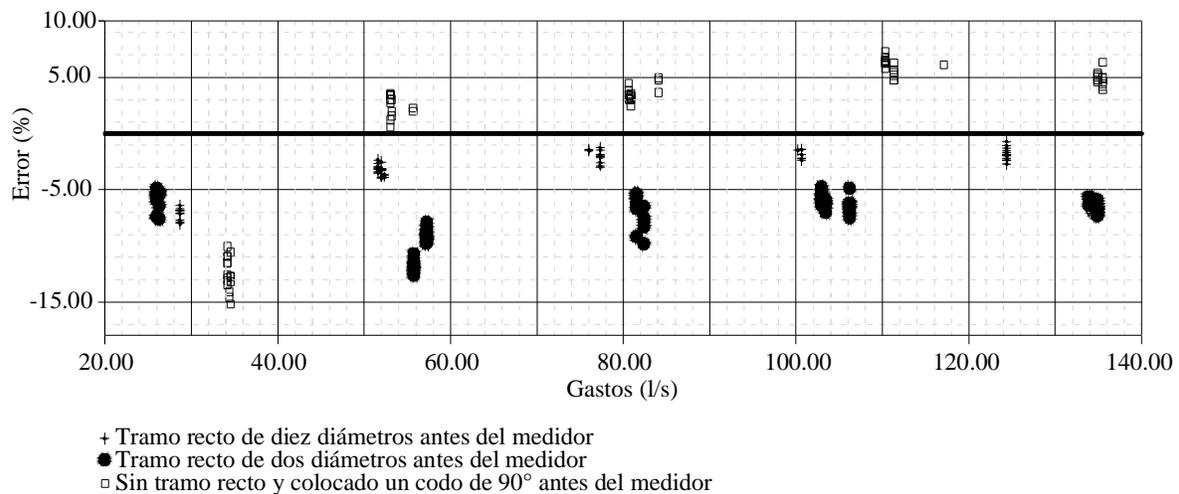


Figura 7.1 Gráfica comparativo entre tramos rectos y la ausencia de éstos.

Los errores que se presentan con menor denominación se dan bajo la condición de 10 diámetros de tramo recto aguas arriba del medidor, además de que éstos quedan dentro del error nominal permitido por las especificaciones del medidor, sin embargo se observa en la gráfica que para gastos alrededor de 30 l/s salen de dicho rango, sin embargo podrían ser poco significativos para el diámetro de la tubería, lo que reafirma que la colocación de un tramo recto extenso aguas arriba del medidor ayuda en un buen desempeño de éste; aunque para este caso se tiene que para

gastos mínimos los errores exceden lo permitido. Los errores generados por la colocación de un tramo recto de dos diámetros son negativos, con aparente tendencia a disminuir el porcentaje de error conforme el gasto sea mayor, aunque al ser comparados no difieren mucho en valor de los generados por el tramo de diez diámetros rectos aguas arriba, salen del error nominal permitido por las especificaciones del medidor. En la condición sin tramo recto aguas arriba del medidor, se puede observar un comportamiento con un cambio que va desde los porcentajes de error negativos para gastos alrededor de 30 l/s; pasando a los positivos mas o menos a partir de gastos alrededor de 50 l/s y manteniéndose positivos conforme se aumenta el gasto, para los gastos aproximados entre el 50 l/s y hasta 80 l/s los errores que se muestran dentro del error permitido por las especificaciones del medidor, lo que nos muestra un buen desempeño por parte de l medidor para estos gastos, sin embargo no se puede hablar de un buen desempeño en general.

7.1.2. Comparación sin tramo recto, uno y dos codos antes del medidor

En la gráfica de la Figura 7.2 se presenta la comparación entre los errores obtenidos en dos pruebas sin tramo recto aguas arriba del medidor, pero con la diferencia de tener un codo o dos codos de 90° antes de éste.

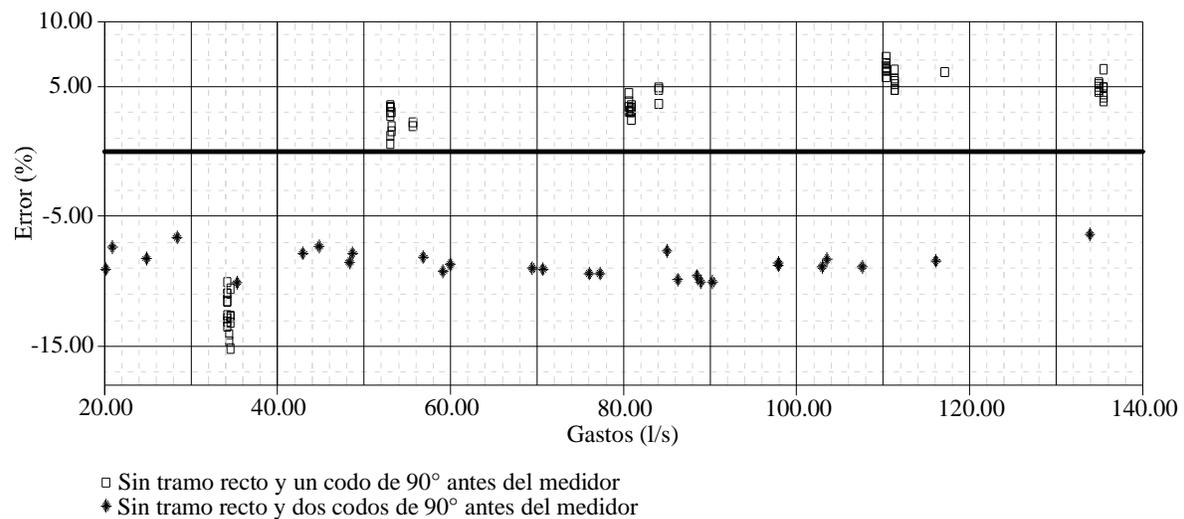


Figura 7.2 Gráfica comparativa entre errores colocado un codo de 90° y colocados dos codos de 90°.

Al comparar los errores entre estas dos pruebas se puede notar la mejora en la distribución del error en una de ellas, pero sin llegar a hablar de una mejora en la medición, ya que los errores de dicha prueba quedan incluso fuera del error nominal permitido por el medidor, en el caso de la colocación de un codo de 90° aguas arriba del medidor ya se observó que los errores se mueven de los valores negativos hacia los positivos al aumentar el gasto, mientras en el caso de la colocación de dos codos de 90° aguas arriba, los errores se mantienen negativos en un valores aproximados para cualquiera que sea el gasto; agregar un codo fue necesario por la configuración de la tubería y ha resultado en un aumento en los errores pero con la ventaja de ser uniformes.

7.1.3. Comparación del medidor antes y después de las pruebas

Por otro lado, como ya se había mencionado, se realizaron pruebas para averiguar si el medidor sufría alguna descalibración, alterando su manera de medir durante la realización de las pruebas, esto debido a la manipulación del mismo durante el armado de la tubería para cada prueba.

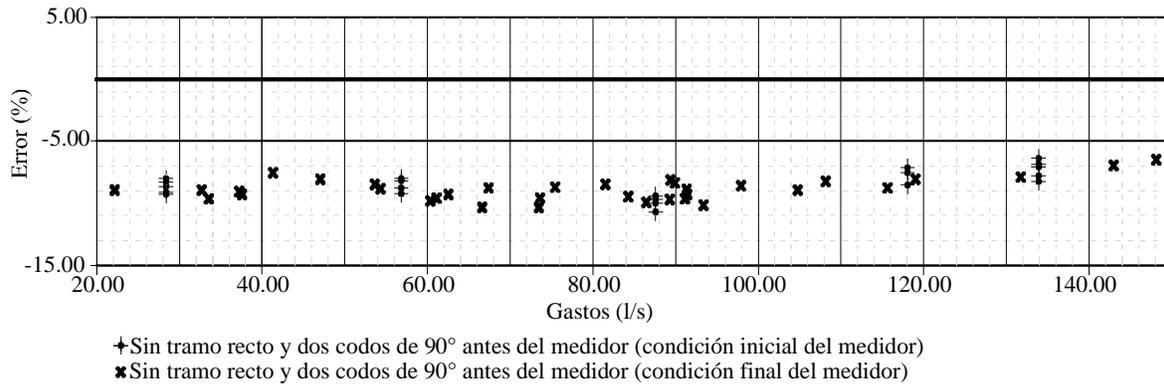


Figura 7.3 Gráfica comparativa entre errores sin tramo recto como condición inicial y final del medidor.

Como se aprecia en la gráfica de la Figura 7.3 el comportamiento de los errores es muy similar, no muestra cambios bruscos ni eventos extraordinarios, lo que avala el hecho de que no habrá errores adicionales por descalibración del medidor.

7.2. Comparación entre acondicionadores de carrete y dos diámetros de tramo recto

Como se puede apreciar en las primeras pruebas realizadas, si el medidor cuenta con un tramo recto de dos diámetros aguas arriba, se favorece el desempeño de éste con respecto a la ausencia de tramo recto aguas arriba del medidor; por esta razón se debe considerar que una prueba con un acondicionador de carrete puede ser comparable con la prueba del medidor con un tramo recto de dos diámetros aguas arriba ya que al contener una distancia similar, se puede comparar la eficiencia. Cabe mencionar que los acondicionadores tienen longitudes que van desde 0.7 del diámetro de la tubería hasta 1.25 del diámetro siendo en su mayoría de 2 diámetros de tubería al igual que el tramo recto. A continuación se tienen las comparaciones entre los acondicionadores de flujo con la condición de un tramo recto de dos diámetros aguas arriba del medidor.

7.2.1. Comparación entre acondicionador de tubos vs tramo recto de dos diámetros

En la gráfica de la Figura 7.4 se puede observar la diferencia entre los errores de un acondicionador de tubos con una longitud de dos diámetros con respecto a un tramo recto de dos diámetros.

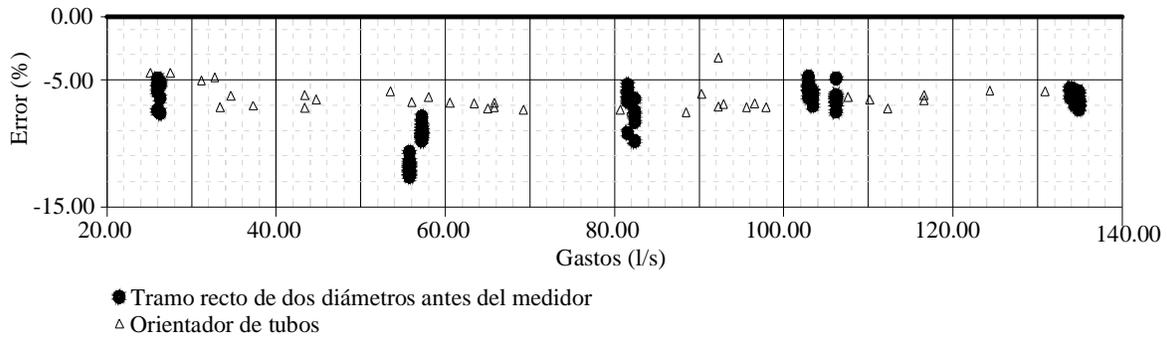


Figura 7.4 Gráfica comparativa entre errores colocados un tramo recto de dos diámetros y errores colocados el orientador de tubos.

A grandes rasgos, se puede observar que el comportamiento que tienen ambos es similar en cuanto a los valores de los errores que además se desarrollan de forma parecida, las posibles diferencias podrían radicar en observar que los errores ocasionados por el acondicionador de flujo tienen una distribución más uniforme, saliéndose de rango en algunas lecturas. En conclusión, este acondicionador no mejora los errores de la medición ya que éstos se presentan similares en cuanto a magnitudes.

7.2.2. Comparación entre orientador Étoile vs tramo recto de dos diámetros

En la gráfica de la Figura 7.5 se puede observar la diferencia entre los errores de un orientador étoile con una longitud de dos diámetros con respecto a un tramo recto de dos diámetros.

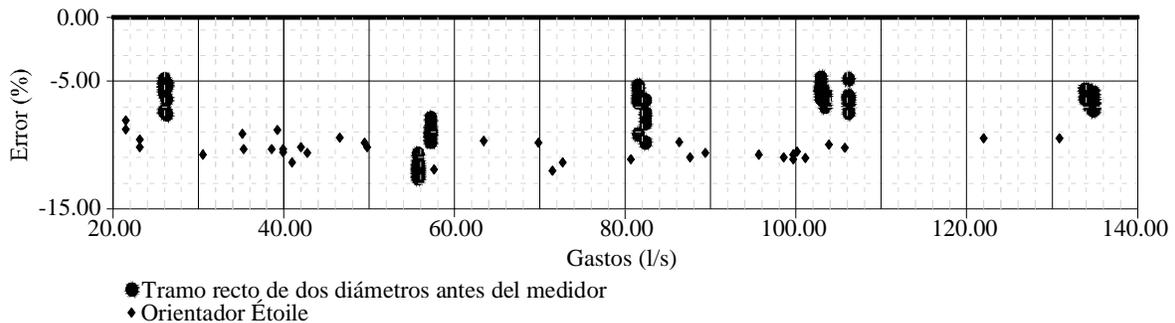


Figura 7.5 Gráfica comparativa entre errores colocados un tramo recto de dos diámetros y errores colocados el orientador Étoile.

Como se puede observar en la gráfica, Los errores que se presentan por la colocación del orientador étoile son mayores que los ocasionados por la colocación de un tramo recto de dos diámetros de longitud, su distribución es similar pero sus errores difieren entre sí, aunque los gastos sean muy similares. Lo que descalifica a éste acondicionador si se pretende usar para mejorar la medición.

7.2.3. Comparación entre acondicionador Sprenkle vs tramo recto de dos diámetros

En la gráfica de la Figura 7.6 se puede observar la diferencia entre los errores de un acondicionador de flujo Sprenkle con una longitud de dos diámetros con respecto a un tramo recto de dos diámetros.

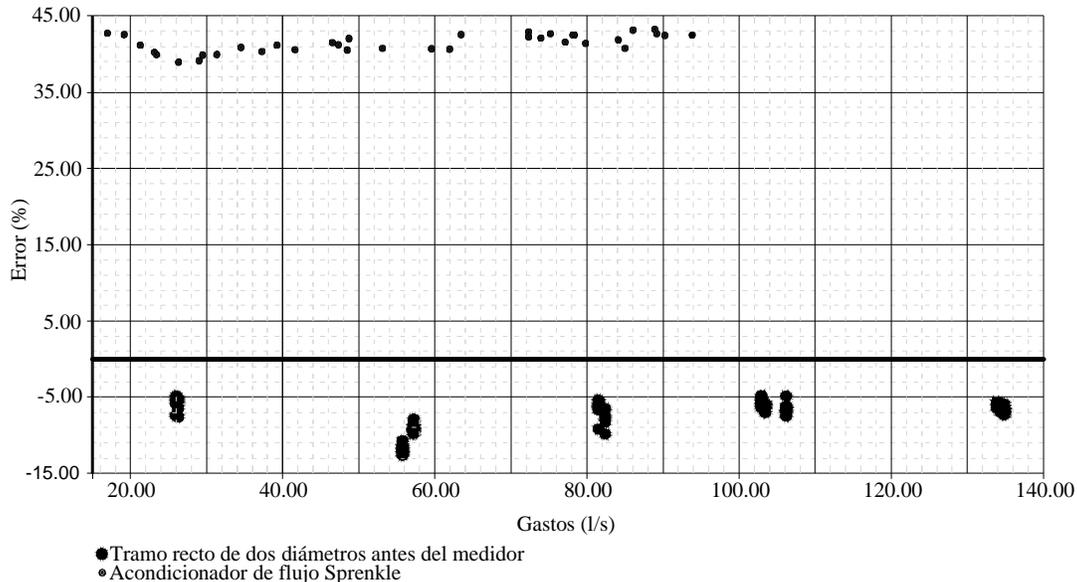


Figura 7.6 Gráfica comparativa entre errores colocados un tramo recto de dos diámetros y errores colocados el acondicionador de flujo Sprenkle.

En esta comparación, como se puede apreciar, es notorio el desfase de los errores por parte del acondicionador ya que éstos están en el orden de un 40% positivo, además de que su distribución es no uniforme ya que los valores de los errores oscilan, debido a esto, el acondicionador es descalificado como un elemento para mejorar los errores en la medición.

7.2.4. Comparación entre orientador de cruz vs tramo recto de dos diámetros

En la gráfica de la Figura 7.7 se puede observar la diferencia entre los errores de un orientador de cruz con una longitud de dos diámetros con respecto a un tramo recto de dos diámetros.

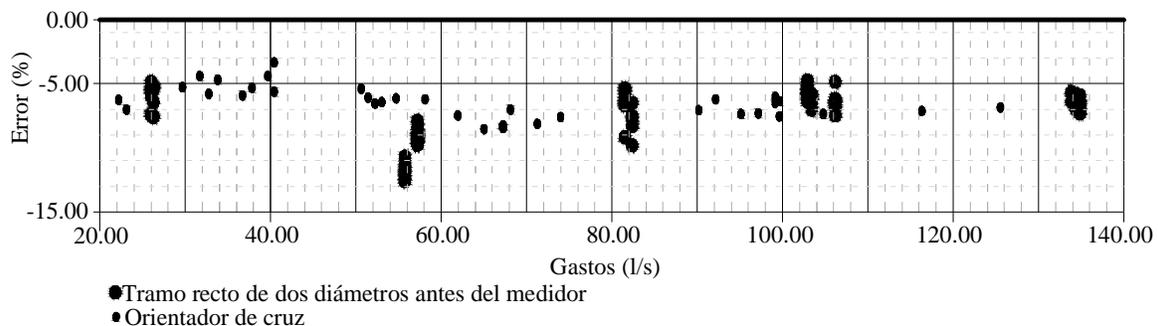


Figura 7.7 Gráfica comparativa entre errores colocados un tramo recto de dos diámetros y errores colocados el orientador de cruz.

Como se puede observar en la gráfica, los errores entre estas pruebas son similares tanto en comportamiento como en valores, con lo que se puede aseverar que la colocación de un orientador de cruz sería una inversión innecesaria, debido a la similitud de sus errores, además de que los resultados no se verían beneficiados de alguna manera con la colocación de éste.

7.2.5. Comparación entre orientador AMCA vs tramo recto de dos diámetros

En la gráfica de la Figura 7.8 se puede observar la diferencia entre los errores de un orientador AMCA con una longitud de un 0.7 veces el diámetro con respecto a un tramo recto de dos diámetros.

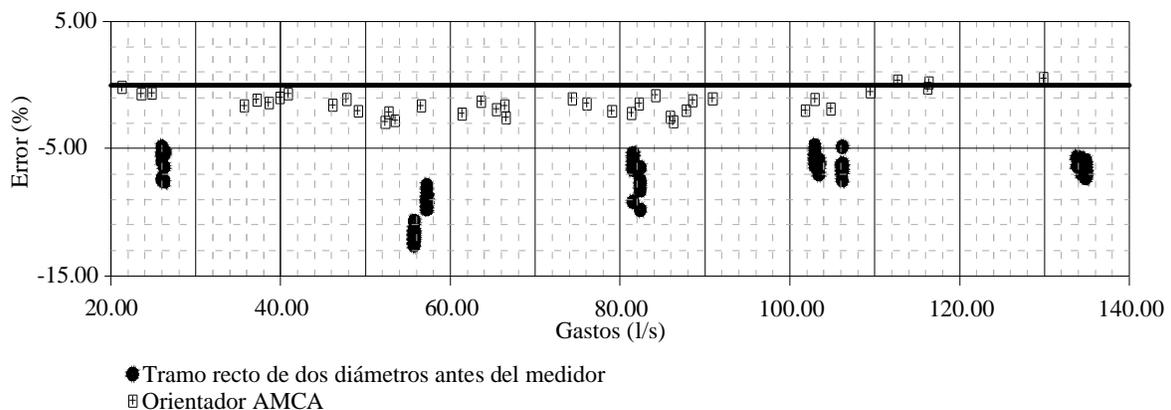


Figura 7.8 Gráfica comparativa entre errores colocados un tramo recto de dos diámetros y errores colocados el orientador AMCA.

Los errores que se presentan con el orientador de flujo AMCA, como se puede observar en la gráfica son mínimos, de manera que quedan dentro del error nominal permitido por las especificaciones del medidor para cualquiera que sea el gasto, además de mostrar una distribución más o menos uniforme a lo largo de la prueba, es decir que los errores no se ven afectados por que se aumente el gasto en o bien se disminuya, este acondicionador tiene 0.7 del diámetro de longitud, lo que lo hace cercano a la condición desfavorable de no tener tramo recto antes del medidor, pero que a la vez hace que la medición sea más certera. Por lo visto hasta aquí, este es el único orientador que mejora la medición.

7.2.6. Comparación entre acondicionador Gallagher (aspas) vs tramo recto de dos diámetros

En la gráfica de la Figura 7.9 se puede observar la diferencia entre los errores de un acondicionador Gallagher con una longitud de un 1.25 veces el diámetro con respecto a un tramo recto de dos diámetros.

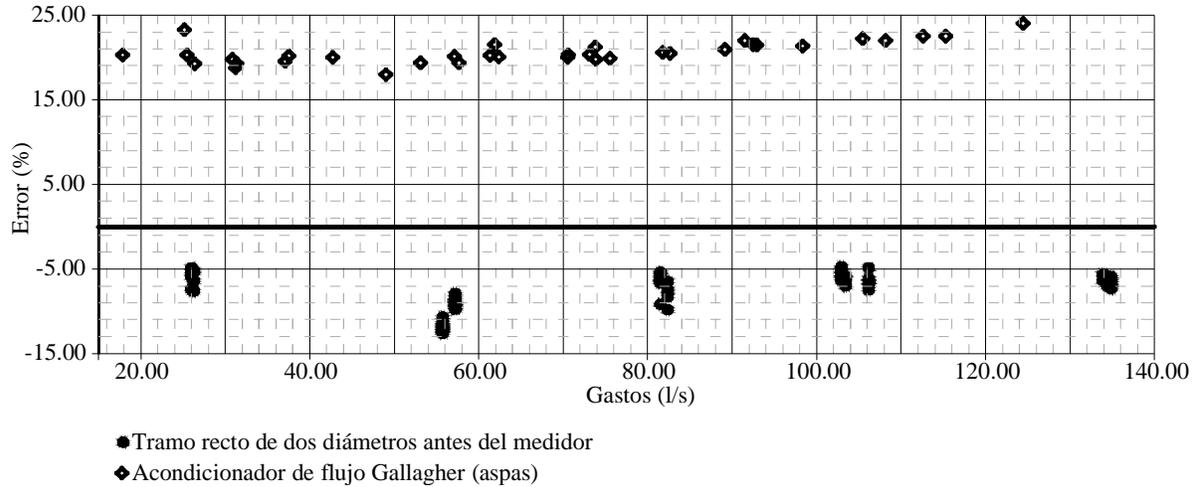


Figura 7.9 Gráfica comparativa entre errores colocado un tramo recto de dos diámetros y errores colocado el acondicionador de flujo Gallagher con aspas como dispositivo anti-turbulencia.

Como se observa en la gráfica, el uso del acondicionador de flujo Gallagher no muestra mejora alguna con respecto a la colocación de un tramo recto de dos diámetros de longitud. Los errores que se presentan por el uso del acondicionador son altos alrededor del 17% y no se muestran uniformes, siendo los errores mínimos para los gastos alrededor de 50 l/s.

7.2.7. Comparación entre acondicionador Zanker vs tramo recto de dos diámetros

En la gráfica de la Figura 7.10 se puede observar la diferencia entre los errores de un acondicionador Zanker con una longitud de un diámetro con respecto a un tramo recto de dos diámetros.

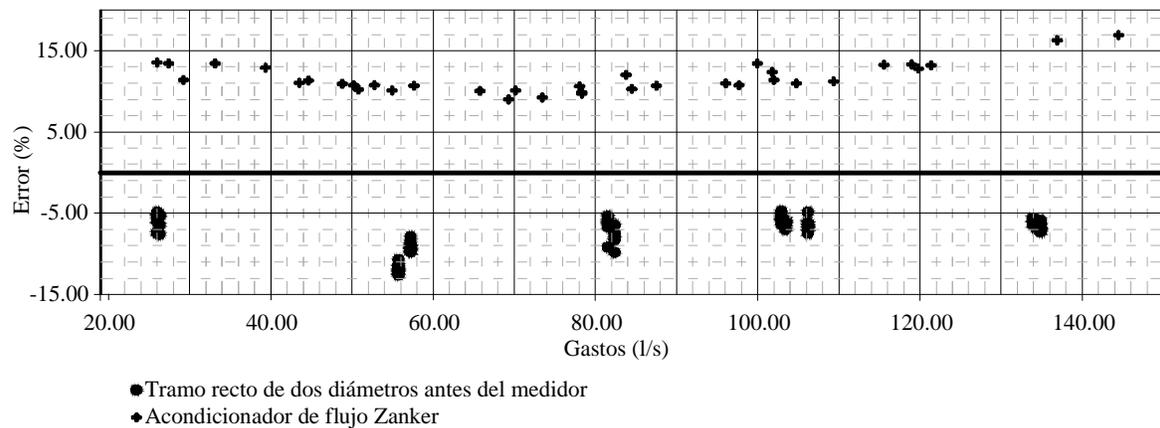


Figura 7.10 Gráfica comparativa entre errores colocado un tramo recto de dos diámetros y errores colocado el acondicionador de flujo Zanker.

El acondicionador de flujo Zanker como se puede observar en la gráfica, al igual que otros acondicionadores incrementa los errores con respecto a la colocación únicamente de un tramo recto de dos diámetros. Los errores que se presentan por el uso del acondicionador Zanker son del orden de 14% positivo, son no uniformes y los valores mínimos de los errores se presentan para los gastos entre 60 y 80 l/s.

7.2.8. Comparación entre los acondicionadores de carrete

En la gráfica de la

Figura 7.11 se puede observar la diferencia entre los errores de los diferentes acondicionadores.

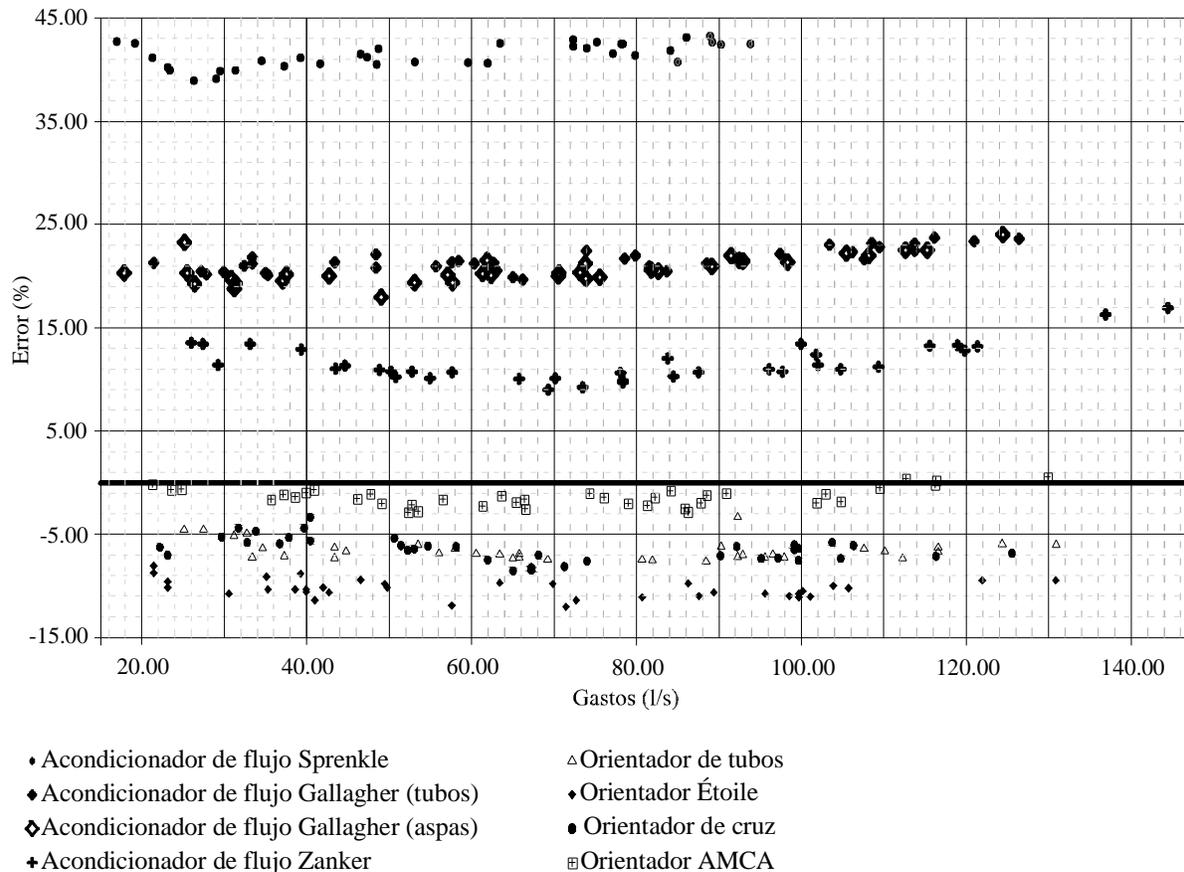


Figura 7.11 Gráfica comparativa entre errores colocados los diferentes acondicionadores de flujo de carrete.

Si de alguna manera se puede evaluar el desempeño de los acondicionadores, ésta puede ser la comparación entre ellos, en la gráfica se puede observar claramente como se comportan los errores para cada uno de los acondicionadores, siendo el acondicionador AMCA, el que tiene un desempeño eficiente con respecto al resto teniendo que los errores generados por éste se observan cercanos a cero, además de que quedan dentro del error nominal especificado por el medidor.

7.3. Comparación entre acondicionadores de placa y ausencia de tramo recto aguas arriba del medidor

Los acondicionadores de placa no representan ningún tramo recto ya que cuentan con escaso espesor; por ésta razón se debe considerar que una prueba con un acondicionador de placa puede ser comparada con una prueba de condición de ausencia de tramo recto aguas arriba del medidor, ya que al contar un una distancia casi nula, se puede comparar la eficiencia entre éstas. Cabe mencionar que las placas acondicionadoras tienen dos tipos de espesores 0.125 y 0.15 veces el diámetro del medidor. A continuación se tienen las comparaciones entre las placas acondicionadoras de flujo con la condición de ausencia de tramo recto aguas arriba del medidor.

7.3.1. Comparación entre acondicionador de placa NEL (Spearman) vs ausencia de tramo recto

En la gráfica de la Figura 7.12 se puede observar la diferencia entre los errores de un acondicionador de placa NEL (Spearman) Zanker con un espesor de 0.15 veces el diámetro con respecto a una condición de ausencia de tramo recto aguas arriba del medidor.

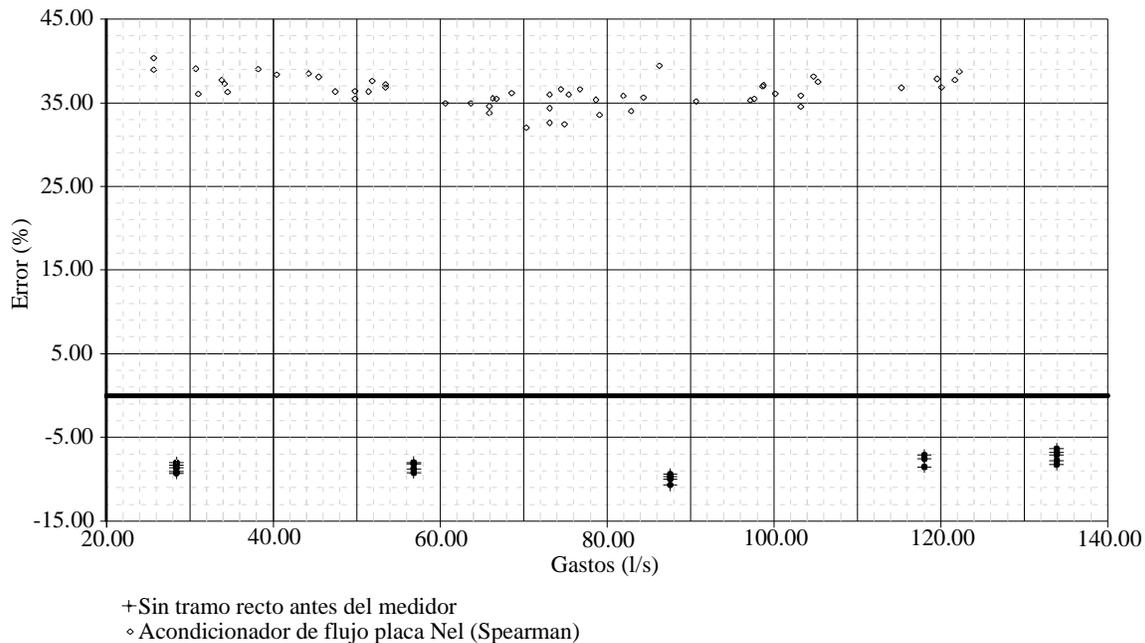


Figura 7.12 Gráfica comparativa entre errores sin tramo recto antes del medidor y errores colocado el acondicionador de flujo placa NEL (Spearman).

Se puede apreciar en la gráfica, que los errores no son disminuidos por este acondicionador de placa, mas bien son incrementados en un rango de error de alrededor de 40% , estando en el orden de 37% positivo, además de ser no uniformes; mientras los errores generados por por la ausencia de tramos rectos son del orden de 7% negativo, por tanto que la adición de el acondicionador de placa NEL (Spearman) no mejora la eficiencia del medidor.

7.3.2. Comparación entre el diseño NOVA de la placa Acondicionadora K-Lab vs ausencia de tramo recto

En la gráfica de la Figura 7.13 se puede observar la diferencia entre los errores de un diseño NOVA de la placa acondicionadora K-Lab con un espesor de 0.15 veces el diámetro con respecto a una condición de ausencia de tramo recto aguas arriba del medidor.

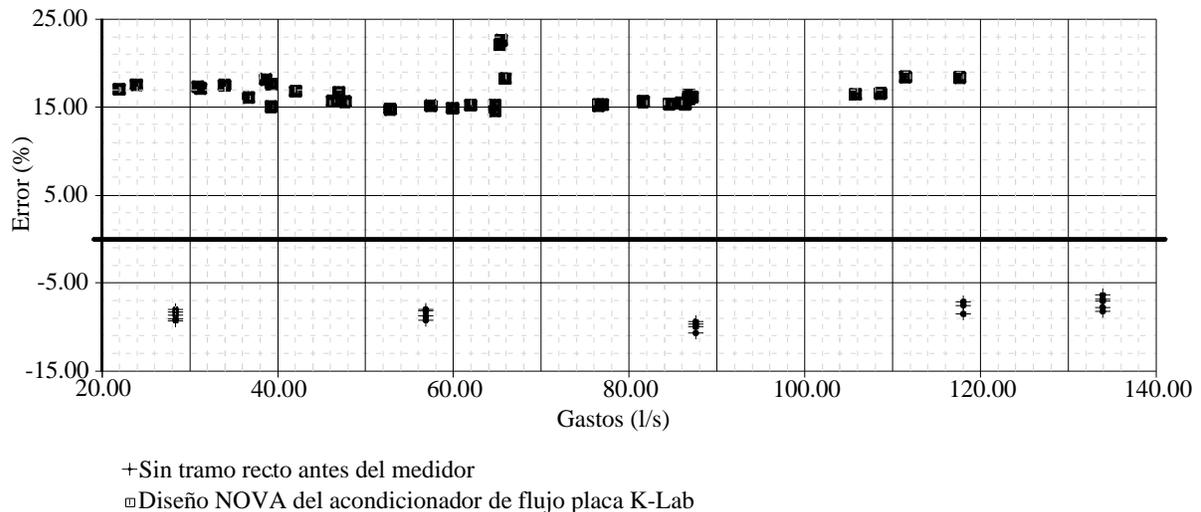


Figura 7.13 Gráfica comparativa entre errores sin tramo recto antes del medidor y errores colocado el diseño NOVA del acondicionador de flujo placa K-Lab.

Como se puede apreciar en la gráfica, la adición de esta placa acondicionadora a la tubería, no ayuda a disminuir los errores y no hace más eficiente el trabajo del medidor, la distribución de los errores es dispersa y no uniforme, sus errores son del orden del 15% positivo, mientras que los generados por la ausencia de tramo recto aguas arriba del medidor son del orden de 7% negativo, por tanto la adición de ésta placa acondicionadora no se recomienda.

7.3.3. Comparación entre el acondicionador de placa Zanker vs ausencia de tramo recto

En la gráfica de la Figura 7.14 se puede observar la diferencia entre los errores de un acondicionador de placa Zanker con un espesor de 0.125 veces el diámetro con respecto a una condición de ausencia de tramo recto aguas arriba del medidor, este es el más delgado de los acondicionadores de placa y también es parte de un acondicionador adiconado de una estructura interna.

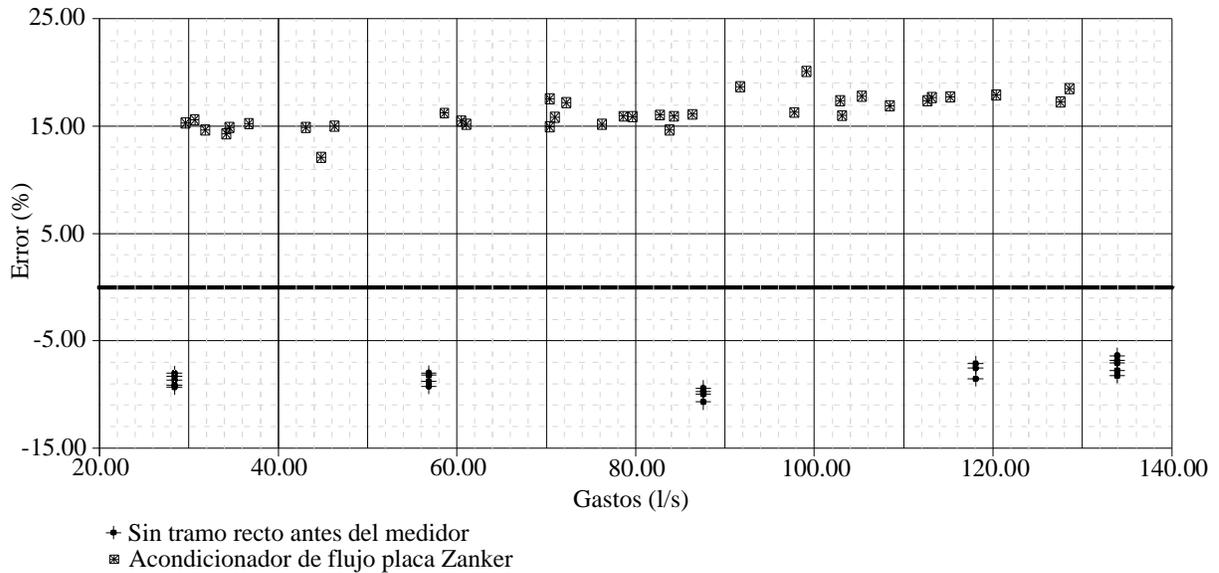


Figura 7.14 Gráfica comparativa entre errores sin tramo recto antes del medidor y errores colocado el acondicionador de placa Zanker.

Como se observa en la gráfica, el acondicionador de placa Zanker no ayuda a mejorar la eficiencia del medidor ya que no ayuda a disminuir los errores, los errores generados por ésta placa son del orden del 16% positivo; mientras los errores que se presentan por la ausencia de tramos rectos son del orden del 7% negativo, por lo que se asevera que ésta placa acondicionadora no se recomienda.

7.3.4. Comparación entre los acondicionadores de placa

Aunque se ha mostrado en las gráficas de las comparaciones anteriores que los acondicionadores de placa colocados aguas arriba del medidor sin tramo recto alguno entre ellos, no ayudan a disminuir los errores ocasionados por la ausencia de tramo recto aguas arriba del medidor y por tanto no mejorar el desempeño del medidor, en la gráfica de la Figura 7.15 se hace la comparación de los errores entre las placas acondicionadoras donde se aprecian los diferentes errores generados por ellas y su comparación tomando en cuenta la similitud entre la geometría de dos de ellas.

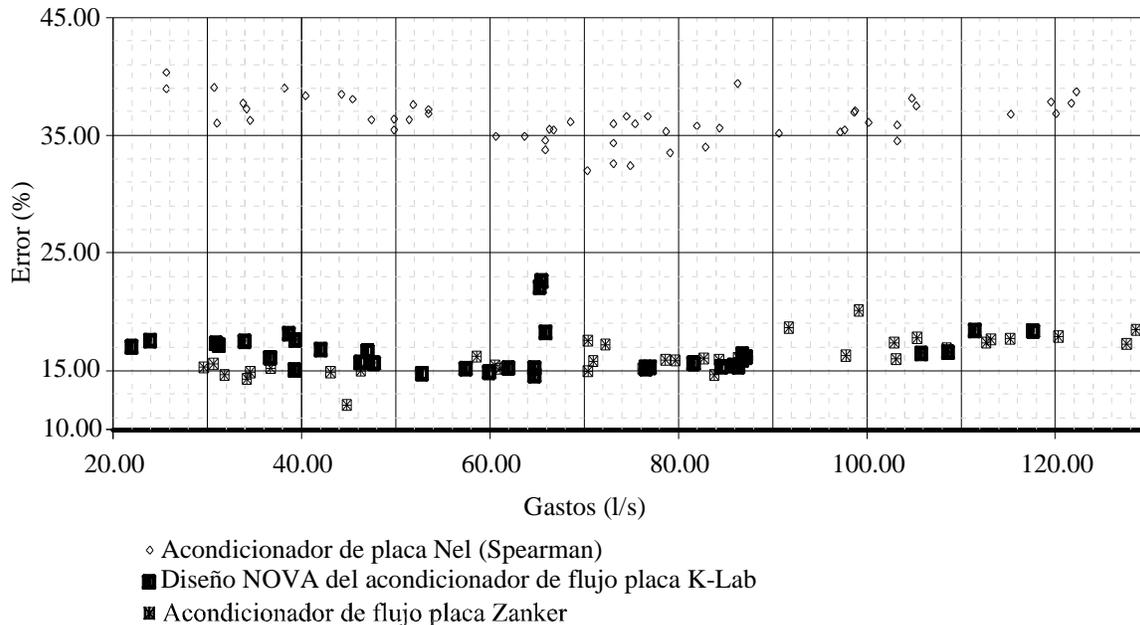


Figura 7.15 Gráfica comparativa entre errores colocados los diferentes acondicionadores de placa.

Como se puede observar en la gráfica, el comportamiento de los errores generados por los acondicionadores de placa diseño NOVA del Acondicionador de placa K-Lab y del acondicionador de placa Zanker, son muy similares cosa que no era de esperarse ya que su forma, las perforaciones difirieren en el tamaño y su distribución, además de que no cuentan con el mismo espesor de placa; a diferencia del acondicionador de placa NEL (Spearman) que es del mismo espesor que el diseño NOVA del acondicionador de placa K-Lab y cuenta con un número similar de perforaciones y un acomodo distribuido y sin embargo se puede ver como sus errores son mayores con respecto a los otros dos.

Conviene recordar las especificaciones del proyecto gubernamental de mejoramiento, donde se recomienda la colocación de acondicionadores de flujo, refiriéndose a éstos como una placa que va colocada antes de un tramo recto y antes del medidor. Si consideramos la combinación de un tramo recto y una placa como un acondicionador, habrá que tomar en cuenta la longitud de éste y el tipo de placa; recordando que de los acondicionadores de carrete, únicamente uno mostró una disminución de los errores y un desempeño eficiente del medidor, sin embargo éste consistía en un armado específico dentro de él; después de observar el desempeño de los acondicionadores de placa se puede concluir que no presentan mejora en el desempeño del medidor, tomando la condición sin tramo recto aguas arriba del medidor como la condición más desfavorable en el arreglo de un tren de descarga, que se pretende mejorar.

7.4. Acondicionador de flujo AMCA, la mejor opción

Como se vio en las gráficas mostradas, el acondicionador AMCA reduce los errores generados por el medidor, haciendo que éstos queden dentro del error nominal permitido por las especificaciones del fabricante, por lo que se compara en la gráfica de la Figura 7.16 los errores generados por éste acondicionador aguas arriba del medidor, con los generados por un tramo recto de dos diámetros aguas arriba del medidor y los generados por la condición sin tramo recto aguas arriba del medidor con uno y dos codos de 90° que se consideran condiciones desfavorables para un tren de descarga.

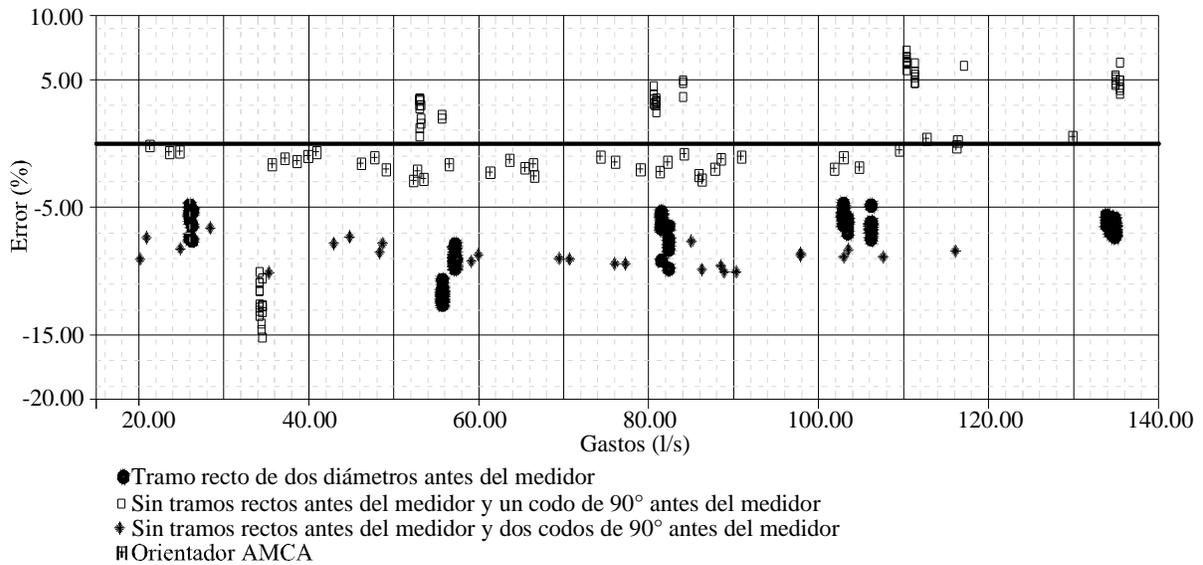


Figura 7.16 Gráfica comparativa entre errores sin tramo recto y errores colocado el orientador AMCA.

Este acondicionador puede mejorar el desempeño del medidor sin importar las piezas que se colocaron que provocan disturbios en el flujo, como se puede observar en la grafica, los errores generados por éste son menores a los generados bajo las otras condiciones, para este caso los errores se sitúan entre las magnitudes de los errores de las otras pruebas mostradas en la gráfica, proximas a no tener error.

8. CONCLUSIONES

Se buscó corroborar la eficiencia de los acondicionadores de flujo, el resumen de los errores generados por las distintas configuraciones de la tubería se tabulan en la Tabla 8.1; en dicha tabla se pueden observar los errores mínimo y máximo, así como el rango de error generado por cada acondicionador, como una muestra general de su comportamiento:

Tabla 8.1. Resumen de errores de los acondicionadores de flujo

Número de prueba	Pieza(s) aguas arriba del medidor	Errores		Rango de error
		Mínimo	Máximo	
1	Tramo recto de diez diámetros de longitud	-0.76	-8.02	7.26
2	Tramo recto de dos diámetros de longitud	-4.75	-12.62	7.87
3	Codo de 90°	7.25	-15.18	22.43
5	Dos codos de 90°	-6.39	-10.13	3.74
6	Dos codos de 90°	-6.39	-10.68	4.29
18	Dos codos de 90°	9.02	17.69	8.67
7	Orientador de tubos	-3.26	-7.52	4.26
8	Acondicionador Sprenkle	38.94	43.25	4.31
9	Orientador Étoile	-8.09	-12.01	3.92
10	Acondicionador Gallagher (tubos)	19.67	23.72	4.05
11	Orientador de cruz	-3.36	-8.53	5.17
12	El Acondicionador de flujo; placa, NEL (Spearman)	32.01	40.34	8.33
13	Diseño NOVA del Acondicionador de flujo placa perforada K-Lab	14.62	18.47	3.85
14	Orientador AMCA	0.53	-2.9	3.43
15	Acondicionador de placa Zanker	14.35	20.18	5.83
16	Acondicionador Gallagher (aspas)	18	24.05	6.05
17	Acondicionador Zanker	-10.33	-7.53	2.8

De los datos aquí mostrados se puede hacer notar lo siguiente:

La adición de tramo recto aguas arriba del medidor trabaja adecuadamente para gastos de extracción en un pozo agrícola "comunes" como lo es el rango 80 a 125 l/s, lo cual, al menos bajo esta condición confirma las recomendaciones de los fabricantes de medidores respecto a la adición de tramo recto. Si se comparan los errores generados por la adición de un tramo recto de dos diámetros (prueba 2) con la condición de ausencia de tramo recto (prueba 3), se tiene un incremento en los errores generados; sin embargo, al comparar con la condición de ausencia de tramo recto (prueba 5) se tiene que la ausencia de tramo recto no afecta de manera considerable a la medición; esto debido a un codo de 90° adicional (como se mencionó previamente) que incrementó el error, pero lo redistribuyó.

Al comparar el tramo recto de dos diámetros aguas arriba (prueba 2) con el orientador de flujo de tubos (prueba 7) y con el orientador de cruz (prueba 11), se observa en ambos casos una disminución mínima del error, pero al compararse con el orientador Étoile (prueba 9), se tiene un aumento en el error. El orientador Étoile cuenta con ocho aspas, mientras el orientador de cruz cuenta con cuatro, presentando el orientador de cruz menor error; podría ser entonces que la adición de placas rompen con la paralelidad del flujo en la tubería o quizá su longitud sea muy corta para estabilizar el flujo por completo, cabe señalar que el bisel hecho en estas piezas no está afinado lo cual podría repercutir en cambio de dirección brusca del flujo al chocar con la placa.

Respecto a los acondicionadores de placa (pruebas, 12, 13 y 15) se puede observar que dos de ellas presentan errores similares, mientras la tercera genera casi el doble en sus errores con respecto a las otras dos, esto podría deberse a la configuración de las perforaciones y sus diámetros, ninguna placa tiene biselado en sus perforaciones, lo que podría llevar a la generación de pequeños vórtices al paso del agua por la placa.

Al comparar los errores generados por la placa Zanker con el acondicionador Zanker (pruebas 15 y 17) se aprecia que la adición de longitud y una estructura interna al acondicionador de placa Zanker disminuye los errores generados por ésta, por sí sola.

El acondicionador Gallagher en sus dos variantes, no presenta mucha diferencia en sus errores pero se puede apreciar un aumento en el rango de error.

El acondicionador AMCA mostró que podía mejorar el desempeño del medidor reduciendo los posibles errores en éste, además de la diferencia notoria en los errores con respecto al resto de los acondicionadores con lo que queda abierta la recomendación de realizar pruebas con este acondicionador, bajo diferentes condiciones de configuración de tubería y con la colocación de diferentes piezas que causen cambio de dirección en el flujo, así se podrá conocer su desempeño y posible beneficio en su uso.

Acerca de este acondicionador se puede hacer notar lo siguiente:

- Es el único con una longitud de 0.7 veces el diámetro de la tubería
- Tiene una estructura interna con acomodo tipo rejilla que cubre la longitud del acondicionador.
- Tiene una relación de área total, con respecto a área de vacíos de 0.62
- Cuenta con biselés en las placas en el lado aguas arriba (biseles no finos)

Debe tenerse reserva en cuanto a extrapolar estos resultados, ya que son válidos únicamente para las circunstancias presentes al realizarse los experimentos, entre otras, dichas circunstancias son:

- El diámetro probado es de 12 pulgadas.
- El medidor es de turbina marca Arad.
- Las piezas que causan cambio de dirección en el flujo son un par de codos de 90° colocados en un plano horizontal.
- La temperatura promedio del agua es de 19°C
- El material de los Acondicionadores es Nylacero y PVC
- La construcción de los acondicionadores es artesanal.
- Solamente se probaron los acondicionadores descritos en las normas ISO; cualquier otro acondicionador podría tener otro comportamiento

Se recomienda en base al trabajo realizado, que la pretención de colocar acondicionadores para el mejoramiento de la medición en pozos agrícolas con trenes de descarga con espacio insuficiente, deberá acompañarse de resultados favorables en pruebas de laboratorio realizadas para condiciones similares a las del tren de descarga en el que se desea colocar el acondicionador. En caso de no ser así debe evitarse la colocación del acondicionador.

También se recomienda considerar el tipo de acondicionador en caso de que se desee colocar, considerando el error generado previo a la colocación del acondicionador, para este caso

particular la colocación de un tramo recto de tan sólo dos diámetros de longitud, generó errores del orden de 7% negativo, siendo dicho valor el que se buscó mejorar para recomendar la colocación de un acondicionador.

9. ANEXOS

9.1. Análisis dimensional

La manera de relacionar los parámetros que intervienen en la medición se hace por medio del análisis de factores que intervienen en ésta, tales como la geometría de la tubería, el tipo de fluido que se utiliza, las piezas que se prueban y la geometría de ellas mismas, el análisis se puede hacer por medio de productos adimensionales, en lo que se conoce como un análisis dimensional.

El análisis dimensional proporciona información utilizando las variables que intervienen en un problema, a su vez reduce el número de variables estableciendo fuerzas o relaciones de las mismas que permiten determinar una variable específica.

En lo que respecta al desempeño de los acondicionadores de flujo, se hace hincapié en el hecho de que este trabajo se hizo como un estudio práctico con las características propias de la instalación, sin embargo se puede buscar una comparación entre su desempeño y su geometría por medio de un análisis dimensional, ya que a pesar de la geometría tan similar en algunos casos, las piezas elaboradas según las normas ISO presentan diferencias en sus errores. Se planteó la posibilidad de obtener alguna relación geométrica entre las características de los acondicionadores y los errores ocasionados por cada uno de ellos. Para llevar a cabo este análisis se cuestionó inicialmente qué variables se deben tomar en cuenta, se decidió considerar el diámetro de la tubería, el material con el que fueron realizados, la relación de vacíos, la pérdida de carga entre la entrada del acondicionador y la salida del medidor, por mencionar algunas de ellas; deben seleccionarse las variables con cuidado ya que de no ser así, los datos serán erráticos y mostrarán dispersiones inesperadas, otro cuestionamiento que influyó en la decisión es la consideración de los resultados, debido a que las pruebas muestran que no disminuyen los errores en la medición y surge la pregunta ¿en realidad vale la pena llevar a cabo un análisis dimensional?, de ser así, ¿este deberá ser estricto o ligero?.

Se presentan a continuación las tablas donde se tienen los datos de cada prueba de manera sintetizada, recordando que el diámetro es de doce pulgadas para todas.

Tabla 9.1 Comparación entre las características de las diferentes pruebas con tramo recto y sin él.

	Error mínimo	Error máximo	Rango	Longitud (m)	Relación de vacíos	Pérdida de presión para $Q_{\text{aprox}} = 75$ l/s (m.c.a.)
Diez diámetros de tramo recto	-0.76	-8.02	7.26	3.048	1	-
Dos diámetros de tramo recto	-4.75	-12.62	7.87	0.6096	1	-
Sin tramo recto	7.25	-15.18	22.43	0	1	0.289

Tabla 9.2 Comparación entre la colocación de un codo y dos codos antes del medidor.

	Error mínimo	Error máximo	Rango	Longitud (m)	Relación de vacíos	Pérdida de presión para $Q_{\text{aprox}} = 75$ l/s (m.c.a.)
Colocado un codo antes del medidor	7.25	-15.18	22.43	0	1	-
Colocando dos codos antes del medidor	-4.43	-9.81	5.38	0	1	-

A pesar de que estas pruebas no incluyen acondicionador en su estructura, es conveniente comparar los datos que se tienen contra los errores que generaron, que dan por entrada el error que se debe erradicar.

Tabla 9.3 Comparación entre los acondicionadores de flujo de placa.

	Error mínimo	Error máximo	Rango	Espesor (m)	Relación de vacíos	Pérdida de presión para $Q_{\text{aprox}} = 75$ l/s (m.c.a.)
Placa acondicionadora NEL (Spearman)	31.04	40.34	8.33	0.0381	0.536	0.164
Placa acondicionadora K-lab	14.62	18.47	3.88	0.0381	0.467	0.146
Placa acondicionadora Zanker	14.35	20.18	5.83	0.0127	0.617	0.289

Como ejemplo: las placas acondicionadoras son muy similares en su configuración, poseen perforaciones circulares sin bisel, difiriendo en distribución y diámetro de las perforaciones, el espesor de la placa Zanker es menor que las otras dos, sin embargo posee errores muy similares a la placa K-Lab, la relación de vacíos entre las tres difiere en máximo 0.15, por lo que se puede decir que no tienen relación en cuanto a sus datos.

Tabla 9.4 Comparativa entre los diferentes acondicionadores.

	Error mínimo	Error máximo	Rango	Longitud (m)	Relación de vacíos	Pérdida de presión para $Q_{\text{aprox}} = 75$ l/s (m.c.a.)
Acondicionador de tubos	-3.26	-7.52	4.26	0.601	0.861	-
Acondicionador Sprengle	38.94	43.25	4.31	0.6381	0.195	1.785
Orientador Étoile	-8.09	-12.01	3.92	0.601	0.895	0.092
Acondicionador Gallagher (tubos)	19.67	23.72	4.05	0.7883	0.861	0.162
Orientador de cruz	-3.36	-8.53	5.17	0.601	0.947	0.082
Acondicionador AMCA	0.53	-2.9	3.43	0.2092	0.617	0.171
Acondicionador Gallagher (aspas)	18	24.05	6.05	0.7883	0.884	0.157
Acondicionador Zanker	-7.53	-10.33	2.8	0.30	0.437	0.059

Es notorio resaltar el hecho de que este tipo de análisis son llevados a cabo por personas con mucha experiencia, eso representa una complicación ya que hay pocos antecedentes de pruebas realizadas con acondicionadores de flujo y análisis dimensionales en los que se presente el comportamiento de estas piezas, ante esta situación y el objetivo práctico de este trabajo no se realizó el análisis dimensional, sin embargo las siguientes recomendaciones que pueden ser útiles para fines teóricos:

No es recomendable establecer una ecuación para predecir resultados de un acondicionador de flujo de un diámetro cualquiera, con respecto a otro, esto aplica para diámetros mayores a seis pulgadas debido a que la propela de la turbina no cubre por completo el interior de la tubería.

En tuberías cerradas el producto adimensional que rige es el número de Reynolds, con símbolo Re , donde intervienen V que es la velocidad del flujo dentro de la tubería, D que es el diámetro de la tubería, y ν es la viscosidad del fluido que viaja a través de ella, que se define como:

$$Re = \frac{VD\rho}{\mu} = \frac{VD}{\nu}$$

recordando que la viscosidad del fluido es la medida de su resistencia a fluir,

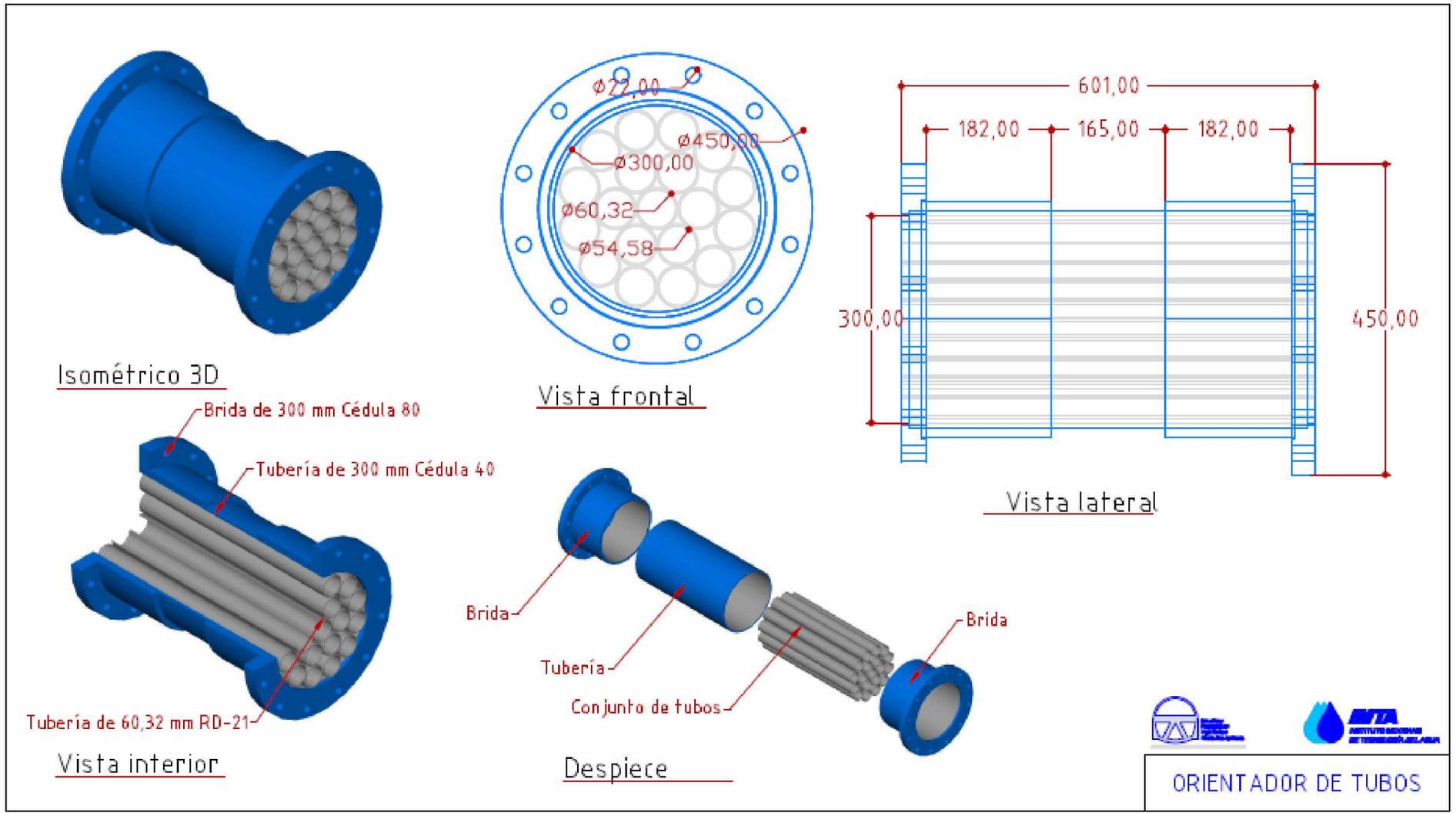
como resultado de la interacción y cohesión de sus moléculas, la viscosidad se anula cuando se habla de un flujo turbulento, con lo que tenemos un ruido adicional al considerar el número de Reynolds

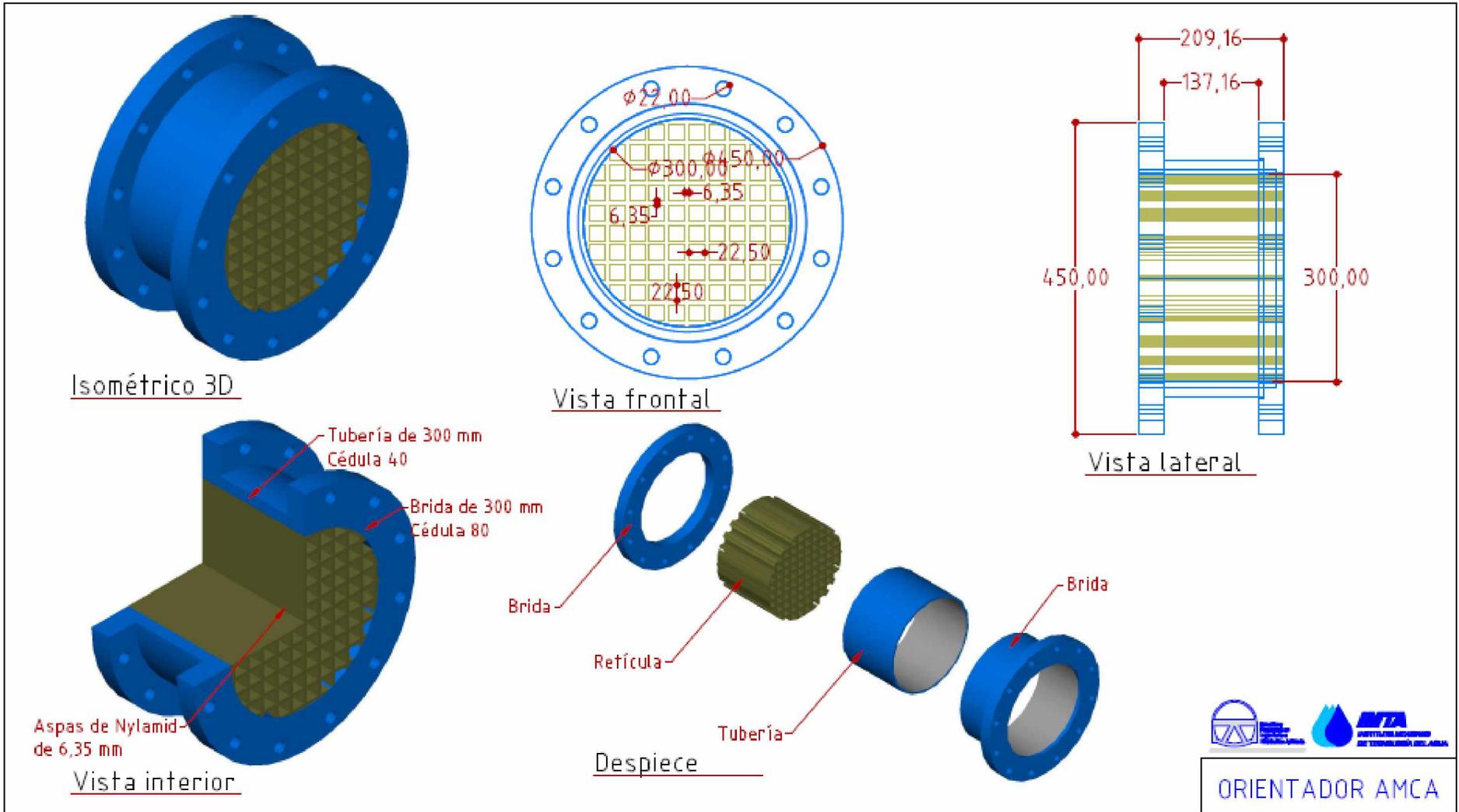
Podría pensarse que con un análisis dimensional a estas piezas daría resultados que ayudarían a decidir sobre la colocación de tales, prediciendo el comportamiento ya sea en piezas con diseño similar o bien para la misma pieza en otro diámetro ya sea mayor o menor, para esto se agruparon las pruebas con acondicionadores similares, con piezas similares o con objetivo similar, de tal

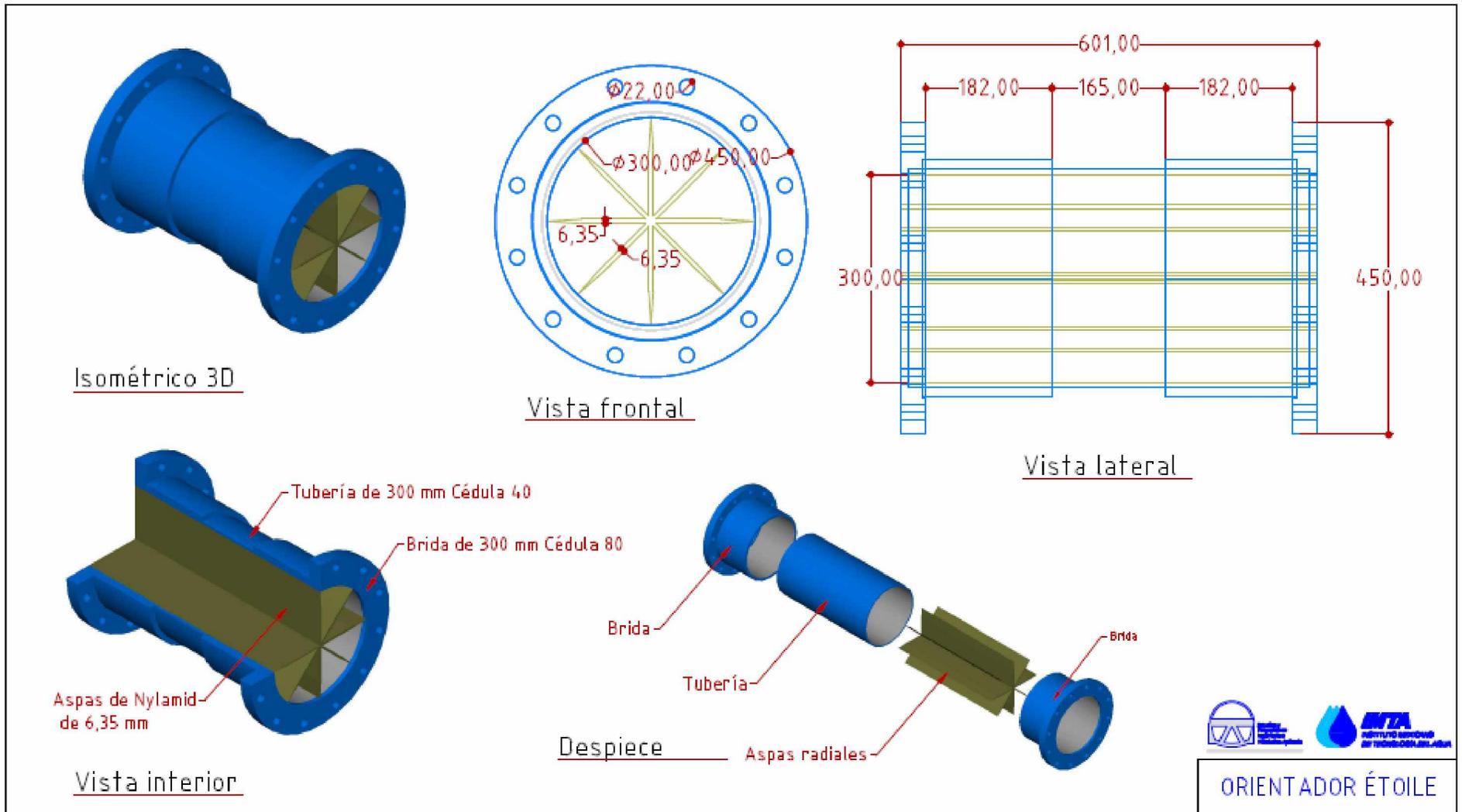
manera que podrían mostrarse los resultados en cuanto a sus errores, su relación de vacíos, longitud del acondicionador y la pérdida de presión para un gasto promedio. Al comparar estas tablas se pueden encontrar cosas que difieren a pesar del parecido entre las piezas.

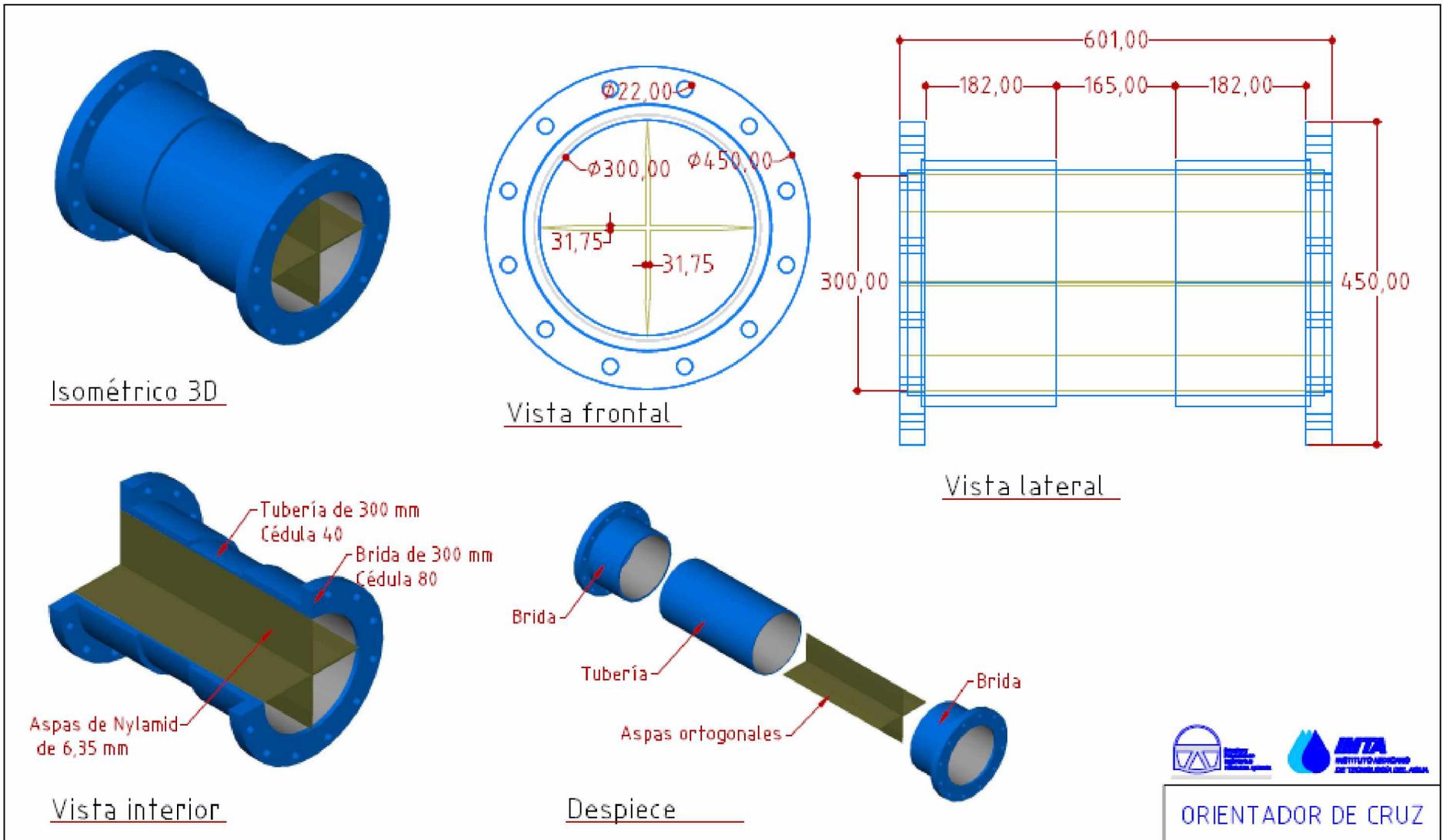
Lo mostrado no anula la posibilidad de que alguna persona con experiencia en análisis dimensional logre establecer una relación entre los diferentes acondicionadores de flujo, siendo este un trabajo extenso que pueden ser de utilidad, pero es recomendable que sea comparado con los resultados reales obtenidos en pruebas de laboratorio para las condiciones más próximas a las supuestas en el análisis, ya que para el caso de ésta tesis que fue práctica en su totalidad no presenta beneficio alguno.

9.2. Esquemas de construcción de los acondicionadores de flujo

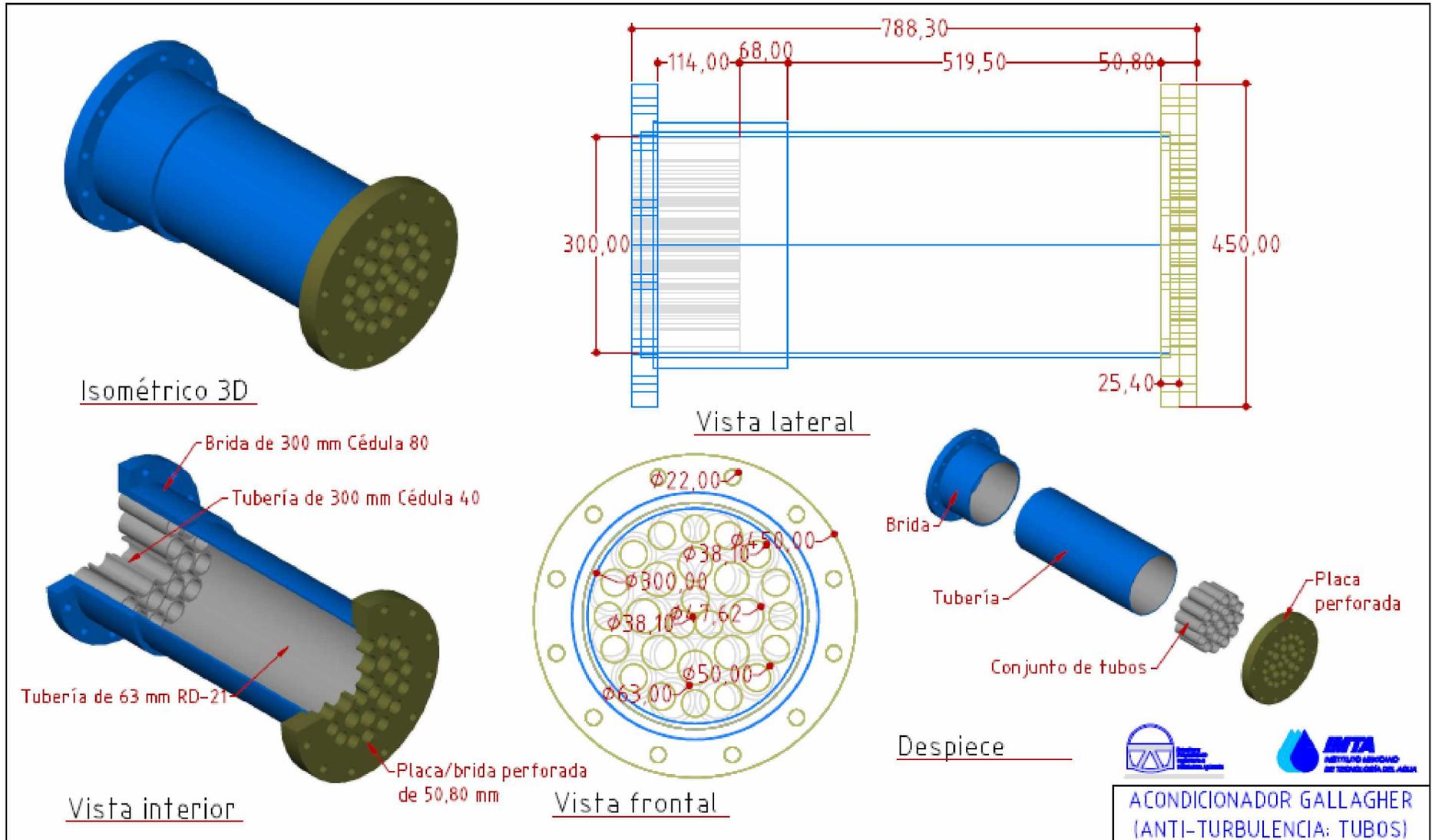


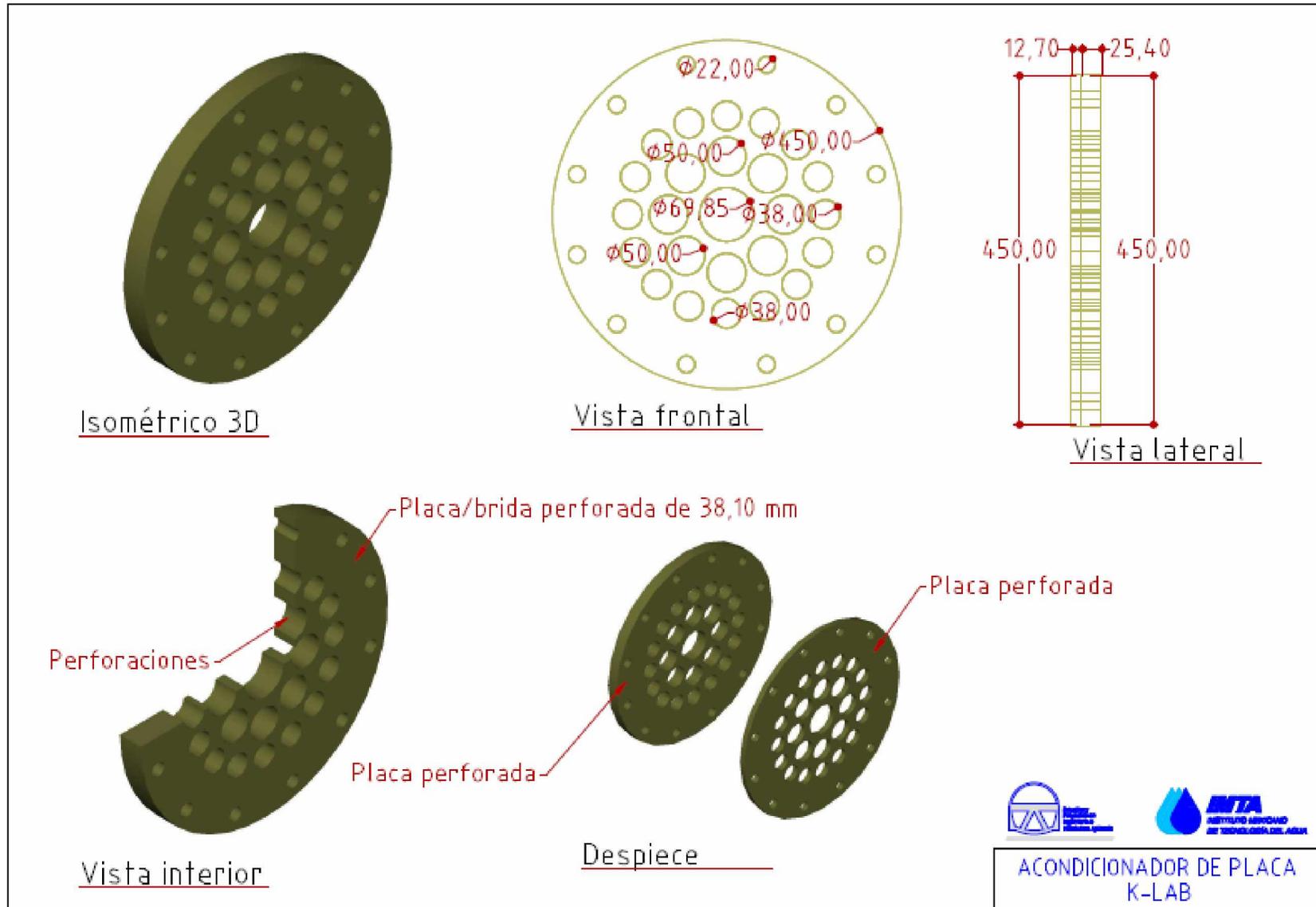


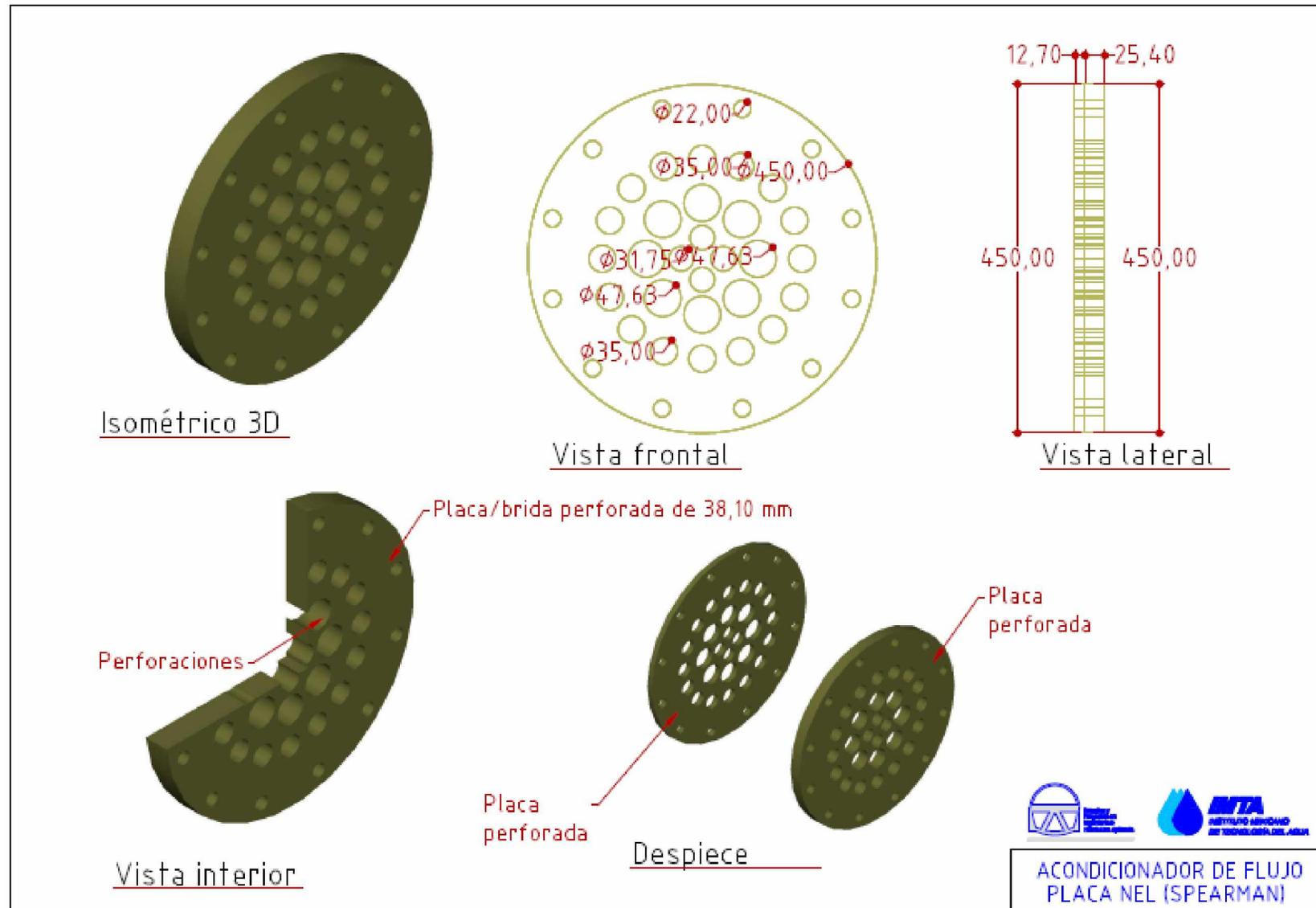


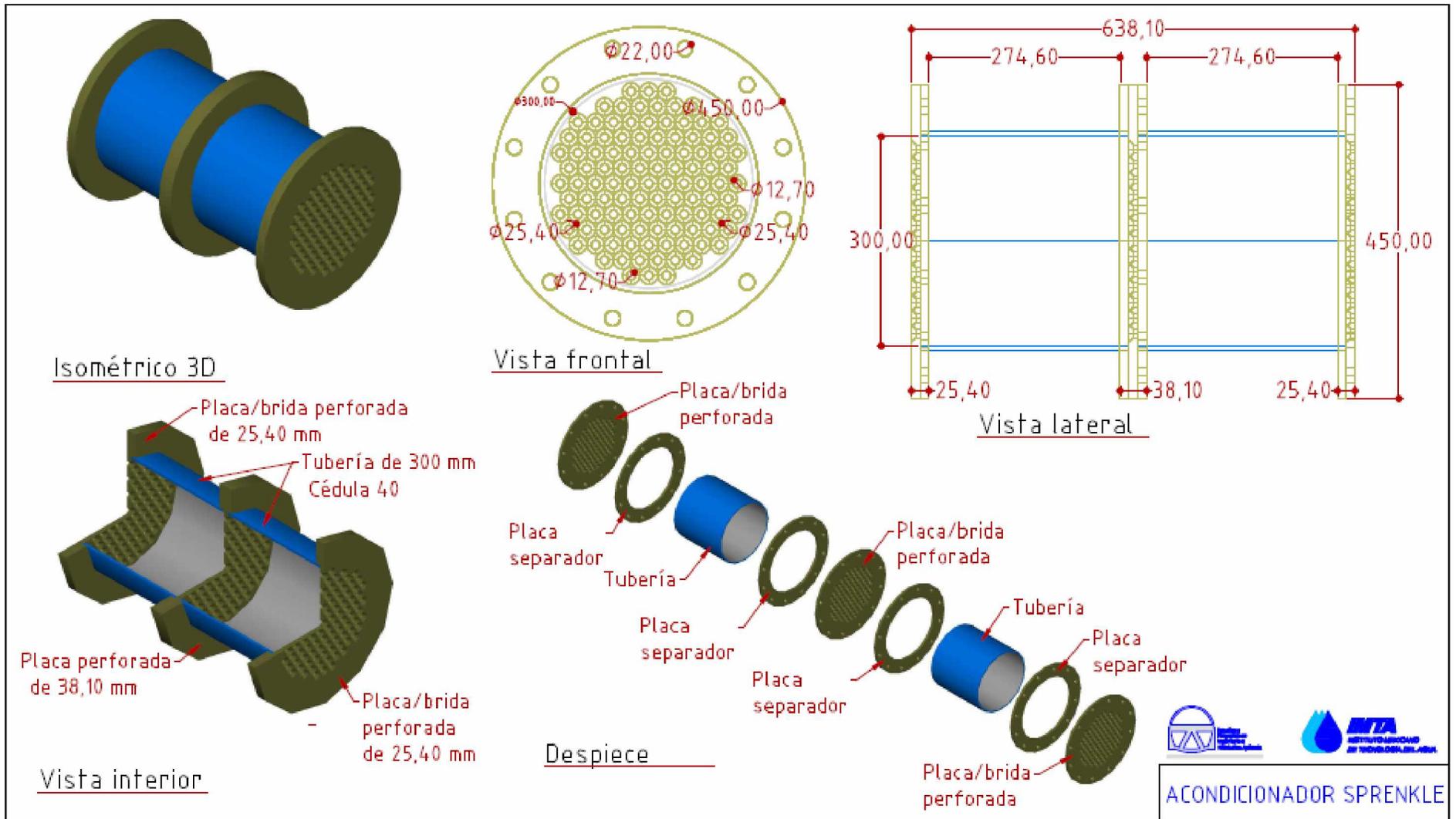


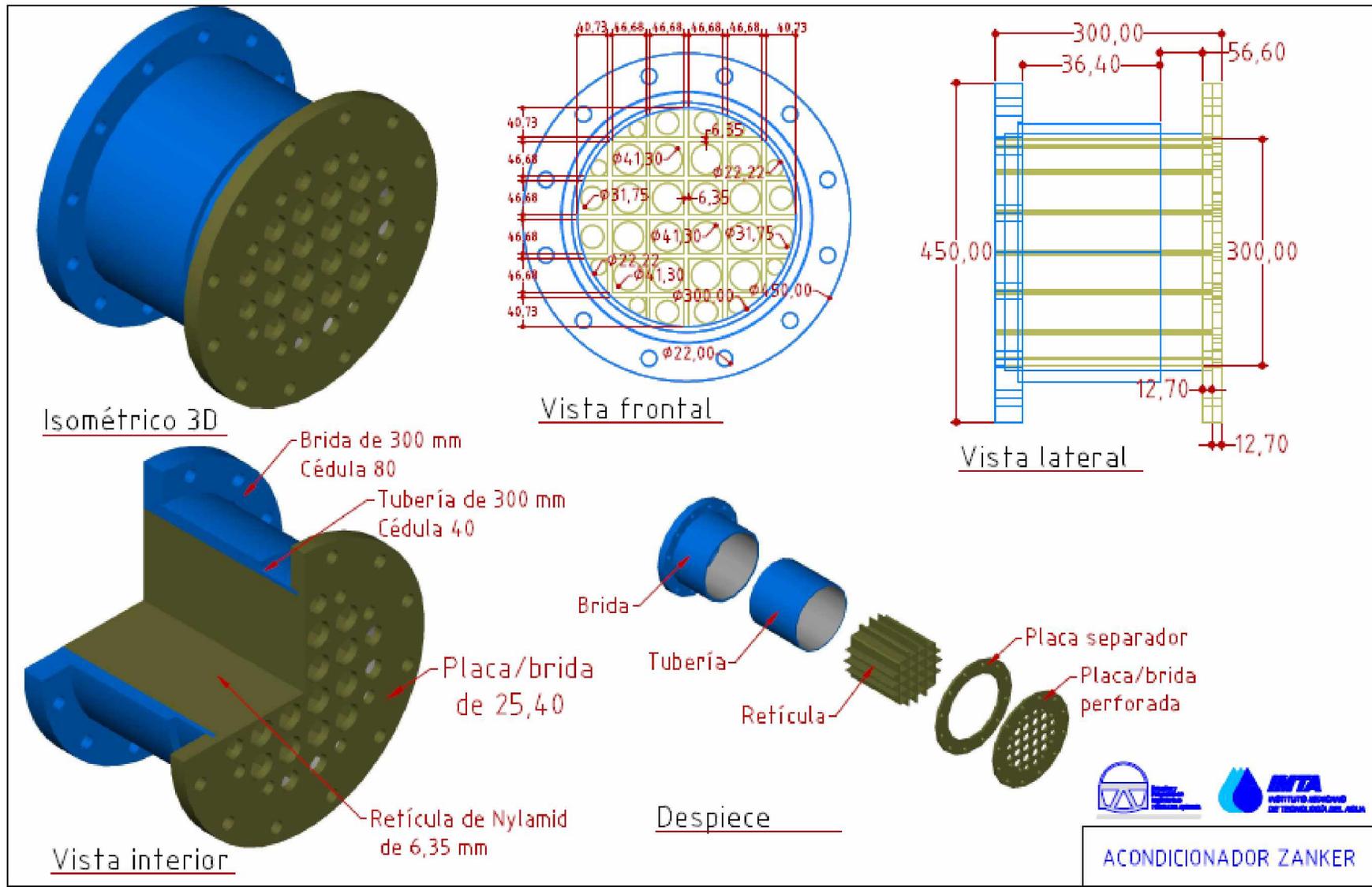
ORIENTADOR DE CRUZ











10. REFERENCIAS.

- ✘ Arroyo Correa, Víctor Manuel; Aguilar Chávez, Ariosto; Alvarez Bretón, Ricardo Andrés; Bonola Alonso, Isaac; Gómez Lugo, Luis; López Vázquez, Alejandro; Mejía Astudillo, Víctor; Millán Barrera, Cecilia; Pedroza González, Edmundo; Santana Sepúlveda, Sergio, "Mejoramiento de la medición en presas de almacenamiento y pozos agrícolas", Informe final, IMTA, Diciembre de 2004.
- ✘ Cabrera, E., Espert, V., Garcia-Serra, J., Martínez, F. UD "Mecánica de fluidos Universidad Politécnica de Valencia". Andrés, M., García, M. Aguas de Valencia, S. A. Ingeniería Hidráulica. aplicada a los sistemas de distribución de agua volumen I.
- ✘ CONAGUA; Subdirección General de Infraestructura Hidroagrícola, Gerencias: de Unidades y Distritos de Riego, "*Terminos de Referencia y Especificaciones Técnicas para el Programa de Instalación de Medidores en Fuentes de Abastecimiento en Unidades y Distritos de Riego*", 2007.
- ✘ Constitución política de los Estados Unidos Mexicanos.
- ✘ D.W. Spitzer Editor, "Flow Measurement", Practical Guides for measurement and control.
- ✘ Echávez Aldape, Gabriel, "Introducción a los modelos hidráulicos de fondo fijo y a la ingeniería experimental", Universidad Nacional Autónoma de México Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología Asociación Mexicana de Hidráulica.
- ✘ Endress + Hauser, "Medición de caudal", 1ra. Edición española 2005.
- ✘ Hanson, B.R. y Schwank, L.J. (1998). Error analysis of flowmeter measurements, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol. 124, N| 5, September/October, ASCE, 248-255.
- ✘ Internacional Estándar Office, "Norma ISO 5167; 1, 2, 3, y 4", C-Medición del gasto - Tuberías cerradas, a- Diferencia de presión.
- ✘ Ley de Aguas Nacionales y su reglamento 2004.
- ✘ Ortiz Medel, Josefina, "Comportamiento del error en medidores de propela con insuficientes tramos rectos", Informe final. Convenio UG/IMTA/HC-0417, Universidad de Guanajuato, septiembre 2005.
- ✘ Pedroza González, Edmundo, "Selección, Diseño y Evaluación de Sistemas de Riego" Tomo II, Medidores de gasto y volumen para pozos profundos. Publicación SEMARNAT; CONAGUA; IMTA.

- ✘ SEMARNAT, “Estadísticas del agua en México” Ed, 2007.
- ✘ Sotelo Ávila, Gilberto, “Hidráulica general” volumen I. Fundamentos Ed. Limusa.
- ✘ Sierra Martinez, Coral, “Estimación del Error en un Medidor de Propela Instalado con Insuficientes Tramos Rectos”, Tesis profesional Universidad de Guanajuato, Facultad de Ingeniería en Geomatica e Hidráulica, 2007.

Consulta digital

- ✘ <http://www.actaris.com/html/products-1537.html>

Página web. Compañía an-altron (construye medidores y sistemas y productos asociados); consultada en agosto y septiembre del 2007.

Pdf's:

- estabilizadores de flujo.
- filtros.

- ✘ <http://news.thomasnet.com/fullstory/450282/954>

Página web. Buscador (conecta industrias); consultada en septiembre del 2007.

- ✘ <http://www.flowconditioner.com/articles>

Página web; consultada en septiembre del 2007.

- ✘ <http://www.jerman.com/kmmeters.html>

Página web, proviene de <http://www.watermeters.com>. Ventas (a cargo de Daniel L. Jerman co; director. Equipos y accesorios); consultada en diciembre del 2007.

- ✘ <http://www.cpacl.com/products/flowc.htm>

Página web. Canada pipeline accesories (compañía fundada en 1997, por Dale y Blaine Sawchuck, construye acondicionador de flujo CPA 50E); consultada en diciembre del 2007.

Pdf's:

- CPA Tech Note; The CPA 50E and Swirl
- Phil Barg, P.Eng. Blaine Sawchuk, P.Eng. Dale Sawchuk, C.E.T Canada Pipeline Accessories Company Ltd; Retrofitting Tube Bundles with the CPA 50E Flow Conditioner – a standards driven issue.
- CPA Tech Note; Liquids, Gases (or Reynolds Number Range).
- API 14.3 Flow Conditioner Performance Test for the CPA 50E Flow Conditioner.