

UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZÁN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL FACTOR DE COEFICIENTE DE FRICCIÓN
“f” PARA TUBERÍAS PVC-U DE 1/2”, 3/4” Y 1” DE DIÁMETRO,
RECOMENDADOS POR BIBLIOGRAFÍAS CON RESPECTO A LOS
ENCONTRADOS EN EL LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA DE LA UNIVERSIDAD
NACIONAL HERMILIO VALDIZÁN DE HUÁNUCO 2018”

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

Tesista: Jorge Diego Mercado Meza

ASESOR

Asesor: Ing. Ever Osorio Flores

HUÁNUCO – PERÚ

2019

DEDICATORIA

El trabajo está dedicado a mi Señora Madre Tobiana María Meza Lozano, a mi Señor Padre Daguirre Leopoldo Mercado Ponce, y a mis Hermanos Ana María, Daguirre, Juan Pablo y nuestro eterno compañero “negrito” (Q.E.P.D).

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi asesor de tesis Ing. Ever Osorio Flores, por su esfuerzo y dedicación. Sus conocimientos, sus sugerencias, su paciencia y su motivación han sido fundamental en el desarrollo de esta tesis.

Al Ing. Erasmo Alejandro Fernández Sixto, por la disposición para poder sacar adelante este trabajo, su motivación fue un factor importante para poder desarrollar esta tesis, por la facilidad de brindarme un espacio en el laboratorio de mecánica de fluidos para desarrollar los ensayos.

Al Ing. Pablo Luis Salgado Zevallos, por compartir sus conocimientos, por guiarme acertada e incondicionalmente con un buen criterio en cada momento, por fomentar en mí el sentido de la observación, para con él mi infinito agradecimiento, un gran Amigo.

Al Ing. Alberto Florentino Sánchez Vilela, por compartir sus conocimientos y absolver mis consultas, agradecido por brindarme su amistad.

Al Ing. Bladimir León Zambrano (Q.E.P.D), en toda la elaboración de esta tesis estuvo presente espiritualmente y siempre lo está.

Al Ing. Edwin Mendoza Huerto, por su apoyo e insistencia que se termine de elaborar la tesis.

Y finalmente un profundo agradecimiento a mi señora Madre, y a mí Señor Padre por el cariño y amor que me demuestran cada día.

RESUMEN

El desarrollo de la tesis se realizó con el objetivo de determinar el análisis comparativo del valor de coeficiente de fricción “ f ” de tuberías de PVC-U de 1/2", 3/4" y 1" de diámetro, recomendados por bibliografías con respecto a los encontrados en el laboratorio de mecánica de fluidos de la universidad nacional Hermilio Valdizán de Huánuco. En primer lugar, se implementó un banco de pruebas de ensayo, para poder analizar el coeficiente de fricción de la tubería PVC-U de diferentes diámetros, utilizando uniones universales podemos intercambiarlos para cada tipo de diámetro, se utilizó diámetros comerciales de 1/2", 3/4" y 1". Seguidamente se procedió a realizar los ensayos para determinar las variables que depende el coeficiente de fricción “ f ”, como son la pérdida de carga, el caudal, la velocidad, la temperatura para cada tipo de diámetro. Para determinar el coeficiente de fricción “ f ” en forma experimental se utilizó la fórmula de Darcy Weisbach y para la comparación de las fórmulas bibliográficas donde se calcula el coeficiente de fricción “ f ” se utilizó las siguientes ecuaciones: ecuación de Colebrook White, ecuación recomendada por Streeter y ecuación de Haaland. De los resultados obtenidos, se concluyó que existen diferencias entre los valores obtenidos en el laboratorio con respecto a las fórmulas bibliográficas, para las pruebas realizadas en tuberías de 1/2" los valores del coeficiente de fricción “ f ” son menores que los que se pueden encontrar utilizando fórmulas bibliográficas, en pruebas realizadas para tuberías de 3/4", los valores del coeficiente de fricción “ f ” se interceptan con los resultados de las fórmulas bibliográficas y para pruebas realizadas en tuberías de 1" se puede observar que los valores obtenidos experimentalmente son mayores a las fórmulas bibliográficas. El coeficiente de fricción “ f ” aumenta de acuerdo el diámetro, a diámetros mayores, mayor valor del coeficiente “ f ”, a través de los ensayos en el laboratorio se pudo determinar que los valores de la pérdida de carga y el diámetro son sensibles al momento de determinar el coeficiente de fricción “ f ”.

SUMMARY

The development of the thesis was carried out with the objective of determining the comparative analysis of the coefficient of friction value "f" of PVC-U pipes of 1/2 ", 3/4" and 1 "of diameter recommended by bibliographies with respect to those found in the fluid mechanics laboratory of the national university Hermilio Valdizán de Huánuco. Firstly, a test bench was implemented, to analyze the coefficient of friction of the PVC-U pipe of different diameters, using universal joints we can exchange them for each type of diameter, commercial diameters of 1/2 "were used, 3/4 "and 1". Then proceeded to perform the tests to determine the variables that depend on the coefficient of friction "f", such as the pressure drop, the flow rate, the speed, the temperature for each type of diameter. To determine the coefficient of friction "f" in an experimental way, the formula by Darcy Weisbach was used and for the comparison of the bibliographic formulas where the coefficient of friction "f" is calculated the following equations were used: Colebrook White equation, recommended equation by Streeter and Haaland equation. From the results obtained, it was concluded that there are differences between the values obtained in the laboratory with respect to the bibliographic formulas, for the tests carried out on 1/2 "pipes, the values of the coefficient of friction "f" are lower than those can be found using bibliographic formulas, in tests performed for 3/4 "pipes, the friction coefficient values "f" are intercepted with the results of the bibliographic formulas and for tests performed on 1" pipes it can be observed that the values obtained experimentally are greater than the bibliographic formulas. The coefficient of friction "f" increases according to the diameter, to larger diameters, greater value of the coefficient "f", through the tests in the laboratory it was possible to determine that the values of the head loss and the diameter are sensitive to the moment to determine the coefficient of friction "f".

INDICE

RESUMEN.....	iv
SUMMARY	v
INDICE	vi
INDICE DE CUADROS	xvi
LISTA DE FIGURAS	xxvii
LISTA DE GRÁFICOS	xxviii
LISTA DE FOTOGRAFÍAS.....	xxxí
CAPITULO I.....	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. Planteamiento y Fundamentación del Problema	1
1.2. Formulación del Problema	1
1.2.1. Problema general.....	1
1.2.2. Problemas específicos.	2
1.3. Objetivos: General y Específicos	2
1.3.1. Objetivo general.	2
1.3.2. Objetivo específico.....	2
CAPITULO II	3
2. MARCO TEÓRICO.....	3

2.1. Antecedentes	3
2.1.1. A nivel local.	3
2.1.2. A nivel nacional.	3
2.2. Justificación e Importancia	3
2.3. Limitaciones de la Investigación.....	4
2.4. Hipótesis, Variables, Indicadores y Definiciones Operacionales	4
2.4.1. Hipótesis general.....	4
2.4.2. Sistema de variables, dimensiones e indicadores.....	5
2.5. Universo / Población y Muestra	6
2.5.1. Determinación del universo/población.	6
2.5.2. Selección de muestra.....	6
2.6. Conceptos Fundamentales.....	6
2.6.1. Viscosidad en fluidos.	6
2.6.2. Efecto de la viscosidad.....	8
2.6.3. Capa límite.	8
2.6.4. Régimen de flujo.....	11
2.6.5. Factor de fricción (“f”).....	13
2.6.6. Ecuaciones para determinar el factor de fricción (“f”).	14
2.6.7. Comportamiento hidrodinámico de las tuberías.	15

2.6.8. El diagrama de Moody.....	17
2.6.9. Tipos de energía en los fluidos.....	18
2.6.10 Línea piezométrica y línea de energía.....	21
CAPITULO III.....	23
3. MARCO METODOLÓGICO.....	23
3.1. Tipo y Nivel de investigación.....	23
3.1.1. Tipo de investigación.....	23
3.1.2. Nivel de investigación.....	23
3.2. Introducción.....	23
3.3. Parámetros de ensayo.....	24
3.3.1. Diámetro y material de las tuberías.....	24
3.3.2. Fluido de prueba.....	25
3.3.3. Longitud de la tubería de prueba.....	25
3.4 Banco de ensayos.....	26
3.4.1. Instalación.....	26
CAPÍTULO IV.....	30
4. PROCESAMIENTO DE DATOS.....	30
4.1. Introducción.....	30
4.2. Datos obtenidos.....	30

4.2.1. Temperatura.	31
4.2.2. Presión.....	31
4.2.3. Caudal.	32
4.3. Variables de la experimentación	33
4.3.1. Determinación de variables.....	33
4.4. Proceso para Obtener el Coeficiente de Fricción “f” en Tuberías de PVC-U de 1/2"	
36	
4.4.1. Verificación del diámetro de Tubería de PVC –U de 1/2".....	36
4.4.2. Verificación de la lectura del sensor de caudal.	37
4.4.3. Comparación de datos de caudales extraídos en laboratorio.....	38
4.4.4. Procesamiento estadístico de los datos extraídos en el laboratorio utilizando el software SPSS experimento 1.....	39
4.4.5. Errores y desviación estándar de los datos extraídos del sensor de temperatura. ..	42
4.4.6. Errores y desviación estándar de los datos extraídos del sensor RD522 de presión.	43
4.4.7. Errores y desviación estándar de los datos extraídos del sensor de flujo.....	44
4.4.8. Procesamiento estadístico de los datos extraídos en el laboratorio utilizando el software SPSS experimento 2.....	45
4.4.9. Errores y desviación estándar de los datos extraídos del sensor de temperatura. ..	48

4.4.10. Errores y desviación estándar de los datos extraídos del sensor RD522 de presión.	49
4.4.11. Errores y desviación estándar de los datos extraídos del sensor de flujo.....	50
4.4.12. Procesamiento estadístico de los datos extraídos en el laboratorio utilizando el software SPSS experimento 3.....	51
4.4.13. Errores y desviación estándar de los datos extraídos del sensor de temperatura.	54
4.4.14. Errores y desviación estándar de los datos extraídos del sensor RD522 de presión.	55
4.4.15. Errores y desviación estándar de los datos extraídos del sensor de flujo.....	56
4.4.16. Propiedades físicas del agua en función a la temperatura del flujo.	57
4.4.17. Fórmula de Darcy-Weisbach para el cálculo del coeficiente de fricción “f” en tuberías de PVC-U de 1/2”.	58
4.4.18. Datos para los cálculos del coeficiente de fricción “f” experimental.	59
4.4.19. Coeficiente de fricción “f” en tuberías de PVC-U de Ø 1/2” con ecuaciones de diferentes bibliografías.....	62
4.4.20. Resultados de la experimentación en el diagrama de Moody para la tubería de PVC-U de Ø 1/2”.	66
4.5. Proceso para obtener el coeficiente de fricción “f” en tuberías de PVC-U de 3/4"	67
4.5.1. Verificación del diámetro de tubería de PVC –U de 3/4".....	67
4.5.2. Verificación de la lectura del sensor de caudal.....	68

4.5.3. Comparación de datos de caudales extraídos en laboratorio.....	69
4.5.4. Procesamiento estadístico de los datos extraídos en el laboratorio utilizando el software SPSS experimento 1.....	70
4.5.5. Errores y desviación estándar de los datos extraídos del sensor de temperatura. ..	73
4.5.6. Errores y desviación estándar de los datos extraídos del sensor RD522 de presión.	74
4.5.7. Errores y desviación estándar de los datos extraídos del sensor de flujo.....	75
4.5.8. Procesamiento estadístico de los datos extraídos en el laboratorio utilizando el software SPSS experimento 2.....	76
4.5.9. Errores y desviación estándar de los datos extraídos del sensor de temperatura. ..	79
4.5.10. Errores y desviación estándar de los datos extraídos del sensor RD522 de presión.	80
4.5.11. Errores y desviación estándar de los datos extraídos del sensor de flujo.....	81
4.5.12. Procesamiento estadístico de los datos extraídos en el laboratorio utilizando el software SPSS experimento 3.....	82
4.5.13. Errores y desviación estándar de los datos extraídos del sensor de temperatura. 85	
4.5.14. Errores y desviación estándar de los datos extraídos del sensor RD522 de presión.	86
4.5.15. Errores y desviación estándar de los datos extraídos del sensor de flujo.....	87
4.5.16. Propiedades físicas del agua en función a la temperatura del flujo.	88

4.5.17. Fórmula de Darcy-Weisbach para el cálculo del coeficiente de fricción “f” en tuberías De PVC-U de 3/4”	89
4.5.18. Datos para los cálculos del coeficiente de fricción “f” experimental.	90
4.5.19. Coeficiente de fricción “f” en tuberías de PVC-U de Ø 3/4” con ecuaciones de diferentes bibliografías.....	93
4.5.20. Resultados de la experimentación en el diagrama de Moody para la tubería de PVC-U de Ø 3/4".	97
4.6. Proceso para obtener el coeficiente de fricción “f” en tuberías de PVC-U de 1".	98
4.6.1. Verificación del diámetro de tubería de PVC –U de 1".	98
4.6.2. Verificación de la lectura del sensor de caudal.	99
4.6.3. Comparación de datos de caudales extraídos en laboratorio.....	100
4.6.4. Procesamiento estadístico de los datos extraídos en el laboratorio utilizando el software SPSS experimento 1.....	101
4.6.5. Errores y desviación estándar de los datos extraídos del sensor de temperatura.	104
4.6.6. Errores y desviación estándar de los datos extraídos del sensor RD522 de presión.	105
4.6.7. Errores y desviación estándar de los datos extraídos del sensor de flujo.....	106
4.6.8 Procesamiento estadístico de los datos extraídos en el laboratorio utilizando el software SPSS experimento 2.....	107
4.6.9. Errores y desviación estándar de los datos extraídos del sensor de temperatura.	110

4.6.10. Errores y desviación estándar de los datos extraídos del sensor RD522 de presión.	111
4.6.11. Errores y desviación estándar de los datos extraídos del sensor de flujo.....	112
4.6.12. Procesamiento estadístico de los datos extraídos en el laboratorio utilizando el software SPSS experimento 3.	113
4.6.13. Errores y desviación estándar de los datos extraídos del sensor de temperatura.	116
4.6.14. Errores y desviación estándar de los datos extraídos del sensor RD522 de presión.	117
4.6.15. Errores y desviación estándar de los datos extraídos del sensor de flujo.....	118
4.6.16. Propiedades físicas del agua en función a la temperatura del flujo.	119
4.6.17. Fórmula de Darcy-Weisbach para el cálculo del coeficiente de fricción “f” en tuberías de PVC-U De 1”.....	120
4.6.18. Datos para los cálculos del coeficiente de fricción “f” experimental.	121
4.6.19. Coeficiente de fricción “f” en tuberías de PVC-U de Ø 1” con ecuaciones de diferentes bibliografías.....	124
4.6.20. Resultados de la experimentación en el diagrama de Moody para la tubería de PVC-U de Ø 1”.....	128
CAPÍTULO V	129
5. CARACTERIZACIÓN DE INSTRUMENTOS Y EQUIPOS DE MEDICIÓN.....	129

5.1 Introducción	129
5.2 Banco Hidráulico F1-10.....	129
5.2.1. Especificaciones técnicas.....	131
A. Línea de pruebas.....	131
B. Regulación de caudal.....	131
5.3 Tarjeta Arduino	132
5.3.1. Especificaciones técnicas.....	133
5.4 Medición de Temperatura	134
5.4.1. Especificaciones técnicas.....	134
5.5. Medición de flujo	135
5.5.1. Especificaciones técnicas.....	135
5.6. Medición de Presión.....	136
5.6.1. Especificaciones técnicas.....	136
5.7. Medida de Diámetros de Tuberías	137
5.7.1. Especificaciones técnicas.....	137
5.8 Medida de Longitud de Tuberías	138
5.8.1. Especificaciones técnicas.....	138
CAPÍTULO VI.....	139
6. CONCLUSIONES	139

CAPÍTULO VII	142
7. RECOMENDACIONES	142
BIBLIOGRAFÍA.....	143
ANEXO.....	144
ANEXO 1: Esquema del Banco de Pruebas.....	144
ANEXO 2: Programación del Sensor de Flujo y de Temperatura en Arduino	145
ANEXO 3: Panel Fotográfico	147

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Valor de la Gravedad.....	34
Cuadro 2. Caudal Experimental con Recipiente de V=3.5 Litros.	37
Cuadro 3. Caudal Experimental con Sensor de Flujo en la Tubería de 1/2".....	37
Cuadro 4. Porcentaje de Variación de Caudales Extraídos en el Laboratorio para la Tubería de 1/2".....	38
Cuadro 5. Datos Extraídos de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 1.....	39
Cuadro 6. Resultados Estadísticos de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 1.....	39
Cuadro 7. Datos Extraídos de la Presión del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 1.....	40
Cuadro 8. Resultados Estadísticos de la Presión del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 1.....	40
Cuadro 9. Datos Extraídos del Caudal del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 1.....	41
Cuadro 10. Resultados Estadísticos del Caudal del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 1.....	41
Cuadro 11. Error y Desviación Estándar de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 1.	42
Cuadro 12. Error y Desviación Estándar de la Presión del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 1.....	43

Cuadro 13. Error y Desviación Estándar del Caudal del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 1.....	44
Cuadro 14. Datos Extraídos de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 2.....	45
Cuadro 15. Resultados Estadísticos de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 2.....	45
Cuadro 16. Datos Extraídos de la Presión del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 2.....	46
Cuadro 17. Resultados Estadísticos de la Presión del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 2.....	46
Cuadro 18. Datos Extraídos del Caudal del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 2.....	47
Cuadro 19. Resultados Estadísticos del Caudal del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 2.....	47
Cuadro 20. Error y Desviación Estándar de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 2.....	48
Cuadro 21. Error y Desviación Estándar de la Presión del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 2.....	49
Cuadro 22. Error y Desviación Estándar del Caudal del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 2.....	50
Cuadro 23. Datos Extraídos de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 3.....	51

Cuadro 24. Resultados Estadísticos de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 3.....	51
Cuadro 25. Datos Extraídos de la Presión del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 3.....	52
Cuadro 26. Resultados Estadísticos de la Presión del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 3.....	52
Cuadro 27. Datos Extraídos del Caudal del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 3.	53
Cuadro 28. Resultados Estadísticos del Caudal del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 3.....	53
Cuadro 29. Error y Desviación Estándar de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 3.	54
Cuadro 30. Error y Desviación Estándar de la Presión del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 3.....	55
Cuadro 31. Error y Desviación Estándar del Caudal del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 3.....	56
Cuadro 32. Propiedades Físicas del Flujo en la Tubería de PVC-U Ø 1/2" en el Experimento 1.....	57
Cuadro 33. Propiedades Físicas del Flujo en la Tubería de PVC-U Ø 1/2" en el Experimento 2.....	57
Cuadro 34. Propiedades Físicas del Flujo en la Tubería de PVC-U Ø 1/2" en el Experimento 3.....	57

Cuadro 35. Características técnicas de la Tubería para Agua Fría a Presión NTP 399.002:2015.	59
Cuadro 36. Datos de Presiones de entrada y salida obtenidos en el Experimento 1.	59
Cuadro 37. Datos de Presiones de entrada y salida obtenidos en el Experimento 2.	59
Cuadro 38. Datos de Presiones de entrada y salida obtenidos en el Experimento 3.	60
Cuadro 39. Coeficiente de Fricción "f" obtenidos en el Experimento 1.	60
Cuadro 40. Coeficiente de Fricción "f" obtenidos en el Experimento 2.	60
Cuadro 41. Coeficiente de Fricción "f" obtenidos en el Experimento 3.	61
Cuadro 42. Colebrook White - PVC-U Ø 1/2".	63
Cuadro 43. Streeter - PVC-U Ø 1/2"	64
Cuadro 44. Haaland - PVC-U Ø 1/2".....	65
Cuadro 45. Coeficiente de Fricción Colebrook, Streeter y Haaland PVC-U 1/2".	65
Cuadro 46. Caudal Experimental con Recipiente de V=3.5 Litros.	68
Cuadro 47. Caudal Experimental con Sensor de Flujo en la Tubería de 3/4".....	68
Cuadro 48. Porcentaje de Variación de Caudales Extraídos en el Laboratorio para la Tubería de 3/4".....	69
Cuadro 49. Datos Extraídos de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 1.....	70
Cuadro 50. Resultados Estadísticos de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 1.....	70
Cuadro 51. Datos Extraídos de la Presión del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 1.....	71

Cuadro 52. Resultados Estadísticos de la Presión del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 1.....	71
Cuadro 53. Datos Extraídos del Caudal del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 1.	72
Cuadro 54. Resultados Estadísticos del Caudal del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 1.....	72
Cuadro 55. Error y Desviación Estándar de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 1.	73
Cuadro 56. Error y Desviación Estándar de la Presión del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 1.....	74
Cuadro 57. Error y Desviación Estándar del Caudal del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 1.....	75
Cuadro 58. Datos Extraídos de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 2.....	76
Cuadro 59. Resultados Estadísticos de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 2.....	76
Cuadro 60. Datos Extraídos de la Presión del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 2.....	77
Cuadro 61. Resultados Estadísticos de la Presión del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 2.....	77
Cuadro 62. Datos Extraídos del Caudal del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 2.	78

Cuadro 63. Resultados Estadísticos del Caudal del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 2.....	78
Cuadro 64. Error y Desviación Estándar de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 2.....	79
Cuadro 65. Error y Desviación Estándar de la Presión del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 2.....	80
Cuadro 66. Error y Desviación Estándar del Caudal del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 2.....	81
Cuadro 67. Datos Extraídos de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 3.....	82
Cuadro 68. Resultados Estadísticos de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 3.....	82
Cuadro 69. Datos Extraídos de la Presión del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 3.....	83
Cuadro 70. Resultados Estadísticos de la Presión del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 3.....	83
Cuadro 71. Datos Extraídos del Caudal del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 3.....	84
Cuadro 72. Resultados Estadísticos del Caudal del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 3.....	84
Cuadro 73. Error y Desviación Estándar de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 3.....	85

Cuadro 74. Error y Desviación Estándar de la Presión del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 3.....	86
Cuadro 75. Error y Desviación Estándar del Caudal del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 3.....	87
Cuadro 76. Propiedades Físicas del Flujo en la Tubería de PVC-U Ø 3/4" en el Experimento 1.....	88
Cuadro 77. Propiedades Físicas del Flujo en la Tubería de PVC-U Ø 3/4" en el Experimento 2.....	88
Cuadro 78. Propiedades Físicas del Flujo en la Tubería de PVC-U Ø 3/4" en el Experimento 3.....	88
Cuadro 79. Características técnicas de la Tubería para Agua Fría a Presión NTP 399.002:2015.	90
Cuadro 80. Datos de Presiones de entrada y salida obtenidos en el Experimento 1.	90
Cuadro 81. Datos de Presiones de entrada y salida obtenidos en el Experimento 2.	90
Cuadro 82. Datos de Presiones de entrada y salida obtenidos en el Experimento 3.....	91
Cuadro 83. Coeficiente de Fricción "f" obtenidos en el Experimento 1.	91
Cuadro 84. Coeficiente de Fricción "f" obtenidos en el Experimento 2.	91
Cuadro 85. Coeficiente de Fricción "f" obtenidos en el Experimento 3.	92
Cuadro 86. Colebrook White - PVC-U Ø 3/4".	94
Cuadro 87. Streeter - PVC-U Ø 3/4".....	95
Cuadro 88. Haaland - PVC-U Ø 3/4".....	96
Cuadro 89. Coeficiente de Fricción Colebrook, Streeter y Haaland PVC-U3/4/".....	96
Cuadro 90. Caudal Experimental con Recipiente de V=3.5 Litros.	99

Cuadro 91. Caudal Experimental con Sensor de Flujo en la Tubería de 1".	99
Cuadro 92. Porcentaje de Variación de Caudales Extraídos en el Laboratorio para la Tubería de 1".	100
Cuadro 93. Datos Extraídos de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 1" en el Experimento 1.	101
Cuadro 94. Resultados Estadísticos de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 1" en el Experimento 1.	101
Cuadro 95. Datos Extraídos de la Presión del Flujo para la Tubería de 1" en el Experimento 1.	102
Cuadro 96. Resultados Estadísticos de la Presión del Flujo para la Tubería de 1" en el Experimento 1.	102
Cuadro 97. Datos Extraídos del Caudal del Flujo para la Tubería de 1" en el Experimento 1.	103
Cuadro 98. Resultados Estadísticos del Caudal del Flujo para la Tubería de 1" en el Experimento 1.	103
Cuadro 99. Error y Desviación Estándar de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 1" en el Experimento 1.	104
Cuadro 100. Error y Desviación Estándar de la Presión del Flujo para la Tubería de 1" en el Experimento 1.	105
Cuadro 101. Error y Desviación Estándar del Caudal del Flujo para la Tubería de 1" en el Experimento 1.	106
Cuadro 102. Datos Extraídos de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 1" en el Experimento 2.	107

Cuadro 103. Resultados Estadísticos de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 1” en el Experimento 2.....	107
Cuadro 104. Datos Extraídos de la Presión del Flujo para la Tubería de 1” en el Experimento 2.....	108
Cuadro 105. Resultados Estadísticos de la Presión del Flujo para la Tubería de 1” en el Experimento 2.....	108
Cuadro 106. Datos Extraídos del Caudal del Flujo para la Tubería de 1” en el Experimento 2.	109
Cuadro 107. Resultados Estadísticos del Caudal del Flujo para la Tubería de 1” en el Experimento 2.....	109
Cuadro 108. Error y Desviación Estándar de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 1” en el Experimento 2.	110
Cuadro 109. Error y Desviación Estándar de la Presión del Flujo para la Tubería de 1” en el Experimento 2.....	111
Cuadro 110. Error y Desviación Estándar del Caudal del Flujo para la Tubería de 1” en el Experimento 2.....	112
Cuadro 111. Datos Extraídos de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 1” en el Experimento 3.....	113
Cuadro 112. Resultados Estadísticos de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 1” en el Experimento 3.....	113
Cuadro 113. Datos Extraídos de la Presión del Flujo para la Tubería de 1” en el Experimento 3.....	114

Cuadro 114. Resultados Estadísticos de la Presión del Flujo para la Tubería de 1” en el Experimento 3.....	114
Cuadro 115. Datos Extraídos del Caudal del Flujo para la Tubería de 1” en el Experimento 3.	115
Cuadro 116. Resultados Estadísticos del Caudal del Flujo para la Tubería de 1” en el Experimento 3.....	115
Cuadro 117. Error y Desviación Estándar de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 1” en el Experimento 3.	116
Cuadro 118. Error y Desviación Estándar de la Presión del Flujo para la Tubería de 1” en el Experimento 3.....	117
Cuadro 119. Error y Desviación Estándar del Caudal del Flujo para la Tubería de 1” en el Experimento 3.....	118
Cuadro 120. Propiedades Físicas del Flujo en la Tubería de PVC-U Ø 1" en el Experimento 1.....	119
Cuadro 121. Propiedades Físicas del Flujo en la Tubería de PVC-U Ø 1" en el Experimento 2.....	119
Cuadro 122. Propiedades Físicas del Flujo en la Tubería de PVC-U Ø 1" en el Experimento 3.....	119
Cuadro 123. Características técnicas de la Tubería para Agua Fría a Presión NTP 399.002:2015.	121
Cuadro 124. Datos de Presiones de entrada y salida obtenidos en el Experimento 1.....	121
Cuadro 125. Datos de Presiones de entrada y salida obtenidos en el Experimento 2.....	121
Cuadro 126. Datos de Presiones de entrada y salida obtenidos en el Experimento 3.....	122

Cuadro 127. Coeficiente de Fricción "f" obtenidos en el Experimento 1.	122
Cuadro 128. Coeficiente de Fricción "f" obtenidos en el Experimento 2.	122
Cuadro 129. Coeficiente de Fricción "f" obtenidos en el Experimento 3.	123
Cuadro 130. Colebrook White - PVC-U Ø 1".	125
Cuadro 131. Streeter - PVC-U Ø 1".....	126
Cuadro 132. Haaland - PVC-U Ø 1".....	127
Cuadro 133. Coeficiente de Fricción Colebrook, Streeter y Haaland PVC-U 1".	127

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esfuerzo Cortante.	7
Figura 2. Distribución de Velocidad en la Capa Límite.....	8
Figura 3. Flujo en la Capa Límite sobre una Placa Plana.	9
Figura 4. Punto de separación del Perfil de Velocidades.....	10
Figura 5. Régimen De Flujo Laminar.	13
Figura 6. Régimen De Flujo Turbulento.	13
Figura 7. Poca Influencia De La Rugosidad.	15
Figura 8. Flujo En Tubería Hidráulicamente Liso.	15
Figura 9. Flujo en Tubería Hidráulicamente Semirrugoso.....	16
Figura 10. Flujo En Tubería Hidráulicamente Rugoso.	17
Figura 11. Factor de fricción en función del nivel de turbulencia y condición rugosa.	18
Figura 12. Representación de los tres tipos de energía de un fluido a presión.	20
Figura 13. Representación de las Líneas de Energía y Línea Piezométrica.....	22
Figura 14. Captura web del sistema de información gravitacional.	33
Figura 15. Tarjeta ARDUINO. Mega 2560 R3.....	133
Figura 16. Sensor de Temperatura Digital DS18B20.	134
Figura 17. Sensor de Flujo FS400A.	135
Figura 18. Registrador de presión de agua RD 522.	136
Figura 19. Calibrador de Vernier.	137
Figura 20. Flexómetro Stanley de 5.00 m.	138

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Error y Media de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 1.....	42
Gráfico 2. Error y Media de la Presión del Flujo en la Tubería de 1/2" en el Experimento 1.	43
Gráfico 3. Error y Media del Caudal del Flujo en la Tubería de 1/2" en el Experimento 1. ..	44
Gráfico 4. Error y Media de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 2.....	48
Gráfico 5. Error y Media de la Presión del Flujo en la Tubería de 1/2" en el Experimento 2.	49
Gráfico 6. Error y Media del Caudal del Flujo en la Tubería de 1/2" en el Experimento 2. ..	50
Gráfico 7. Error y Media de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 3.....	54
Gráfico 8. Error y Media de la Presión del Flujo en la Tubería de 1/2" en el Experimento 3.	55
Gráfico 9. Error y Media del Caudal del Flujo en la Tubería de 1/2" en el Experimento 3. ..	56
Gráfico 10. Correlación de los Coeficientes de Fricción en la Tubería de PVC-U Ø 1/2".....	61
Gráfico 11. Coeficiente de Fricción de Colebrook White, Streeter y Haaland PVC-U Ø 1/2".	65
Gráfico 12. Ubicación de los resultados en el diagrama de Moody.....	66
Gráfico 13. Error y Media de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 1.....	73
Gráfico 14. Error y Media de la Presión del Flujo en la Tubería de 3/4" en el Experimento 1.	74
Gráfico 15. Error y Media del Caudal del Flujo en la Tubería de 3/4" en el Experimento 1.	75

Gráfico 16. Error y Media de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 2.....	79
Gráfico 17. Error y Media de la Presión del Flujo en la Tubería de 3/4" en el Experimento 2.	80
Gráfico 18. Error y Media del Caudal del Flujo en la Tubería de 3/4" en el Experimento 2.	81
Gráfico 19. Error y Media de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 3.....	85
Gráfico 20. Error y Media de la Presión del Flujo en la Tubería de 3/4" en el Experimento 3.	86
Gráfico 21. Error y Media del Caudal del Flujo en la Tubería de 3/4" en el Experimento 3.	87
Gráfico 22. Correlación de los Coeficientes de Fricción en la Tubería de PVC-U Ø 3/4".....	92
Gráfico 23. Coeficiente de Fricción de Colebrook White, Streeter y Haaland PVC-U Ø 3/4".	96
Gráfico 24. Ubicación de los resultados en el diagrama de Moody.....	97
Gráfico 25. Error y Media de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 1" en el Experimento 1.....	104
Gráfico 26. Error y Media de la Presión del Flujo en la Tubería de 1" en el Experimento 1.	105
Gráfico 27. Error y Media del Caudal del Flujo en la Tubería de 1" en el Experimento 1. .	106
Gráfico 28. Error y Media de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 1" en el Experimento 2.....	110
Gráfico 29. Error y Media de la Presión del Flujo en la Tubería de 1" en el Experimento 2.	111

Gráfico 30. Error y Media del Caudal del Flujo en la Tubería de 1” en el Experimento 2. .	112
Gráfico 31. Error y Media de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 1” en el Experimento 3.....	116
Gráfico 32. Error y Media de la Presión del Flujo en la Tubería de 1” en el Experimento 3.	117
Gráfico 33. Error y Media del Caudal del Flujo en la Tubería de 1” en el Experimento 3. .	118
Gráfico 34. Correlación de los Coeficientes de Fricción en la Tubería de PVC-U Ø 1".....	123
Gráfico 35. Coeficiente de Fricción de Colebrook White, Streeter y Haaland PVC-U Ø 1".	127
Gráfico 36. Ubicación de los resultados en el diagrama de Moody.....	128

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Información Técnica de la Tubería PVC-U de 1/2" .	24
Fotografía 2. Información Técnica de la Tubería PVC-U de 3/4" .	24
Fotografía 3. Información Técnica de la Tubería PVC-U de 1" .	25
Fotografía 4. Banco Hidráulico Modelo F1-10 – ARMFIELD. .	28
Fotografía 5. Banco de Ensayos para Determinar el Coeficiente de Fricción (f). .	29
Fotografía 6. Sensor de Temperatura Instalado en el Banco de Pruebas. .	35
Fotografía 7. Sensor de Flujo instalado al final de la línea de Prueba. .	35
Fotografía 8. Verificación del Diámetro Externo de la Tubería PVC-U Ø 1/2" .	36
Fotografía 9. Verificación del Diámetro Interno de la Tubería. PVC-U Ø 1/2" .	36
Fotografía 10. Caudal Experimental en Tubería PVC-U Ø 1/2" .	38
Fotografía 11. Datos extraídos experimentalmente de la Tubería PVC-U Ø 1/2" .	38
Fotografía 12. Verificación del Diámetro Externo de la Tubería PVC-U Ø 3/4" .	67
Fotografía 13. Verificación del Diámetro Interno de la Tubería. PVC-U Ø 3/4" .	67
Fotografía 14. Caudal Experimental en Tubería PVC-U Ø 3/4" .	69
Fotografía 15. Datos extraídos experimentalmente de la Tubería PVC-U Ø 3/4" .	69
Fotografía 16. Verificación del Diámetro Externo de la Tubería PVC-U Ø 1" .	98
Fotografía 17. Verificación del Diámetro Interno de la Tubería. PVC-U Ø 1" .	98
Fotografía 18. Caudal Experimental en Tubería PVC-U Ø 1" .	100
Fotografía 19. Datos extraídos experimentalmente de la Tubería PVC-U Ø 1" .	100
Fotografía 20. Banco Hidráulico Modelo F1-10 – ARMFIELD. .	130
Fotografía 21. Banco de Ensayos F10 Armfield para determinar el coeficiente de fricción “f” .	132
.....	132

CAPITULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Planteamiento y Fundamentación del Problema

Actualmente en el laboratorio de mecánica de fluidos de la facultad de ingeniería civil y arquitectura de la universidad nacional Hermilio Valdizán no se ha realizado el análisis comparativo entre el coeficiente de fricción “f” de tuberías de PVC-U de 1/2”, 3/4” y 1” de diámetro, recomendados por bibliografías con respecto a los encontrados experimentalmente en el laboratorio. El coeficiente de fricción “f” es importante para determinar las pérdidas de carga en un sistema de tuberías, hoy en día en los sistemas de abastecimientos de agua potable el material predominante es el PVC (Policloruro de Vinilo), dentro de las bibliografías de mecánica de fluidos nos recomiendan utilizar el coeficiente de fricción de Manning (n), Hazen Williams (C) y el coeficiente de fricción “f” de Darcy Weisbach como los más usuales, experimentalmente obtendremos el valor de coeficiente “f” de Darcy Weisbach. El análisis comparativo nos ayudara a determinar si los coeficientes que fricción que nos brinda la bibliografía es similar a lo que encontramos experimentalmente para tuberías de PVC-U. Esto nos conduce a formularnos la siguiente interrogante por resolver:

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema general.

- ¿Qué diferencia existe al comparar el coeficiente de fricción “f” en tuberías PVC-U de 1/2”, 3/4” y 1” de diámetro, recomendados por bibliografías con respecto a los encontrados en el laboratorio de mecánica de fluidos de la universidad nacional Hermilio Valdizán de Huánuco 2018?

1.2.2. Problemas específicos.

- ¿Qué valor obtiene el coeficiente de fricción “f” para los diámetros de 1/2”, 3/4” y 1” en las tuberías de PVC-U encontrados experimentalmente en el laboratorio de mecánica de fluidos?
- ¿Qué diámetro de tubería PVC-U genera mayor coeficiente de fricción “f”, encontrado experimentalmente en el laboratorio de mecánica de fluidos?
- ¿Qué variables inciden de mayor importancia en el valor del coeficiente de fricción “f” en las tuberías PVC-U?

1.3. Objetivos: General y Específicos

1.3.1. Objetivo general.

- Analizar comparativamente los valores del coeficiente de fricción “f” de las tuberías PVC-U de 1/2”, 3/4” y 1” de diámetro, recomendados por bibliografías con respecto a los encontrados en el laboratorio de mecánica de fluidos de la universidad nacional Hermilio Valdizán de Huánuco 2018.

1.3.2. Objetivo específico.

- Determinar experimentalmente el valor del coeficiente de fricción “f” para los diámetros de 1/2”, 3/4” y 1” en las tuberías de PVC-U.
- Determinar experimentalmente que diámetros de tuberías PVC-U genera mayor coeficiente de fricción “f”.
- Determinar experimentalmente los factores que inciden de mayor importancia en el valor del coeficiente de fricción “f” en las tuberías de PVC-U.

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. A nivel local.

No se tiene información con respecto a la determinación del coeficiente de fricción “f” para tuberías de PVC-U, la facultad de ingeniería civil y arquitectura de la universidad nacional Hermilio Valdizán es la única que cuenta con un laboratorio de mecánica de fluidos en la cual no se ha desarrollado este tipo de investigación.

2.1.2. A nivel nacional.

A nivel nacional se ha encontrado información de cálculos experimentales del cálculo de coeficiente de fricción en diferentes universidades, en la universidad nacional de ingeniería, tienen un banco de pruebas, acondicionado con fierro galvanizado.

2.2. Justificación e Importancia

Se justifica por que el coeficiente de fricción “f” de las tuberías PVC-U son asumidas por la fábrica y no se corroboran en campo. Nos permitirá conocer si existen variaciones del valor de los coeficientes de fricción de lo que nos indica las bibliografías y los encontrados experimentalmente y que tanto influyen en las pérdidas de cargas. Estas pérdidas de carga se reflejan en la pérdida de presión en un sistema de redes de tuberías, se tiene que controlar las presiones máximas y mínimas de acuerdo al reglamento nacional de edificaciones OS 050 nos dice: La presión estática no será mayor de 50 mca en cualquier punto de la red. En condiciones de demanda máxima horaria, la presión dinámica no será menor de 10 mca para las redes de distribución. Es importante esta investigación porque también servirá como base de futuras líneas de investigación con respecto a la determinación del coeficiente de fricción “f” para tuberías de otros diámetros y diferentes

materiales. Además, en principio debemos tener en claro que solo puede mejorarse aquello que se haya medido o evaluado. Como consecuencia de todo esto se formula la tesis: “ANÁLISIS COMPARATIVO DEL FACTOR DE COEFICIENTE DE FRICCIÓN “f” PARA TUBERIAS PVC-U DE 1/2”, 3/4” Y 1” DE DIÁMETRO, RECOMENDADOS POR BIBLIOGRAFÍAS CON RESPECTO A LOS ENCONTRADOS EN EL LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS DE LA FACULTAD DE INGENIERA CIVIL Y ARQUITECTURA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZÁN DE HUÁNUCO 2018”.

2.3. Limitaciones de la Investigación

La investigación se limita a utilizar tuberías de PVC-U (Policloruro de vinilo no Plastificado) material que es usado en redes de abastecimiento por gravedad.

Para la investigación se está utilizando tres diámetros de tuberías comerciales de 1/2”, 3/4” y 1”.

El trabajo de investigación alcanzará estudios a nivel de pregrado aplicando los conocimientos adquiridos en las aulas universitarias.

La determinación del coeficiente de fricción “f” para determinar la pérdida de cargas se realizará con instrumentos electrónicos que se no se encuentran en el mercado local.

2.4. Hipótesis, Variables, Indicadores y Definiciones Operacionales

2.4.1. Hipótesis general.

Hipótesis general.

H0: Existen diferentes resultados al analizar comparativamente los valores del coeficiente de fricción “f” de tuberías PVC-U de 1/2”, 3/4” y 1” de diámetro, recomendados por bibliografías con respecto a los hallados experimentalmente en el laboratorio de mecánica de fluidos de la universidad nacional Hermilio Valdizán de Huánuco 2018.

H1: No existen diferentes resultados al analizar comparativamente los valores del coeficiente de fricción “f” de tuberías PVC-U de 1/2", 3/4" y 1" de diámetro, recomendados por bibliografías con respecto a los hallados experimentalmente en el laboratorio de mecánica de fluidos de la universidad nacional Hermilio Valdizán de Huánuco 2018.

2.4.2. Sistema de variables, dimensiones e indicadores.

Variable dependiente.

Determinar el coeficiente “f” de la tubería PVC-U de 1/2", 3/4" y 1" de diámetro.

Variable independiente.

Presión, diámetro y velocidad.

Las dimensiones e indicadores se muestran en la matriz de consistencia.

Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA	
GENERAL: ¿QUÉ DIFERENCIA EXISTE AL COMPARAR EL COEFICIENTE DE FRICCIÓN “f” EN TUBERÍAS PVC DE ½", ¾" Y 1" DE DIÁMETRO RECOMENDADOS POR BIBLIOGRAFÍAS CON RESPECTO A LOS ENCONTRADOS EN EL LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZÁN DE HUÁNUCO 2018?	GENERAL: ANALIZAR COMPARATIVAMENTE LOS VALORES DE EL COEFICIENTE DE FRICCIÓN “f” DE LAS TUBERÍAS PVC DE ½", ¾" Y 1" DE DIÁMETRO RECOMENDADOS POR BIBLIOGRAFÍAS CON RESPECTO A LOS ENCONTRADOS EN EL LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZÁN DE HUÁNUCO 2018.	GENERAL: EXISTEN DIFERENTES RESULTADOS AL ANALIZAR COMPARATIVAMENTE LOS VALORES DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN “f” DE TUBERÍAS PVC DE 1/2", 3/4" Y 1" DE DIÁMETRO RECOMENDADOS POR BIBLIOGRAFÍAS CON RESPECTO A LOS HALLADOS EXPERIMENTALMENTE EN EL LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZÁN DE HUÁNUCO 2018.	INDEPENDIENTE: PRESIÓN DIÁMETRO CAUDAL	LAS DIFERENCIA DE PRESIONES, SE GENERAN POR LA FRICCIÓN EN LAS TUBERÍAS. ANCHO DE UN OBJETO CON FORMA CIRCULAR, CILÍNDRICA O ESFÉRICA. CANTIDAD DE FLUIDO QUE CIRCULA A TRAVÉS DE UNA SECCIÓN DEL DUCTO.	LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS	MECÁNICA DE FLUIDOS	PSI	
ESPECÍFICO: ¿QUÉ VALOR TOMA EL COEFICIENTE DE FRICCIÓN “f” PARA LOS DIÁMETROS DE ½", ¾" Y 1" EN LAS TUBERÍAS DE PVC?	ESPECÍFICO: DETERMINAR EXPERIMENTALMENTE EL VALOR DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN “f” PARA LOS DIÁMETROS DE ½", ¾" Y 1" EN LAS TUBERÍAS DE PVC.	ESPECÍFICO: EL VALOR DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN “f” PARA TUBERÍAS PVC DE 1/2", 3/4" Y 1" DE DIÁMETRO RECOMENDADOS POR BIBLIOGRAFÍAS ES MAYOR QUE AQUELLOS QUE SON ENCONTRADOS EN EL LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS.	COEFICIENTE DE FRICCIÓN “f”	PARÁMETRO QUE SIRVE PARA CALCULAR LA PÉRDIDA DE CARGA EN UNA TUBERÍA DEBIDO A LA FRICCIÓN			milímetros (mm.)	metros/segundo (m/seg)
ESPECÍFICO: ¿QUÉ DIÁMETROS DE TUBERÍA PVC GENERA MAYOR COEFICIENTE DE FRICCIÓN “f”?	ESPECÍFICO: DETERMINAR EXPERIMENTALMENTE QUE DIÁMETROS DE TUBERÍAS PVC GENERA MAYOR COEFICIENTE DE FRICCIÓN “f”.	ESPECÍFICO: LOS DIÁMETROS DE TUBERÍAS PVC DE 1/2", 3/4" Y 1", GENERAN MAYOR COEFICIENTE DE FRICCIÓN “f”.					ADIMENSIONAL	
ESPECÍFICO: ¿QUÉ FACTORES INCIDEN DE MAYOR IMPORTANCIA EN EL VALOR DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN “f” EN LAS TUBERÍAS PVC?	ESPECÍFICO: DETERMINAR EXPERIMENTALMENTE LOS FACTORES QUE INCIDEN DE MAYOR IMPORTANCIA EN EL VALOR DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN “f” EN LAS TUBERÍAS DE PVC.	ESPECÍFICO: LA VELOCIDAD Y LOS DIÁMETROS DE TUBERÍAS PVC DE 1/2", 3/4" Y 1", INCIDEN EN MAYOR IMPORTANCIA EN EL VALOR DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN “f”.						

Tabla 1. Matriz de consistencia.

Fuente: Elaboración Propia

2.5. Universo / Población y Muestra

2.5.1. Determinación del universo/población.

La investigación tomará como universo las tuberías PVC-U

Ubicación política.

Lugar : Laboratorio de mecánica de fluidos de la facultad de ingeniería civil de la universidad nacional “Hermilio Valdizán”.

Distrito : Pillcomarca.

Provincia : Huánuco.

Departamento : Huánuco

2.5.2. Selección de muestra.

Obtención del coeficiente “f” de las tuberías PVC-U de 1/2”, 3/4” y 1”.

Recolección de información.

La recolección de la información se realizará mediante un banco de pruebas instalada en el laboratorio de mecánica de fluidos de la universidad nacional Hermilio Valdizán.

2.6. Conceptos Fundamentales

2.6.1. Viscosidad en fluidos.

Viscosidad es la propiedad que nos indica cuanta es la resistencia de un fluido a dejarse cortar cuando está en movimiento.

2.6.1.1. Viscosidad dinámica o absoluta (μ).

Isaac Newton (1687) define que existe una relación directamente proporcional entre el esfuerzo de corte y el gradiente de velocidad. (Ec. 1) esta relación se desprende del análisis sobre dos placas paralelas que alojan un fluido entre ellas, tal como lo muestra la figura 1. Cuando la placa superior se desplaza con una velocidad determinada genera esfuerzos cortantes

y desplazamientos paralelos a menor velocidad en cada capa de fluido. Para $y = 0$, la velocidad del fluido es nula y el esfuerzo cortante es máximo, mientras que cuando $y = b$ la velocidad se hace máxima ($du/dy = 0$), por tanto, el esfuerzo cortante se hace nulo.

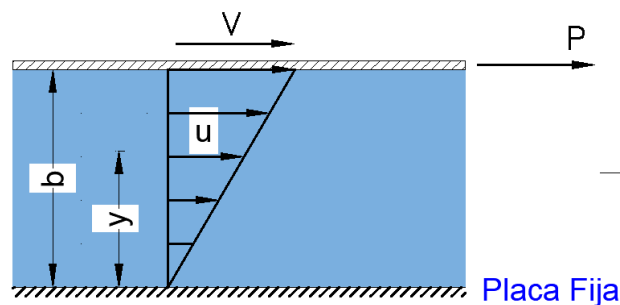


Figura 1. Esfuerzo Cortante.

$$\tau = \mu \frac{du}{dy}$$

Ecuación (1)

Donde:

τ : Esfuerzo cortante (Pa)

u : Velocidad (m/s)

y : Posición (m)

μ : Viscosidad dinámica del fluido (Pa.s)

Si el comportamiento entre el esfuerzo cortante y el gradiente de velocidad es lineal, la viscosidad dinámica (μ) es constante y el fluido se conoce como fluido newtoniano según lo muestra la figura 1. Cualquier otro comportamiento de la viscosidad, caracterizará un fluido no newtoniano.

2.6.1.2. Viscosidad cinemática (ν).

La viscosidad cinemática está relacionada con la densidad del fluido. Es decir, hace referencia a la oposición del fluido a dejarse cortar por la fuerza de la gravedad, lo que se obtiene con el cociente entre la viscosidad absoluta y la densidad del líquido, es decir entre más denso el líquido, tiene menor viscosidad cinemática.

2.6.2. Efecto de la viscosidad.

El flujo puede ser laminar, turbulento o transicional según el efecto de la viscosidad en relación con la inercia. El flujo es laminar, si las fuerzas viscosas son muy fuertes en relación con las de inercia, de forma que la viscosidad juega un importante papel en la determinación del flujo. En el flujo laminar, las partículas de agua se mueven en trayectorias suaves (o líneas de corriente) bien definidas, de forma que las capas de espesor infinitesimal parecen deslizarse sobre las capas adyacentes. El flujo turbulento se produce cuando las fuerzas viscosas son débiles respecto a las fuerzas inerciales. Las partículas de agua se mueven en trayectorias irregulares, que no son suaves ni fijas, pero en su conjunto todavía representan el movimiento hacia delante de toda la corriente. Entre los estados de flujo laminar y turbulento existe un estado mixto o transicional.

2.6.3. Capa límite.

2.6.3.1. Flujos en capa límite e interno.

En 1904, Prandtl sugirió dividir el movimiento fluido en 2 regiones: una región delgada cercana al objeto en donde los efectos de rozamiento son importantes y otra en donde estos efectos pueden despreciarse. Aquí se desarrollará principalmente la región en donde es importante la fricción (capa límite).

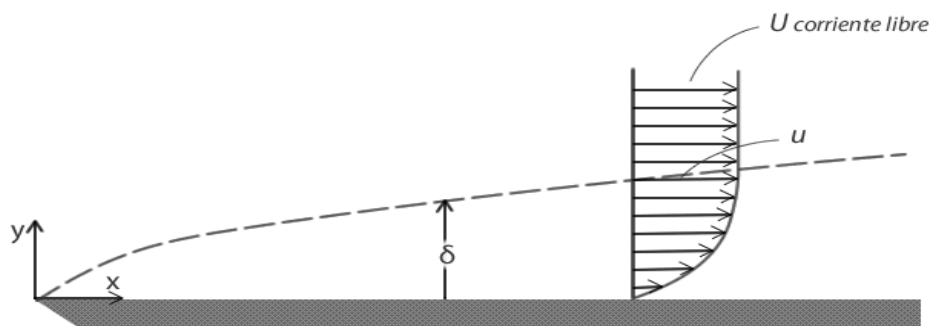


Figura 2. Distribución de Velocidad en la Capa Límite.

No existe una línea divisoria entre la región de flujo potencial (en donde la fricción es despreciable) y la capa límite, pero se acostumbra a definir la capa límite como la región donde la velocidad del fluido (paralela a la superficie) es menor al 1% respecto de la velocidad de corriente libre. El espesor de la capa límite (δ) crece desde el borde de ataque a lo largo de la superficie (sobre la cual se mueve el fluido). En el borde de ataque de una placa plana, el espesor es cero, pero en el frente de un cuerpo sin punta hay un espesor finito aún en el punto de estancamiento. El borde de ataque es el inicio de la superficie, es decir, la primera zona de contacto entre el fluido y la superficie plana. Inicialmente, el flujo en el interior de la capa límite es laminar, pero como la capa crece a lo largo de la superficie, aparece una región de transición y el flujo en la capa límite puede hacerse turbulento si la superficie es suficientemente larga. La secuencia laminar-transición-turbulencia se presenta en todos los flujos si la superficie es suficientemente larga, independientemente de si la corriente libre es laminar o turbulenta; pero a medida que el grado de turbulencia de la corriente libre se incrementa, la transición de flujo laminar a turbulento en la capa límite ocurre más pronto, es decir, más cerca al borde de ataque. La secuencia laminar-transición-turbulencia se muestra en la siguiente figura:

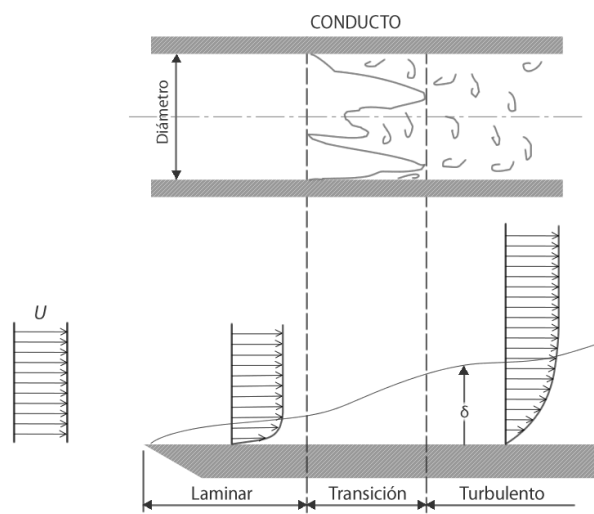


Figura 3. Flujo en la Capa Límite sobre una Placa Plana.

En flujos donde la presión varia a lo largo de la superficie (como el flujo sobre una superficie curva), la variación de presión normal a la superficie es despreciable dentro de la capa límite. Se supone entonces que la distribución de presión en la capa límite está impuesta solamente por el gradiente de presión del flujo potencial en la corriente libre ubicada fuera de la capa límite.

La forma del perfil de velocidad y la tasa de incremento del espesor de la capa límite dependen del gradiente de presión dp/dx ; si la presión crece en la dirección del flujo, el espesor de la capa límite crece rápidamente y los perfiles de velocidad serán como en la figura siguiente. Si este gradiente de presión adverso es suficientemente grande, entonces ocurrirá la separación del flujo seguida de una región de flujo invertido (el punto de separación es aquel en donde $\partial u/\partial y|_{y=0} = 0$). Si la presión disminuye en la dirección del flujo, el espesor de la capa límite se incrementa gradualmente. En la figura, u es la velocidad paralela a la pared (en la dirección x) y y es la coordenada normal a la pared.

Perfiles de velocidades para flujo sobre una placa plana donde $\delta p/\delta x > 0$

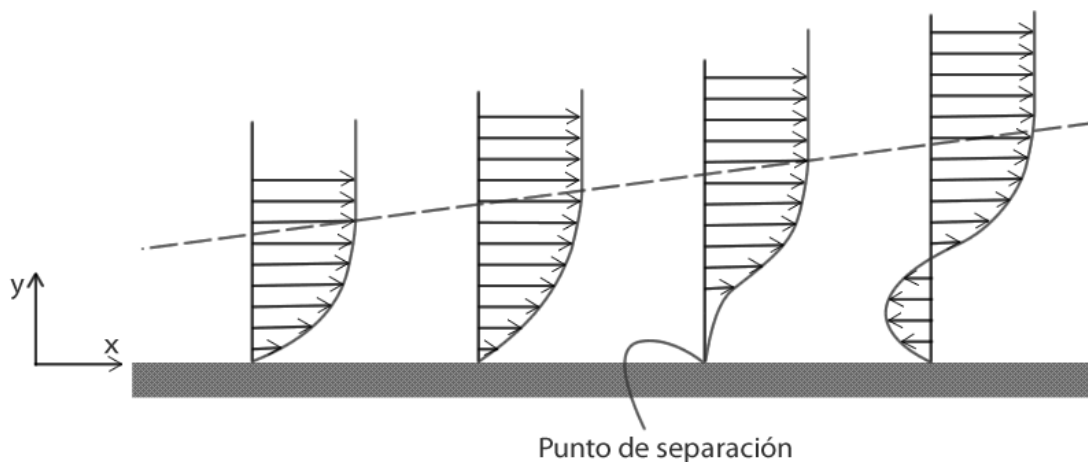


Figura 4. Punto de separación del Perfil de Velocidades.

Los ejes de referencia están ubicados sobre un punto del flujo, en el sentido de continuum, por esta razón, es la superficie la que se "mueve", produciéndose así el punto de separación.

2.6.4. Régimen de flujo.

Como parte de la dinámica de un fluido dentro de una tubería se puede observar que cuando los fluidos poseen viscosidad, existe un rozamiento interior que origina tensiones tangenciales entre las capas del fluido. Este fenómeno origina que los fluidos bajo determinadas condiciones, pueden estar en régimen laminar, transitorio o turbulento.

2.6.4.1. Número de Reynolds.

Osborne Reynolds (1842-1912) distingue esta diferencia de regímenes de flujo mediante la experimentación. Con la intención de cuantificar el nivel de turbulencia propuso un número adimensional que ahora se conoce como el número de Reynolds y se define como el ratio entre las fuerzas inerciales y las fuerzas viscosas de un flujo de fluido. El número Reynolds, ver ecuación 1.2, depende la densidad y viscosidad dinámica del fluido, una longitud característica, que en el caso de tuberías circulares es el diámetro interno y la velocidad media del flujo.

$$R_e = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu}, \quad \nu = \mu / \rho \quad \text{entonces:} \quad R_e = \frac{V \cdot D}{\nu} \quad \text{Ecuación (2)}$$

Donde:

ρ : Densidad de fluido (kg/m³)

V : Velocidad media del flujo (m/s)

D : Diámetro interno de la tubería (m)

μ : Viscosidad dinámica del fluido (Pa.s)

ν : Viscosidad cinemática del fluido (m²/s)

$R_e < 2000$ Flujo Laminar

$2000 < R_e < 4000$ Flujo Crítico

$4000 < R_e$ Flujo Turbulento

Fuente: Robert Mott. Mecánica de Fluidos

2.6.4.2. Flujo laminar.

Los fluidos laminares tienen un comportamiento uniforme, el flujo se desplaza en láminas paralelas que no se mezclan entre sí y cada partícula de fluido sigue una trayectoria ordenada, de modo que la velocidad en un punto de volumen es constante en el tiempo, la velocidad en un fluido laminar tiene un solo componente \hat{t} . (Munson, 2009).

2.6.4.3. Flujo transitorio.

Este régimen es el más común en las aplicaciones de ingeniería; sin embargo, no es fácil de definir, dado que el fluido pasa de un régimen ordenado a otro totalmente caótico. Por tanto, es un tema de investigación de gran importancia en función de mejorar la precisión de las ecuaciones que lo gobiernan.

2.6.4.4. Flujo turbulento.

En contraste, los fluidos turbulentos se caracterizan porque las partículas viajan de manera caótica, debido a que las capas de fluido se cruzan, sin conservar su individualidad. De esta forma, la velocidad en un punto del volumen de fluido a lo largo del tiempo es variable y la velocidad para un diferencial de volumen se va a descomponer en tres direcciones.

2.6.4.5. Perfil de velocidad.

La magnitud de la velocidad de un fluido no es constante dentro de una sección transversal al flujo, sino que toma patrones según el régimen de flujo como se ve en la figura 5. Para cualquier régimen, la velocidad máxima se encuentra en el eje del ducto y va descendiendo

hasta volverse cero cuando encuentra la capa límite en las paredes del mismo. El nivel de turbulencia que tiene el fluido genera una transferencia de momento entre las moléculas de fluido que resulta en una distribución más uniforme para el régimen laminar y más caótica para el régimen turbulento, dado que en el régimen laminar las capas de fluido no se mezclan, el perfil de velocidad se hace parabólico, mientras que en el régimen turbulento la interacción entre capas producen un perfil con menos gradiente de velocidad.

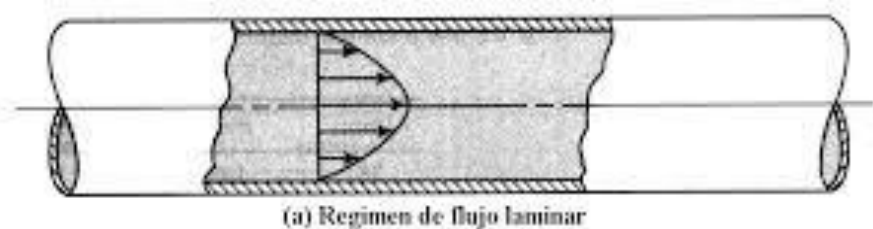


Figura 5. Régimen De Flujo Laminar.

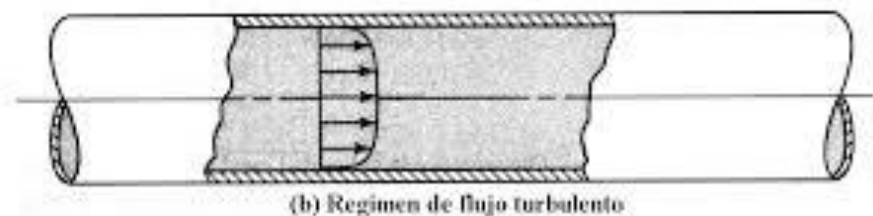


Figura 6. Régimen De Flujo Turbulento.

2.6.5. Factor de fricción (“f”).

También conocido como factor de Darcy, este factor depende del régimen de flujo. Se puede definir en función de la pérdida de presión, sin embargo, cuando lo que se precisa es determinar la pérdida de presión, el factor de fricción se define en función de su nivel de turbulencia o rugosidad hidráulica (ver Figura 7,8 y 9): régimen de turbulencia laminar,

condición rugosa hidráulicamente lisa, condición rugosa en transición y nivel de turbulencia totalmente turbulento, equivalente a la condición completamente rugosa.

$$f_{\text{exp}} = \frac{2 \cdot \Delta P \cdot D}{\rho \cdot V^2 \cdot L} \quad \text{Ecuación (3)}$$

2.6.6. Ecuaciones para determinar el factor de fricción (“f”).

Para determinar el factor de fricción “f” para el análisis comparativo con el desarrollado en la experimentación se utilizará las ecuaciones de Colebrook-White, Streeter y Haaland. Estas Ecuaciones se muestran a continuación.

2.6.6.1 Ecuación de Colebrook – White.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad \begin{array}{l} 0.01 \leq \frac{\varepsilon}{D} \leq 10^{-6} \\ 5000 \leq Re \leq 10^8 \end{array} \quad \text{Ecuación (4)}$$

2.6.6.2 Ecuación V. Streeter.

$$f = 1.325 \left[\ln \left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^{-2} \quad \begin{array}{l} 10^{-6} \leq \frac{\varepsilon}{D} \leq 0.01 \\ 5000 \leq Re \leq 10^8 \end{array} \quad \text{Ecuación (5)}$$

2.6.6.3. Ecuación Haaland.

$$f = \frac{1}{\left\{ -1.8 \log \left[\left(\frac{\varepsilon}{3.7D} \right)^{1.11} + \frac{6.9}{Re} \right] \right\}^2} \quad \begin{array}{l} 0.01 \leq \frac{\varepsilon}{D} \leq 10^{-6} \\ 5000 \leq Re \leq 10^8 \end{array} \quad \text{Ecuación (6)}$$

2.6.7. Comportamiento hidrodinámico de las tuberías.

2.6.7.1. Régimen laminar.

La rugosidad de la tubería tiene muy poca influencia en la pérdida de carga porque los fluidos en el área de la capa límite poseen velocidades de flujo muy reducidas o en algunos casos no se mueven. El valor de $f = 64/Re$, independiente de la rugosidad relativa.

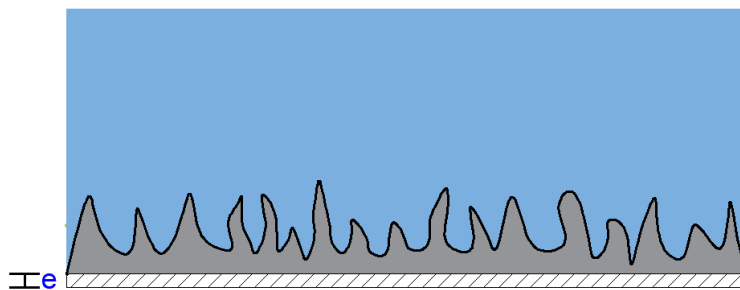


Figura 7. Poca Influencia De La Rugosidad.

2.6.7.2. Régimen turbulento.

Flujo hidráulicamente liso (tubería hidráulicamente lisa).

La rugosidad (K) queda cubierta por la subcapa laminar (δ). La rugosidad, por tanto, no influye en el valor de “ f ” puesto que ningún punto de la pared queda afectado por las turbulencias que producirían las rugosidades internas, comportándose la tubería como un material liso.

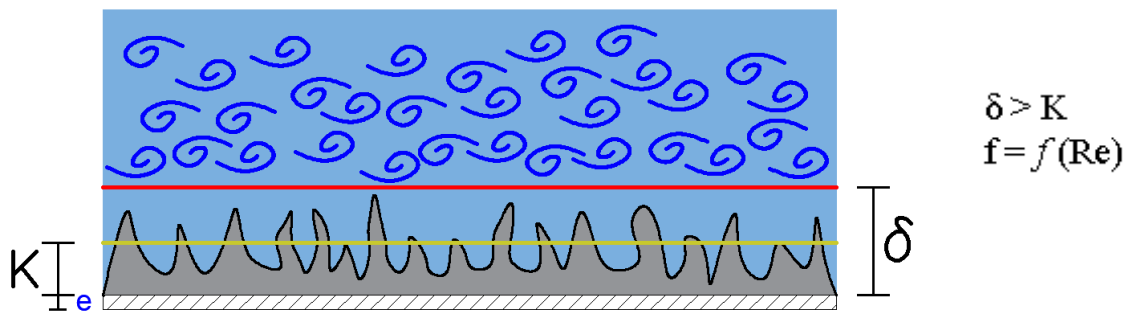


Figura 8. Flujo En Tubería Hidráulicamente Liso.

Flujo hidráulicamente semi rugoso o zona de transición.

El espesor de la subcapa laminar (δ) se aproxima al valor medio de rugosidad absoluta (K), de manera que la rugosidad emerge de la subcapa laminar en unos puntos y en otros no, quedando sólo las rugosidades que emergen afectadas por la turbulencia. Es el caso más frecuente, y aquí el coeficiente de fricción “ f ” depende tanto del número de Reynolds como de la rugosidad relativa.

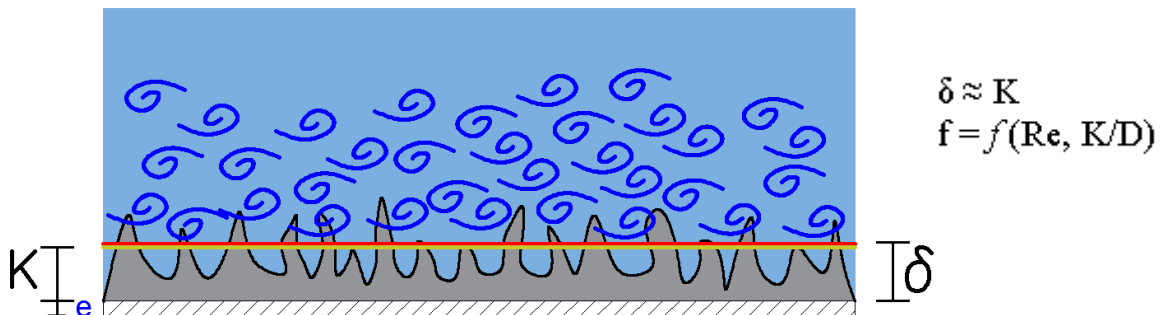


Figura 9. Flujo en Tubería Hidráulicamente Semirrugosa.

Flujo hidráulicamente rugoso (tubería hidráulicamente rugosa).

Si el espesor de la subcapa laminar (δ) es menor que la rugosidad absoluta (K), las irregularidades internas de la conducción rebasan la subcapa laminar, produciendo turbulencia completa. Cuanto mayor sea el número de Reynolds, más delgada será la subcapa laminar y más puntos de la pared sobresaldrán de ella. En este caso, las fuerzas de inercia son muy importantes y apenas influyen las fuerzas viscosas, por lo que el factor de fricción “ f ” sólo depende de la rugosidad relativa y el número de Reynolds no tiene importancia en su determinación.

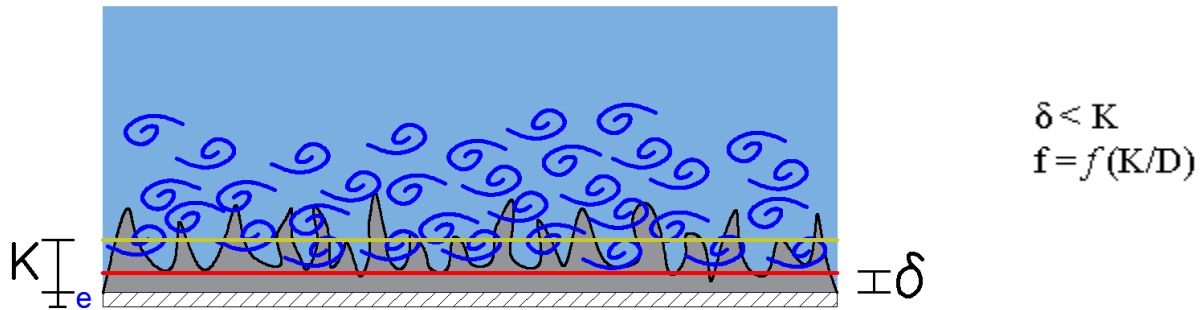


Figura 10. Flujo En Tubería Hidráulicamente Rugoso.

Cuantitativamente:

$$\frac{K}{\delta} < 0.40 \quad ; \text{Flujo Hidráulicamente Liso.}$$

$$0.10 \leq \frac{K}{\delta} \leq 6.0 \quad ; \text{Flujo Hidráulicamente semirrugoso} \\ \text{o zona de transición.}$$

$$\frac{K}{\delta} > 6.0 \quad ; \text{Flujo Hidráulicamente Rugoso.}$$

2.6.8. El diagrama de Moody.

El factor de fricción de flujo en tubería turbulento totalmente desarrollado depende del número de Reynolds y la rugosidad relativa e/D , que es la razón de la altura media de rugosidad de la tubería al diámetro de la tubería. La forma funcional de esta situación no se puede obtener a partir de un análisis teórico, y todos los resultados disponibles se obtienen a partir de experimentos cuidadosos que usan superficies que se hacen rugosas de manera artificial (usualmente cuando se pegan granos de arena de tamaño conocido sobre las superficies interiores de las tuberías). La mayoría de estos experimentos los realizó en 1933 J. Nikuradse, estudiante de Prandtl, a los que siguieron trabajos de otros. El factor de fricción se calculó a partir de las mediciones de la razón de flujo y la caída de presión. Los resultados experimentales se presentan en formas tabular, gráfica y funcional obtenidos de datos experimentales de ajuste de curvas. En 1939, Cyril F. Colebrook (1910-1997) combinó los datos disponibles para flujo

en transición y turbulento en tuberías lisas y rugosas en la siguiente relación implícita conocida como ecuación de Colebrook:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log \left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right) \quad \text{Ecuación (1)}$$

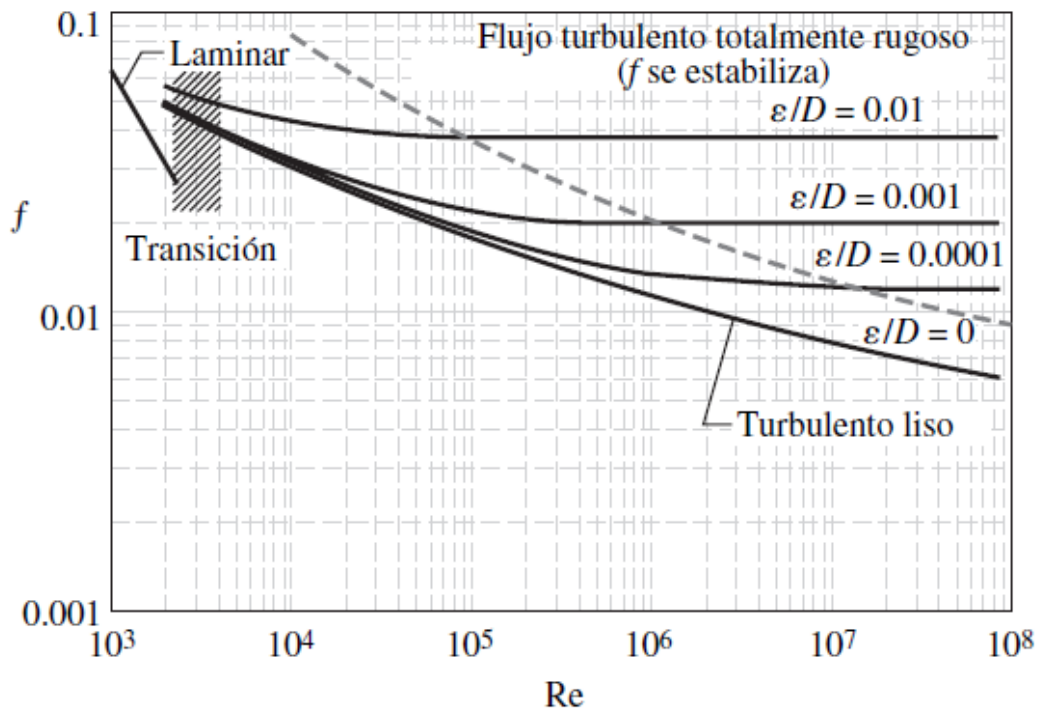


Figura 11. Factor de fricción en función del nivel de turbulencia y condición rugosa.

A números de Reynolds muy grandes, las curvas del factor de fricción en el diagrama de Moody son casi horizontales, y por lo tanto los factores de fricción son independientes del número de Reynolds.

2.6.9. Tipos de energía en los fluidos.

En hidráulica la energía se expresa como veremos en seguida en unidad de longitud, es decir en metros.

La ecuación de Bernoulli explica la ley de conservación de la energía trasladada al flujo de fluidos en una tubería: si no hay rozamiento, las partículas se desplazan a lo largo de la tubería sin pérdida de energía, indefinidamente.

La energía total en un punto cualquiera del fluido tiene tres componentes y es igual a la suma de tres energías:

2.6.9.1. La energía potencial.

Debida a la altura sobre el plano de referencia y cuyo valor es:

$$E_h = m \cdot g \cdot Z \quad \text{Ecuación (7)}$$

donde m es la masa, g la aceleración de la gravedad y Z la cota o altura

geométrica.

2.6.9.2. La energía debida a la presión del líquido.

$$E_p = p \cdot m \cdot g \quad \text{Ecuación (8)}$$

donde p es la presión ejercida por el líquido.

2.6.9.3. La energía cinética.

Debido a la velocidad del fluido.

$$E_c = m \cdot \frac{v^2}{2} \quad \text{Ecuación (9)}$$

Por tanto, la energía total en un punto cualquiera de la corriente sería suma de estas tres energías: la potencial, la energía de presión y la cinética.

$$E_t = E_h + E_p + E_c \quad \text{Ecuación (10)}$$

Dijimos que en hidráulica la energía se expresaba en unidades de longitud, es decir, en metros. Por tanto, los tres componentes de la ecuación de Bernoulli son tres tipos de

energía que en denominación hidráulica se refieren a tres tipos de alturas, que son las siguientes:

2.6.9.4. La altura geométrica Z o cota.

Debida a la posición que ocupa el líquido sobre el plano de referencia, en metros.

2.6.9.5. La altura debida a la presión “ p ”.

Representa la altura de una columna de líquido capaz de originar por su peso una presión p en metros de columna de agua.

2.6.9.6. La altura cinética debida a la velocidad.

Que, transformada, quedaría como $v^2/2g$, y que representa una altura h desde la cual el fluido en caída libre alcanzaría una velocidad v . Se visualiza en el siguiente esquema:

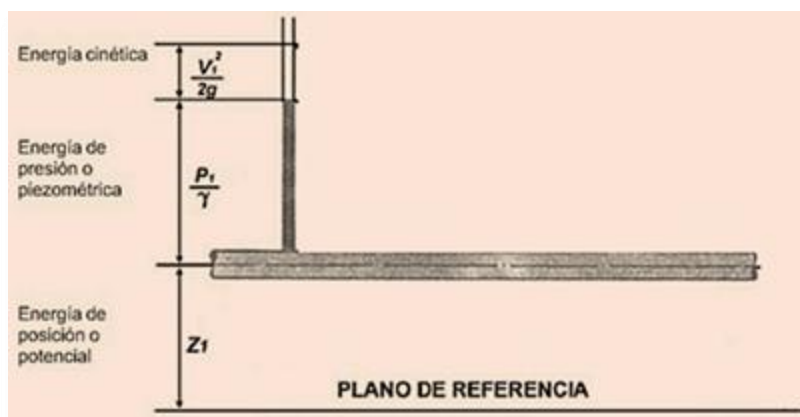


Figura 12. Representación de los tres tipos de energía de un fluido a presión.

En la figura 11 se representan los tipos de energía cuando el agua circula por el interior de la tubería a una determinada presión. Si instalásemos un tubo transparente en un punto de la tubería como se muestra en la figura citada, el agua alcanzaría una determinada altura. Esta altura es la energía de presión proporcionada por el equipo de bombeo y se mantendría constante mientras no cambiasen las condiciones. Si se detuviese repentinamente la

corriente tras rebasar el tubo transparente, la energía del agua debida a la velocidad haría que la columna ascendiera, alcanzando el límite superior del tubo.

Según la ley de conservación de la energía si medimos la energía total entre dos secciones muy próximas de una tubería por la que circula un fluido tendríamos que:

$$E_1 = E_2$$

$$E_{h1} + E_{p1} + E_{c1} = E_{h2} + E_{p2} + E_{c2} \quad \text{Ecuación (11)}$$

Sustituyendo:

$$(m \cdot g \cdot Z_1) + (p_1 \cdot m \cdot g) + (m \cdot v_1^2 / 2) = (m \cdot g \cdot Z_2) + (p_2 \cdot m \cdot g) + (m \cdot v_2^2 / 2)$$

Y dividiendo por $m \cdot g$ quedaría finalmente:

$$Z_1 + p_1 + (v_1^2 / 2g) = Z_2 + p_2 + (v_2^2 / 2g) = \text{constante}$$

La ecuación de Bernoulli nos indica que a lo largo de un flujo los tres términos pueden experimentar modificaciones por intercambio de unos valores con otros, pero siempre debe mantenerse la suma total.

Esta ecuación es sólo válida para dos puntos muy próximos. Como veremos a continuación, en toda transformación energética existe una degradación, que, en el caso que nos ocupa, la origina el rozamiento de la corriente de agua contra las paredes internas del tubo y que modifica por tanto la igualdad.

2.6.10 Línea piezométrica y línea de energía.

Las partículas de agua en el interior de una tubería se mueven en trayectorias denominadas líneas de corriente. Según vimos en el apartado anterior, en relación con cada punto de una línea de corriente se pueden definir las siguientes cargas o energías específicas:

2.6.10.1. Carga piezométrica-estática (E_p).

Agrupamos a la energía de posición Z más la energía de presión p que transmite al agua un equipo de bombeo:

$$E_p = Z + p \quad \text{Ecuación (12)}$$

2.6.10.2 Carga cinética-dinámica (E_c).

Debida a la energía cinética o velocidad del fluido y cuya expresión es:

$$E_c = \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad \text{Ecuación (13)}$$

2.6.10.3. La carga total (E_t).

Será entonces la suma de ambas cargas, la estática más la dinámica:

$$E_t = E_p + E_c = Z + p + \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad \text{Ecuación (14)}$$

Fijémonos ahora en el siguiente esquema que representa un tramo de tubería que transporta agua a presión. Se han señalado dos secciones para visualizar en cada una de ellas cómo varía la energía total del fluido.

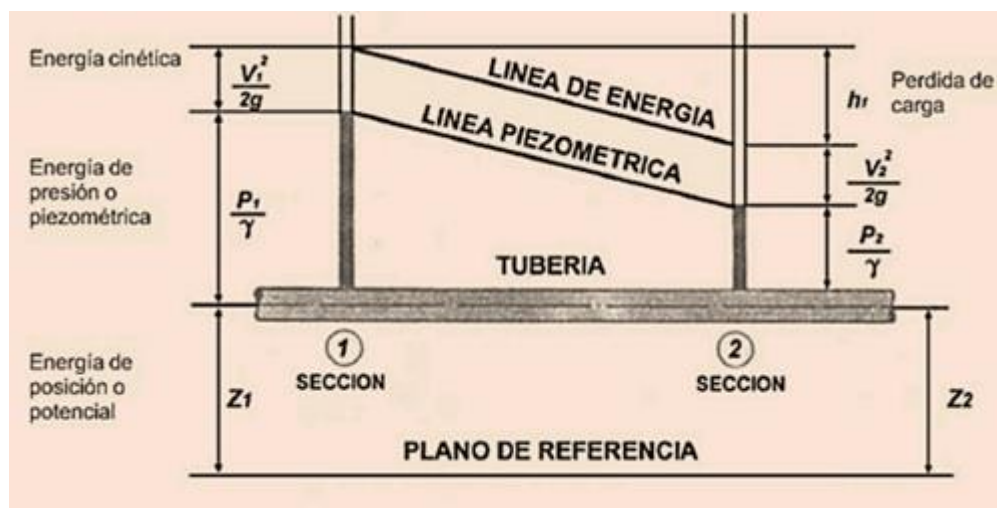


Figura 13. Representación de las Líneas de Energía y Línea Piezométrica.

CAPITULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y Nivel de investigación

3.1.1. Tipo de investigación.

El tipo de investigación al que pertenece es:

Experimental; porque utilizaremos experimentos y los principios encontrados en el método científico. Los experimentos serán llevados a cabo en el laboratorio de Mecánica de Fluidos. Los experimentos son más efectivos para la investigación explicativa y frecuentemente están limitados a temas en los cuales el investigador puede manipular la situación en la cual las personas se hallan.

3.1.2. Nivel de investigación.

El nivel de investigación es:

Descriptivo; Descriptivo, porque se va observar y describir el comportamiento de la variable dependiente el coeficiente de fricción “ f ”.

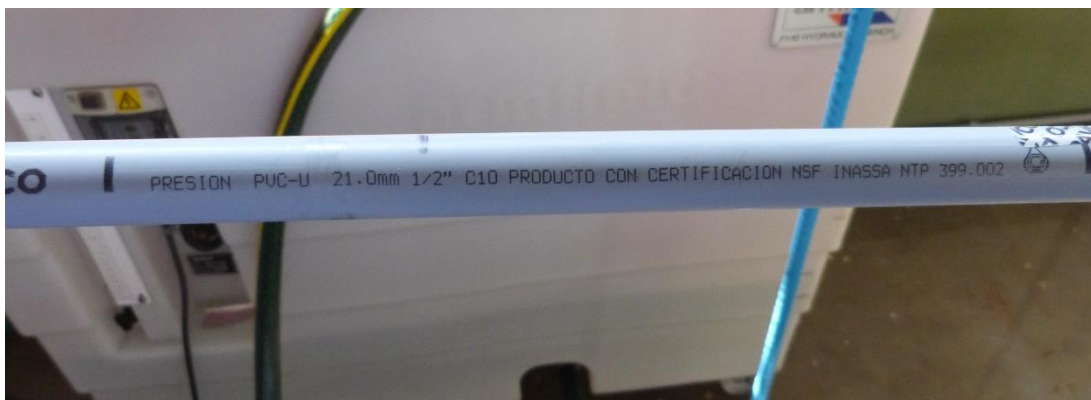
3.2. Introducción

En el presente capítulo se detallará de qué manera se obtiene el factor de fricción de la fórmula de Darcy Weisbach para las tuberías de PVC-U para los diámetros de 1/2", 3/4" y 1". Se justificarán los parámetros de ensayo como el diámetro, longitud y material de las tuberías, como las condiciones del flujo. Así también, se mostrará el diseño del banco de ensayos, instalaciones e instrumentación requerida propios del laboratorio de mecánica de fluidos como el banco hidráulico F1-10 y otros acondicionados como los sensores de flujo y de presión.

3.3. Parámetros de ensayo

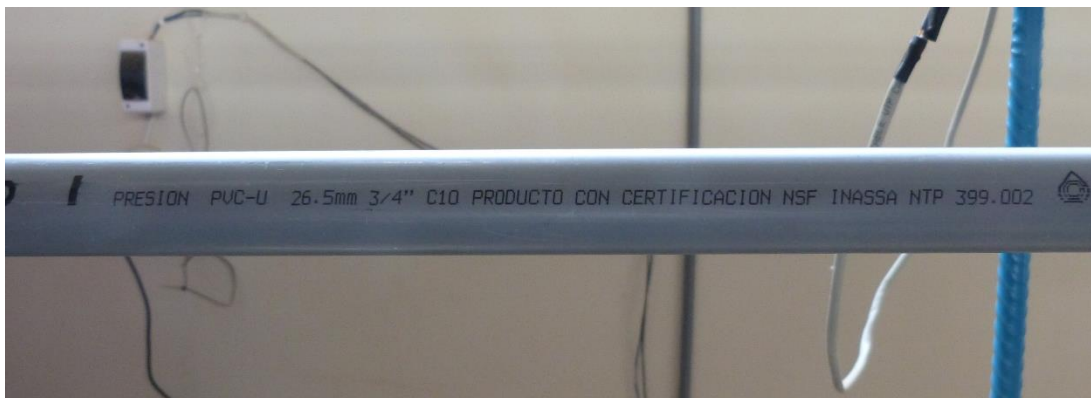
3.3.1. Diámetro y material de las tuberías.

Para esta investigación se ha utilizado Tuberías de PVC-U que cumplen con la NSF INASSA NTP (Norma Técnica Peruana) 399.002:2015 de diámetros nominales de 1/2", 3/4" y 1", son diámetros comerciales este fue el criterio para la selección del diámetro de las tuberías. Sin embargo, no es una limitante para que los resultados producto de los ensayos, sean válidos para otros diámetros, ya que se considera la rugosidad relativa como un parámetro de estandarización. Los materiales a ensayar deberían ser también de uso frecuente, por tanto, se pensó en los más comerciales, PVC-U.



Fotografía 1. Información Técnica de la Tubería PVC-U de 1/2".

Fuente: Propia.



Fotografía 2. Información Técnica de la Tubería PVC-U de 3/4".

Fuente: Propia.



Fotografía 3. Información Técnica de la Tubería PVC-U de 1".

Fuente: Propia.

3.3.2. Fluido de prueba.

Dado que el estudio se enfoca en la pérdida de carga, para la selección del fluido, se consideró que el flujo debía encontrarse en un régimen de flujo turbulento, es decir que el número de Reynolds sea mayor a 4000. Las condiciones de flujo para lograr dicho régimen deberían ser posibles en un sistema que se pueda implementar en el laboratorio, además de asegurar que los parámetros de ensayo sean medibles. El fluido utilizado es del sistema de la red de distribución de Pillcomarca, que se deriva de la Planta de tratamiento de Cabrito Pampa, con una temperatura en el rango de 18°C a 20 °C.

La intensidad del caudal y la presión que se necesita para el proceso son de cantidades relativamente pequeñas, que se podría obtener de un sistema de bombeo, este caudal y presión se consigue con el banco hidráulico F1-10 del Laboratorio de Mecánica de Fluidos.

3.3.3. Longitud de la tubería de prueba

La longitud de la tubería de prueba es de 2.00 metros, en esta longitud se puede apreciar una pérdida de carga donde se puede realizar cálculos que nos permitan determinar el coeficiente de fricción, el rango de la presión esta entre los 14 psi y 22 psi, se considera tubos de diámetros comerciales de PVC-U de 1/2", 3/4" y 1", estos tubos son fabricados con una

longitud 5 ml, lo cual para adaptarlo al banco de pruebas se corta a 3.00 ml, donde 0.5 ml, se considera para la entrada y 0.5 ml. para la salida y los 2.00 ml se queda al medio para realizar las pruebas para determinar el coeficiente de fricción, para la rugosidad se asumirá un valor estándar de las bibliografías de 0.0015 mm. Este valor se considera para material de PVC liso.

3.4 Banco de ensayos.

Con los parámetros de ensayo definidos comenzamos a seleccionar los accesorios y acondicionar las instalaciones que requiere el banco de ensayo. Se debe tener como premisa que se requiere una pérdida de carga para determinar el coeficiente de fricción, para lo cual se realiza una verificación de potencia del banco hidráulico del laboratorio de mecánica de fluidos el cual produce una presión máxima de 23 PSI con los accesorios instalados el cual se pasa a describir.

3.4.1. Instalación.

Para la instalación del banco del ensayos se ha utilizado equipos e instrumentos de medición del laboratorio de mecánica de fluidos como el banco hidráulico Armfield F1-10 y una válvula tipo mariposa extra para controlar el flujo y presión, a este banco hidráulico se le adapta un sistema de tuberías para la salida y el regreso del flujo al tanque del banco hidráulico F1-10, se le acondiciona un marco de acero de 5/8" que sirve como soporte del adaptador de tuberías de PVC-U de los tres diámetros comerciales de 1/2", 3/4" y 1", para el adaptador de tubería se utiliza uniones y adaptadores que se puedan observar en el esquema 01(ver anexo 1) , y para la lectura de datos se instala un sensor de presión, sensor de temperatura y un sensor de flujo que son conectados a una tarjeta Arduino para la lectura de los datos, y la visualización de datos se muestran en la pantalla digital, para poder observar la lectura en tiempo real, la tarjeta Arduino se conecta a 01 laptop para poder extraer los datos y procesarlos con las formulas bibliográficas con las que se va a realizar el análisis comparativo de la pérdida de fricción. A

continuación, se describe el banco hidráulico F1-10, la línea de prueba y la regulación del caudal.

A. Banco hidráulico F1-10.

Se procederá a describir el banco de ensayo con sus respectivas características, este banco permite regular la presión y el flujo de ensayo. El banco hidráulico está construido de plásticos ligeros resistentes a la corrosión y está montado sobre ruedas para su movilidad. La medición volumétrica es integral y se ha elegido con preferencia sobre otros métodos de medición de flujo, debido a la facilidad de uso, precisión y seguridad. El tanque de medición volumétrica ha avanzado para dar cabida a las tasas de flujo bajo o alto. Un deflector de amortiguación reduce las turbulencias y un tubo de visualización remota con escala da una indicación instantánea del nivel del agua dentro del tanque volumétrico. Una válvula de vaciado en la base del tanque volumétrico es operada por un accionador remoto en la parte superior. Levantando el accionador se abre la válvula de vaciado permitiendo que el volumen de agua medido regrese al colector en la base del banco para luego ser recirculado. Cuando es levantado, una vuelta de tuerca de 90° al accionar mantendrá la válvula de vaciado en posición abierta. El rebose en la parte del tanque volumétrico permite que el agua retorne directamente al colector de prevención debido a un sobrellenado si la válvula de vaciado permanece cerrada. El agua se extrae del depósito mediante una bomba centrífuga autocebante que se monta en un hueco debajo del tanque colector. Un panel montado en la válvula de control regula el flujo de la bomba a una tubería de conexión rápida liberando el flujo en el piso del canal moldeado en la parte superior del banco. El tubo flexible de suministro con los accesorios simplemente está conectado a la válvula para un cierre rápido. Las herramientas de mano son necesarias para cualquiera de estas operaciones, permitiendo el intercambio rápido de accesorios. Una válvula de drenaje

incorporada en un hueco en la parte frontal del tanque recolector, facilita su descarga. Esta válvula es usada para la conexión de accesorios. El suministro eléctrico de la bomba del motor se realiza mediante un interruptor y un dispositivo de corriente residual conocido como diferencial montada en un espacio en la parte frontal del banco. Este último ofrece una mayor protección al operador contra descargas eléctricas.



Fotografía 4. Banco Hidráulico Modelo F1-10 – ARMFIELD.

Fuente: Propia.

B. Línea de pruebas.

Se inicia con la medición de la temperatura y presión del fluido de trabajo luego de la regulación de presión en las tuberías de prueba. Luego, el fluido ingresa por la tubería de PVC-U de diámetro variable entre 1/2", 3/4" y 1" estas tuberías son conectadas mediante dos uniones universales para poder cambiarlas. Se inicia con la prueba, y se empieza obtener los datos de los sensores de temperatura y de presión en la pantalla digital, y a la salida se toma los datos del caudal de la prueba.

C. Regulación de caudal.

La regulación se va a realizar con una válvula tipo mariposa de 1" de diámetro, se va a utilizar una válvula externa al del banco de pruebas, esta regulación se realizará mediante giros a la válvula controlando presiones en la línea de prueba. Se puede ver la instalación de línea de pruebas completa, banco hidráulico, la válvula de regulación de presión, la línea de pruebas, pasando por la instalación de instrumentación, ver el Anexo 1 el esquema del banco de ensayos.



Fotografía 5. Banco de Ensayos para Determinar el Coeficiente de Fricción (f).
Fuente: Propia.

CAPÍTULO IV

4. PROCESAMIENTO DE DATOS

4.1. Introducción

En el siguiente capítulo se realizará el procesamiento de los datos obtenidos durante la experimentación, presentada como valores medios con su respectiva incertidumbre. Se expondrán los cálculos realizados para determinar el factor de fricción para tuberías de PVC-U. Se evaluará el comportamiento del factor de fricción de acuerdo a los resultados obtenidos experimentalmente y los obtenidos de acuerdo a fórmulas propuestas por diferentes bibliografías.

4.2. Datos obtenidos

Se presentan los datos de presión, datos de caudales y temperatura del fluido en la línea de prueba, la presión manométrica del fluido se toma en dos puntos de medición, la temperatura es la del fluido que se encuentra dentro del banco de pruebas y la pérdida de presión en la línea pruebas. Todas estas medidas son tomadas dentro de las tuberías de PVC-U de los diámetros 1/2", 3/4" y 1". Cada dato mostrado corresponde a la media de un determinado número de muestras medidas en un lapso de tiempo considerable para la estabilización de los valores. A cada media le corresponde también un error o incertidumbre correspondiente a la medición, en función al error aleatorio y al error sistemático, descrito por la ecuación:

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_{AL}^2 + \varepsilon_{Sis}^2}$$

Ecuación (15)

ε : Error total de la medición.

ε_{AL} : Error Aleatorio.

ε_{Sis} : Error Sistemático.

El error aleatorio está en función de la desviación estándar (σ) y el número de muestras evaluadas en el lapso de tiempo.

$$\varepsilon_{AI} = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \quad \text{Ecuación (16)}$$

ε_{AI} : Error Aleatorio.
 σ : Error Sistemático.
 N : Numero de Dato.

El error sistemático (ε_{sis}) depende del instrumento, su determinación es particular para cada parámetro. Los detalles de la instrumentación utilizada para cada parámetro se pueden observar en las especificaciones técnicas de los instrumentos.

4.2.1. Temperatura.

Los datos de la temperatura son tomados durante todo el proceso, para cada giro de válvula se considera una toma de datos una vez estabilizado el sistema, para lo cual se obtienen los siguientes valores. Usando la Ec. 2.1, de acuerdo las características del sensor de la temperatura para determinar el error sistemático tenemos.

$$\varepsilon_{Sis} = \frac{\text{error}}{100} \times (\text{C.I}) \quad \text{Error Sensor: } \pm 0.4 \% \text{ F.S} \quad \text{Ecuación (17)}$$

$$\varepsilon_{Sis} = \frac{0.4}{100} \times (125) = 0.5^\circ \quad \text{C.I: Capacidad del Instrumento.}$$

Por lo tanto, utilizando estas ecuaciones obtenemos los errores de la temperatura en cada giro de la válvula, con sus respectivas medias, a continuación, el cuadro de temperatura para la prueba de cada uno de las tuberías de 1/2", 3/4" y 1".

4.2.2. Presión.

Los datos de la presión se obtienen en la línea de prueba, se instalan los sensores en el punto de entrada y la salida, se extraen los datos, para cada giro de la válvula, se considera la toma de datos una vez estabilizado el sistema se recomienda tres minutos para que este

estabilizado, para lo cual se obtienen los valores de presiones. Usando la Ec. 2.2, se está utilizando sensores de 0.5 MPa. este instrumento funciona con el programa Arduino, que mediante una programación propio del modelo del sensor empieza a tomar datos y los almacena en una hoja excel, en las especificaciones técnicas nos indica el valor máximo y mínimo con lo que trabaja el sensor, también nos da un alcanza de las características para determinar el error sistemático tenemos.

$$\varepsilon_{\text{Sis}} = \frac{\text{error}}{100} \times (\text{C.I}) \quad ; \text{Error Sensor: } \pm 1 \% \text{ F.S} \quad \text{Ecuación (18)}$$

$$\varepsilon_{\text{Sis}} = \frac{1}{100} \times (217.56) = 2.1756 \text{ Bar} \quad \text{C.I: Capacidad del Instrumento.}$$

Por lo tanto, utilizando estas ecuaciones obtenemos los errores de las presiones en cada giro de la válvula, a continuación se procesa los datos estadísticamente, se obtiene valores máximos, mínimos, media, desviación estándar y errores totales, se obtiene el cuadro de presión de cada uno de las tuberías de 1/2", 3/4" y 1". Los datos de presión ver en el cuadro N° 20.

4.2.3. Caudal.

Los datos del caudal se obtienen del sensor de flujo, se instala el sensor a la salida de la línea de prueba, se extraen los datos para cada giro de la válvula, se considera la toma de datos una vez estabilizado el sistema se recomienda tres minutos para que este estabilizado, para lo cual se obtienen los valores de presiones. , se está utilizando un sensor de caudal de 60 L/Min de medida máxima, este instrumento funciona con el programa Arduino, que mediante una programación propio del modelo del sensor empieza a tomar datos y los almacena en una hoja excel, en las especificaciones técnicas nos indica el valor máximo y mínimo con lo que trabaja el sensor, también nos da un alcanza de las características para determinar el error sistemático tenemos.

$$\varepsilon_{\text{Sis}} = \frac{\text{error}}{100} \times (\text{C.I.}) \quad ; \text{ Error Sensor: } \pm 5\% \text{ F.S} \quad \text{Ecuación (19)}$$

$$\varepsilon_{\text{Sis}} = \frac{5}{100} \times (0.001) = 0.00005 \text{ m}^3 / \text{Seg} \quad \text{C.I: Capacidad del Instrumento.}$$

Por lo tanto, utilizando estas ecuaciones obtenemos los errores del Caudal en cada giro de la válvula, a continuación, se procesa los datos estadísticamente, se obtiene valores máximos, mínimos, media, desviación estándar y errores totales, a continuación, el cuadro de presión de cada uno de las tuberías de 1/2", 3/4" y 1". Los datos de caudal ver en el cuadro N° 20.

4.3. Variables de la experimentación

4.3.1. Determinación de variables.

Determinaremos las variables que se van a utilizar en la aplicación de las fórmulas con las que se va a trabajar experimentalmente. La gravedad (g), densidad (ρ), viscosidad dinámica (μ), viscosidad cinemática (γ), el peso específico (γ), temperatura y caudal.

4.3.1.1. Gravedad.

Consideración del valor de la Gravedad (g), este valor lo calculamos a través del sistema de información gravitacional (Gravity Information System PTB).

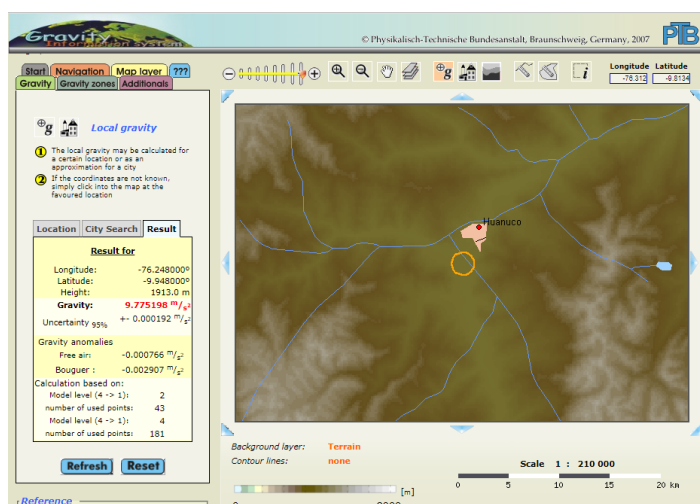


Figura 14. Captura web del sistema de información gravitacional.

Fuente: <https://www.ptb.de/cartoweb3/SISproject.php>.

Ciudad	Latitud (° ' ")	Longitud(° ' ")	Altitud (m)	Gravedad Local (m/s ²)
Huánuco	9° 56'55.21"	76° 14'55.63"	1913	9.7751

Cuadro 1. Valor de la Gravedad.

Fuente: Gravity Information System PTB.

4.3.1.2. Densidad, Viscosidad Dinámica y Viscosidad Cinemática.

Para determinar los valores de la densidad, viscosidad y viscosidad cinámica se utilizará la tabla de las propiedades físicas del agua (Tabla N° 01) en función de la temperatura, en el banco hidráulico se trabajó en el rango de 18°C a 20°C, por lo cual se considerará el promedio de temperatura por cada extracción de dato. Calculamos la temperatura mediante una interpolación de la tabla de las propiedades físicas del agua:

$$Y_x = Y_0 + \frac{X - X_0}{X_1 - X_0} (Y_1 - Y_0) \quad \text{Ecuación (20)}$$

Propiedades Físicas del Agua

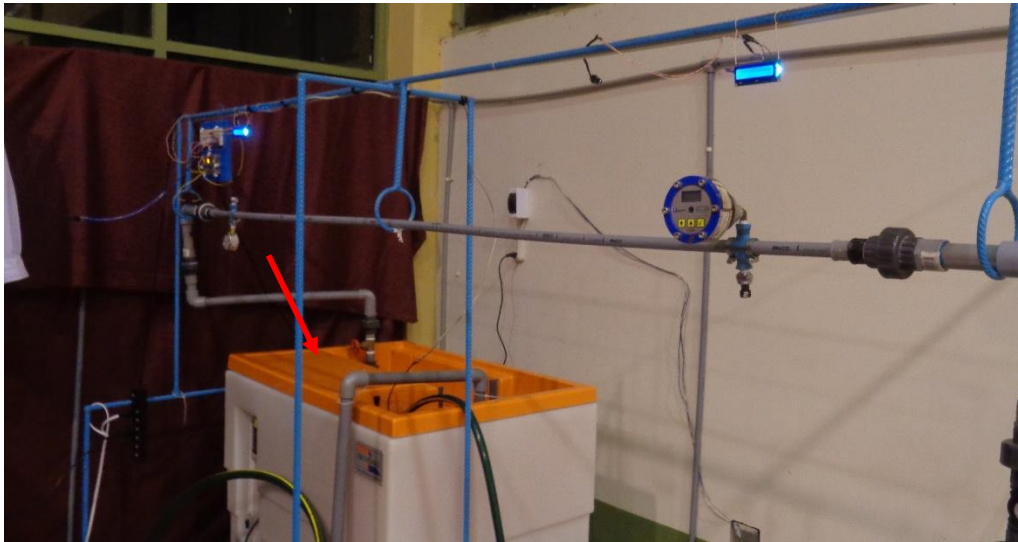
T	Densidad	Viscosidad Dinámica	Viscosidad Cinemática	Módulo de Elasticidad	Tensión Superficial	Presión Vapor
°C	kg/m ³	(N.S/m ²).10 ³	m ² /seg .10 ⁶	Pa.10 ⁷	N/m. 10 ⁻²	Pa
0	999.9	1.792	1.792	204	7.62	588
5	1000	1.519	1.519	206	7.54	882
10	999.7	1.308	1.308	211	7.48	1,176
15	999.1	1.14	1.141	214	7.41	1,666
20	998.2	1.005	1.007	220	7.36	2,447
30	995.7	0.801	0.804	223	7.18	4,297
40	992.2	0.656	0.661	227	7.01	7,400
50	988.1	0.549	0.556	230	6.82	12,220
60	983.2	0.469	0.477	228	6.68	19,600
70	977.8	0.406	0.415	225	6.5	30,700
80	971.8	0.357	0.367	221	6.3	46,400
90	965.3	0.317	0.328	216	6.12	68,200
100	958.4	0.284	0.296	207	5.94	97,500

Tabla 2. Datos para determinar la Temperatura por Interpolación.

Fuente: <https://www.studocu.com/es/u/796243>.

4.3.1.3. *Temperatura.*

Para determinar el valor de la temperatura se instala el sensor de temperatura dentro del banco de pruebas completamente sumergido.



Fotografía 6. Sensor de Temperatura Instalado en el Banco de Pruebas.

4.3.1.4. *Caudal.*

Para determinar el valor de caudal se instala el sensor a la salida de la línea de prueba, este sensor está conectado a la tarjeta del Arduino.



Fotografía 7. Sensor de Flujo instalado al final de la línea de Prueba.

4.4. Proceso para Obtener el Coeficiente de Fricción “f” en Tuberías de PVC-U de 1/2"

4.4.1. Verificación del diámetro de Tubería de PVC –U de 1/2".

Para la verificación del diámetro de la tubería interna y externa utilizamos el medidor digital vernier.



Fotografía 8. Verificación del Diámetro Externo de la Tubería PVC-U Ø 1/2".



Fotografía 9. Verificación del Diámetro Interno de la Tubería. PVC-U Ø 1/2".

4.4.2. Verificación de la lectura del sensor de caudal.

Para realizar la verificación del sensor de caudal, se realiza una lectura por cada giro de la válvula con el sensor y a la vez se realiza el procedimiento experimental con un recipiente de 3.5 litros y un cronómetro. Los resultados son los siguientes.

N°	Giro 1 l/seg	Giro 2 l/seg	Giro 3 l/seg	Giro 4 l/seg	Giro 5 l/seg
1	0.711	0.758	0.808	0.864	0.907
2	0.710	0.778	0.797	0.854	0.904
3	0.722	0.761	0.808	0.860	0.900
4	0.703	0.748	0.805	0.847	0.902
5	0.720	0.756	0.797	0.845	0.902
6	0.722	0.753	0.808	0.864	0.909
7	0.729	0.766	0.814	0.847	0.921
8	0.701	0.766	0.805	0.862	0.904
9	0.710	0.761	0.808	0.847	0.916
10	0.722	0.769	0.803	0.866	0.921
Promedio	0.714	0.761	0.806	0.855	0.907

Cuadro 2. Caudal Experimental con Recipiente de V=3.5 Litros.

Fuente. Elaboración Propia.

N°	Giro 1 l/seg	Giro 2 l/seg	Giro 3 l/seg	Giro 4 l/seg	Giro 5 l/seg
1	0.711	0.761	0.814	0.868	0.910
2	0.715	0.761	0.821	0.871	0.910
3	0.715	0.761	0.818	0.868	0.910
4	0.715	0.761	0.818	0.868	0.910
5	0.711	0.764	0.821	0.868	0.910
6	0.711	0.761	0.818	0.871	0.910
7	0.711	0.764	0.821	0.868	0.914
8	0.715	0.764	0.818	0.868	0.907
9	0.711	0.761	0.821	0.871	0.914
10	0.711	0.761	0.818	0.868	0.917
Promedio	0.713	0.762	0.819	0.869	0.911

Cuadro 3. Caudal Experimental con Sensor de Flujo en la Tubería de 1/2".

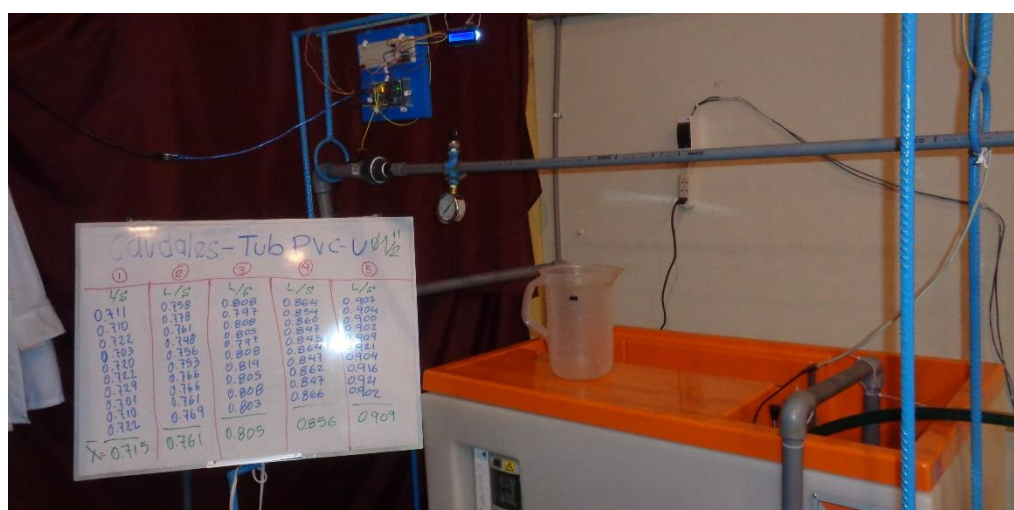
Fuente. Elaboración Propia.

4.4.3. Comparación de datos de caudales extraídos en laboratorio.

	Giro 1	Giro 2	Giro 3	Giro 4	Giro 5
P RECIPIENTE	0.714	0.761	0.806	0.855	0.907
P SENSOR FLUJO	0.713	0.762	0.819	0.869	0.911
% Comparativo	99.67%	100.06%	101.67%	101.53%	100.28%
Respecto al 100%	0.33%	0.06%	1.67%	1.53%	0.28%

Cuadro 4. Porcentaje de Variación de Caudales Extraídos en el Laboratorio para la Tubería de 1/2".

Fuente. Elaboración Propia.



Fotografía 10. Caudal Experimental en Tubería PVC-U Ø 1/2".

A close-up photograph of the whiteboard from the previous image, showing the experimental data table. The table is titled 'Caudales - Tub PVC-U Ø 1/2\"' and is organized into five columns labeled 1 through 5. Each column contains a list of flow rate measurements in L/s, followed by a horizontal line and a mean value (X-bar). The mean values are 0.715, 0.761, 0.805, 0.856, and 0.909 respectively.

①	②	③	④	⑤
4/5	L/S	L/S	L/S	L/S
0.711	0.758	0.808	0.864	0.907
0.710	0.778	0.797	0.854	0.904
0.722	0.761	0.808	0.860	0.900
0.703	0.748	0.805	0.847	0.902
0.720	0.756	0.797	0.845	0.909
0.722	0.753	0.808	0.864	0.921
0.729	0.766	0.814	0.847	0.904
0.701	0.766	0.805	0.862	0.916
0.710	0.761	0.808	0.847	0.921
0.722	0.769	0.803	0.866	0.902
$\bar{X} = 0.715$	0.761	0.805	0.856	0.909

Fotografía 11. Datos extraídos experimentalmente de la Tubería PVC-U Ø 1/2".

4.4.4. Procesamiento estadístico de los datos extraídos en el laboratorio utilizando el software SPSS experimento 1.

4.4.4.1 Temperatura.

Datos de Obtenidos con el Sensor de Temperatura

	Giro 1	Giro 2	Giro 3	Giro 4	Giro 5
Nº	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)
1	19.43	20.03	20.65	21.15	21.56
2	19.43	20.03	20.65	21.15	21.56
3	19.43	20.03	20.65	21.15	21.56
4	19.43	20.06	20.65	21.15	21.56
5	19.46	20.06	20.65	21.15	21.56
6	19.43	20.06	20.65	21.15	21.56
7	19.46	20.06	20.65	21.15	21.56
8	19.46	20.06	20.65	21.15	21.56
9	19.43	20.06	20.65	21.15	21.56
10	19.46	20.06	20.65	21.15	21.56

Cuadro 5. Datos Extraídos de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 1.

Fuente. Elaboración Propia

Nota. Grados Celsius (°C)

Estadísticos descriptivos – Temperatura

Giro	N Estadístico	Mínimo Estadístico	Máximo Estadístico	Media Estadístico	Media Error	Desviación Estándar
Giro 1 – °C	10	19.43	19.46	19.44	0.0049	0.01549
Giro 2 – °C	10	20.03	20.06	20.05	0.0046	0.01449
Giro 3 – °C	10	20.65	20.65	20.65	0.0000	0.00000
Giro 4 – °C	10	21.15	21.15	21.15	0.0000	0.00000
Giro 5 – °C	10	21.56	21.56	21.56	0.0000	0.00000

Cuadro 6. Resultados Estadísticos de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 1.

Fuente. Elaboración Propia

Software. IBM SPSS Statistics 25

4.4.4.2. Presión.

Datos de Obtenidos con el Sensor RD522 de Presión

N°	Giro 1		Giro 2		Giro 3		Giro 4		Giro 5	
	P _{Entrada} (PSI)	P _{salida} (PSI)	P _{Entrada} (PSI)	P _{salida} (PSI)	P _{Entrada} (PSI)	P _{salida} (PSI)	P _{Entrada} (PSI)	P _{salida} (PSI)	P _{Entrada} (PSI)	P _{salida} (PSI)
1	16.40	14.88	18.53	16.82	21.05	18,94	23.22	21.14	24.43	22.14
2	16.31	14.79	18.57	16.80	20.91	18,97	23.19	21.07	24.51	22.29
3	16.34	14.80	18.68	16.78	21.11	19,00	23.10	21.01	24.36	22.27
4	16.40	14.85	18.62	16.80	21.10	19,05	23.23	21.17	24.39	22.26
5	16.46	14.83	18.55	16.85	21.05	19,07	23.26	21.07	24.42	22.11
6	16.38	14.77	18.59	16.94	21.03	19,15	23.22	20.91	24.36	22.23
7	16.34	14.69	18.57	16.80	21.10	19,12	23.14	21.04	24.40	22.04
8	16.43	14.73	18.56	16.73	20.87	19,13	23.16	21.05	24.38	22.16
9	16.40	14.90	18.57	16.78	21.04	18,97	23.23	21.10	24.42	22.30
10	16.34	14.73	18.55	16.85	21.05	19,12	23.26	21.11	24.29	22.13

Cuadro 7. Datos Extraídos de la Presión del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 1.

Fuente. Elaboración Propia

Nota. Libras por Pulgada Cuadrada (PSI)

Estadísticos descriptivos

Giro	Presión	N Estadístico	Mínimo Estadístico	Máximo Estadístico	Media		Desviación Estadístico
					Estadístico	Desv. Error	
Giro 1	P _{Entrada}	10	16.31	16.46	16.38	0.0148	0.0469
	P _{Salida}	10	14.69	14.90	14.80	0.0218	0.0688
Giro 2	P _{Entrada}	10	18.53	18.68	18.58	0.0136	0.0431
	P _{Salida}	10	16.73	16.94	16.82	0.0178	0.0562
Giro 3	P _{Entrada}	10	20.87	21.11	21.03	0.0253	0.0799
	P _{Salida}	10	18.94	19.15	19.05	0.0245	0.0774
Giro 4	P _{Entrada}	10	23.10	23.26	23.20	0.0167	0.0528
	P _{Salida}	10	20.91	21.17	21.07	0.0230	0.0729
Giro 5	P _{Entrada}	10	24.29	24.51	24.40	0.0181	0.0572
	P _{Salida}	10	22.04	22.30	22.19	0.0280	0.0887

Cuadro 8. Resultados Estadísticos de la Presión del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 1.

Fuente. Elaboración Propia

Software. IBM SPSS Statistics 25

4.4.4.3 Caudal.

Datos de Obtenidos con el Sensor de Flujo

N°	Giro 1 Caudal l/seg	Giro 2 Caudal l/seg	Giro 3 Caudal l/seg	Giro 4 Caudal l/seg	Giro 5 Caudal l/seg
1	0.679	0.750	0.802	0.843	0.867
2	0.683	0.750	0.802	0.844	0.867
3	0.681	0.750	0.802	0.841	0.864
4	0.683	0.748	0.803	0.846	0.866
5	0.684	0.747	0.802	0.841	0.866
6	0.684	0.750	0.804	0.844	0.869
7	0.683	0.748	0.800	0.844	0.866
8	0.682	0.750	0.804	0.843	0.866
9	0.683	0.750	0.800	0.841	0.867
10	0.677	0.748	0.800	0.843	0.866

Cuadro 9. Datos Extraídos del Caudal del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 1.

Fuente. Elaboración Propia

Nota. Litros por segundo (l/seg)

Estadísticos descriptivos

Giro	N Estadístico	Mínimo Estadístico	Máximo Estadístico	Media Estadístico	Media Error	Desviación Estándar
Giro 1 - l/seg	10	0.677	0.684	0.682	0.000722	0.00228
Giro 2 - l/seg	10	0.747	0.750	0.749	0.000379	0.00120
Giro 3 - l/seg	10	0.800	0.804	0.802	0.000482	0.00152
Giro 4 - l/seg	10	0.841	0.846	0.843	0.000516	0.00163
Giro 5 - l/seg	10	0.864	0.869	0.866	0.000400	0.00126

Cuadro 10. Resultados Estadísticos del Caudal del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 1.

Fuente. Elaboración Propia

Software. IBM SPSS Statistics 25

4.4.5. Errores y desviación estándar de los datos extraídos del sensor de temperatura.

Datos Estadísticos de la Temperatura en la Tubería PVC-U 1/2"

Giro	Mínimo °C	Máximo °C	Media °C	Errores			Desviación Estándar
				Error Aleatorio	Error Sistemático	Error Total	
Giro 1	19.43	19.46	19.44	0.0049	0.50	0.50	0.01549
Giro 2	20.03	20.06	20.05	0.0046	0.50	0.50	0.01449
Giro 3	20.65	20.65	20.65	0.0000	0.50	0.50	0.00000
Giro 4	21.15	21.15	21.15	0.0000	0.50	0.50	0.00000
Giro 5	21.56	21.56	21.56	0.0000	0.50	0.50	0.00000

Cuadro 11. Error y Desviación Estándar de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 1.

Fuente. Elaboración Propia

Software. IBM SPSS Statistics 25

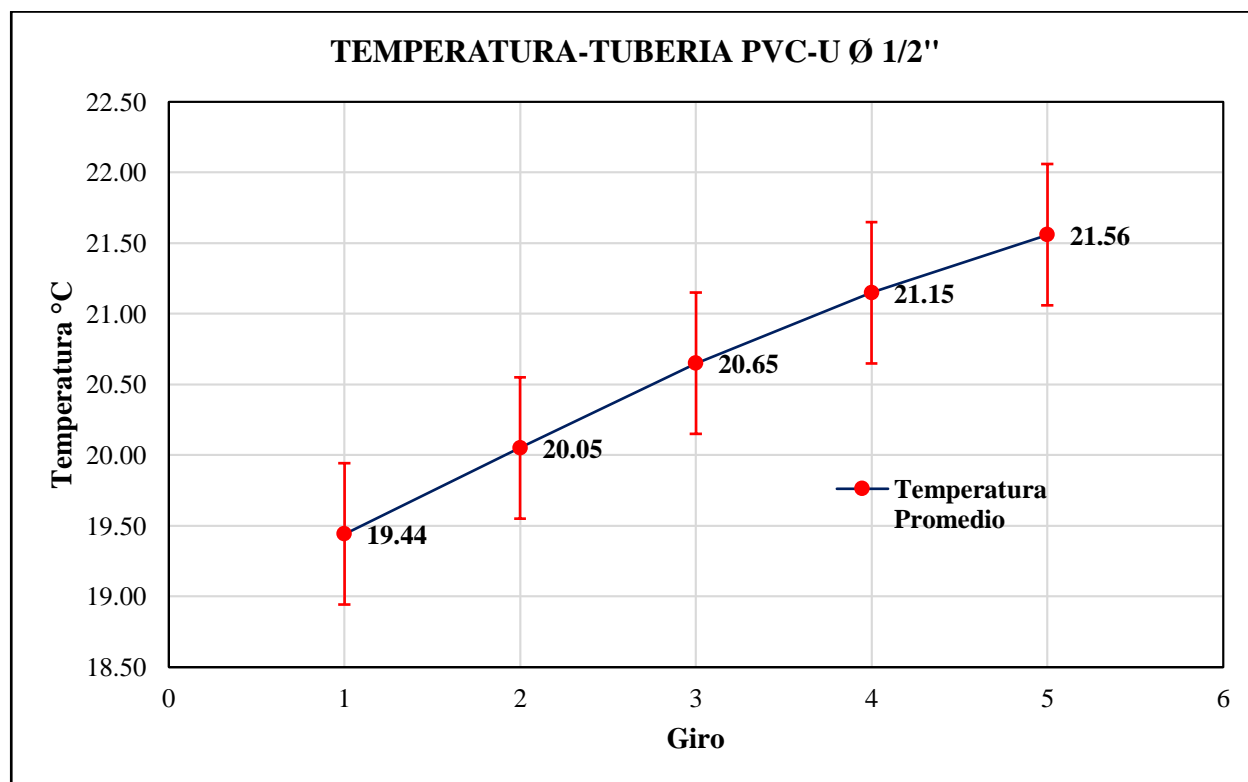


Gráfico 1. Error y Media de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 1.

4.4.6. Errores y desviación estándar de los datos extraídos del sensor RD522 de presión.

Datos Estadísticos de Presiones en la Tubería PVC-U 1/2"

Giro	Presión	Mínimo	Máximo	Media	Errores			Desviación
		PSI	PSI	PSI	Error Aleatorio	Error Sistemático	Error Total	Estadístico
Giro-1	P _{Entrada}	16.31	16.46	16.38	0.0148	0.145	0.146	0.0469
	P _{Salida}	14.69	14.90	14.80	0.0218	0.145	0.147	0.0688
Giro-2	P _{Entrada}	18.53	18.68	18.58	0.0136	0.145	0.146	0.0431
	P _{Salida}	16.73	16.94	16.82	0.0178	0.145	0.146	0.0562
Giro-3	P _{Entrada}	20.87	21.11	21.03	0.0253	0.145	0.147	0.0799
	P _{Salida}	18.94	19.15	19.05	0.0245	0.145	0.147	0.0774
Giro-4	P _{Entrada}	23.10	23.26	23.20	0.0167	0.145	0.146	0.0528
	P _{Salida}	20.91	21.17	21.07	0.0230	0.145	0.147	0.0729
Giro-5	P _{Entrada}	24.29	24.51	24.40	0.0181	0.145	0.146	0.0572
	P _{Salida}	22.04	22.30	22.19	0.0280	0.145	0.148	0.0887

Cuadro 12. Error y Desviación Estándar de la Presión del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 1.

Fuente. Elaboración Propia

Software. IBM SPSS Statistics 25

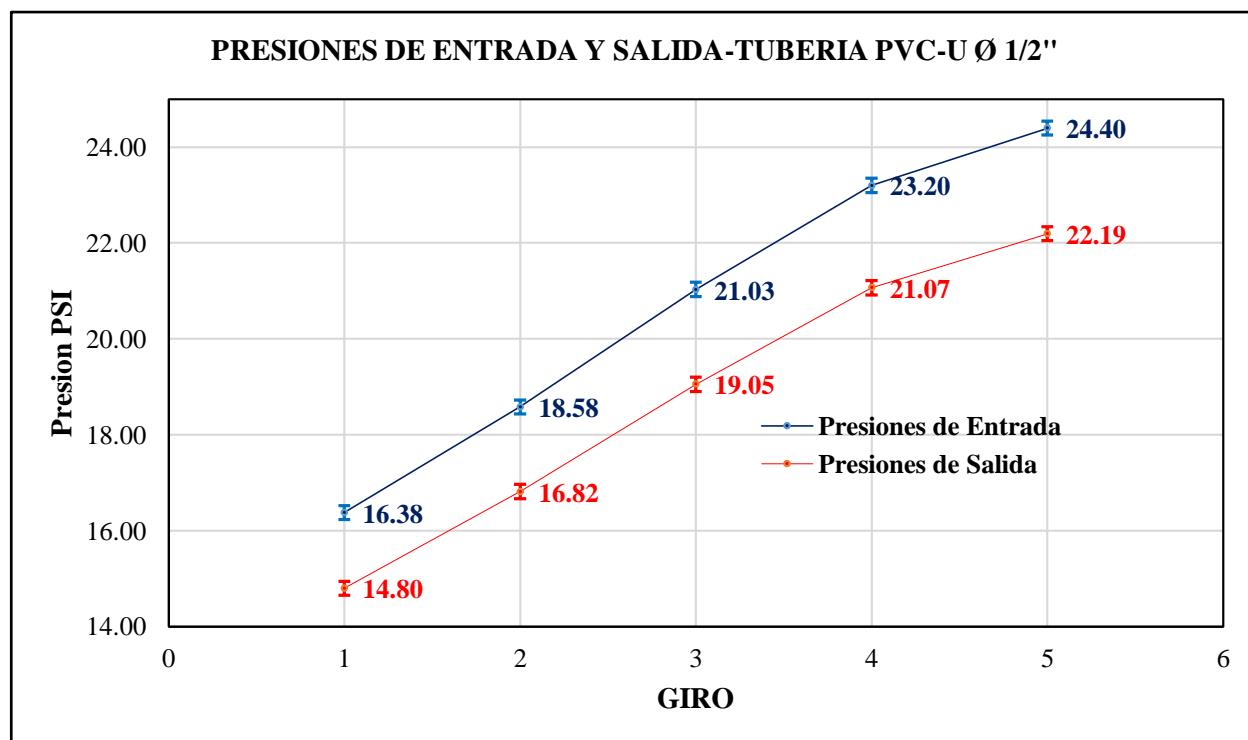


Gráfico 2. Error y Media de la Presión del Flujo en la Tubería de 1/2" en el Experimento 1.

4.4.7. Errores y desviación estándar de los datos extraídos del sensor de flujo.

Datos Estadísticos de Caudales en la Tubería PVC-U 1/2"

Giro	Mínimo l/Seg	Máximo l/Seg	Media l/Seg	Errores		Desviación Estándar
				Error Aleatorio	Error Sistemático	
Giro 1	0.677	0.684	0.682	0.00072	0.05	0.00228
Giro 2	0.747	0.750	0.749	0.00038	0.05	0.00120
Giro 3	0.800	0.804	0.802	0.00048	0.05	0.00152
Giro 4	0.841	0.846	0.843	0.00052	0.05	0.00163
Giro 5	0.864	0.869	0.866	0.00040	0.05	0.00126

Cuadro 13. Error y Desviación Estándar del Caudal del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 1.

Fuente. Elaboración Propia

Software. IBM SPSS Statistics 25

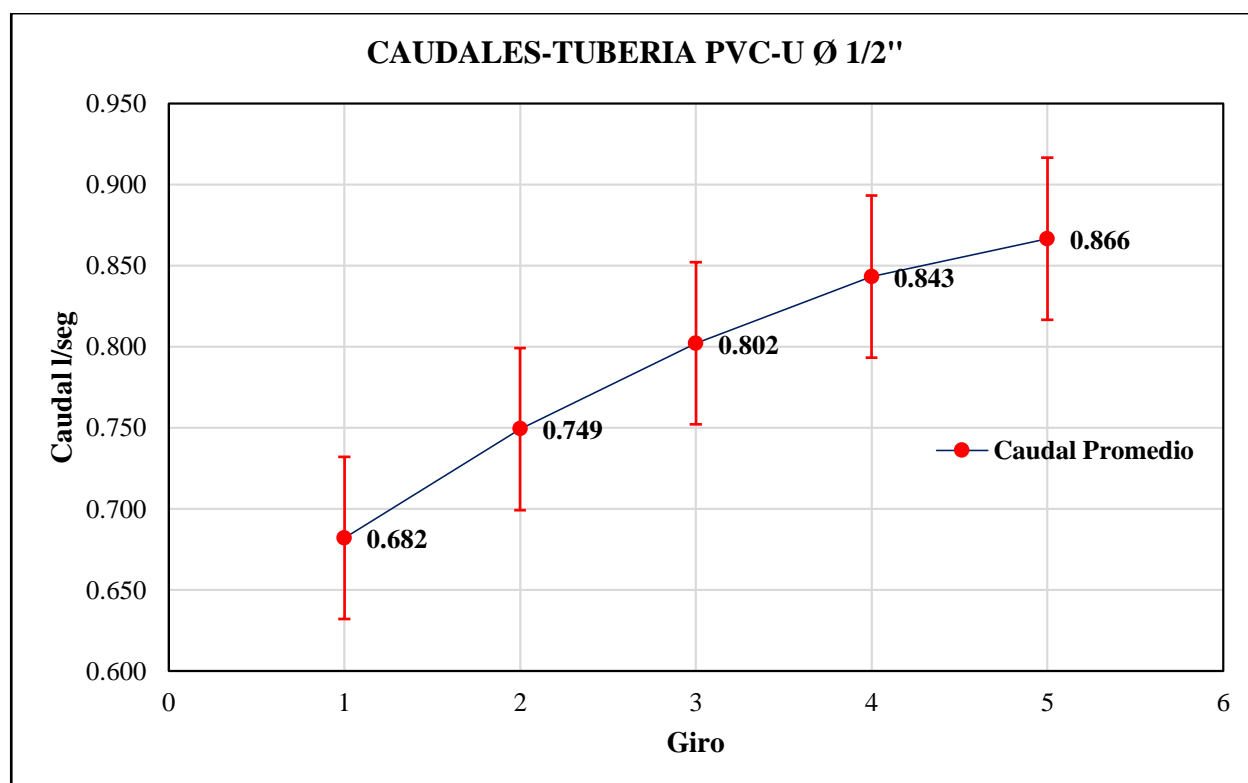


Gráfico 3. Error y Media del Caudal del Flujo en la Tubería de 1/2" en el Experimento 1.

4.4.8. Procesamiento estadístico de los datos extraídos en el laboratorio utilizando el software SPSS experimento 2.

4.4.8.1. Temperatura.

Datos de Obtenidos con el Sensor de Temperatura

N°	Giro 1 Temperatura (°C)	Giro 2 Temperatura (°C)	Giro 3 Temperatura (°C)	Giro 4 Temperatura (°C)	Giro 5 Temperatura (°C)
1	19.62	20.21	20.81	21.28	21.68
2	19.62	20.21	20.81	21.28	21.68
3	19.62	20.21	20.81	21.28	21.68
4	19.65	20.21	20.81	21.28	21.68
5	19.65	20.21	20.81	21.28	21.68
6	19.65	20.21	20.81	21.28	21.68
7	19.65	20.21	20.81	21.28	21.68
8	19.68	20.21	20.81	21.28	21.68
9	19.68	20.21	20.81	21.28	21.68
10	19.65	20.21	20.81	21.28	21.68

Cuadro 14. Datos Extraídos de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 2.

Fuente. Elaboración Propia

Nota. Grados Celsius (°C)

Estadísticos descriptivos - Temperatura

Giro	N Estadístico	Mínimo Estadístico	Máximo Estadístico	Media Estadístico	Media Error	Desviación Estándar
Giro 1 – °C	10	19.62	19.68	19.65	0.0070	0.02214
Giro 2 – °C	10	20.21	20.21	20.21	0.0000	0.00000
Giro 3 – °C	10	20.81	20.81	20.81	0.0000	0.00000
Giro 4 – °C	10	21.28	21.28	21.28	0.0000	0.00000
Giro 5 – °C	10	21.68	21.68	21.68	0.0000	0.00000

Cuadro 15. Resultados Estadísticos de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 2.

Fuente. Elaboración Propia

Software. IBM SPSS Statistics 25

4.4.8.2. Presión.

Datos de Obtenidos con el Sensor RD522 de Presión

N°	Giro 1		Giro 2		Giro 3		Giro 4		Giro 5	
	P _{Entrada} (PSI)	P _{salida} (PSI)	P _{Entrada} (PSI)	P _{salida} (PSI)	P _{Entrada} (PSI)	P _{salida} (PSI)	P _{Entrada} (PSI)	P _{salida} (PSI)	P _{Entrada} (PSI)	P _{salida} (PSI)
1	16,17	14,66	18,63	16,94	20,81	18,97	23,14	21,15	24,51	22,46
2	16,24	14,76	18,62	16,92	20,85	18,91	23,16	21,14	24,48	22,33
3	16,41	14,73	18,65	17,04	20,89	19,07	23,14	21,08	24,51	22,46
4	16,28	14,77	18,69	16,88	20,74	19,13	23,11	21,17	24,58	22,36
5	16,25	14,79	18,57	16,98	20,84	18,94	23,17	21,18	24,49	22,40
6	16,34	14,88	18,65	16,87	20,87	19,01	23,19	21,20	24,51	22,46
7	16,27	14,72	18,63	17,00	20,85	18,98	23,17	21,14	24,49	22,38
8	16,25	14,88	18,78	16,91	20,78	18,95	23,10	21,12	24,43	22,39
9	16,30	14,77	18,69	16,87	20,95	19,07	23,16	21,23	24,42	22,40
10	16,36	14,85	18,62	16,95	20,88	19,02	23,14	21,15	24,46	22,38

Cuadro 16. Datos Extraídos de la Presión del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 2.

Fuente. Elaboración Propia

Nota. Libras por Pulgada Cuadrada (PSI)

Estadísticos descriptivos

Giro	Presión	N	Mínimo Estadístico	Máximo Estadístico	Media		Desv. Desviación Estadístico
					Estadístico	Desv. Error	
Giro 1	P _{Entrada}	10	16.17	16.41	16.29	0.0217	0.0686
	P _{Salida}	10	14.66	14.88	14.78	0.0226	0.0716
Giro 2	P _{Entrada}	10	18.57	18.78	18.65	0.0180	0.0568
	P _{Salida}	10	16.87	17.04	16.94	0.0182	0.0576
Giro 3	P _{Entrada}	10	20.74	20.95	20.85	0.0187	0.0591
	P _{Salida}	10	18.91	19.13	19.01	0.0217	0.0687
Giro 4	P _{Entrada}	10	23.10	23.19	23.15	0.0088	0.0278
	P _{Salida}	10	21.08	21.23	21.16	0.0133	0.0420
Giro 5	P _{Entrada}	10	24.42	24.58	24.49	0.0144	0.0457
	P _{Salida}	10	22.33	22.46	22.40	0.0142	0.0449

Cuadro 17. Resultados Estadísticos de la Presión del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 2.

Fuente. Elaboración Propia

Software. IBM SPSS Statistics 25

4.4.8.3. Caudal.

Datos de Obtenidos con el Sensor de Flujo

N°	Giro 1 Caudal l/seg	Giro 2 Caudal l/seg	Giro 3 Caudal l/seg	Giro 4 Caudal l/seg	Giro 5 Caudal l/seg
1	0.693	0.748	0.798	0.841	0.864
2	0.690	0.748	0.798	0.844	0.864
3	0.690	0.752	0.796	0.842	0.868
4	0.691	0.750	0.796	0.844	0.868
5	0.689	0.748	0.798	0.842	0.866
6	0.690	0.746	0.800	0.842	0.862
7	0.690	0.750	0.800	0.844	0.866
8	0.688	0.750	0.801	0.842	0.868
9	0.690	0.748	0.796	0.842	0.868
10	0.689	0.748	0.798	0.844	0.864

Cuadro 18. Datos Extraídos del Caudal del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 2.

Fuente. Elaboración Propia

Nota. Litros por segundo (l/seg)

Estadísticos Descriptivos

Giro	N Estadístico	Mínimo Estadístico	Máximo Estadístico	Media Estadístico	Media Error	Desviación Estándar
Giro 1 - l/seg	10	0.688	0.693	0.690	0.000422	0.00133
Giro 2 - l/seg	10	0.746	0.752	0.749	0.000533	0.00169
Giro 3 - l/seg	10	0.796	0.801	0.798	0.000567	0.00179
Giro 4 - l/seg	10	0.841	0.844	0.843	0.000367	0.00116
Giro 5 - l/seg	10	0.862	0.868	0.866	0.000696	0.00220

Cuadro 19. Resultados Estadísticos del Caudal del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 2.

Fuente. Elaboración Propia

Software. IBM SPSS Statistics 25

4.4.9. Errores y desviación estándar de los datos extraídos del sensor de temperatura.

Datos Estadísticos de la Temperatura en la Tubería PVC-U 1/2"

Giro	Mínimo	Máximo	Media	Errores			Desviación Estándar.
	°C	°C	°C	Error Aleatorio	Error Sistemático	Error Total	
Giro 1	19.62	19.68	19.65	0.0070	0.50	0.50	0.02214
Giro 2	20.21	20.21	20.21	0.0000	0.50	0.50	0.00000
Giro 3	20.81	20.81	20.81	0.0000	0.50	0.50	0.00000
Giro 4	21.28	21.28	21.28	0.0000	0.50	0.50	0.00000
Giro 5	21.68	21.68	21.68	0.0000	0.50	0.50	0.00000

Cuadro 20. Error y Desviación Estándar de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 2.

Fuente. Elaboración Propia

Software. IBM SPSS Statistics 25

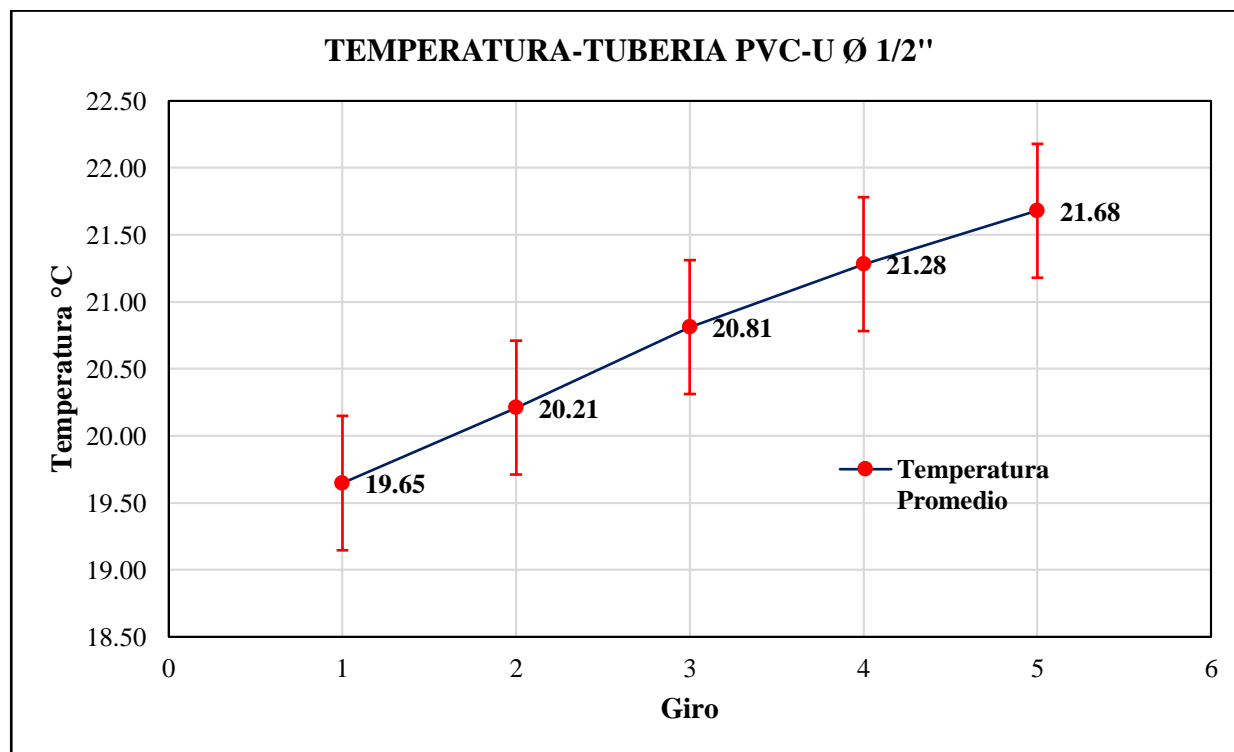


Gráfico 4. Error y Media de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 2.

4.4.10. Errores y desviación estándar de los datos extraídos del sensor RD522 de presión.

Datos Estadísticos de Presiones en la Tubería PVC-U 1/2"

Giro	Presión	Mínimo	Máximo	Media	Errores			Desviación
		PSI	PSI	PSI	Error Aleatorio	Error Sistemático	Error Total	Estadístico
Giro-1	P _{Entrada}	16.17	16.41	16.29	0.0217	0.145	0.147	0.0686
	P _{Salida}	14.66	14.88	14.78	0.0226	0.145	0.147	0.0716
Giro-2	P _{Entrada}	18.57	18.78	18.65	0.0180	0.145	0.146	0.0568
	P _{Salida}	16.87	17.04	16.94	0.0182	0.145	0.146	0.0576
Giro-3	P _{Entrada}	20.74	20.95	20.85	0.0187	0.145	0.146	0.0591
	P _{Salida}	18.91	19.13	19.01	0.0217	0.145	0.147	0.0687
Giro-4	P _{Entrada}	23.10	23.19	23.15	0.0088	0.145	0.145	0.0278
	P _{Salida}	21.08	21.23	21.16	0.0133	0.145	0.146	0.0420
Giro-5	P _{Entrada}	24.42	24.58	24.49	0.0144	0.145	0.146	0.0457
	P _{Salida}	22.33	22.46	22.40	0.0142	0.145	0.146	0.0449

Cuadro 21. Error y Desviación Estándar de la Presión del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 2.

Fuente. Elaboración Propia

Software. IBM SPSS Statistics 25

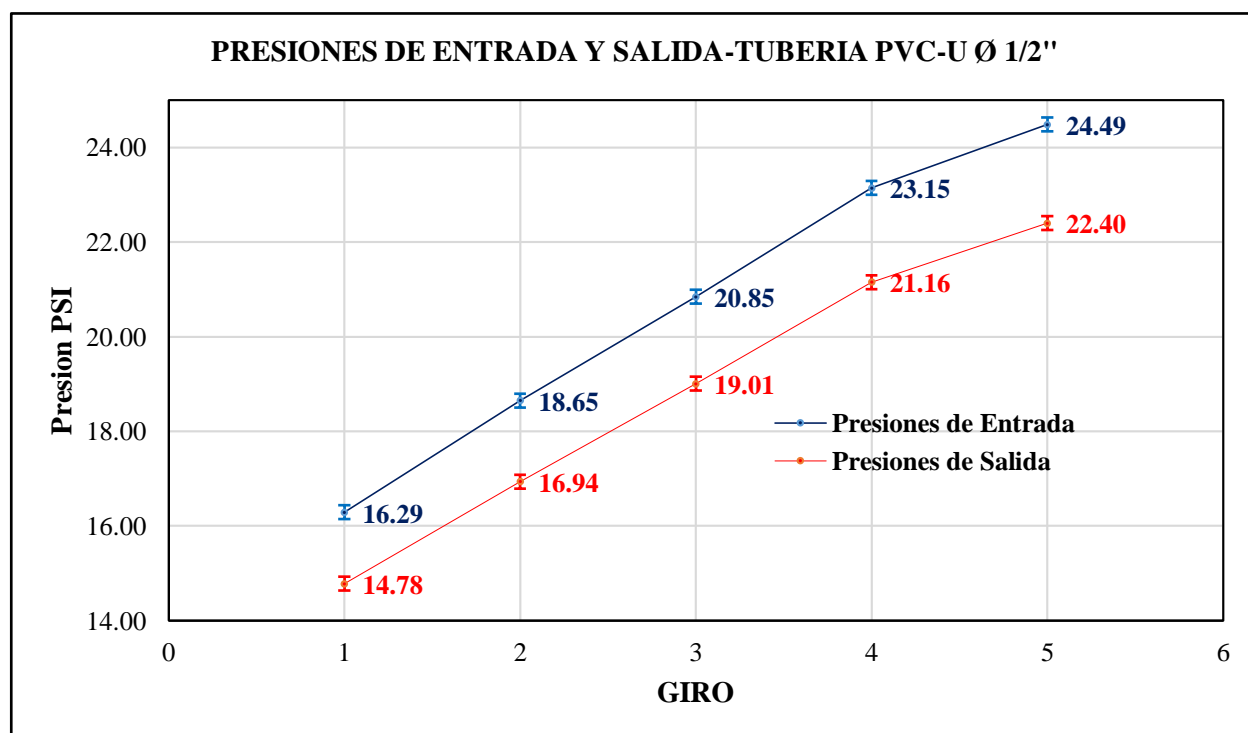


Gráfico 5. Error y Media de la Presión del Flujo en la Tubería de 1/2" en el Experimento 2.

4.4.11. Errores y desviación estándar de los datos extraídos del sensor de flujo.

Datos Estadísticos de Caudales en la Tubería PVC-U 1/2"

Giro	Mínimo l/Seg	Máximo l/Seg	Media l/Seg	Errores		Error Total	Desviación Estándar
				Error Aleatorio	Error Sistemático		
Giro 1	0.688	0.693	0.690	0.00042	0.05	0.05	0.00133
Giro 2	0.746	0.752	0.749	0.00053	0.05	0.05	0.00169
Giro 3	0.796	0.801	0.798	0.00057	0.05	0.05	0.00179
Giro 4	0.841	0.844	0.843	0.00037	0.05	0.05	0.00116
Giro 5	0.862	0.868	0.866	0.00070	0.05	0.05	0.00220

Cuadro 22. Error y Desviación Estándar del Caudal del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 2.

Fuente. Elaboración Propia

Software. IBM SPSS Statistics 25

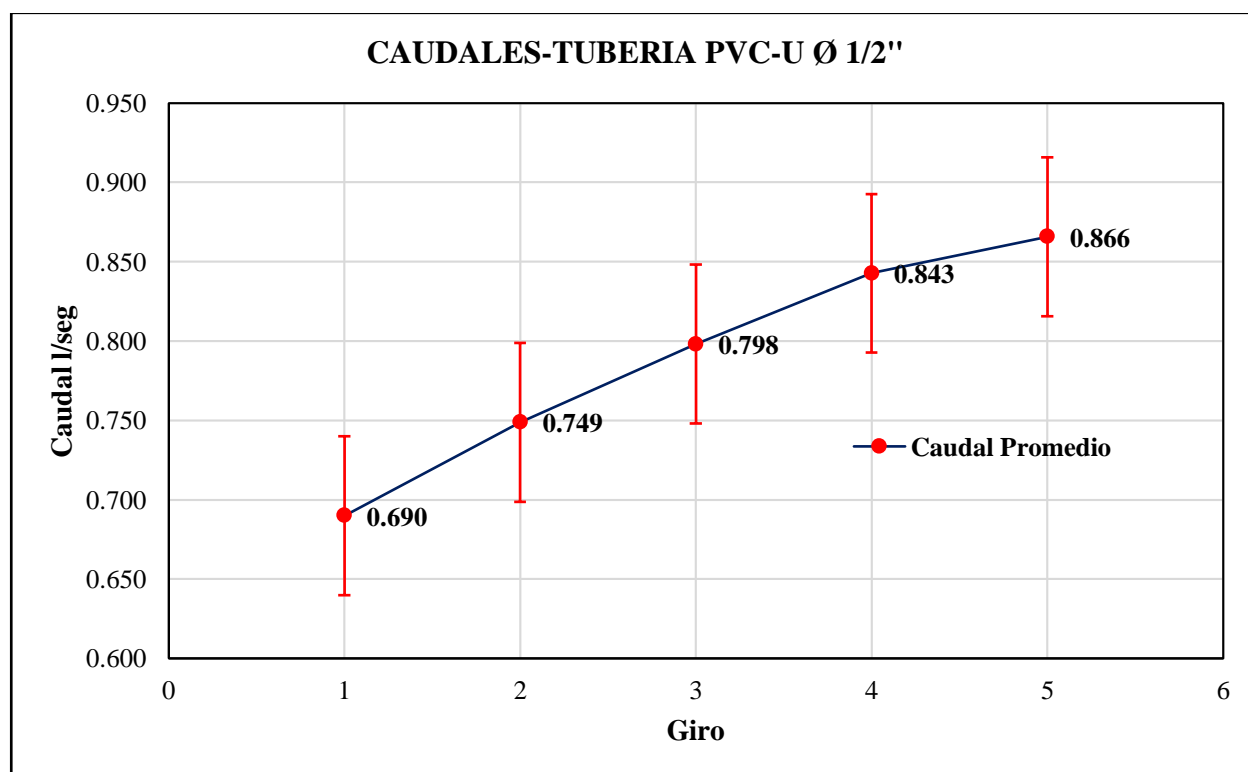


Gráfico 6. Error y Media del Caudal del Flujo en la Tubería de 1/2" en el Experimento 2.

4.4.12. Procesamiento estadístico de los datos extraídos en el laboratorio utilizando el software SPSS experimento 3.

4.4.12.1. Temperatura.

Datos de Obtenidos con el Sensor de Temperatura

N°	Giro 1 Temperatura (°C)	Giro 2 Temperatura (°C)	Giro 3 Temperatura (°C)	Giro 4 Temperatura (°C)	Giro 5 Temperatura (°C)
1	19.84	20.46	20.96	21.4	21.81
2	19.84	20.46	20.96	21.4	21.81
3	19.84	20.46	20.96	21.43	21.81
4	19.84	20.46	20.96	21.43	21.81
5	19.87	20.46	20.96	21.4	21.81
6	19.84	20.46	20.96	21.4	21.81
7	19.84	20.46	20.96	21.4	21.81
8	19.84	20.46	20.96	21.43	21.81
9	19.87	20.49	20.96	21.43	21.81
10	19.87	20.46	20.99	21.43	21.81

Cuadro 23. Datos Extraídos de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 3.

Fuente. Elaboración Propia

Nota. Grados Celsius (°C)

Estadísticos descriptivos - Temperatura

Giro	N Estadístico	Mínimo Estadístico	Máximo Estadístico	Media Estadístico	Media Error	Desviación Estándar
Giro 1 – °C	10	19.84	19.87	19.85	0.0046	0.01449
Giro 2 – °C	10	20.46	20.49	20.46	0.0030	0.00949
Giro 3 – °C	10	20.96	20.99	20.96	0.0030	0.00949
Giro 4 – °C	10	21.40	21.43	21.42	0.0050	0.01581
Giro 5 – °C	10	21.81	21.81	21.81	0.0000	0.00000

Cuadro 24. Resultados Estadísticos de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 3.

Fuente. Elaboración Propia

Software. IBM SPSS Statistics 25

4.4.12.2. Presión.

Datos de Obtenidos con el Sensor RD522 de Presión

N°	Giro 1		Giro 2		Giro 3		Giro 4		Giro 5	
	P _{Entrada} (PSI)	P _{Salida} (PSI)	P _{Entrada} (PSI)	P _{Salida} (PSI)	P _{Entrada} (PSI)	P _{Salida} (PSI)	P _{Entrada} (PSI)	P _{Salida} (PSI)	P _{Entrada} (PSI)	P _{Salida} (PSI)
1	16.25	14.82	18.66	16.85	20.94	18.97	23.24	21,18	24.36	22.16
2	16.33	14.66	18.50	16.91	20.95	19.02	23.16	21,21	24.43	22.03
3	16.30	14.69	18.53	16.89	20.94	19.01	23.30	21,19	24.22	22.06
4	16.28	14.80	18.62	16.78	20.95	18.97	23.23	21,15	24.42	22.08
5	16.24	14.76	18.55	16.80	20.84	19.01	23.22	21,03	24.22	21.97
6	16.33	14.70	18.52	16.88	20.95	18.98	23.24	21,15	24.30	22.06
7	16.31	14.73	18.55	16.94	21.08	18.97	23.20	21,12	24.22	22.03
8	16.21	14.77	18.62	16.73	20.85	19.01	23.27	21,21	24.00	22.10
9	16.28	14.76	18.66	16.89	20.98	19.07	23.30	21,06	24.40	22.16
10	16.30	14.69	18.59	16.82	20.94	19.10	23.26	21,25	24.19	22.10

Cuadro 25. Datos Extraídos de la Presión del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 3.

Fuente. Elaboración Propia

Nota. Libras por Pulgada Cuadrada (PSI)

Estadísticos Descriptivos

Giro	Presión	N Estadístico	Mínimo Estadístico	Máximo Estadístico	Media		Desviación Estándar
					Estadístico	Error	
Giro 1	P _{Entrada}	10	16.21	16.33	16.28	0.0125	0.0395
	P _{Salida}	10	14.66	14.82	14.74	0.0166	0.0525
Giro 2	P _{Entrada}	10	18.50	18.66	18.58	0.0184	0.0581
	P _{Salida}	10	16.73	16.94	16.85	0.0207	0.0654
Giro 3	P _{Entrada}	10	20.84	21.08	20.94	0.0210	0.0663
	P _{Salida}	10	18.97	19.10	19.01	0.0139	0.0441
Giro 4	P _{Entrada}	10	23.16	23.30	23.24	0.0137	0.0434
	P _{Salida}	10	20.94	21.16	21.06	0.0212	0.0672
Giro 5	P _{Entrada}	10	24.00	24.43	24.28	0.0422	0.1335
	P _{Salida}	10	21.97	22.16	22.08	0.0186	0.0589

Cuadro 26. Resultados Estadísticos de la Presión del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 3.

Fuente. Elaboración Propia

Software. IBM SPSS Statistics 25

4.4.12.3. Caudal.

Datos de Obtenidos con el Sensor de Flujo

N°	Giro 1 Caudal l/seg	Giro 2 Caudal l/seg	Giro 3 Caudal l/seg	Giro 4 Caudal l/seg	Giro 5 Caudal l/seg
1	0.693	0.751	0.800	0.838	0.866
2	0.695	0.750	0.800	0.841	0.866
3	0.697	0.749	0.802	0.841	0.864
4	0.695	0.749	0.800	0.841	0.868
5	0.692	0.751	0.800	0.841	0.866
6	0.692	0.749	0.802	0.843	0.866
7	0.695	0.751	0.802	0.843	0.862
8	0.695	0.751	0.802	0.845	0.864
9	0.692	0.749	0.800	0.843	0.868
10	0.694	0.747	0.802	0.841	0.866

Cuadro 27. Datos Extraídos del Caudal del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 3.

Fuente. Elaboración Propia

Nota. Litros por segundo (l/seg)

Estadísticos descriptivos

Giro	N Estadístico	Mínimo Estadístico	Máximo Estadístico	Media Estadístico	Media Error	Desviación Estándar
Giro 1 - l/seg	10	0.692	0.697	0.694	0.000602	0.00190
Giro 2 - l/seg	10	0.747	0.751	0.749	0.000430	0.00136
Giro 3 - l/seg	10	0.800	0.802	0.801	0.000333	0.00105
Giro 4 - l/seg	10	0.838	0.845	0.842	0.000582	0.00184
Giro 5 - l/seg	10	0.862	0.868	0.866	0.000581	0.00184

Cuadro 28. Resultados Estadísticos del Caudal del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 3.

Fuente. Elaboración Propia

Software. IBM SPSS Statistics 25

4.4.13. Errores y desviación estándar de los datos extraídos del sensor de temperatura.

Datos Estadísticos de la Temperatura en la Tubería PVC-U 1/2"

Giro	Mínimo	Máximo	Media	Errores			Desviación Estándar
	°C	°C	°C	Error Aleatorio	Error Sistemático	Error Total	
Giro 1	19.84	19.87	19.85	0.0046	0.50	0.50	0.01449
Giro 2	20.46	20.49	20.46	0.0030	0.50	0.50	0.00949
Giro 3	20.96	20.99	20.96	0.0030	0.50	0.50	0.00949
Giro 4	21.40	21.43	21.42	0.0050	0.50	0.50	0.01581
Giro 5	21.81	21.81	21.81	0.0000	0.50	0.50	0.00000

Cuadro 29. Error y Desviación Estándar de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 3.

Fuente. Elaboración Propia

Software. IBM SPSS Statistics 25

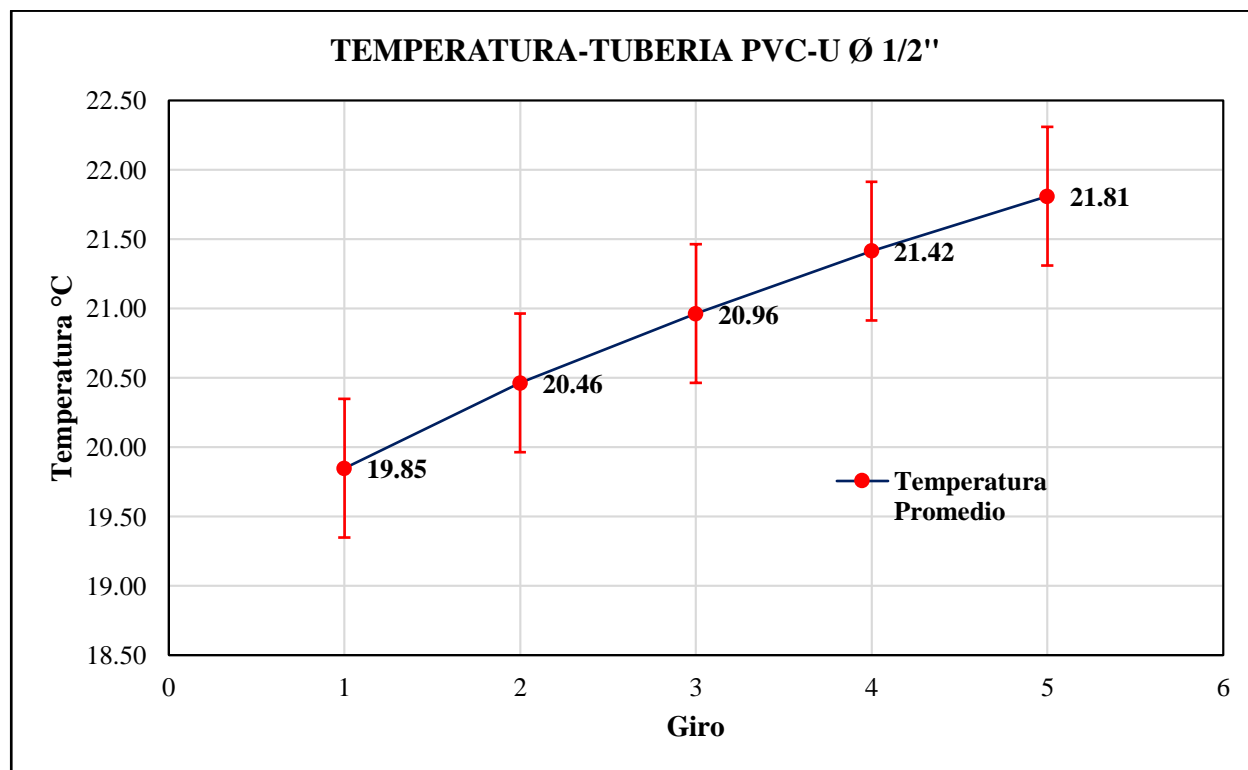


Gráfico 7. Error y Media de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 3.

4.4.14. Errores y desviación estándar de los datos extraídos del sensor RD522 de presión.

Datos Estadísticos de Presiones en la Tubería PVC-U 1/2"

Giro	Presión	Mínimo	Máximo	Media	Errores			Desviación
		PSI	PSI	PSI	Error Aleatorio	Error Sistemático	Error Total	Estadístico
Giro 1	P _{Entrada}	16.21	16.33	16.28	0.0125	0.1450	0.1456	0.0395
	P _{Salida}	14.66	14.82	14.74	0.0166	0.1450	0.1460	0.0525
Giro 2	P _{Entrada}	18.50	18.66	18.58	0.0184	0.1450	0.1462	0.0581
	P _{Salida}	16.73	16.94	16.85	0.0207	0.1450	0.1465	0.0654
Giro 3	P _{Entrada}	20.84	21.08	20.94	0.0210	0.1450	0.1465	0.0663
	P _{Salida}	18.97	19.10	19.01	0.0139	0.1450	0.1457	0.0441
Giro 4	P _{Entrada}	23.16	23.30	23.24	0.0137	0.1450	0.1457	0.0434
	P _{Salida}	21.03	21.25	21.16	0.0218	0.1450	0.1467	0.0690
Giro 5	P _{Entrada}	24.00	24.43	24.28	0.0422	0.1450	0.1511	0.1335
	P _{Salida}	21.97	22.16	22.08	0.0186	0.1450	0.1462	0.0589

Cuadro 30. Error y Desviación Estándar de la Presión del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 3.

Fuente. Elaboración Propia

Software. IBM SPSS Statistics 25

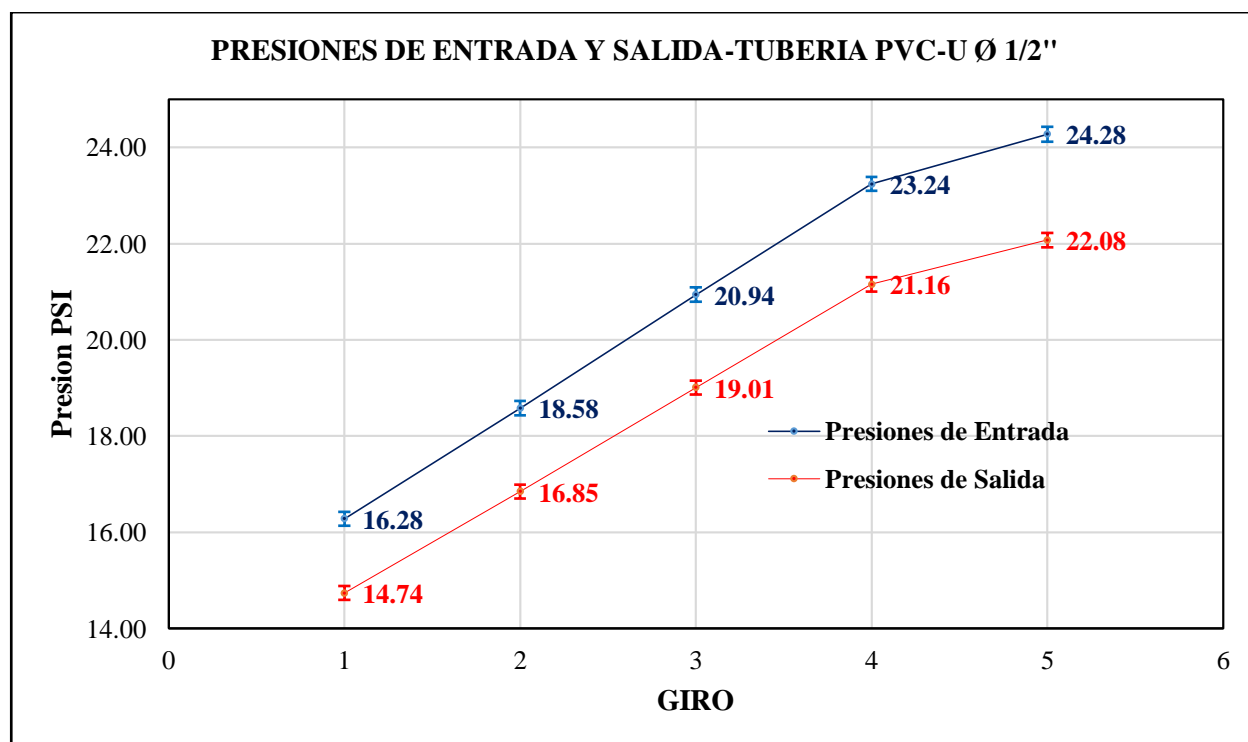


Gráfico 8. Error y Media de la Presión del Flujo en la Tubería de 1/2" en el Experimento 3.

4.4.15. Errores y desviación estándar de los datos extraídos del sensor de flujo.

Datos Estadísticos de Caudales en la Tubería PVC-U 1/2"

Giro	Mínimo l/Seg	Máximo l/Seg	Media l/Seg	Errores		Error Total	Desviación Estándar
				Error Aleatorio	Error Sistemático		
Giro 1	0.692	0.697	0.694	0.000602	0.05	0.05	0.00190
Giro 2	0.747	0.751	0.749	0.000430	0.05	0.05	0.00136
Giro 3	0.800	0.802	0.801	0.000333	0.05	0.05	0.00105
Giro 4	0.838	0.845	0.842	0.000582	0.05	0.05	0.00184
Giro 5	0.862	0.868	0.866	0.000581	0.05	0.05	0.00184

Cuadro 31. Error y Desviación Estándar del Caudal del Flujo para la Tubería de 1/2" en el Experimento 3.

Fuente. Elaboración Propia

Software. IBM SPSS Statistics 25

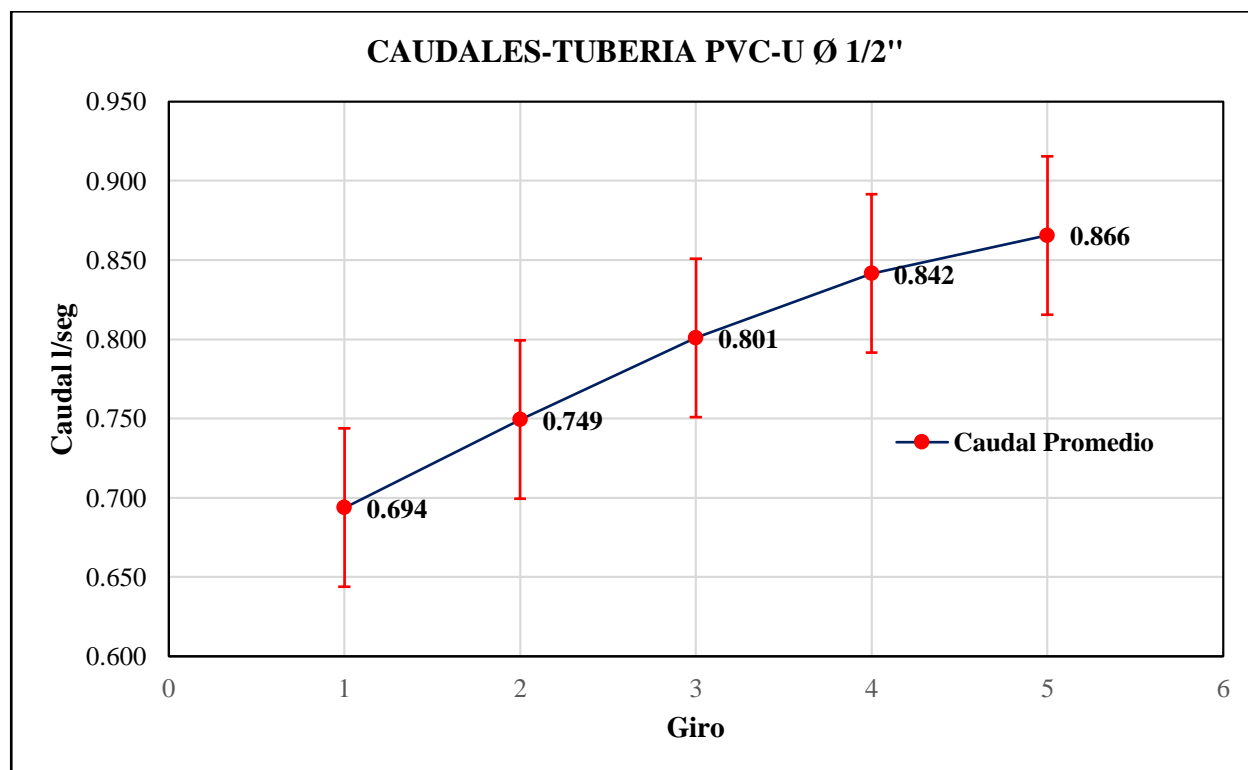


Gráfico 9. Error y Media del Caudal del Flujo en la Tubería de 1/2" en el Experimento 3.

4.4.16. Propiedades físicas del agua en función a la temperatura del flujo.

4.4.16.1. Experimento 1.

GIRO	Temperatura	Densidad	Viscosidad	Viscosidad Cinemática	Peso Especifico
	T°	ρ	μ	ν	γ_{H2O}
	°C	kg/m ³	N.s/m ²	m ² /s	N/m ³
Giro 1	19.45	998.39	1.020E-03	1.052E-06	9759.76
Giro 2	20.05	998.28	1.004E-03	1.006E-06	9758.67
Giro 3	20.66	998.14	9.916E-04	9.937E-07	9757.30
Giro 4	21.16	998.02	9.814E-04	9.836E-07	9756.16
Giro 5	21.56	997.93	9.732E-04	9.753E-07	9755.25

Cuadro 32. Propiedades Físicas del Flujo en la Tubería de PVC-U Ø 1/2" en el Experimento 1.

4.4.16.2. Experimento 2.

GIRO	Temperatura	Densidad	Viscosidad	Viscosidad Cinemática	Peso Especifico
	T°	ρ	μ	ν	γ_{H2O}
	°C	kg/m ³	N.s/m ²	m ² /s	N/m ³
Giro 1	19.94	998.30	1.007E-03	1.012E-06	9758.89
Giro 2	20.57	998.16	9.935E-04	9.955E-07	9757.50
Giro 3	21.07	998.04	9.833E-04	9.854E-07	9756.37
Giro 4	21.50	997.94	9.744E-04	9.766E-07	9755.38
Giro 5	21.87	997.86	9.669E-04	9.690E-07	9754.54

Cuadro 33. Propiedades Físicas del Flujo en la Tubería de PVC-U Ø 1/2" en el Experimento 2.

4.4.16.3. Experimento 3

GIRO	Temperatura	Densidad	Viscosidad	Viscosidad Cinemática	Peso Especifico
	T°	ρ	μ	ν	γ_{H2O}
	°C	kg/m ³	N.s/m ²	m ² /s	N/m ³
Giro 1	19.85	998.32	1.009E-03	1.019E-06	9759.04
Giro 2	20.47	998.18	9.955E-04	9.975E-07	9757.72
Giro 3	20.97	998.07	9.853E-04	9.873E-07	9756.59
Giro 4	21.42	997.96	9.760E-04	9.782E-07	9755.56
Giro 5	21.81	997.87	9.681E-04	9.703E-07	9754.68

Cuadro 34. Propiedades Físicas del Flujo en la Tubería de PVC-U Ø 1/2" en el Experimento 3.

4.4.17. Fórmula de Darcy-Weisbach para el cálculo del coeficiente de fricción “f” en tuberías de PVC-U de 1/2”.

4.4.17.1. Número de Reynolds.

$$Re = \frac{\text{Fuerzas Inercia}}{\text{Fuerzas Viscosas}} = \frac{\rho_{H_2O} V D}{\mu_{H_2O}} \quad \text{Ecuación (21)}$$

ρ_{H_2O} : Densidad (Kg/m³)

μ_{H_2O} : Viscosidad Dinámica (N.S/m²)

V : Velocidad Media (m/seg)

D : Diámetro Interior (m)

4.4.17.2. Pérdida de carga experimental en tuberías.

$$hf_{exp} = \frac{\Delta P}{\gamma_{H_2O}} \quad \Delta P = P_1 - P_2 \quad \text{Ecuación (22)}$$

hf_{exp} : Pérdida de Carga Experimental (m)

ΔP : Diferencia de Presiones (N/m²)

γ_{H_2O} : Peso Específico Media. (N/m³)

P_1 : Presión de Entrada (N/m²)

P_2 : Presión de Salida. (N/m²)

4.4.17.3. Factor de fricción experimental.

$$f_{exp} = hf_{exp} \frac{2g \cdot D}{V^2 \cdot L} \quad \text{Ecuación (23)}$$

f_{exp} : Factor de Fricción Experimental (Adimensional)

hf_{exp} : Pérdida de Carga Experimental (m)

D : Diámetro Interior de Tubería (m)

V : Velocidad Media (m/seg)

L : Longitud de Prueba (m)

g : Gravedad (m/s²)

4.4.18. Datos para los cálculos del coeficiente de fricción “f” experimental.

4.4.18.1. Característica de la tubería.

Características de la Tubería PVC-U Ø 1/2"

Nominal	Real	Long. Total	Long. Útil	e (mm)	D _{inte}	Di (m)	Área (m ²)
1/2"	21	5	4.97	1.8	17.4	0.0174	0.00023779
3/4"	26.5	5	4.96	1.8	22.9	0.0229	0.00041187
1"	33	5	4.96	1.8	29.4	0.0294	0.00067887

Cuadro 35. Características técnicas de la Tubería para Agua Fría a Presión NTP 399.002:2015.

4.4.18.2. Resumen de datos obtenidos de la presión.

Lectura de Presión Experimento 1 - RD522

Presión - RD522		Presión - RD522		Presión - RD522	
P _{ENTRADA}	P _{SALIDA}	P _{ENTRADA}	P _{SALIDA}	P _{ENTRADA}	P _{SALIDA}
BAR	BAR	PSI	PSI	N/m ²	N/m ²
1.130	1.021	16.38	14.80	112970	102060
1.281	1.160	18.58	16.82	128130	115970
1.450	1.314	21.04	19.06	145040	131400
1.600	1.453	23.20	21.07	159990	145290
1.682	1.531	24.40	22.20	168240	153050

Cuadro 36. Datos de Presiones de entrada y salida obtenidos en el Experimento 1.

Lectura de Presión Experimento 2 - RD522

Presión - RD522		Presión - RD522		Presión - RD522	
P _{ENTRADA}	P _{SALIDA}	P _{ENTRADA}	P _{SALIDA}	P _{ENTRADA}	P _{SALIDA}
BAR	BAR	PSI	PSI	N/m ²	N/m ²
1.123	1.019	16.29	14.79	112330	101940
1.286	1.168	18.66	16.94	128640	116800
1.438	1.311	20.85	19.01	143760	131060
1.596	1.459	23.15	21.16	159640	145900
1.689	1.545	24.49	22.41	168870	154500

Cuadro 37. Datos de Presiones de entrada y salida obtenidos en el Experimento 2.

Lectura de Presión Experimento 3 - RD522

Presión - RD522		Presión - RD522		Presión - RD522	
P _{ENTRADA}	P _{SALIDA}	P _{ENTRADA}	P _{SALIDA}	P _{ENTRADA}	P _{SALIDA}
BAR	BAR	PSI	PSI	N/m ²	N/m ²
1.123	1.017	16.29	14.74	112300	101650
1.281	1.162	18.58	16.85	128130	116200
1.444	1.311	20.95	19.01	144430	131100
1.603	1.459	23.25	21.16	160290	145900
1.674	1.522	24.28	22.08	167410	152220

Cuadro 38. Datos de Presiones de entrada y salida obtenidos en el Experimento 3.

4.4.18.3. Resumen del coeficiente de fricción.

Cálculo del Coeficiente de Fricción “f” con la Ecuación de Darcy Weisbach

N	Caudal m ³ /Seg	Área m ²	Vel. m/seg	Presión		Δ Presión N/m ²	hf m	Reynold	"f" _{DW}
				P _{ENTRADA} N/m ²	P _{SALIDA} N/m ²				
Giro 1	0.000682	0.0002378	2.87	112970	102060	10910	1.118	48855	0.0231
Giro 2	0.000749	0.0002378	3.15	128130	115970	12160	1.246	54523	0.0213
Giro 3	0.000802	0.0002378	3.37	145040	131400	13640	1.398	59067	0.0209
Giro 4	0.000843	0.0002378	3.55	159990	145290	14700	1.507	62743	0.0204
Giro 5	0.000867	0.0002378	3.64	168240	153050	15190	1.557	65026	0.0199

Cuadro 39. Coeficiente de Fricción "f" obtenidos en el Experimento 1.

Cálculo del Coeficiente de Fricción “f” con la Ecuación de Darcy Weisbach

N	Caudal m ³ /Seg	Área m ²	Vel. m/seg	Presión		Δ Presión N/m ²	hf m	Reynold	"f" _{DW}
				P _{ENTRADA} N/m ²	P _{SALIDA} N/m ²				
Giro 1	0.000690	0.0002378	2.90	112330	101940	10390	1.065	50084	0.0215
Giro 2	0.000749	0.0002378	3.15	128640	116800	11840	1.215	55082	0.0208
Giro 3	0.000798	0.0002378	3.36	143760	131060	12700	1.302	59301	0.0196
Giro 4	0.000843	0.0002378	3.55	159640	145900	13740	1.412	63188	0.0191
Giro 5	0.000866	0.0002378	3.64	168870	154500	14370	1.475	65386	0.0189

Cuadro 40. Coeficiente de Fricción "f" obtenidos en el Experimento 2.

Cálculo del Coeficiente de Fricción "f" con la Ecuación de Darcy Weisbach

N	Caudal m3/Seg	Área m2	Vel. m/seg	Presión		Δ Presión N/m2	hf m	Reynold	"f" _{DW}
				P _{ENTRADA} N/m2	P _{SALIDA} N/m2				
Giro 1	0.000694	0.0002378	2.92	112300	101650	10650	1.091	50234	0.0218
Giro 2	0.000749	0.0002378	3.15	128130	116200	11930	1.223	54976	0.0209
Giro 3	0.000801	0.0002378	3.37	144430	131100	13330	1.366	59375	0.0205
Giro 4	0.000842	0.0002378	3.54	160290	145900	14390	1.475	62960	0.0200
Giro 5	0.000866	0.0002378	3.64	167410	152220	15190	1.557	65289	0.0200

Cuadro 41. Coeficiente de Fricción "f" obtenidos en el Experimento 3.

4.4.18.4. Correlación logarítmica del coeficiente de fricción.

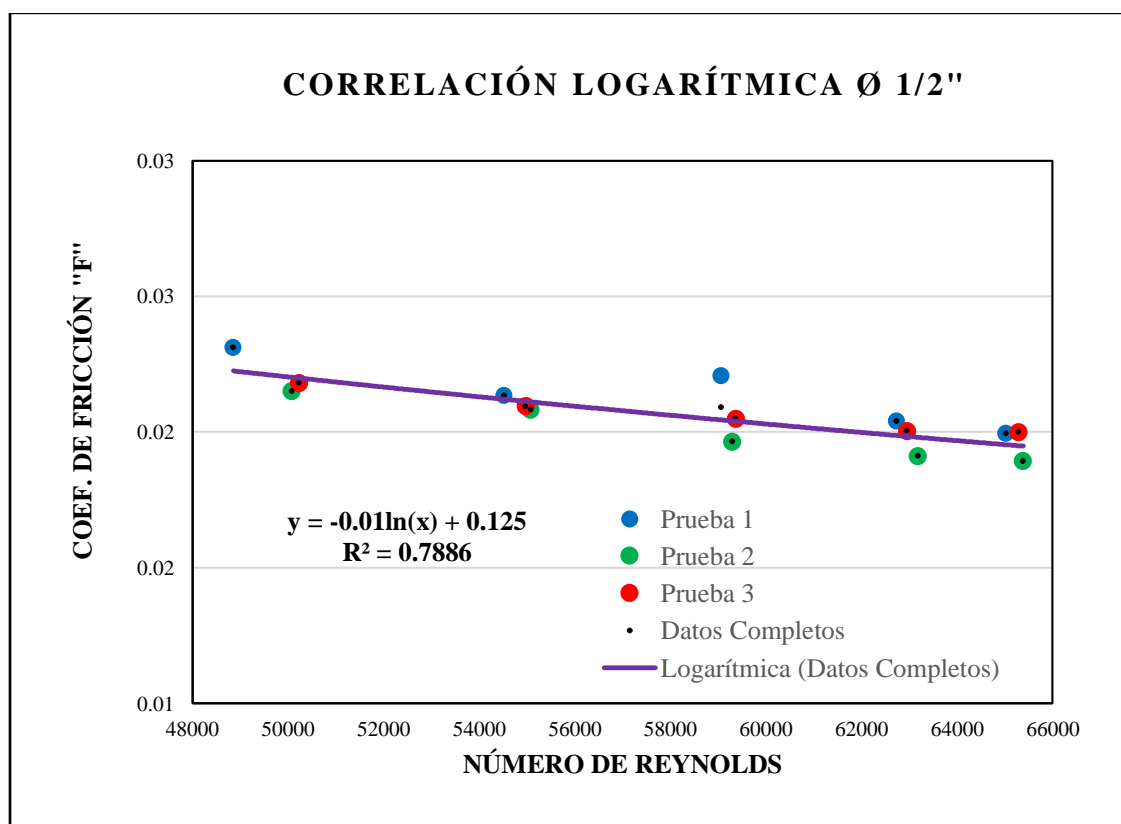


Gráfico 10. Correlación de los Coeficientes de Fricción en la Tubería de PVC-U Ø 1/2".

4.4.19. Coeficiente de fricción “f” en tuberías de PVC-U de Ø 1/2” con ecuaciones de diferentes bibliografías.

Para realizar el análisis comparativo del coeficiente de Fricción “f” hallado en el Laboratorio con respecto a las bibliografías se utilizará las siguientes 03 ecuaciones.

- Ecuación Colebrook White.
- Ecuación V. Streeter.
- Ecuación de Haaland.

4.4.19.1. Ecuación Colebrook White.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad \begin{array}{l} 0.01 \leq \frac{\varepsilon}{D} \leq 10^{-6} \\ 5000 \leq Re \leq 10^8 \end{array} \quad \text{Ecuación (24)}$$

f : Coeficiente de Fricción de Colebrook.

ε : Rugosidad de Tubería PVC-U Ø 1/2".

D : Diámetro interno de Tubería PVC-U Ø 1/2".

4.4.19.2. Cálculo del coeficiente de fricción “f”- Ecuación-Colebrook White.

N 1		N 2		N 3	
Espesor=	0.0000015	Espesor=	0.0000015	Espesor=	0.0000015
Diámetro=	0.0174	Diámetro=	0.0174	Diámetro=	0.0174
Re=	49724	Re=	54861	Re=	59248
f supuesto=	0.0212	f supuesto=	0.0208	f supuesto=	0.0205
f teórico=	0.0212	f teórico=	0.0208	f teórico=	0.0205

N 4	
Espesor=	0.0000015
Diámetro=	0.0174
Re=	62964
f supuesto=	0.0202
f teórico=	0.0202

N 5	
Espesor=	0.0000015
Diámetro=	0.0174
Re=	65234
f supuesto=	0.0201
f teórico=	0.0201

4.4.19.3. Cálculo del coeficiente de fricción "f"- Colebrook White.

Giro	Caudal m ³ /Seg	Área m ²	Vel. m/seg	Presión		Reynolds	f _{Colebrook}
				P _{ENTRADA} N/m ²	P _{SALIDA} N/m ²		
Giro 1	0.000689	0.000238	2.90	112533	101883	49724	0.0212
Giro 2	0.000749	0.000238	3.15	128300	116083	54861	0.0208
Giro 3	0.000800	0.000238	3.37	144410	130937	59248	0.0205
Giro 4	0.000843	0.000238	3.54	159973	145283	62964	0.0202
Giro 5	0.000866	0.000238	3.64	168173	152387	65234	0.0201

Cuadro 42. Colebrook White - PVC-U Ø 1/2".

4.4.19.4. Ecuación - Streeter 9na Edición.

$$f = 1.325 \left[\ln \left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^{-2} \quad \begin{array}{l} 10^{-6} \leq \frac{\varepsilon}{D} \leq 0.01 \\ 5000 \leq Re \leq 10^8 \end{array} \quad \text{Ecuación (25)}$$

f : Coeficiente de Fricción.

ε : Rugosidad de Tubería PVC-U Ø 1/2".

D : Diámetro interno de Tubería PVC-U Ø 1/2".

4.4.19.5 Cálculo del coeficiente de fricción "f"- Ecuación - Streeter 9na Edición.

N 1		N 2		N 3	
Espesor=	0.0000015	Espesor=	0.0000015	Espesor=	0.0000015
Diámetro=	0.0174	Diámetro=	0.0174	Diámetro=	0.0174
Re=	49724	Re=	54861	Re=	59248
ε/D	0.000086	ε/D	0.000086	ε/D	0.000086
f _{teórico} =	0.0211	f _{teórico} =	0.0207	f _{teórico} =	0.0204

N 4	
Espesor=	0.0000015
Diámetro=	0.0174
Re=	62964
ε/D	0.000086
f _{teórico} =	0.0201

N 5	
Espesor=	0.0000015
Diámetro=	0.0174
Re=	65234
ε/D	0.000086
f _{teórico} =	0.0200

4.4.19.6. Cálculo del coeficiente de fricción "f"- Streeter 9na Edición.

Giro	Caudal m ³ /Seg	Área m ²	Vel. m/seg	Presión		Reynolds	f _{Streeter}
				P _{ENTRADA} N/m ²	P _{SALIDA} N/m ²		
Giro 1	0.000689	0.000238	2.90	112533	101883	49724	0.0211
Giro 2	0.000749	0.000238	3.15	128300	116083	54861	0.0207
Giro 3	0.000800	0.000238	3.37	144410	130937	59248	0.0204
Giro 4	0.000843	0.000238	3.54	159973	145283	62964	0.0201
Giro 5	0.000866	0.000238	3.64	168173	152387	65234	0.0200

Cuadro 43. Streeter - PVC-U Ø 1/2".

4.4.19.7. Ecuación - Haaland (1983).

$$f = \frac{1}{\left\{ -1.8 \log \left[\left(\frac{\varepsilon}{3.7D} \right)^{1.11} + \frac{6.9}{Re} \right] \right\}^2} \quad \begin{array}{l} 0.01 \leq \frac{\varepsilon}{D} \leq 10^{-6} \\ 5000 \leq Re \leq 10^8 \end{array} \quad \text{Ecuación (26)}$$

f : Coeficiente de Fricción.

ε : Rugosidad de Tubería PVC-U Ø 1/2".

D : Diámetro interno de Tubería PVC-U Ø 1/2".

4.4.19.8. Cálculo del coeficiente de fricción "f"- Ecuación - Haaland (1983).

N 1	N 2	N 3
Espesor= 0.0000015	Espesor= 0.0000015	Espesor= 0.0000015
Diámetro= 0.0174	Diámetro= 0.0174	Diámetro= 0.0174
Re= 49724	Re= 54861	Re= 59248
ε/D= 0.000086	ε/D= 0.000086	ε/D= 0.000086
f _{teórico} = 0.0210	f _{teórico} = 0.0205	f _{teórico} = 0.0202
N 4	N 5	
Espesor= 0.0000015	Espesor= 0.0000015	
Diámetro= 0.0174	Diámetro= 0.0174	
Re= 62964	Re= 65234	
ε/D= 0.000086	ε/D= 0.000086	
f _{teórico} = 0.0200	f _{teórico} = 0.0198	

4.4.19.9. Cálculo del coeficiente de fricción "f"- Haaland (1983).

Giro	Caudal m ³ /Seg	Área m ²	Vel. m/seg	Presión		Reynolds	f _{Haaland}
				P _{ENTRADA} N/m ²	P _{SALIDA} N/m ²		
Giro 1	0.000689	0.000238	2.90	112533	101883	49724	0.0210
Giro 2	0.000749	0.000238	3.15	128300	116083	54861	0.0205
Giro 3	0.000800	0.000238	3.37	144410	130937	59248	0.0202
Giro 4	0.000843	0.000238	3.54	159973	145283	62964	0.0200
Giro 5	0.000866	0.000238	3.64	168173	152387	65234	0.0198

Cuadro 44. Haaland - PVC-U Ø 1/2".

4.4.19.10. Resumen del coeficiente de Fricción.

Coefficientes De Fricción Colebrook , Streeter y Haaland

Giro	Reynolds	f _{Colebrook.}	f _{Streeter}	f _{Haaland}
Giro 1	49724	0.0212	0.0211	0.0210
Giro 2	54861	0.0208	0.0207	0.0205
Giro 3	59248	0.0205	0.0204	0.0202
Giro 4	62964	0.0202	0.0201	0.0200
Giro 5	65234	0.0201	0.0200	0.0198

Cuadro 45. Coeficiente de Fricción Colebrook, Streeter y Haaland PVC-U 1/2".

Coefficiente de Fricción Colebrook, Streeter y Haaland PVC-U 1/2".

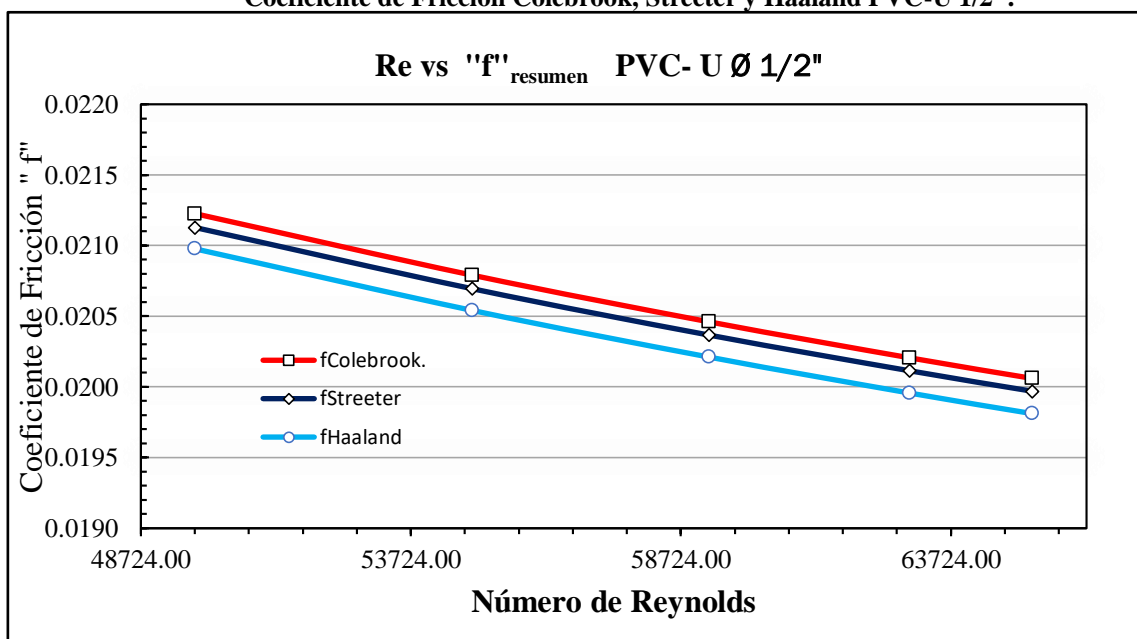


Gráfico 11. Coeficiente de Fricción de Colebrook White, Streeter y Haaland PVC-U Ø 1/2".

4.4.20. Resultados de la experimentación en el diagrama de Moody para la tubería de PVC-U de $\varnothing 1/2''$.

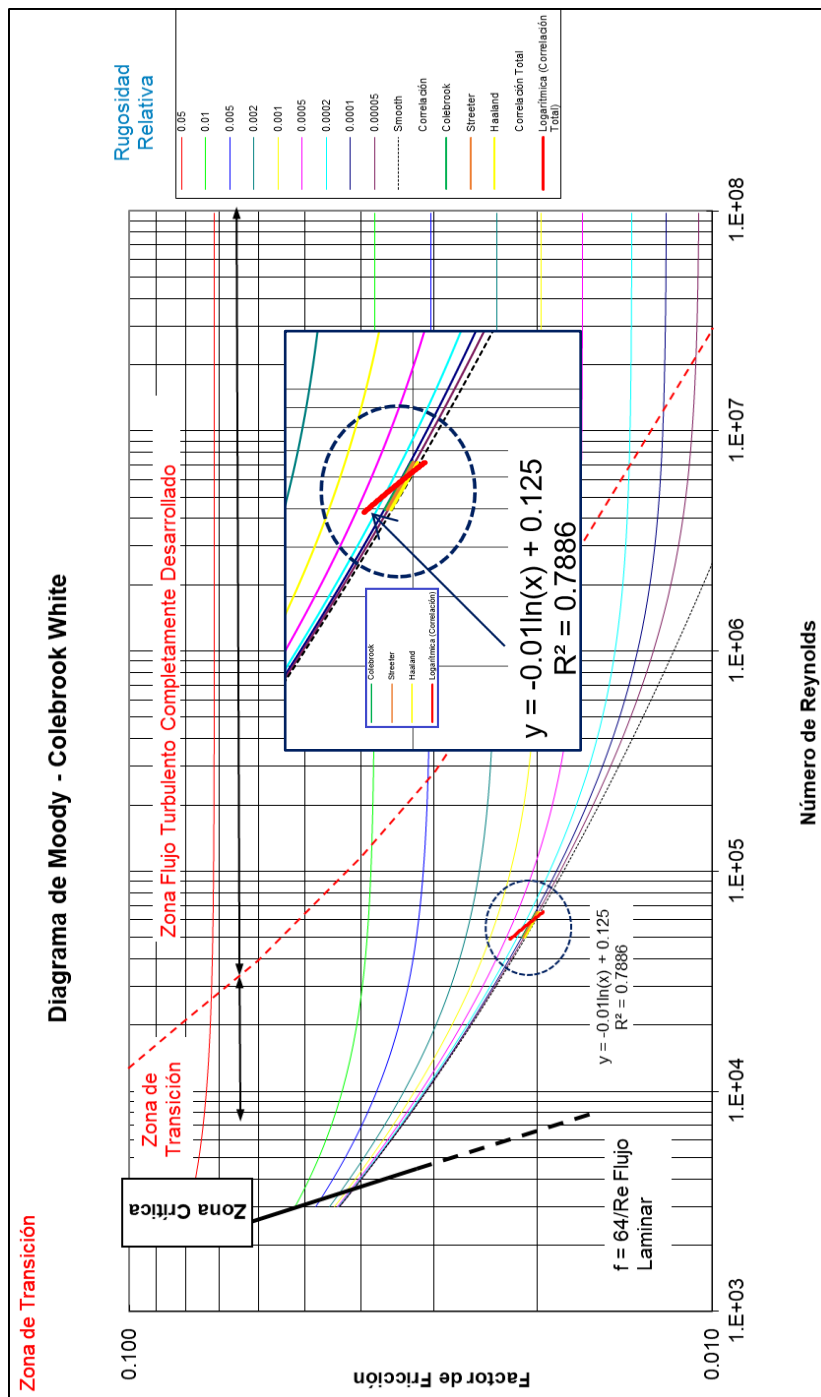


Gráfico 12. Ubicación de los resultados en el diagrama de Moody.

4.5. Proceso para obtener el coeficiente de fricción “f” en tuberías de PVC-U de 3/4"

4.5.1. Verificación del diámetro de tubería de PVC –U de 3/4".

Para la verificación del diámetro de la tubería interna y externa utilizamos el medidor digital vernier.



Fotografía 12. Verificación del Diámetro Externo de la Tubería PVC-U Ø 3/4".



Fotografía 13. Verificación del Diámetro Interno de la Tubería. PVC-U Ø 3/4".

4.5.2. Verificación de la lectura del sensor de caudal.

Para realizar la verificación del sensor de caudal, se realiza una lectura por cada giro de la válvula con el sensor y a la vez se realiza el procedimiento experimental con un recipiente de 3.5 litros y un cronómetro. Los resultados son los siguientes.

N°	Giro 1 l/seg	Giro 2 l/seg	Giro 3 l/seg	Giro 4 l/seg	Giro 5 l/seg
1	0.743	0.785	0.897	0.891	0.916
2	0.737	0.783	0.833	0.921	0.921
3	0.749	0.780	0.845	0.888	0.888
4	0.722	0.774	0.860	0.904	0.933
5	0.729	0.787	0.875	0.897	0.936
6	0.742	0.783	0.833	0.877	0.954
7	0.738	0.795	0.852	0.875	0.951
8	0.740	0.792	0.845	0.875	0.938
9	0.731	0.787	0.841	0.888	0.933
10	0.740	0.806	0.831	0.891	0.923
Promedio	0.737	0.787	0.851	0.891	0.929

Cuadro 46. Caudal Experimental con Recipiente de V=3.5 Litros.

Fuente. Elaboración Propia

N°	Giro 1 l/seg	Giro 2 l/seg	Giro 3 l/seg	Giro 4 l/seg	Giro 5 l/seg
1	0.740	0.804	0.846	0.900	0.942
2	0.740	0.800	0.850	0.900	0.939
3	0.740	0.804	0.853	0.896	0.942
4	0.740	0.796	0.850	0.903	0.942
5	0.740	0.804	0.850	0.900	0.942
6	0.736	0.804	0.846	0.903	0.939
7	0.743	0.804	0.850	0.903	0.939
8	0.740	0.800	0.850	0.900	0.942
9	0.736	0.796	0.850	0.903	0.942
10	0.736	0.804	0.850	0.900	0.942
Promedio	0.739	0.802	0.850	0.901	0.941

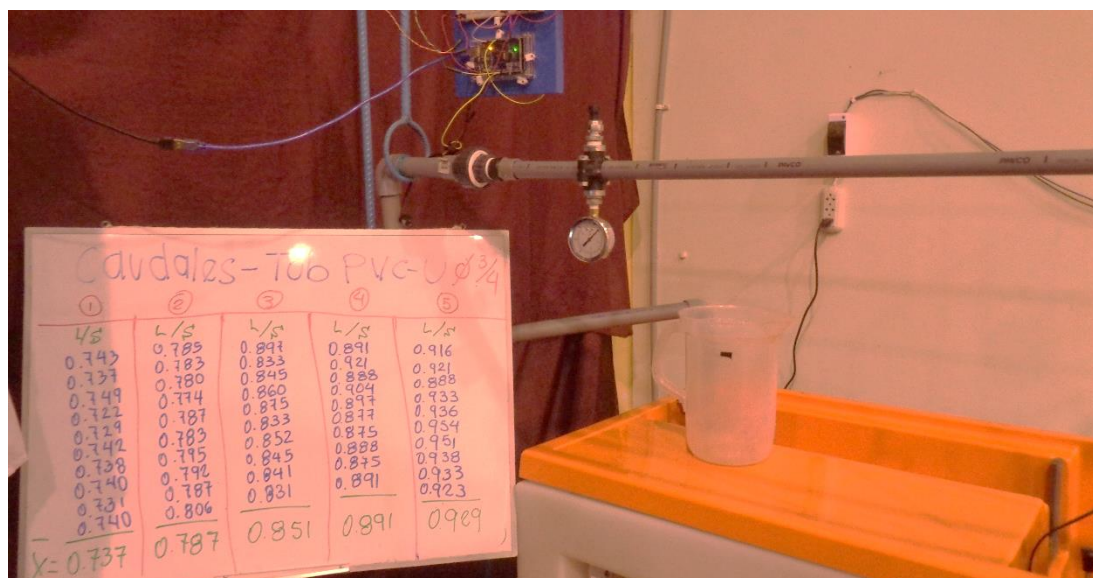
Cuadro 47. Caudal Experimental con Sensor de Flujo en la Tubería de 3/4".

Fuente. Elaboración Propia

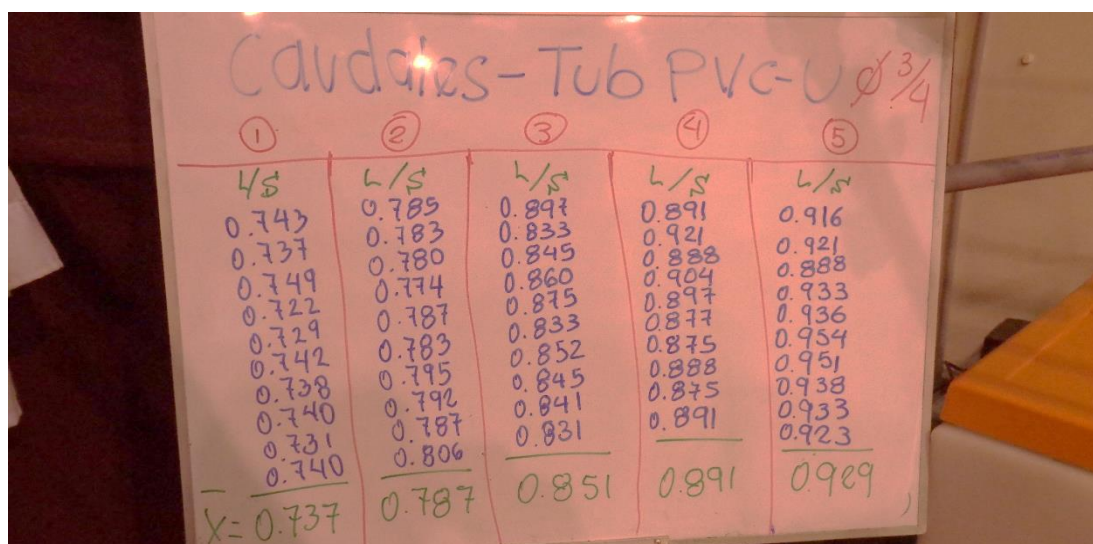
4.5.3. Comparación de datos de caudales extraídos en laboratorio.

	Giro 1	Giro 2	Giro 3	Giro 4	Giro 5
P RECIPIENTE	0.737	0.787	0.851	0.891	0.929
P SENSOR FLUJO	0.739	0.802	0.850	0.901	0.941
% Comparativo	99.73%	100.06%	101.67%	101.53%	100.28%
Respecto al 100%	0.27%	-0.06%	-1.67%	-1.53%	-0.28%

Cuadro 48. Porcentaje de Variación de Caudales Extraídos en el Laboratorio para la Tubería de 3/4".
Fuente. Elaboración Propia



Fotografía 14. Caudal Experimental en Tubería PVC-U Ø 3/4".



Fotografía 15. Datos extraídos experimentalmente de la Tubería PVC-U Ø 3/4".

4.5.4. Procesamiento estadístico de los datos extraídos en el laboratorio utilizando el software SPSS experimento 1.

4.5.4.1. Temperatura.

Datos de Obtenidos con el Sensor de Temperatura

N°	Giro 1 Temperatura (°C)	Giro 2 Temperatura (°C)	Giro 3 Temperatura (°C)	Giro 4 Temperatura (°C)	Giro 5 Temperatura (°C)
1	18.78	19.28	19.78	20.28	20.68
2	18.78	19.28	19.81	20.28	20.68
3	18.78	19.28	19.81	20.28	20.68
4	18.81	19.28	19.81	20.28	20.72
5	18.81	19.28	19.81	20.28	20.72
6	18.81	19.28	19.81	20.28	20.72
7	18.81	19.28	19.81	20.28	20.72
8	18.81	19.28	19.81	20.28	20.68
9	18.81	19.28	19.81	20.28	20.72
10	18.81	19.28	19.84	20.28	20.72

Cuadro 49. Datos Extraídos de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 1.

Fuente. Elaboración Propia

Nota. Grados Celsius (°C)

Estadísticos descriptivos - Temperatura

Giro	N Estadístico	Mínimo Estadístico	Máximo Estadístico	Media		Desviación Estándar
				Estadístico	Error	
Giro 1 – °C	10	18.78	18.81	18.80	0.0046	0.01449
Giro 2 – °C	10	19.28	19.28	19.28	0.0000	0.00000
Giro 3 – °C	10	19.78	19.84	19.81	0.0045	0.01414
Giro 4 – °C	10	20.28	20.28	20.28	0.0000	0.00000
Giro 5 – °C	10	20.68	20.72	20.70	0.0065	0.02066

Cuadro 50. Resultados Estadísticos de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 1.

Fuente. Elaboración Propia

Software. IBM SPSS Statistics 25

4.5.4.2. Presión.

Datos de Obtenidos con el Sensor RD522 de Presión

N°	Giro 1		Giro 2		Giro 3		Giro 4		Giro 5	
	P _{Entrada} (PSI)	P _{Salida} (PSI)	P _{Entrada} (PSI)	P _{Salida} (PSI)	P _{Entrada} (PSI)	P _{Salida} (PSI)	P _{Entrada} (PSI)	P _{Salida} (PSI)	P _{Entrada} (PSI)	P _{Salida} (PSI)
1	16.67	15.98	18.55	17.98	20.78	20.39	23.14	22.50	25.52	24.78
2	16.46	15.85	18.68	17.97	20.97	20.26	23.07	22.46	25.39	24.70
3	16.40	15.91	18.62	18.02	20.91	20.23	23.14	22.48	25.32	24.73
4	16.65	15.85	18.52	17.89	21.01	20.33	23.07	22.55	25.39	24.94
5	16.49	15.91	18.63	17.95	20.91	20.34	23.16	22.50	25.33	24.73
6	16.50	15.92	18.66	18.07	20.94	20.30	23.10	22.37	25.43	24.78
7	16.47	15.79	18.70	17.97	20.91	20.26	23.11	22.46	25.42	24.89
8	16.46	15.89	18.53	18.01	20.84	20.23	23.20	22.56	25.38	24.70
9	16.57	15.83	18.57	17.91	20.95	20.17	23.03	22.39	25.46	24.83
10	16.50	15.88	18.53	17.98	20.89	20.36	23.07	22.48	25.43	24.73

Cuadro 51. Datos Extraídos de la Presión del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 1.

Fuente. Elaboración Propia

Nota. Libras por Pulgada Cuadrada (PSI)

Estadísticos descriptivos - Presión

Giro	Presión	N Estadístico	Mínimo Estadístico	Máximo Estadístico	Media		Desviación Estándar
					Estadístico	Error	
Giro 1	P _{Entrada}	10	16.40	16.67	16.52	0.0274	0.0867
	P _{Salida}	10	15.79	15.98	15.88	0.0170	0.0536
Giro 2	P _{Entrada}	10	18.52	18.70	18.60	0.0213	0.0674
	P _{Salida}	10	17.89	18.07	17.98	0.0165	0.0521
Giro 3	P _{Entrada}	10	20.78	21.01	20.91	0.0206	0.0652
	P _{Salida}	10	20.17	20.39	20.29	0.0217	0.0686
Giro 4	P _{Entrada}	10	23.03	23.20	23.11	0.0162	0.0513
	P _{Salida}	10	22.37	22.56	22.48	0.0191	0.0604
Giro 5	P _{Entrada}	10	25.32	25.52	25.41	0.0187	0.0593
	P _{Salida}	10	24.70	24.94	24.78	0.0259	0.0820

Cuadro 52. Resultados Estadísticos de la Presión del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 1.

Fuente. Elaboración Propia

Software. IBM SPSS Statistics 25

4.5.4.3. Caudal.

Datos de Obtenidos con el Sensor de Flujo

N°	Giro 1 Caudal l/seg	Giro 2 Caudal l/seg	Giro 3 Caudal l/seg	Giro 4 Caudal l/seg	Giro 5 Caudal l/seg
1	0.706	0.774	0.823	0.870	0.894
2	0.708	0.772	0.825	0.871	0.896
3	0.704	0.768	0.825	0.870	0.894
4	0.706	0.772	0.823	0.870	0.894
5	0.706	0.770	0.821	0.868	0.893
6	0.708	0.770	0.823	0.868	0.896
7	0.708	0.772	0.822	0.870	0.900
8	0.708	0.772	0.823	0.866	0.896
9	0.708	0.772	0.821	0.870	0.893
10	0.706	0.768	0.823	0.872	0.896

Cuadro 53. Datos Extraídos del Caudal del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 1.

Fuente. Elaboración Propia

Nota. Litros por segundo (l/seg)

Estadísticos descriptivos

Giro	N Estadístico	Mínimo Estadístico	Máximo Estadístico	Media Estadístico	Media Error	Desviación Estándar
Giro 1 - l/seg	10	0.704	0.708	0.707	0.000402	0.00127
Giro 2 - l/seg	10	0.768	0.774	0.771	0.000554	0.00175
Giro 3 - l/seg	10	0.821	0.825	0.823	0.000396	0.00125
Giro 4 - l/seg	10	0.866	0.872	0.869	0.000496	0.00157
Giro 5 - l/seg	10	0.893	0.900	0.895	0.000664	0.00210

Cuadro 54. Resultados Estadísticos del Caudal del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 1.

Fuente. Elaboración Propia

Software. IBM SPSS Statistics 25

4.5.5. Errores y desviación estándar de los datos extraídos del sensor de temperatura.

Datos Estadísticos de la Temperatura en la Tubería PVC-U3/4"

Giro	Mínimo	Máximo	Media	Errores			Desviación
	°C	°C	°C	Error Aleatorio	Error Sistemático	Error Total	Estándar
Giro 1	18.78	18.81	18.80	0.0046	0.50	0.50	0.01449
Giro 2	19.28	19.28	19.28	0.0000	0.50	0.50	0.00000
Giro 3	19.78	19.84	19.81	0.0045	0.50	0.50	0.01414
Giro 4	20.28	20.28	20.28	0.0000	0.50	0.50	0.00000
Giro 5	20.68	20.72	20.70	0.0065	0.50	0.50	0.02066

Cuadro 55. Error y Desviación Estándar de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 1.

Fuente. Elaboración Propia

Software. IBM SPSS Statistics 25

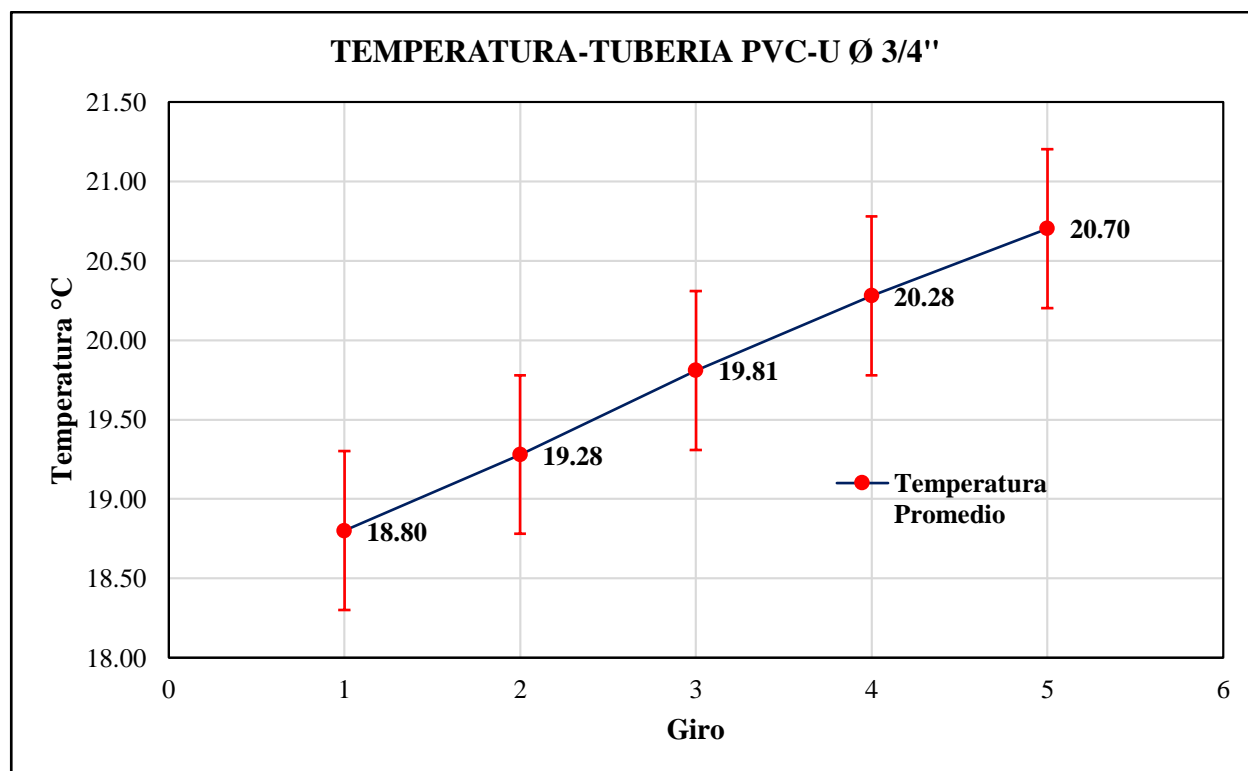


Gráfico 13. Error y Media de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 1.

4.5.6. Errores y desviación estándar de los datos extraídos del sensor RD522 de presión.

Datos Estadísticos de Presiones en la Tubería PVC-U3/4"

Giro	Presión	Mínimo	Máximo	MEDIA	Errores			Desviación
		PSI	PSI	PSI	Error Aleatorio	Error Sistemático	Error Total	Estándar
Giro-1	P _{Entrada}	16.40	16.67	16.52	0.0274	0.145	0.148	0.0867
	P _{Salida}	15.79	15.98	15.88	0.0170	0.145	0.146	0.0536
Giro-2	P _{Entrada}	18.52	18.70	18.60	0.0213	0.145	0.147	0.0674
	P _{Salida}	17.89	18.07	17.98	0.0165	0.145	0.146	0.0521
Giro-3	P _{Entrada}	20.78	21.01	20.91	0.0206	0.145	0.146	0.0652
	P _{Salida}	20.17	20.39	20.29	0.0217	0.145	0.147	0.0686
Giro-4	P _{Entrada}	23.03	23.20	23.11	0.0162	0.145	0.146	0.0513
	P _{Salida}	22.37	22.56	22.48	0.0191	0.145	0.146	0.0604
Giro-5	P _{Entrada}	25.32	25.52	25.41	0.0187	0.145	0.146	0.0593
	P _{Salida}	24.70	24.94	24.78	0.0259	0.145	0.147	0.0820

Cuadro 56. Error y Desviación Estándar de la Presión del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 1.

Fuente. Elaboración Propia

Software. IBM SPSS Statistics 25

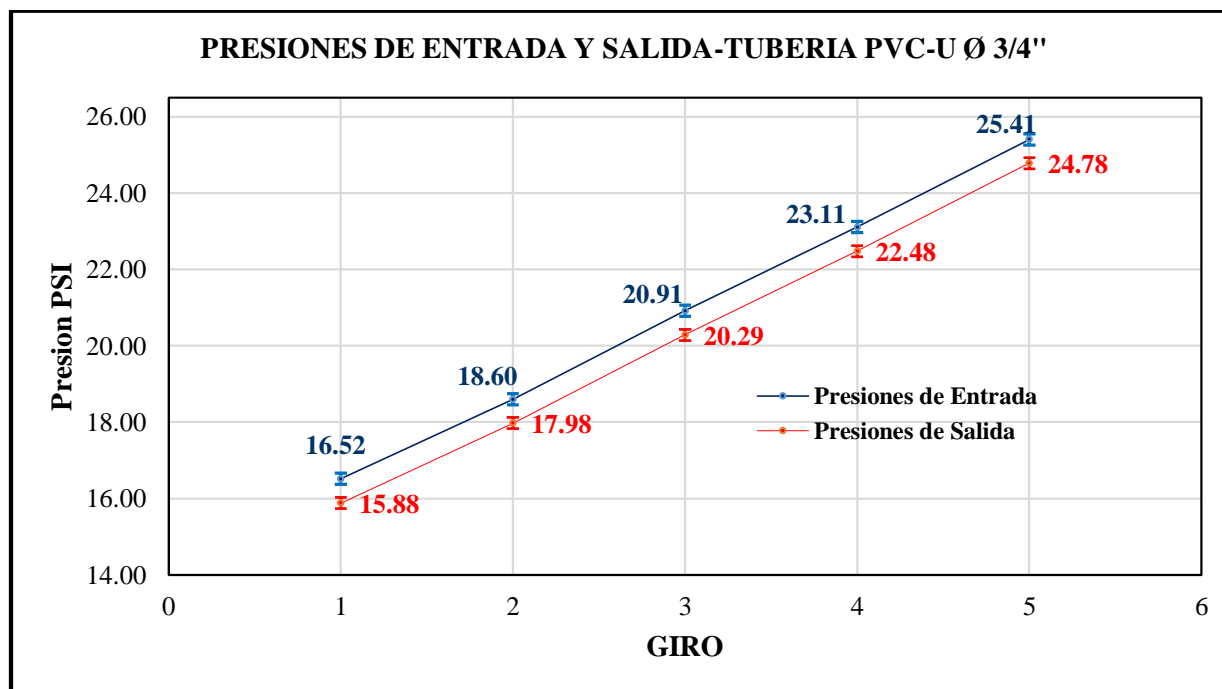


Gráfico 14. Error y Media de la Presión del Flujo en la Tubería de 3/4" en el Experimento 1.

4.5.7. Errores y desviación estándar de los datos extraídos del sensor de flujo.

Datos Estadísticos de Caudales en la Tubería PVC-U3/4"

Giro	Mínimo	Máximo	Media	Errores			Desviación
	l/Seg	l/Seg	l/Seg	Error Aleatorio	Error Sistemático	Error Total	Estándar
Giro 1	0.704	0.708	0.707	0.000402	0.05	0.05	0.00127
Giro 2	0.768	0.774	0.771	0.000554	0.05	0.05	0.00175
Giro 3	0.821	0.825	0.823	0.000396	0.05	0.05	0.00125
Giro 4	0.866	0.872	0.869	0.000496	0.05	0.05	0.00157
Giro 5	0.893	0.900	0.895	0.000664	0.05	0.05	0.00210

Cuadro 57. Error y Desviación Estándar del Caudal del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 1.

Fuente. Elaboración Propia

Software. IBM SPSS Statistics 25

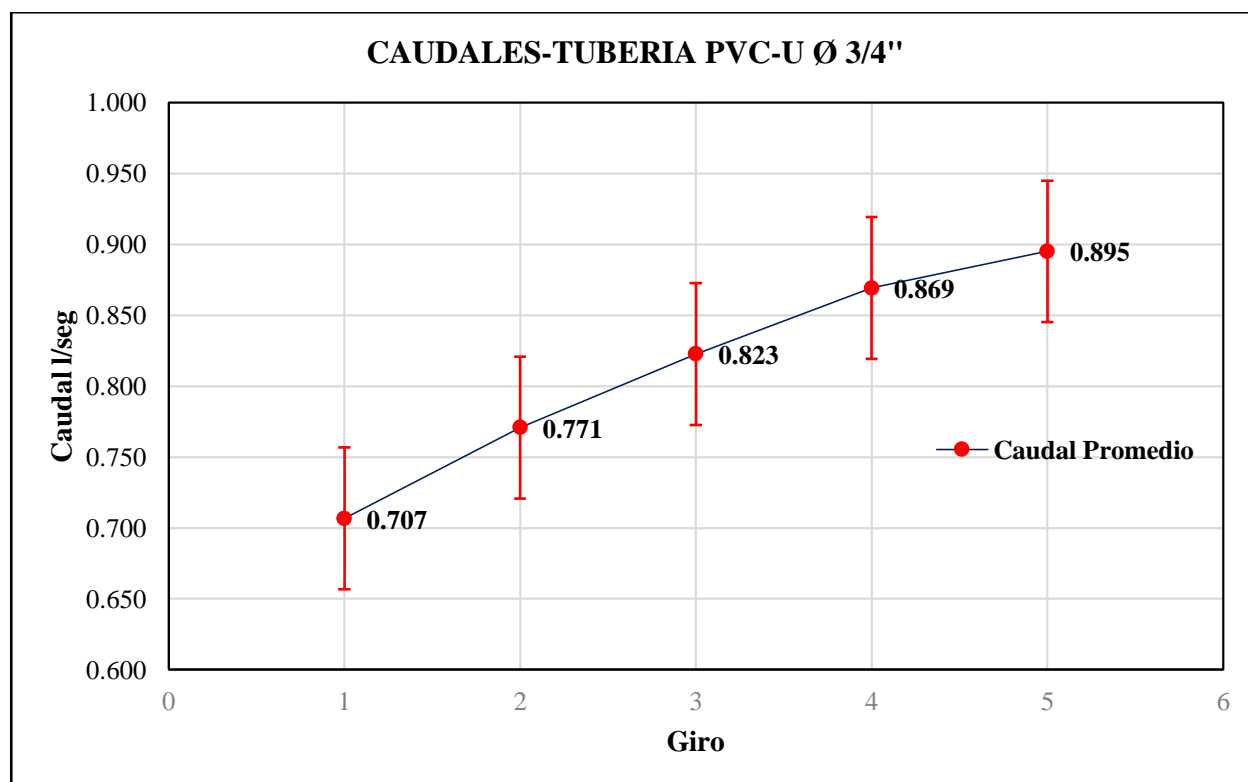


Gráfico 15. Error y Media del Caudal del Flujo en la Tubería de 3/4" en el Experimento 1.

4.5.8. Procesamiento estadístico de los datos extraídos en el laboratorio utilizando el software SPSS experimento 2.

4.5.8.1. Temperatura.

Datos de Obtenidos con el Sensor de Temperatura

N°	Giro 1 Temperatura (°C)	Giro 2 Temperatura (°C)	Giro 3 Temperatura (°C)	Giro 4 Temperatura (°C)	Giro 5 Temperatura (°C)
1	18.94	19.47	19.93	20.40	20.84
2	18.97	19.47	19.96	20.40	20.84
3	18.94	19.47	19.96	20.40	20.84
4	18.97	19.47	19.96	20.40	20.81
5	18.97	19.47	19.96	20.40	20.84
6	18.97	19.47	19.96	20.40	20.84
7	18.97	19.47	19.96	20.40	20.84
8	18.97	19.47	19.96	20.40	20.84
9	18.97	19.47	19.96	20.43	20.84
10	18.97	19.47	19.96	20.40	20.84

Cuadro 58. Datos Extraídos de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 2.

Fuente. Elaboración Propia

Nota. Grados Celsius (°C)

Estadísticos descriptivos - Temperatura

Giro	N Estadístico	Mínimo Estadístico	Máximo Estadístico	Media		Desviación Estándar
				Estadístico	Error	
Giro 1 – °C	10	18.94	18.97	18.96	0.0040	0.01265
Giro 2 – °C	10	19.47	19.47	19.47	0.0000	0.00000
Giro 3 – °C	10	19.93	19.96	19.96	0.0030	0.00949
Giro 4 – °C	10	20.40	20.43	20.40	0.0030	0.00949
Giro 5 – °C	10	20.81	20.84	20.84	0.0030	0.00949

Cuadro 59. Resultados Estadísticos de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 2.

Fuente. Elaboración Propia

Software. IBM SPSS Statistics 25

4.5.8.2. Presión.

Datos de Obtenidos con el Sensor RD522 de Presión

N°	Giro 1		Giro 2		Giro 3		Giro 4		Giro 5	
	P _{Entrada} (PSI)	P _{salida} (PSI)	P _{Entrada} (PSI)	P _{salida} (PSI)	P _{Entrada} (PSI)	P _{salida} (PSI)	P _{Entrada} (PSI)	P _{salida} (PSI)	P _{Entrada} (PSI)	P _{salida} (PSI)
1	16.30	15.73	18.55	17.97	20.94	20.23	23.01	22.52	25.52	24.68
2	16.38	15.72	18.50	18.02	20.87	20.21	23.17	22.50	25.48	24.59
3	16.31	15.78	18.53	17.98	20.91	20.29	23.14	22.53	25.38	24.83
4	16.34	15.66	18.55	17.97	20.89	20.39	23.07	22.42	25.41	24.67
5	16.28	15.85	18.43	18.04	20.79	20.33	23.16	22.39	25.48	24.65
6	16.27	15.80	18.62	17.91	21.01	20.21	23.09	22.55	25.43	24.81
7	16.36	15.73	18.47	18.07	20.79	20.26	23.10	22.35	25.51	24.77
8	16.22	15.78	18.49	18.05	20.92	20.34	23.22	22.43	25.49	24.78
9	16.34	15.75	18.53	18.02	20.95	20.18	23.19	22.52	25.59	24.77
10	16.28	15.85	18.57	18.11	20.94	20.17	23.23	22.53	25.57	24.74

Cuadro 60. Datos Extraídos de la Presión del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 2.

Fuente. Elaboración Propia

Nota. Libras por Pulgada Cuadrada (PSI)

Estadísticos descriptivos - Presión

Giro	Presión	N	Mínimo	Máximo	Media		Desviación
					Estadístico	Error	
Giro 1	P _{Entrada}	10	16.22	16.38	16.31	0.0152	0.0480
	P _{Salida}	10	15.66	15.85	15.77	0.0188	0.0595
Giro 2	P _{Entrada}	10	18.43	18.62	18.52	0.0171	0.0540
	P _{Salida}	10	17.83	18.03	17.94	0.0187	0.0591
Giro 3	P _{Entrada}	10	20.79	21.01	20.90	0.0220	0.0695
	P _{Salida}	10	20.17	20.39	20.26	0.0234	0.0742
Giro 4	P _{Entrada}	10	23.01	23.23	23.14	0.0222	0.0700
	P _{Salida}	10	22.35	22.55	22.47	0.0222	0.0701
Giro 5	P _{Entrada}	10	25.38	25.59	25.49	0.0210	0.0665
	P _{Salida}	10	24.65	24.88	24.78	0.0238	0.0754

Cuadro 61. Resultados Estadísticos de la Presión del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 2.

Fuente. Elaboración Propia

Software. IBM SPSS Statistics 25

4.5.8.3. Caudal.

Datos de Obtenidos con el Sensor de Flujo

N°	Giro 1 Caudal l/seg	Giro 2 Caudal l/seg	Giro 3 Caudal l/seg	Giro 4 Caudal l/seg	Giro 5 Caudal l/seg
1	0.711	0.772	0.825	0.873	0.900
2	0.715	0.772	0.823	0.868	0.896
3	0.712	0.770	0.825	0.871	0.896
4	0.708	0.772	0.823	0.872	0.896
5	0.712	0.768	0.825	0.872	0.893
6	0.710	0.772	0.823	0.820	0.896
7	0.712	0.772	0.821	0.825	0.894
8	0.712	0.770	0.823	0.820	0.900
9	0.710	0.772	0.823	0.825	0.893
10	0.711	0.772	0.822	0.824	0.896

Cuadro 62. Datos Extraídos del Caudal del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 2.

Fuente. Elaboración Propia.

Nota. Litros por segundo (l/seg).

Estadísticos descriptivos

Giro	N	Mínimo	Máximo	Media		Desviación
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error	Estándar
Giro 1 - l/seg	10	0.708	0.715	0.711	0.000576	0.00182
Giro 2 - l/seg	10	0.768	0.772	0.771	0.000427	0.00135
Giro 3 - l/seg	10	0.821	0.825	0.823	0.000402	0.00127
Giro 4 - l/seg	10	0.820	0.873	0.847	0.008081	0.02556
Giro 5 - l/seg	10	0.893	0.900	0.896	0.000764	0.00242

Cuadro 63. Resultados Estadísticos del Caudal del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 2.

Fuente. Elaboración Propia.

Software. IBM SPSS Statistics 25.

4.5.9. Errores y desviación estándar de los datos extraídos del sensor de temperatura.

Datos Estadísticos de la Temperatura en la Tubería PVC-U3/4"

Giro	Mínimo	Máximo	Media	Errores			Desviación
	°C	°C	°C	Error Aleatorio	Error Sistemático	Error Total	Estándar
Giro 1	18.94	18.97	18.96	0.0040	0.50	0.50	0.01265
Giro 2	19.47	19.47	19.47	0.0000	0.50	0.50	0.00000
Giro 3	19.93	19.96	19.96	0.0030	0.50	0.50	0.00949
Giro 4	20.40	20.43	20.40	0.0030	0.50	0.50	0.00949
Giro 5	20.81	20.84	20.84	0.0030	0.50	0.50	0.00949

Cuadro 64. Error y Desviación Estándar de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 2.

Fuente. Elaboración Propia.

Software. IBM SPSS Statistics 25.

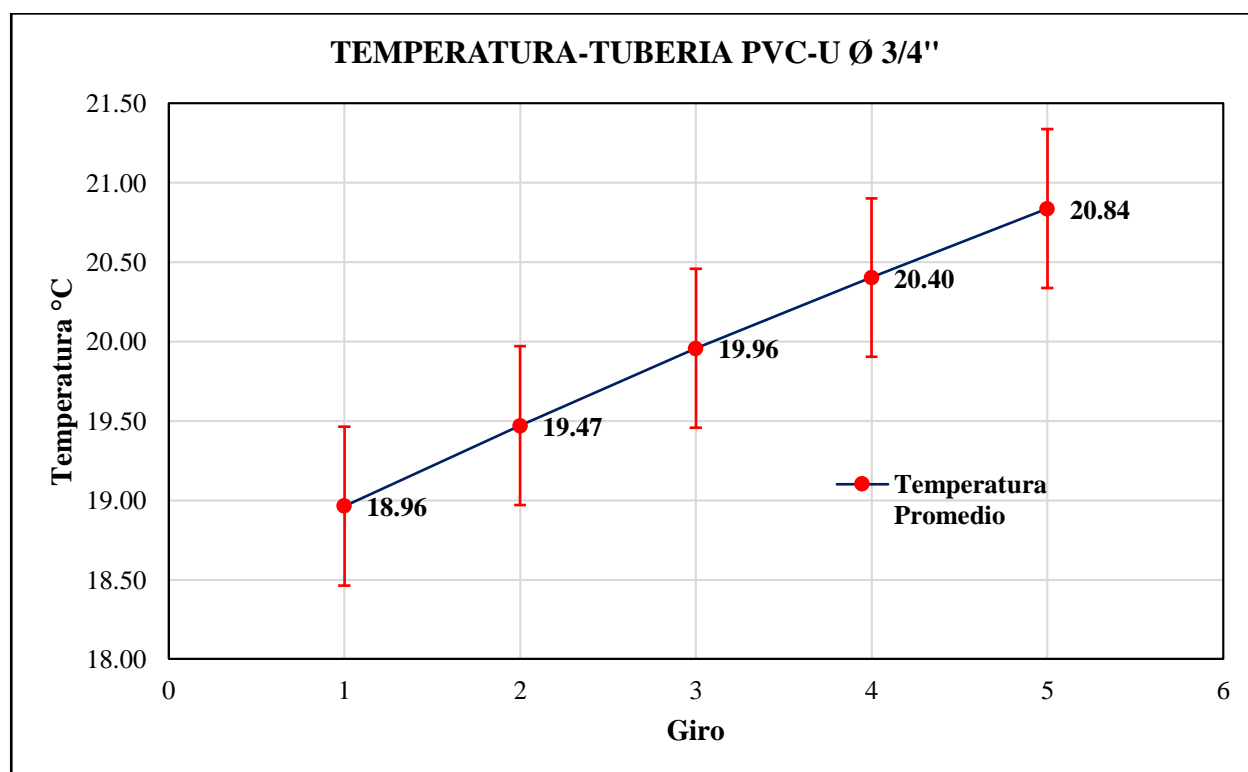


Gráfico 16. Error y Media de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 2.

4.5.10. Errores y desviación estándar de los datos extraídos del sensor RD522 de presión.

Datos Estadísticos de Presiones en la Tubería PVC-U3/4"

Giro	Presión	Mínimo	Máximo	MEDIA	Errores			Desviación
		PSI	PSI	PSI	Error Aleatorio	Error Sistemático	Error Total	Estándar
Giro-1	P _{Entrada}	16.22	16.38	16.31	0.0152	0.1450	0.1458	0.0480
	P _{Salida}	15.66	15.85	15.77	0.0188	0.1450	0.1463	0.0595
Giro-2	P _{Entrada}	18.43	18.62	18.52	0.0171	0.1450	0.1460	0.0540
	P _{Salida}	17.83	18.03	17.94	0.0187	0.1450	0.1462	0.0591
Giro-3	P _{Entrada}	20.79	21.01	20.90	0.0220	0.1450	0.1467	0.0695
	P _{Salida}	20.17	20.39	20.26	0.0234	0.1450	0.1469	0.0742
Giro-4	P _{Entrada}	23.01	23.23	23.14	0.0222	0.1450	0.1467	0.0700
	P _{Salida}	22.35	22.55	22.47	0.0222	0.1450	0.1467	0.0701
Giro-5	P _{Entrada}	25.38	25.59	25.49	0.0210	0.1450	0.1466	0.0665
	P _{Salida}	24.65	24.88	24.78	0.0238	0.1450	0.1470	0.0754

Cuadro 65. Error y Desviación Estándar de la Presión del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 2.

Fuente. Elaboración Propia

Software. IBM SPSS Statistics 25

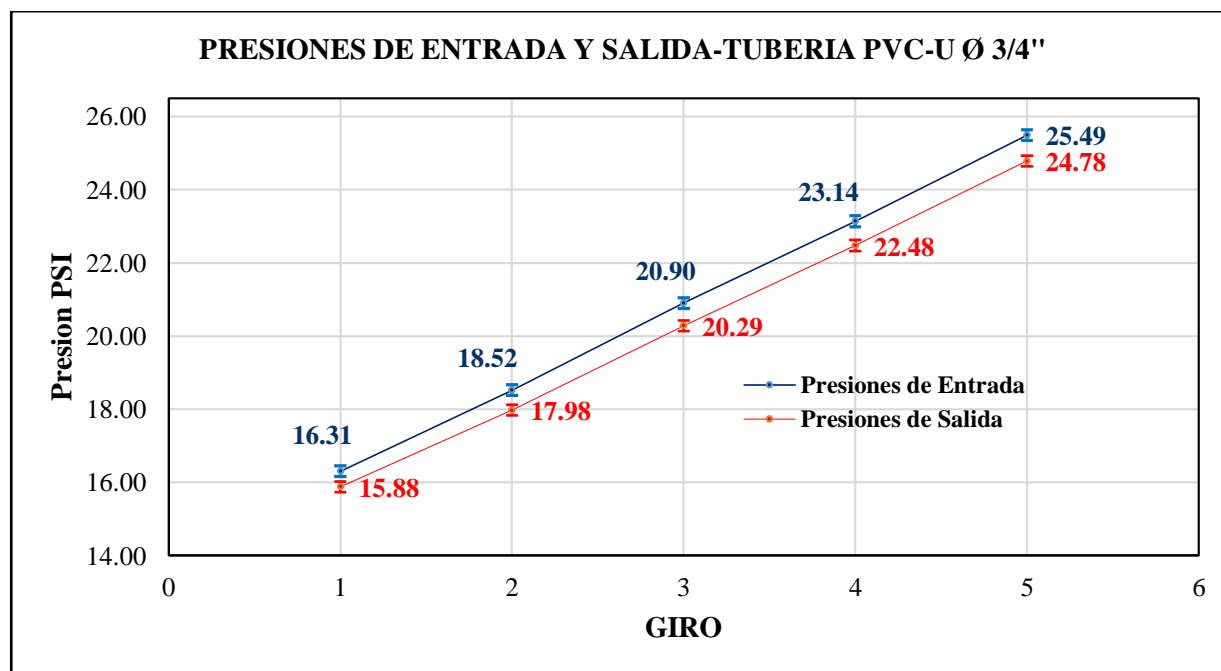


Gráfico 17. Error y Media de la Presión del Flujo en la Tubería de 3/4" en el Experimento 2.

4.5.11. Errores y desviación estándar de los datos extraídos del sensor de flujo.

Datos Estadísticos de Caudales en la Tubería PVC-U3/4"

Giro	Mínimo l/Seg	Máximo l/Seg	Media l/Seg	Errores		Desviación Estándar
				Error Aleatorio	Error Sistemático	
Giro 1	0.708	0.715	0.711	0.000576	0.05	0.00182
Giro 2	0.768	0.772	0.771	0.000427	0.05	0.00135
Giro 3	0.821	0.825	0.823	0.000402	0.05	0.00127
Giro 4	0.820	0.873	0.847	0.008081	0.05	0.02556
Giro 5	0.893	0.900	0.896	0.000764	0.05	0.00242

Cuadro 66. Error y Desviación Estándar del Caudal del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 2.

Fuente. Elaboración Propia

Software. IBM SPSS Statistics 25

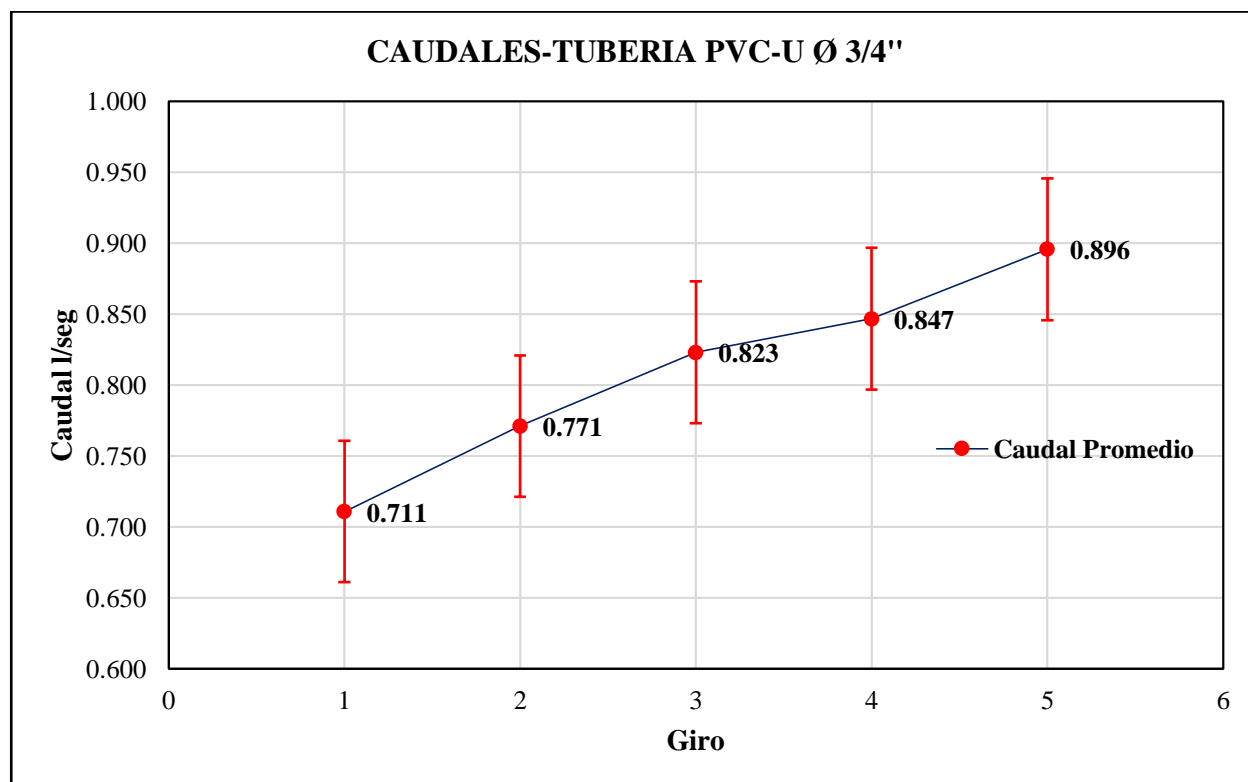


Gráfico 18. Error y Media del Caudal del Flujo en la Tubería de 3/4" en el Experimento 2.

4.5.12. Procesamiento estadístico de los datos extraídos en el laboratorio utilizando el software SPSS experimento 3.

4.5.12.1. Temperatura.

Datos de Obtenidos con el Sensor de Temperatura

N°	Giro 1 Temperatura (°C)	Giro 2 Temperatura (°C)	Giro 3 Temperatura (°C)	Giro 4 Temperatura (°C)	Giro 5 Temperatura (°C)
1	19.09	19.62	20.15	20.56	20.94
2	19.12	19.65	20.15	20.56	20.97
3	19.12	19.62	20.15	20.56	20.94
4	19.12	19.65	20.15	20.56	20.97
5	19.12	19.65	20.15	20.56	20.94
6	19.12	19.65	20.15	20.56	20.94
7	19.12	19.65	20.15	20.56	20.97
8	19.12	19.65	20.15	20.56	20.97
9	19.12	19.65	20.15	20.56	20.94
10	19.12	19.65	20.15	20.56	20.94

Cuadro 67. Datos Extraídos de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 3.

Fuente. Elaboración Propia

Nota. Grados Celsius (°C)

Estadísticos descriptivos - Temperatura

Giro	N Estadístico	Mínimo Estadístico	Máximo Estadístico	Media		Desviación Estándar
				Estadístico	Error	
Giro 1 – °C	10	19.09	19.12	19.12	0.0030	0.00949
Giro 2 – °C	10	19.62	19.65	19.64	0.0040	0.01265
Giro 3 – °C	10	20.15	20.15	20.15	0.0000	0.00000
Giro 4 – °C	10	20.56	20.56	20.56	0.0000	0.00000
Giro 5 – °C	10	20.94	20.97	20.95	0.0049	0.01549

Cuadro 68. Resultados Estadísticos de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 3.

Fuente. Elaboración Propia

Software. IBM SPSS Statistics 25

4.5.12.2. Presión.

Datos de Obtenidos con el Sensor RD522 de Presión

N°	Giro 1		Giro 2		Giro 3		Giro 4		Giro 5	
	P _{Entrada} (PSI)	P _{salida} (PSI)	P _{Entrada} (PSI)	P _{salida} (PSI)	P _{Entrada} (PSI)	P _{salida} (PSI)	P _{Entrada} (PSI)	P _{salida} (PSI)	P _{Entrada} (PSI)	P _{salida} (PSI)
1	16.31	15.85	18.66	18.10	20.87	20.23	23.22	22.50	25.55	24.81
2	16.30	15.73	18.59	18.02	21.00	20.18	23.19	22.46	25.49	24.78
3	16.41	15.85	18.63	18.05	20.94	20.10	23.27	22.48	25.41	24.75
4	16.28	15.80	18.49	18.10	20.84	20.23	23.16	22.55	25.54	24.64
5	16.40	15.76	18.63	18.01	20.94	20.26	23.22	22.50	25.52	24.67
6	16.24	15.79	18.73	18.05	20.92	20.31	23.26	22.37	25.57	24.71
7	16.37	15.82	18.75	17.94	20.88	20.39	23.16	22.46	25.49	24.65
8	16.46	15.78	18.65	17.99	20.91	20.20	23.14	22.56	25.61	24.62
9	16.30	15.85	18.63	18.05	21.01	20.33	23.16	22.39	25.55	24.74
10	16.34	15.80	18.62	18.08	20.85	20.17	23.14	22.48	25.41	24.65

Cuadro 69. Datos Extraídos de la Presión del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 3.

Fuente. Elaboración Propia

Nota. Libras por Pulgada Cuadrada (PSI)

Estadísticos descriptivos - Presión

Giro	Presión	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación
		Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error Estándar
Giro 1	P _{Entrada}	10	16.24	16.46	16.34	0.0215
	P _{Salida}	10	15.73	15.85	15.80	0.0128
Giro 2	P _{Entrada}	10	18.49	18.75	18.64	0.0227
	P _{Salida}	10	17.94	18.10	18.04	0.0159
Giro 3	P _{Entrada}	10	20.84	21.01	20.92	0.0185
	P _{Salida}	10	20.10	20.39	20.24	0.0270
Giro 4	P _{Entrada}	10	23.14	23.27	23.19	0.0152
	P _{Salida}	10	22.37	22.56	22.48	0.0191
Giro 5	P _{Entrada}	10	25.41	25.61	25.51	0.0207
	P _{Salida}	10	24.67	24.86	24.75	0.0207

Cuadro 70. Resultados Estadísticos de la Presión del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 3.

Fuente. Elaboración Propia

Software. IBM SPSS Statistics 25

4.5.12.3. Caudal.

Datos de Obtenidos con el Sensor de Flujo

Nº	Giro 1 Caudal l/seg	Giro 2 Caudal l/seg	Giro 3 Caudal l/seg	Giro 4 Caudal l/seg	Giro 5 Caudal l/seg
1	0.713	0.774	0.827	0.854	0.898
2	0.713	0.770	0.825	0.854	0.896
3	0.713	0.774	0.820	0.854	0.898
4	0.713	0.772	0.823	0.855	0.898
5	0.710	0.772	0.828	0.856	0.896
6	0.713	0.772	0.827	0.854	0.898
7	0.713	0.772	0.825	0.854	0.896
8	0.713	0.777	0.827	0.854	0.895
9	0.717	0.772	0.825	0.854	0.900
10	0.710	0.772	0.825	0.856	0.898

Cuadro 71. Datos Extraídos del Caudal del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 3.

Fuente. Elaboración Propia.

Nota. Litros por segundo (l/seg).

Estadísticos descriptivos

Giro	N Estadístico	Mínimo Estadístico	Máximo Estadístico	Media Estadístico	Error	Desviación Estándar
Giro 1 - l/seg	10	0.710	0.717	0.713	0.000628	0.00199
Giro 2 - l/seg	10	0.770	0.777	0.772	0.000633	0.00200
Giro 3 - l/seg	10	0.820	0.828	0.825	0.000748	0.00237
Giro 4 - l/seg	10	0.854	0.856	0.854	0.000283	0.00090
Giro 5 - l/seg	10	0.895	0.900	0.897	0.000441	0.00139

Cuadro 72. Resultados Estadísticos del Caudal del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 3.

Fuente. Elaboración Propia.

Software. IBM SPSS Statistics 25.

4.5.13. Errores y desviación estándar de los datos extraídos del sensor de temperatura.

Datos Estadísticos de la Temperatura en la Tubería PVC-U3/4"

Giro	Mínimo	Máximo	Media	Errores			Desviación
	°C	°C	°C	Error Aleatorio	Error Sistemático	Error Total	Estándar
Giro 1	19.09	19.12	19.12	0.0030	0.50	0.50	0.00949
Giro 2	19.62	19.65	19.64	0.0040	0.50	0.50	0.01265
Giro 3	20.15	20.15	20.15	0.0000	0.50	0.50	0.00000
Giro 4	20.56	20.56	20.56	0.0000	0.50	0.50	0.00000
Giro 5	20.94	20.97	20.95	0.0049	0.50	0.50	0.01549

Cuadro 73. Error y Desviación Estándar de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 3.
Fuente. Elaboración Propia.
Software. IBM SPSS Statistics 25.

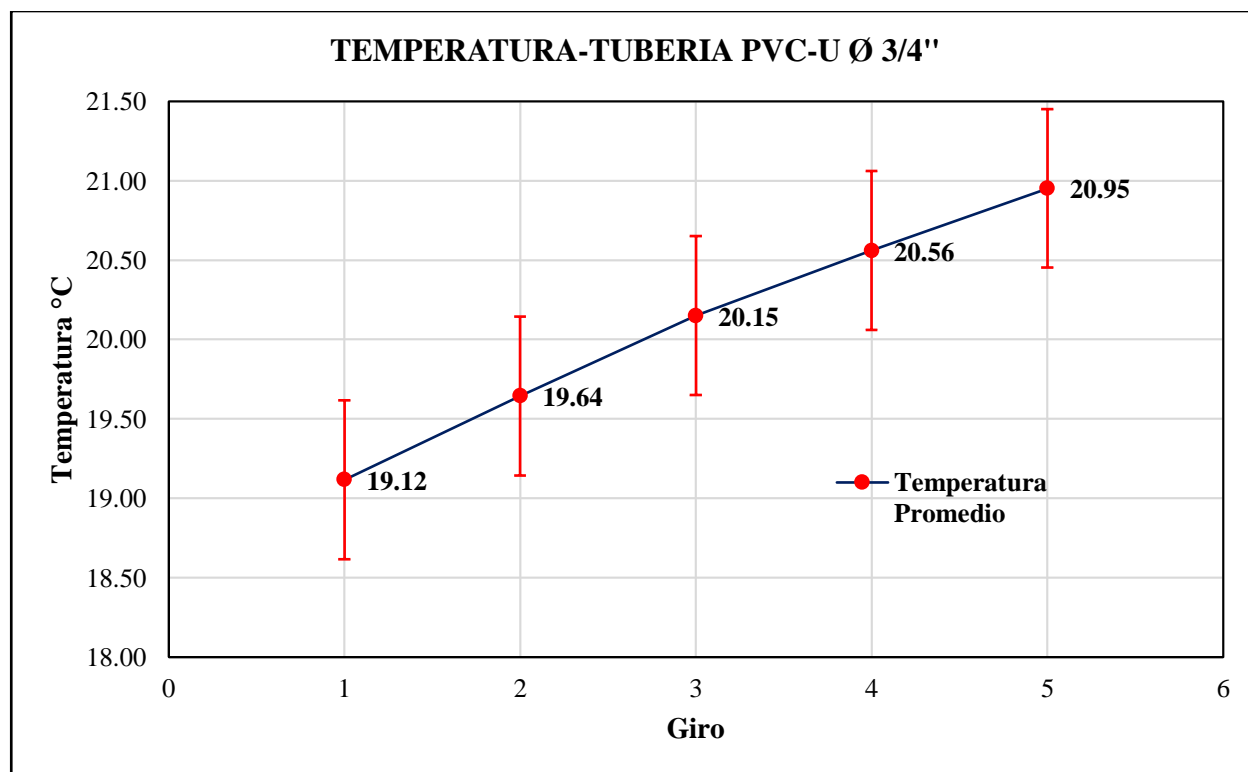


Gráfico 19. Error y Media de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 3.

4.5.14. Errores y desviación estándar de los datos extraídos del sensor RD522 de presión.

Datos Estadísticos de Presiones en la Tubería PVC-U3/4"

Giro	P	Mínimo	Máximo	MEDIA	Errores			Desviación Estándar
		PSI	PSI	PSI	Error Aleatorio	Error Sistemático	Error Total	
Giro-1	P _{Entrada}	16.24	16.46	16.34	0.0215	0.145	0.1466	0.0679
	P _{Salida}	15.73	15.85	15.80	0.0128	0.145	0.1456	0.0406
Giro-2	P _{Entrada}	18.49	18.75	18.64	0.0227	0.145	0.1468	0.0718
	P _{Salida}	17.94	18.10	18.04	0.0159	0.145	0.1459	0.0504
Giro-3	P _{Entrada}	20.84	21.01	20.92	0.0185	0.145	0.1462	0.0583
	P _{Salida}	20.10	20.39	20.24	0.0270	0.145	0.1475	0.0855
Giro-4	P _{Entrada}	23.14	23.27	23.19	0.0152	0.145	0.1458	0.0480
	P _{Salida}	22.37	22.56	22.48	0.0191	0.145	0.1463	0.0604
Giro-5	P _{Entrada}	25.41	25.61	25.51	0.0207	0.145	0.1465	0.0654
	P _{Salida}	24.67	24.86	24.75	0.0207	0.145	0.1465	0.0655

Cuadro 74. Error y Desviación Estándar de la Presión del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 3.

Fuente. Elaboración Propia

Software. IBM SPSS Statistics 25.

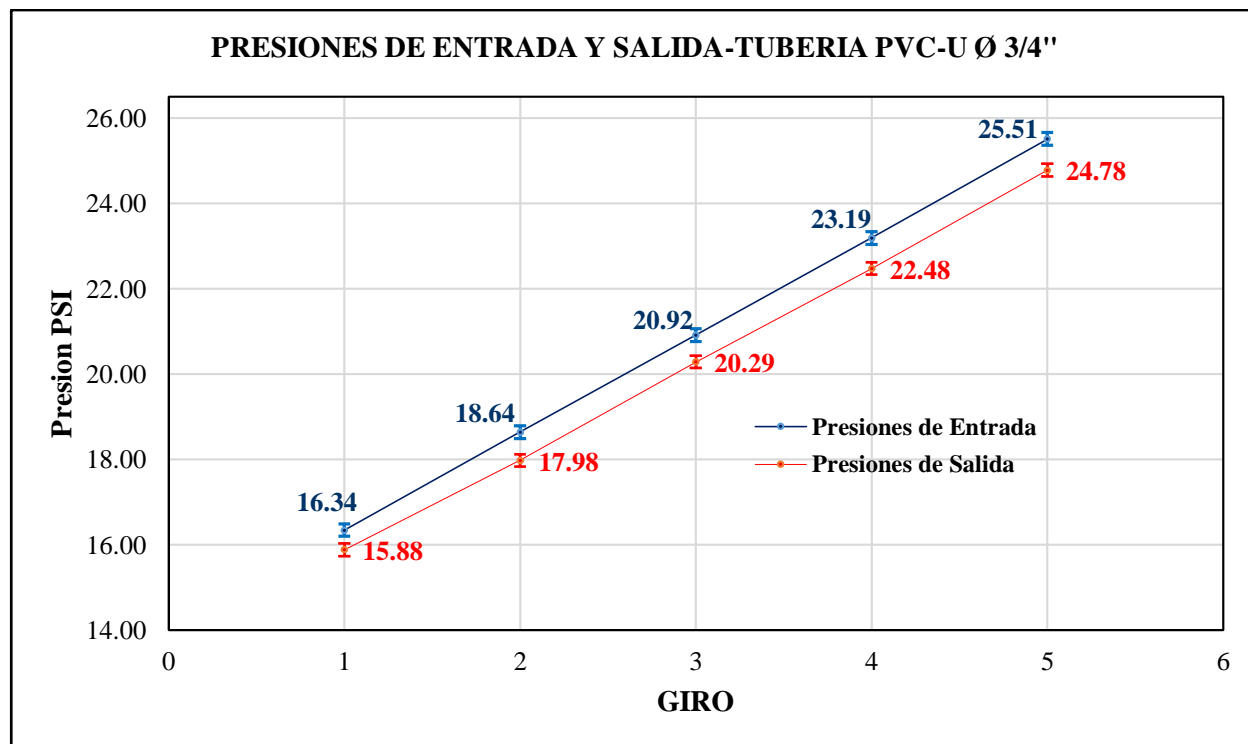


Gráfico 20. Error y Media de la Presión del Flujo en la Tubería de 3/4" en el Experimento 3.

4.5.15. Errores y desviación estándar de los datos extraídos del sensor de flujo.

Datos Estadísticos de Caudales en la Tubería PVC-U3/4"

Giro	Mínimo l/Seg	Máximo l/Seg	Media l/Seg	Errores		Desviación Estándar
				Error Aleatorio	Error Sistemático	
Giro 1	0.710	0.717	0.713	0.000628	0.05	0.00199
Giro 2	0.770	0.777	0.772	0.000633	0.05	0.00200
Giro 3	0.820	0.828	0.825	0.000748	0.05	0.00237
Giro 4	0.854	0.856	0.854	0.000283	0.05	0.00090
Giro 5	0.895	0.900	0.897	0.000441	0.05	0.00139

Cuadro 75. Error y Desviación Estándar del Caudal del Flujo para la Tubería de 3/4" en el Experimento 3.

Fuente. Elaboración Propia.

Software. IBM SPSS Statistics 25.

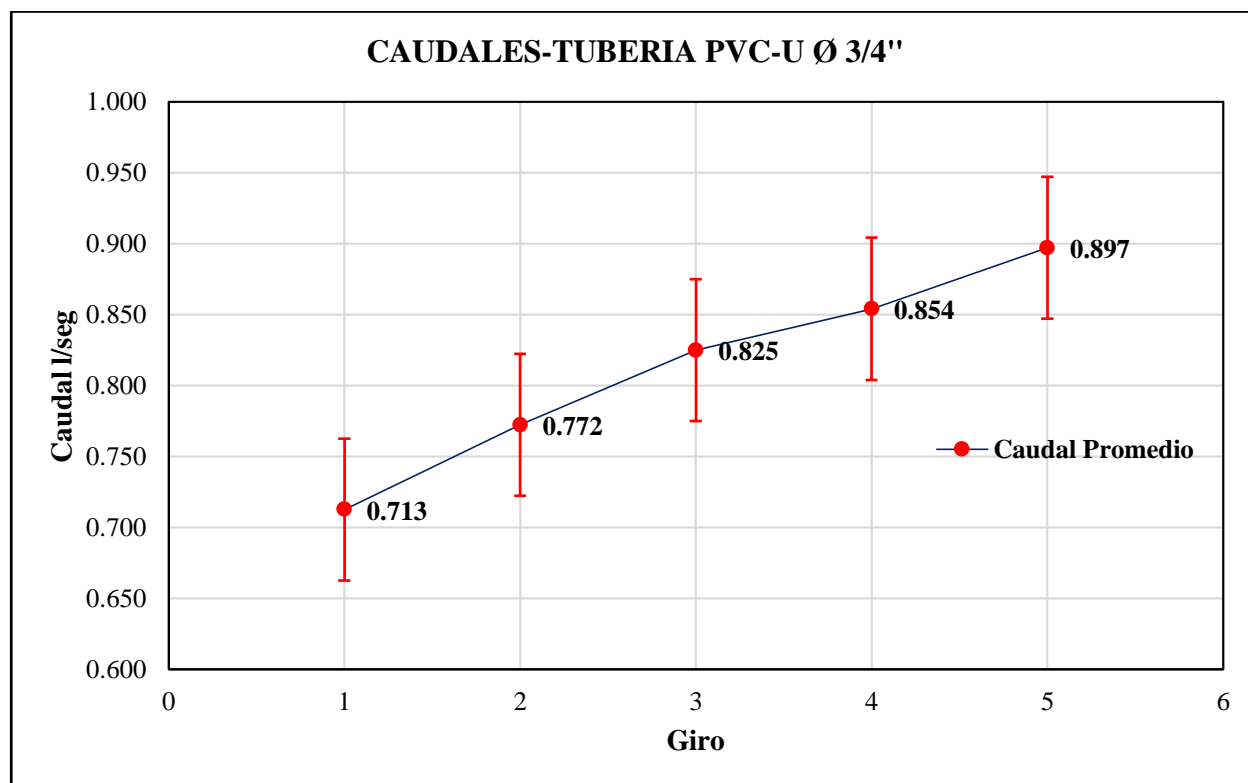


Gráfico 21. Error y Media del Caudal del Flujo en la Tubería de 3/4" en el Experimento 3.

4.5.16. Propiedades físicas del agua en función a la temperatura del flujo.

4.5.16.1. Experimento 1.

GIRO	Temperatura	Densidad	Viscosidad	Viscosidad Cinemática	Peso Especifico
	T° °C	ρ kg/m ³	μ N.s/m ²	ν m ² /s	γ_{H2O} N/m ³
Giro 1	18.80	998.51	1.037E-03	1.104E-06	9760.89
Giro 2	19.28	998.42	1.024E-03	1.065E-06	9760.05
Giro 3	19.81	998.32	1.010E-03	1.022E-06	9759.11
Giro 4	20.28	998.23	9.993E-04	1.001E-06	9758.15
Giro 5	20.71	998.13	9.906E-04	9.927E-07	9757.18

Cuadro 76. Propiedades Físicas del Flujo en la Tubería de PVC-U Ø 3/4" en el Experimento 1.

4.5.16.2. Experimento 2.

GIRO	Temperatura	Densidad	Viscosidad	Viscosidad Cinemática	Peso Especifico
	T° °C	ρ kg/m ³	μ N.s/m ²	ν m ² /s	γ_{H2O} N/m ³
Giro 1	18.96	998.48	1.033E-03	1.091E-06	9760.61
Giro 2	19.47	998.39	1.019E-03	1.050E-06	9759.72
Giro 3	20.31	998.22	9.987E-04	1.001E-06	9758.08
Giro 4	20.75	998.12	9.897E-04	9.918E-07	9757.08
Giro 5	21.19	998.01	9.807E-04	9.828E-07	9756.09

Cuadro 77. Propiedades Físicas del Flujo en la Tubería de PVC-U Ø 3/4" en el Experimento 2.

4.5.16.3. Experimento 3.

GIRO	Temperatura	Densidad	Viscosidad	Viscosidad Cinemática	Peso Especifico
	T° °C	ρ kg/m ³	μ N.s/m ²	γ m ² /s	γ_{H2O} N/m ³
Giro 1	19.12	998.45	1.029E-03	1.078E-06	9760.34
Giro 2	19.65	998.35	1.014E-03	1.035E-06	9759.40
Giro 3	20.16	998.25	1.002E-03	1.004E-06	9758.43
Giro 4	20.56	998.16	9.936E-04	9.956E-07	9757.51
Giro 5	20.95	998.07	9.856E-04	9.877E-07	9756.62

Cuadro 78. Propiedades Físicas del Flujo en la Tubería de PVC-U Ø 3/4" en el Experimento 3.

4.5.17. Fórmula de Darcy-Weisbach para el cálculo del coeficiente de fricción “f” en tuberías De PVC-U de 3/4”.

4.5.17.1. Número de Reynolds.

$$Re = \frac{\text{Fuerzas Inercia}}{\text{Fuerzas Viscosas}} = \frac{\rho_{H_2O}VD}{\mu_{H_2O}} \quad \text{Ecuación (27)}$$

ρ_{H_2O} : Densidad (Kg/m³)

μ_{H_2O} : Viscosidad Dinámica (N.S/m²)

V : Velocidad Media (m/seg)

D : Diámetro Interior (m)

4.5.17.2. Pérdida de carga experimental en tuberías.

$$hf_{exp} = \frac{\Delta P}{\gamma_{H_2O}} \quad \Delta P = P_1 - P_2 \quad \text{Ecuación (28)}$$

hf_{exp} : Pérdida de Carga Experimental (m)

ΔP : Diferencia de Presiones (N/m²)

γ_{H_2O} : Peso Específico Media. (N/m³)

P_1 : Presión de Entrada (N/m²)

P_2 : Presión de Salida. (N/m²)

4.5.17.3. Factor de fricción experimental.

$$f_{exp} = hf_{exp} \frac{2g \cdot D}{V^2 \cdot L} \quad \text{Ecuación (29)}$$

f_{exp} : Factor de Fricción Experimental (Adimensional)

hf_{exp} : Pérdida de Carga Experimental (m)

D : Diámetro Interior de Tubería (m)

V : Velocidad Media (m/seg)

L : Longitud de Prueba (m)

g : Gravedad (m/s²)

4.5.18. Datos para los cálculos del coeficiente de fricción “f” experimental.

4.5.18.1. Característica de la tubería.

Características de la Tubería PVC-U Ø 3/4"

Nominal	Real	Long. Total	Long. Util	e (mm)	D _{inte}	Di (m)	Área (m ²)
1/2"	21	5	4.97	1.8	17.4	0.0174	0.00023779
3/4"	26.5	5	4.96	1.8	22.9	0.0229	0.00041187
1"	33	5	4.96	1.8	29.4	0.0294	0.00067887

Cuadro 79. Características técnicas de la Tubería para Agua Fría a Presión NTP 399.002:2015.

4.5.18.2. Resumen de datos obtenidos de la presión.

Lectura con el Registro de Presión de Agua RD522

Presión - RD522		Presión - RD522		Presión - RD522	
PENTRADA	PSALIDA	PENTRADA	PSALIDA	PENTRADA	PSALIDA
BAR	BAR	PSI	PSI	N/m ²	N/m ²
1.139	1.095	16.52	15.88	113910	109520
1.283	1.240	18.60	17.98	128270	123960
1.442	1.399	20.92	20.29	144210	139900
1.594	1.550	23.11	22.48	159370	155000
1.752	1.709	25.41	24.79	175220	170900

Cuadro 80. Datos de Presiones de entrada y salida obtenidos en el Experimento 1.

Lectura con el Registro de Presión de Agua RD522

Presión - RD522		Presión - RD522		Presión - RD522	
PENTRADA	PSALIDA	PENTRADA	PSALIDA	PENTRADA	PSALIDA
BAR	BAR	PSI	PSI	N/m ²	N/m ²
1.125	1.087	16.31	15.77	112480	108720
1.278	1.237	18.53	17.94	127750	123700
1.442	1.397	20.91	20.27	144150	139730
1.596	1.550	23.14	22.48	159560	154990
1.758	1.709	25.49	24.79	175750	170900

Cuadro 81. Datos de Presiones de entrada y salida obtenidos en el Experimento 2.

Lectura con el Registro de Presión de Agua RD522

Presión - RD522		Presión - RD522		Presión - RD522	
P _{ENTRADA}	P _{SALIDA}	P _{ENTRADA}	P _{SALIDA}	P _{ENTRADA}	P _{SALIDA}
BAR	BAR	PSI	PSI	N/m ²	N/m ²
1.127	1.090	16.35	15.81	112700	108990
1.285	1.244	18.64	18.04	128540	124410
1.442	1.396	20.92	20.24	144240	139580
1.599	1.550	23.20	22.48	159930	155000
1.759	1.707	25.52	24.76	175940	170700

Cuadro 82. Datos de Presiones de entrada y salida obtenidos en el Experimento 3.

4.5.18.3. Resumen del coeficiente de fricción.

Cálculo del Coeficiente de Fricción “f” con la Ecuación de Darcy Weisbach

N	Caudal	Área	Vel.	Presión		Δ Presión	hf	Reynold	F _{DW}
				P _{ENTRADA}	P _{SALIDA}				
	m ³ /Seg	m ²	m/seg	N/m ²	N/m ²	N/m ²	m		
Giro-1	0.000707	0.0004119	1.72	113910	109520	4390	0.450	37818	0.0342
Giro-2	0.000771	0.0004119	1.87	128270	123960	4310	0.442	41765	0.0282
Giro-3	0.000823	0.0004119	2.00	144210	139900	4310	0.442	45216	0.0248
Giro-4	0.000869	0.0004119	2.11	159370	155000	4370	0.448	48276	0.0225
Giro-5	0.000895	0.0004119	2.17	175220	170900	4320	0.443	50143	0.0210

Cuadro 83. Coeficiente de Fricción "f" obtenidos en el Experimento 1.

Cálculo del Coeficiente de Fricción “f” con la Ecuación de Darcy Weisbach

N	Caudal	Área	Vel.	Presión		Δ Presión	hf	Reynold	F _{DW}
				P _{ENTRADA}	P _{SALIDA}				
	m ³ /Seg	m ²	m/seg	N/m ²	N/m ²	N/m ²	m		
Giro-1	0.000711	0.0004119	1.73	112480	108720	3760	0.385	38206	0.0289
Giro-2	0.000771	0.0004119	1.87	127750	123700	4050	0.415	41993	0.0265
Giro-3	0.000823	0.0004119	2.00	144150	139730	4420	0.453	45746	0.0254
Giro-4	0.000847	0.0004119	2.06	159560	154990	4570	0.468	47480	0.0248
Giro-5	0.000896	0.0004119	2.17	175750	170900	4850	0.497	50685	0.0235

Cuadro 84. Coeficiente de Fricción "f" obtenidos en el Experimento 2.

Cálculo del Coeficiente de Fricción “f” con la Ecuación de Darcy Weisbach

N	Caudal m ³ /Seg	Área m ²	Vel. m/seg	Presión		Δ Presión N/m ²	hf m	Reynold	FDW
				PENTRADA N/m ²	PSALIDA N/m ²				
Giro-1	0.000713	0.0004119	1.73	112700	108990	3710	0.380	38453	0.0284
Giro-2	0.000772	0.0004119	1.88	128540	124410	4130	0.423	42257	0.0269
Giro-3	0.000825	0.0004119	2.00	144240	139580	4660	0.478	45700	0.0267
Giro-4	0.000854	0.0004119	2.07	159930	155000	4930	0.505	47704	0.0263
Giro-5	0.000897	0.0004119	2.18	175940	170700	5240	0.537	50505	0.0253

Cuadro 85. Coeficiente de Fricción "f" obtenidos en el Experimento 3.

4.5.18.4. Correlación logarítmica del coeficiente de fricción.

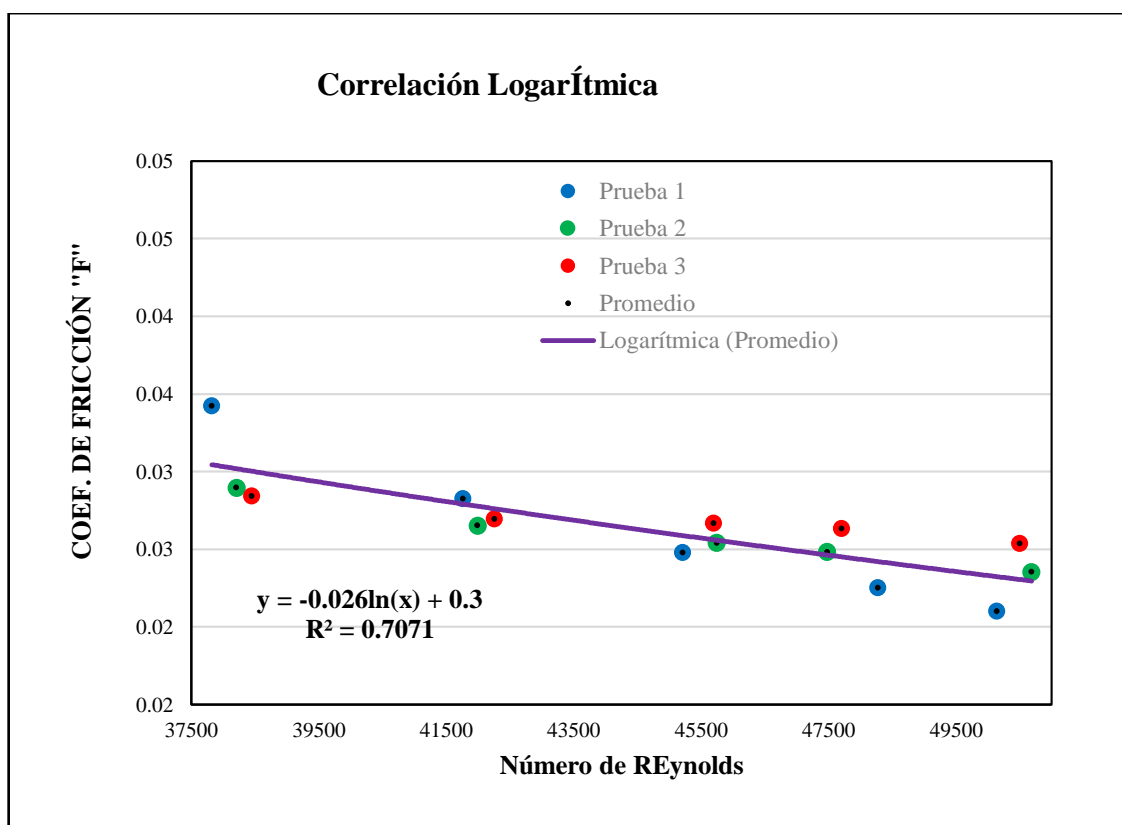


Gráfico 22. Correlación de los Coeficientes de Fricción en la Tubería de PVC-U Ø 3/4".

4.5.19. Coeficiente de fricción “f” en tuberías de PVC-U de Ø 3/4” con ecuaciones de diferentes bibliografías.

Para realizar el análisis comparativo del coeficiente de Fricción “f” hallado en el Laboratorio con respecto a las bibliografías se utilizará las siguientes 03 ecuaciones.

- Ecuación Colebrook White.
- Ecuación V. Streeter.
- Ecuación de Haaland.

4.5.19.1. Ecuación Colebrook White.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad \begin{matrix} 0.01 \leq \frac{\varepsilon}{D} \leq 10^{-6} \\ 5000 \leq Re \leq 10^8 \end{matrix} \quad \text{Ecuación (30)}$$

f : coeficiente de fricción de Colebrook.

ε : Rugosidad de Tubería PVC-U Ø 3/4".

D : Diámetro interno de Tubería PVC-U Ø 3/4".

4.5.19.2. Cálculo del coeficiente de fricción “f”- Ecuación-Colebrook White.

N 1		N 2		N 3	
Espesor=	0.0000015	Espesor=	0.0000015	Espesor=	0.0000015
Diámetro=	0.0229	Diámetro=	0.0229	Diámetro=	0.0229
Re=	38158	Re=	42004	Re=	45553
f supuesto=	0.0224	f supuesto=	0.0219	f supuesto=	0.0215
f teórico=	0.0224	f teórico=	0.0219	f teórico=	0.0215

N 4		N 5	
Espesor=	0.0000015	Espesor=	0.0000015
Diámetro=	0.0229	Diámetro=	0.0229
Re=	47821	Re=	50443
f supuesto=	0.0213	f supuesto=	0.0211
f teórico=	0.0213	f teórico=	0.0211

4.5.19.3. Cálculo del coeficiente de fricción “f”- Colebrook White.

N	Caudal m ³ /Seg	Área m ²	Vel. m/seg	DIAMETRO m	Espesor Rugosidad m	Reynolds	f _{Colebrook} .
1	0.000710	0.000412	1.72	0.0229	0.0000015	38158	0.0224
2	0.000771	0.000412	1.87	0.0229	0.0000015	42004	0.0219
3	0.000824	0.000412	2.00	0.0229	0.0000015	45553	0.0215
4	0.000857	0.000412	2.08	0.0229	0.0000015	47821	0.0213
5	0.000896	0.000412	2.18	0.0229	0.0000015	50443	0.0211

Cuadro 86. Colebrook White - PVC-U Ø 3/4".

4.5.19.4. Ecuación - Streeter 9na Edición.

$$f = 1.325 \left[\ln \left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^{-2} \quad \begin{matrix} 10^{-6} \leq \frac{\varepsilon}{D} \leq 0.01 \\ 5000 \leq Re \leq 10^8 \end{matrix} \quad \text{Ecuación (31)}$$

f : Coeficiente de Fricción.

ε : Rugosidad de Tubería PVC-U Ø 3/4".

D : Diámetro interno de Tubería PVC-U Ø 3/4".

4.5.19.5. Cálculo del coeficiente de fricción “f”- Ecuación - Streeter 9na Edición.

N 1	N 2	N 3
Espesor= 0.0000015	Espesor= 0.0000015	Espesor= 0.0000015
Diámetro= 0.0229	Diámetro= 0.0229	Diámetro= 0.0229
Re= 38158	Re= 42004	Re= 45553
ε/D 0.000066	ε/D 0.000066	ε/D 0.000066
f _{teórico} = 0.0223	f _{teórico} = 0.0218	f _{teórico} = 0.0214

N 4	N 5
Espesor= 0.0000015	Espesor= 0.0000015
Diámetro= 0.0229	Diámetro= 0.0229
Re= 47821	Re= 50443
ε/D 0.000066	ε/D 0.000066
f _{teórico} = 0.0212	f _{teórico} = 0.0210

4.5.19.6. Cálculo del coeficiente de fricción "f"- Streeter 9na Edición.

Giro	Caudal m ³ /Seg	Área m ²	Vel. m/seg	DIAMETRO m	Espesor Rugosidad m	Reynolds	f _{Streeter}
Giro 1	0.000710	0.000412	1.72	0.0229	0.0000015	38158	0.0223
Giro 2	0.000771	0.000412	1.87	0.0229	0.0000015	42004	0.0218
Giro 3	0.000824	0.000412	2.00	0.0229	0.0000015	45553	0.0214
Giro 4	0.000857	0.000412	2.08	0.0229	0.0000015	47821	0.0212
Giro 5	0.000896	0.000412	2.18	0.0229	0.0000015	50443	0.0210

Cuadro 87. Streeter - PVC-U Ø 3/4".

4.5.19.7. Ecuación - Haaland (1983).

$$f = \frac{1}{\left\{ -1.8 \log \left[\left(\frac{\varepsilon}{3.7D} \right)^{1.11} + \frac{6.9}{Re} \right] \right\}^2} \quad \begin{array}{l} 0.01 \leq \frac{\varepsilon}{D} \leq 10^{-6} \\ 5000 \leq Re \leq 10^8 \end{array} \quad \text{Ecuación (32)}$$

f : Coeficiente de Fricción.

ε : Rugosidad de Tubería PVC-U Ø 3/4".

D : Diámetro interno de Tubería PVC-U Ø 3/4".

4.5.19.8. Cálculo del coeficiente de fricción "f"- Ecuación - Haaland (1983).

N 1		N 2		N 3	
Espesor=	0.0000015	Espesor=	0.0000015	Espesor=	0.0000015
Diámetro=	0.0229	Diámetro=	0.0229	Diámetro=	0.0229
Re=	38158	Re=	42004	Re=	45553
ε/D=	0.000066	ε/D=	0.000066	ε/D=	0.000066
f _{teórico} =	0.0222	f _{teórico} =	0.0217	f _{teórico} =	0.0213

N 4		N 5	
Espesor=	0.0000015	Espesor=	0.0000015
Diámetro=	0.0229	Diámetro=	0.0229
Re=	47821	Re=	50443
ε/D=	0.000066	ε/D=	0.000066
f _{teórico} =	0.0211	f _{teórico} =	0.0209

4.5.19.9. Cálculo del coeficiente de fricción "f"- Haaland (1983).

Giro	Caudal m ³ /Seg	Área m ²	Vel. m/seg	Presión		Reynolds	f _{Haaland}
				P _{ENTRADA} N/m ²	P _{SALIDA} N/m ²		
Giro 1	0.000710	0.000412	1.72	0.0229	0.0000015	38158	0.022
Giro 2	0.000771	0.000412	1.87	0.0229	0.0000015	42004	0.022
Giro 3	0.000824	0.000412	2.00	0.0229	0.0000015	45553	0.021
Giro 4	0.000857	0.000412	2.08	0.0229	0.0000015	47821	0.021
Giro 5	0.000896	0.000412	2.18	0.0229	0.0000015	50443	0.021

Cuadro 88. Haaland - PVC-U Ø 3/4".

4.5.19.10. Resumen del coeficiente de fricción.

Giro	Reynold	f _{Colebrook.}	f _{Streeter}	f _{Haaland}
Giro 1	38158	0.0224	0.0223	0.0222
Giro 2	42004	0.0219	0.0218	0.0217
Giro 3	45553	0.0215	0.0214	0.0213
Giro 4	47821	0.0213	0.0212	0.0211
Giro 5	50443	0.0211	0.0210	0.0209

Cuadro 89. Coeficiente de Fricción Colebrook, Streeter y Haaland PVC-U3/4".

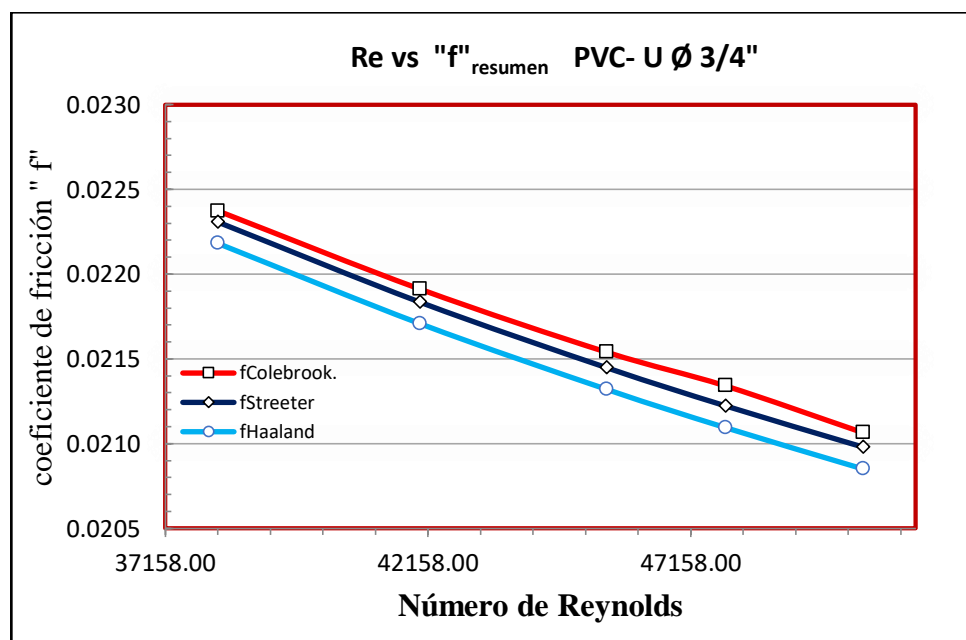


Gráfico 23. Coeficiente de Fricción de Colebrook White, Streeter y Haaland PVC-U Ø 3/4".

4.5.20. Resultados de la experimentación en el diagrama de Moody para la tubería de PVC-U de Ø 3/4".

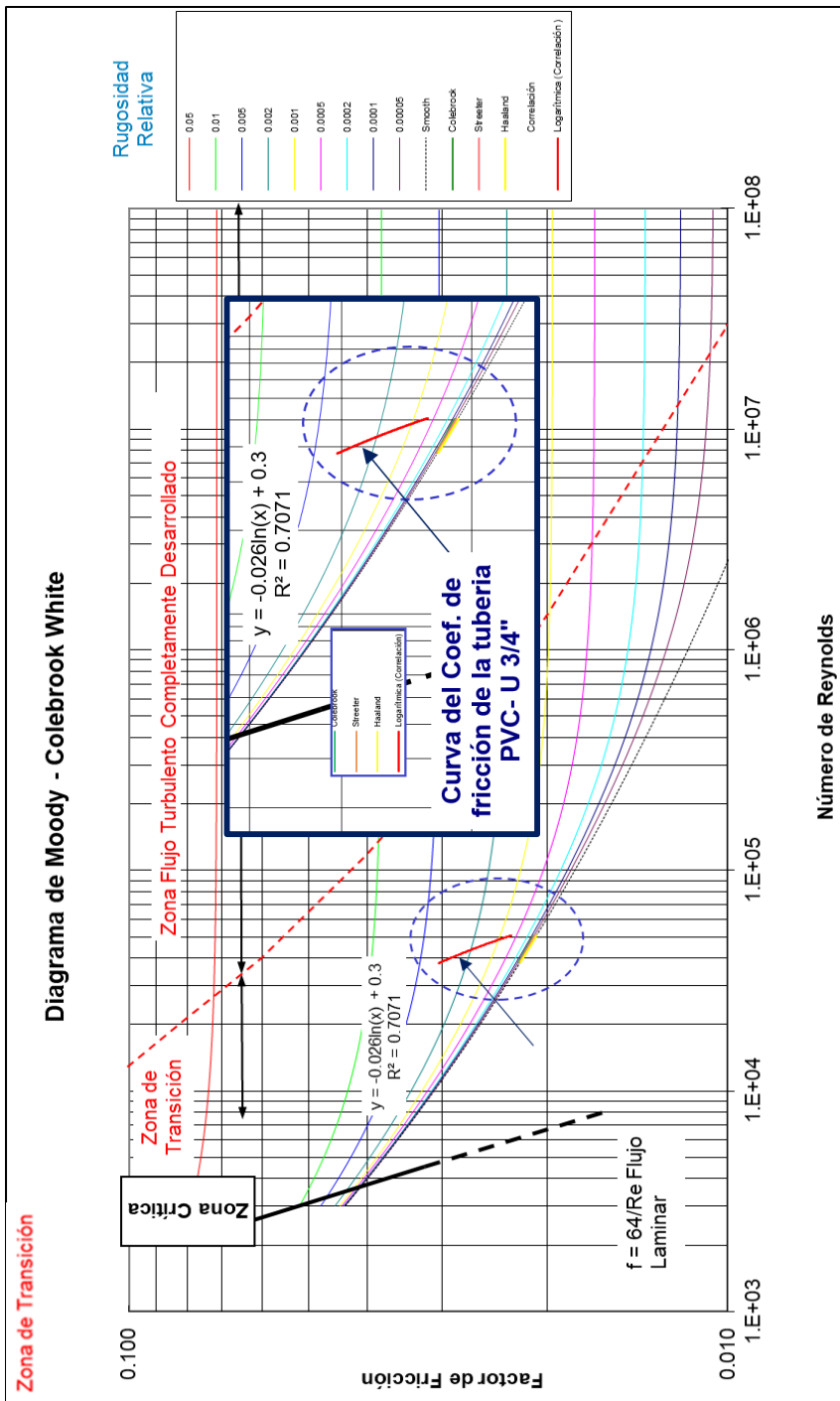


Gráfico 24. Ubicación de los resultados en el diagrama de Moody.

4.6. Proceso para obtener el coeficiente de fricción “f” en tuberías de PVC-U de 1”.

4.6.1. Verificación del diámetro de tubería de PVC –U de 1”.

Para la verificación del diámetro de la tubería interna y externa utilizamos el medidor digital vernier.



Fotografía 16. Verificación del Diámetro Externo de la Tubería PVC-U Ø 1”.



Fotografía 17. Verificación del Diámetro Interno de la Tubería. PVC-U Ø 1”.

4.6.2. Verificación de la lectura del sensor de caudal.

Para realizar la verificación del sensor de caudal, se realiza una lectura por cada giro de la válvula con el sensor y a la vez se realiza el procedimiento experimental con un recipiente de 3.5 litros y un cronómetro. Los resultados son los siguientes.

N°	Giro 1 l/seg	Giro 2 l/seg	Giro 3 l/seg	Giro 4 l/seg	Giro 5 l/seg
1	0.743	0.785	0.897	0.891	0.916
2	0.737	0.783	0.833	0.921	0.921
3	0.749	0.780	0.845	0.888	0.888
4	0.722	0.774	0.860	0.904	0.933
5	0.729	0.787	0.875	0.897	0.936
6	0.742	0.783	0.833	0.877	0.954
7	0.738	0.795	0.852	0.875	0.951
8	0.740	0.792	0.845	0.875	0.938
9	0.731	0.787	0.841	0.888	0.933
10	0.740	0.806	0.831	0.891	0.923
Promedio	0.737	0.787	0.851	0.891	0.929

Cuadro 90. Caudal Experimental con Recipiente de V=3.5 Litros.

Fuente. Elaboración Propia

N°	Giro 1 l/seg	Giro 2 l/seg	Giro 3 l/seg	Giro 4 l/seg	Giro 5 l/seg
1	0.740	0.804	0.846	0.900	0.942
2	0.740	0.800	0.850	0.900	0.939
3	0.740	0.804	0.853	0.896	0.942
4	0.740	0.796	0.850	0.903	0.942
5	0.740	0.804	0.850	0.900	0.942
6	0.736	0.804	0.846	0.903	0.939
7	0.743	0.804	0.850	0.903	0.939
8	0.740	0.800	0.850	0.900	0.942
9	0.736	0.796	0.850	0.903	0.942
10	0.736	0.804	0.850	0.900	0.942
Promedio	0.739	0.802	0.850	0.901	0.941

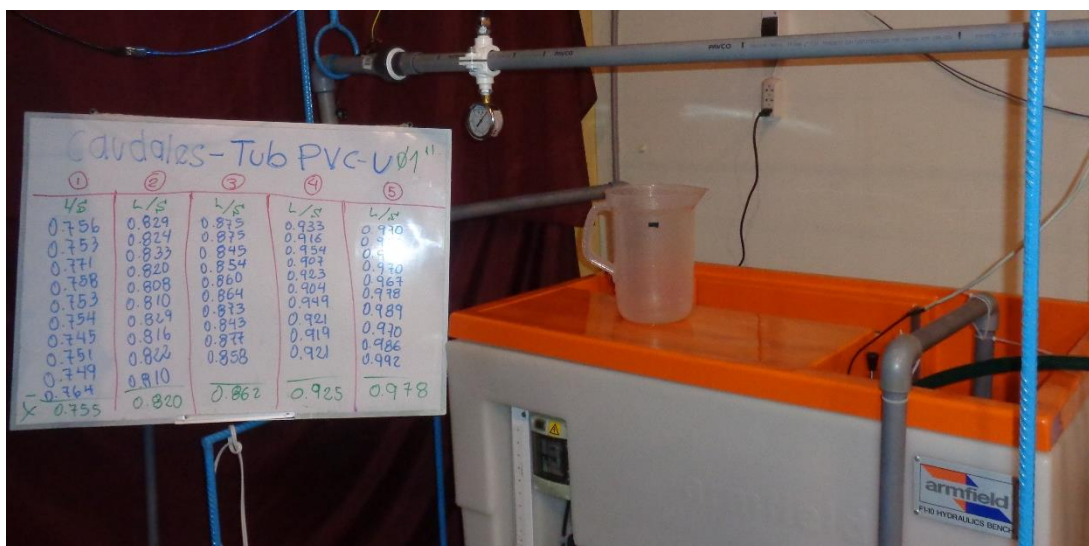
Cuadro 91. Caudal Experimental con Sensor de Flujo en la Tubería de 1".

Fuente. Elaboración Propia.

4.6.3. Comparación de datos de caudales extraídos en laboratorio.

	Giro 1	Giro 2	Giro 3	Giro 4	Giro 5
P RECIPIENTE	0.737	0.787	0.851	0.891	0.929
P SENSOR FLUJO	0.739	0.802	0.850	0.901	0.941
% Comparativo	99.73%	100.06%	101.67%	101.53%	100.28%
Respecto al 100%	0.27%	-0.06%	-1.67%	-1.53%	-0.28%

Cuadro 92. Porcentaje de Variación de Caudales Extraídos en el Laboratorio para la Tubería de 1".
Fuente. Elaboración Propia.



Fotografía 18. Caudal Experimental en Tubería PVC-U Ø 1".

①	②	③	④	⑤
L/s	L/s	L/s	L/s	L/s
0.756	0.829	0.875	0.933	0.970
0.753	0.824	0.875	0.916	0.986
0.771	0.833	0.845	0.954	0.972
0.758	0.820	0.854	0.907	0.970
0.753	0.808	0.860	0.923	0.967
0.754	0.810	0.864	0.904	0.978
0.745	0.829	0.873	0.949	0.989
0.751	0.816	0.843	0.921	0.970
0.749	0.822	0.877	0.919	0.986
0.764	0.810	0.858	0.921	0.992
x 0.755	0.820	0.862	0.925	0.978

Fotografía 19. Datos extraídos experimentalmente de la Tubería PVC-U Ø 1".

4.6.4. Procesamiento estadístico de los datos extraídos en el laboratorio utilizando el software SPSS experimento 1.

4.6.4.1. Temperatura.

Datos de Obtenidos con el Sensor de Temperatura

	Giro 1	Giro 2	Giro 3	Giro 4	Giro 5
Nº	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)
1	18.75	19.74	20.43	21.12	21.81
2	18.78	19.74	20.46	21.15	21.78
3	18.78	19.74	20.46	21.15	21.81
4	18.78	19.74	20.46	21.15	21.81
5	18.78	19.74	20.46	21.15	21.81
6	18.78	19.74	20.46	21.15	21.81
7	18.78	19.74	20.46	21.18	21.81
8	18.78	19.74	20.46	21.15	21.81
9	18.78	19.74	20.46	21.18	21.81
10	18.78	19.74	20.46	21.18	21.81

Cuadro 93. Datos Extraídos de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 1” en el Experimento 1.

Fuente. Elaboración Propia

Nota. Grados Celsius (°C)

Estadísticos descriptivos - Temperatura

Giro	N Estadístico	Mínimo Estadístico	Máximo Estadístico	Media Estadístico	Media Error	Desviación Estándar
Giro 1 – °C	10	18.75	18.78	18.78	0.0030	0.00949
Giro 2 – °C	10	19.74	19.74	19.74	0.0000	0.00000
Giro 3 – °C	10	20.43	20.46	20.46	0.0030	0.00949
Giro 4 – °C	10	21.12	21.18	21.16	0.0060	0.01897
Giro 5 – °C	10	21.78	21.81	21.81	0.0030	0.00949

Cuadro 94. Resultados Estadísticos de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 1” en el Experimento 1.

Fuente. Elaboración Propia.

Software. IBM SPSS Statistics 25.

4.6.4.2. Presión.

Datos de Obtenidos con el Sensor RD522 de Presión

N°	Giro 1		Giro 2		Giro 3		Giro 4		Giro 5	
	P _{Entrada} (PSI)	P _{salida} (PSI)	P _{Entrada} (PSI)	P _{salida} (PSI)	P _{Entrada} (PSI)	P _{salida} (PSI)	P _{Entrada} (PSI)	P _{salida} (PSI)	P _{Entrada} (PSI)	P _{salida} (PSI)
1	16.78	16.56	18.72	18.46	21.26	20.93	23.22	23.00	25.57	25.29
2	16.92	16.54	18.76	18.49	21.21	21.05	23.36	23.06	25.52	25.42
3	16.66	16.53	18.94	18.62	21.23	20.96	23.30	23.13	25.59	25.22
4	16.79	16.56	18.69	18.49	21.23	20.95	23.33	23.03	25.61	25.14
5	16.80	16.46	18.73	18.53	21.21	21.04	23.43	23.06	25.67	25.55
6	16.70	16.53	18.76	18.55	21.29	21.05	23.43	23.04	25.51	25.51
7	16.73	16.50	18.81	18.56	21.19	20.96	23.39	23.06	25.68	25.41
8	16.73	16.54	18.75	18.59	21.32	20.93	23.35	23.16	25.59	25.46
9	16.76	16.63	18.84	18.57	21.26	20.98	23.36	23.11	25.57	25.19
10	16.78	16.59	18.76	18.55	21.16	20.96	23.24	23.16	25.65	25.23

Cuadro 95. Datos Extraídos de la Presión del Flujo para la Tubería de 1" en el Experimento 1.

Fuente. Elaboración Propia.

Nota. Libras por Pulgada Cuadrada (PSI).

Estadísticos descriptivos - Presión

Giro	Presión	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación
		o	o	o	o	Error
Giro 1	P _{Entrada}	10	16.66	16.92	16.77	0.0221
	P _{Salida}	10	16.46	16.63	16.54	0.0147
Giro 2	P _{Entrada}	10	18.69	18.94	18.78	0.0227
	P _{Salida}	10	18.46	18.62	18.54	0.0156
Giro 3	P _{Entrada}	10	21.16	21.32	21.24	0.0151
	P _{Salida}	10	20.93	21.05	20.98	0.0151
Giro 4	P _{Entrada}	10	23.22	23.43	23.34	0.0225
	P _{Salida}	10	23.00	23.16	23.08	0.0176
Giro 5	P _{Entrada}	10	25.51	25.68	25.60	0.0183
	P _{Salida}	10	25.14	25.55	25.34	0.0460

Cuadro 96. Resultados Estadísticos de la Presión del Flujo para la Tubería de 1" en el Experimento 1.

Fuente. Elaboración Propia.

Software. IBM SPSS Statistics 25.

4.6.2.3. Caudal.

Datos de Obtenidos con el Sensor de Flujo

N°	Giro 1 Caudal l/seg	Giro 2 Caudal l/seg	Giro 3 Caudal l/seg	Giro 4 Caudal l/seg	Giro 5 Caudal l/seg
1	0.713	0.781	0.831	0.875	0.921
2	0.713	0.779	0.828	0.873	0.925
3	0.711	0.779	0.829	0.873	0.924
4	0.711	0.779	0.830	0.873	0.921
5	0.717	0.777	0.827	0.873	0.921
6	0.713	0.783	0.827	0.877	0.924
7	0.713	0.782	0.827	0.873	0.923
8	0.711	0.781	0.827	0.877	0.921
9	0.715	0.779	0.829	0.872	0.923
10	0.713	0.779	0.828	0.873	0.921

Cuadro 97. Datos Extraídos del Caudal del Flujo para la Tubería de 1” en el Experimento 1.

Fuente. Elaboración Propia.

Nota. Litros por segundo (l/seg).

Estadísticos descriptivos - Caudal

Giro	N Estadístico	Mínimo Estadístico	Máximo Estadístico	Media Estadístico	Media Error	Desviación Estándar
Giro 1 - l/seg	10	0.711	0.717	0.713	0.00056	0.00177
Giro 2 - l/seg	10	0.777	0.783	0.780	0.00055	0.00173
Giro 3 - l/seg	10	0.827	0.831	0.828	0.00047	0.00148
Giro 4 - l/seg	10	0.872	0.877	0.874	0.00053	0.00167
Giro 5 - l/seg	10	0.921	0.925	0.922	0.00049	0.00156

Cuadro 98. Resultados Estadísticos del Caudal del Flujo para la Tubería de 1” en el Experimento 1.

Fuente. Elaboración Propia.

Software. IBM SPSS Statistics 25.

4.6.5. Errores y desviación estándar de los datos extraídos del sensor de temperatura.

Datos Estadísticos de la Temperatura en la Tubería PVC-U 1"

Giro	Mínimo	Máximo	Media	Errores			Desviación
	°C	°C	°C	Error Aleatorio	Error Sistemático	Error Total	Estándar
Giro 1	18.75	18.78	18.78	0.0030	0.50	0.50	0.00949
Giro 2	19.74	19.74	19.74	0.0000	0.50	0.50	0.00000
Giro 3	20.43	20.46	20.46	0.0030	0.50	0.50	0.00949
Giro 4	21.12	21.18	21.16	0.0060	0.50	0.50	0.01897
Giro 5	21.78	21.81	21.81	0.0030	0.50	0.50	0.00949

Cuadro 99. Error y Desviación Estándar de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 1" en el Experimento 1.

Fuente. Elaboración Propia.

Software. IBM SPSS Statistics 25.

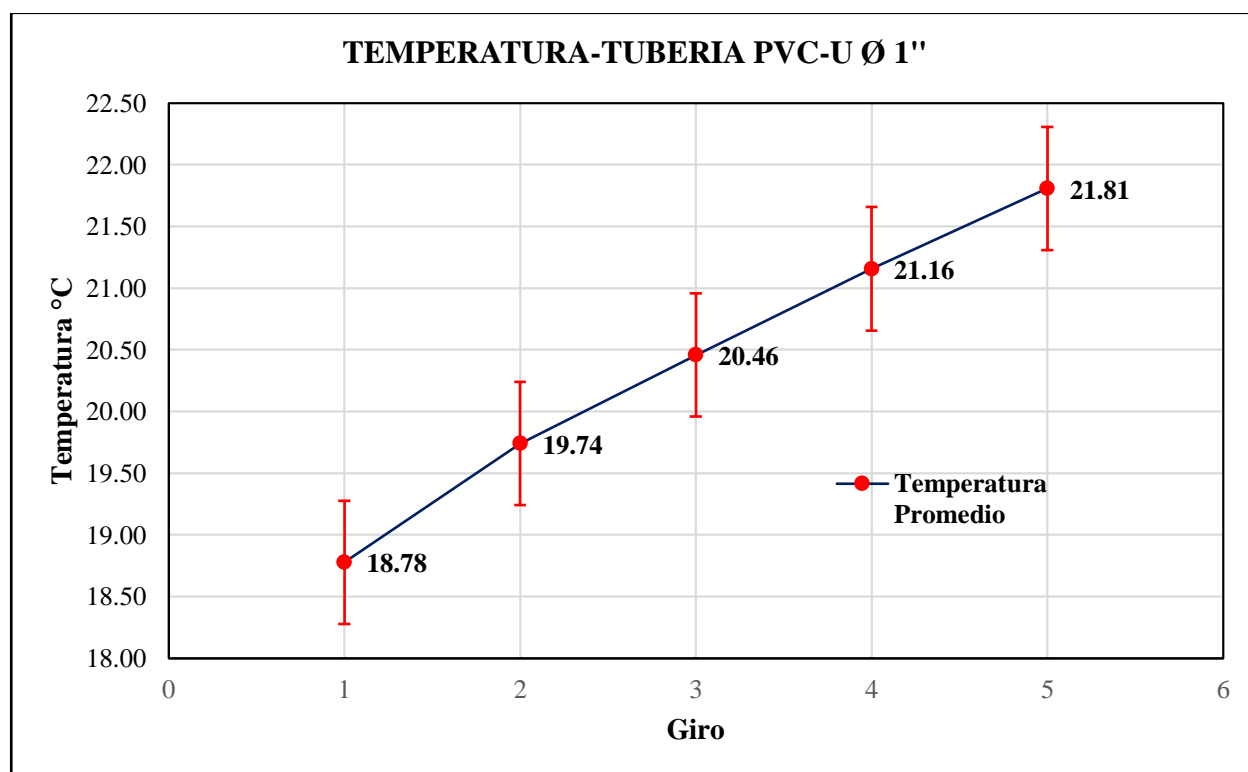


Gráfico 25. Error y Media de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 1" en el Experimento 1.

4.6.6. Errores y desviación estándar de los datos extraídos del sensor RD522 de presión.

Datos Estadísticos de Presiones en la Tubería PVC-U 1"

Giro	Presión	Mínimo	Máximo	Media	Errores			Desviación Estándar
		PSI	PSI	PSI	Error Aleatorio	Error Sistemático	Error Total	
Giro-1	P _{Entrada}	16.66	16.92	16.77	0.0221	0.145	0.147	0.0700
	P _{Salida}	16.46	16.63	16.54	0.0147	0.145	0.146	0.0465
Giro-2	P _{Entrada}	18.69	18.94	18.78	0.0227	0.145	0.147	0.0717
	P _{Salida}	18.46	18.62	18.54	0.0156	0.145	0.146	0.0493
Giro-3	P _{Entrada}	21.16	21.32	21.24	0.0151	0.145	0.146	0.0477
	P _{Salida}	20.93	21.05	20.98	0.0151	0.145	0.146	0.0477
Giro-4	P _{Entrada}	23.22	23.43	23.34	0.0225	0.145	0.147	0.0713
	P _{Salida}	23.00	23.16	23.08	0.0176	0.145	0.146	0.0557
Giro-5	P _{Entrada}	25.51	25.68	25.60	0.0183	0.145	0.146	0.0580
	P _{Salida}	25.14	25.55	25.34	0.0460	0.145	0.152	0.1454

Cuadro 100. Error y Desviación Estándar de la Presión del Flujo para la Tubería de 1" en el Experimento 1.

Fuente. Elaboración Propia.

Software. IBM SPSS Statistics 25.

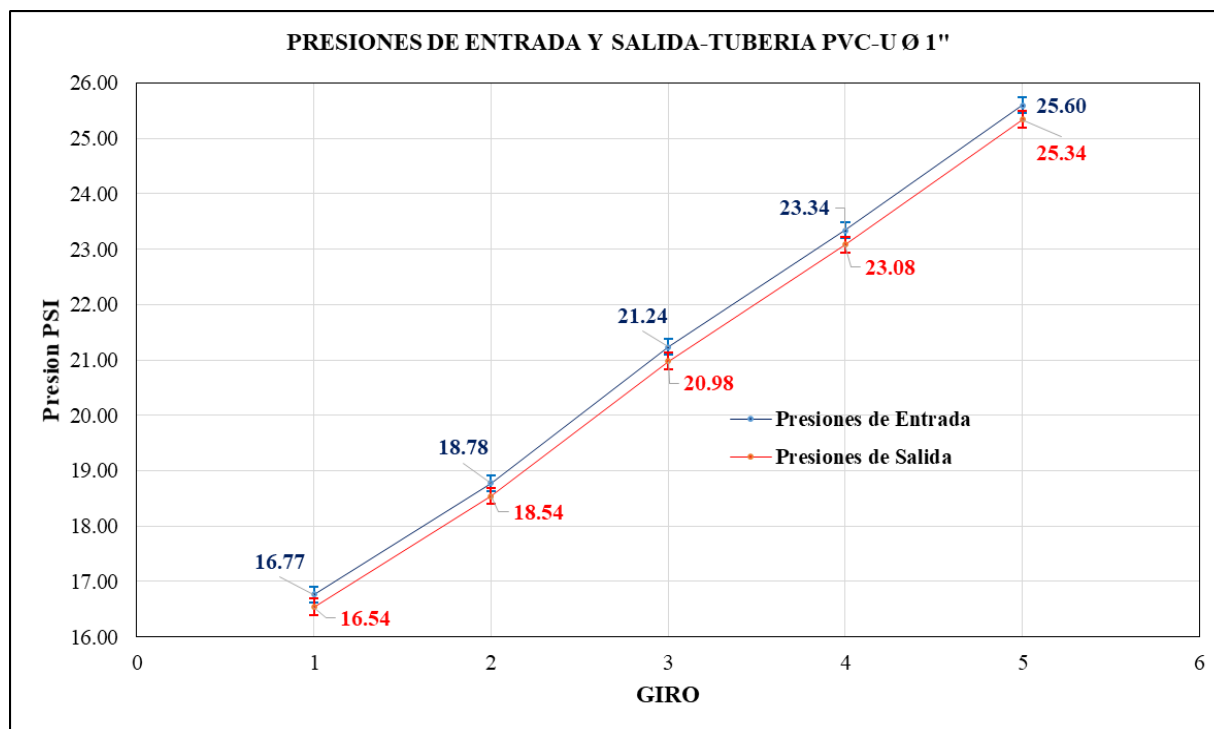


Gráfico 26. Error y Media de la Presión del Flujo en la Tubería de 1" en el Experimento 1.

4.6.7. Errores y desviación estándar de los datos extraídos del sensor de flujo.

Datos Estadísticos de Caudales en la Tubería PVC-U 1"

Giro	Mínimo	Máximo	Media	Errores			Desviación
	l/Seg	l/Seg	l/Seg	Error Aleatorio	Error Sistemático	Error Total	Estándar
Giro 1	0.711	0.717	0.713	0.00056	0.05	0.05	0.00177
Giro 2	0.777	0.783	0.780	0.00055	0.05	0.05	0.00173
Giro 3	0.827	0.831	0.828	0.00047	0.05	0.05	0.00148
Giro 4	0.872	0.877	0.874	0.00053	0.05	0.05	0.00167
Giro 5	0.921	0.925	0.922	0.00049	0.05	0.05	0.00156

Cuadro 101. Error y Desviación Estándar del Caudal del Flujo para la Tubería de 1" en el Experimento 1.

Fuente. Elaboración Propia.

Software. IBM SPSS Statistics 25.

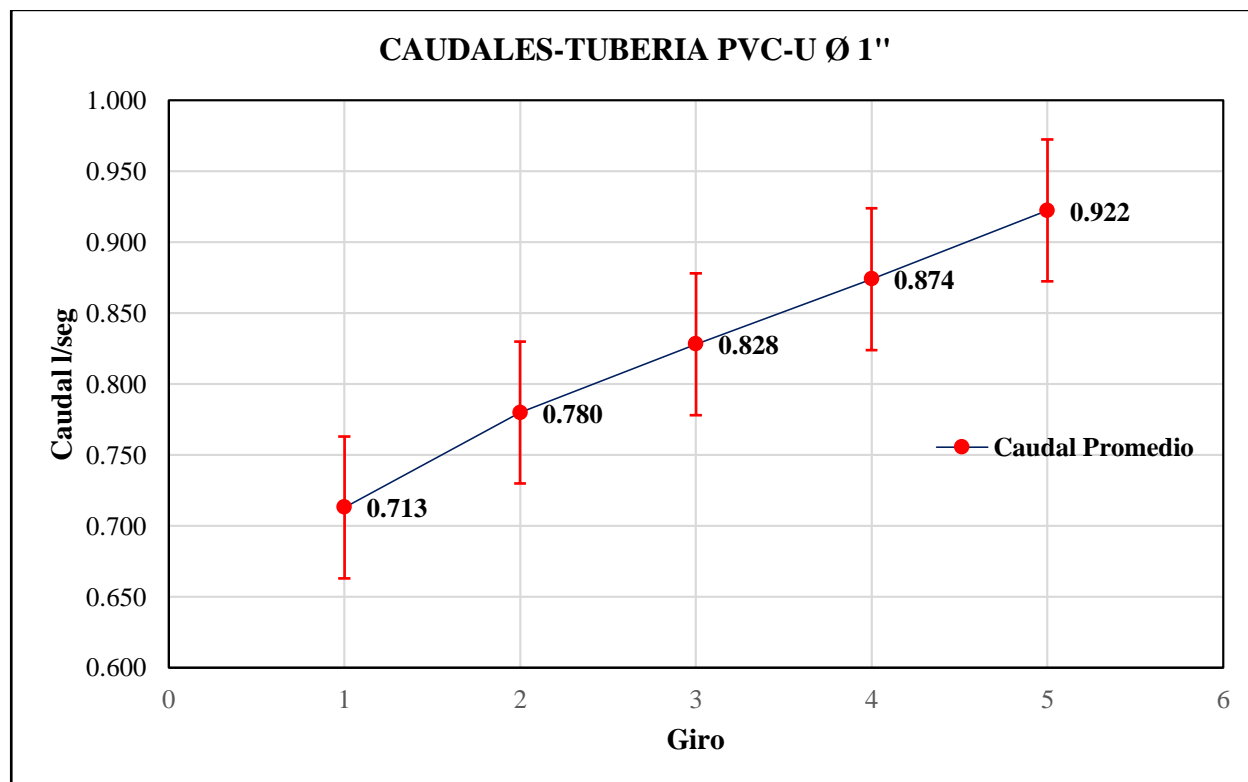


Gráfico 27. Error y Media del Caudal del Flujo en la Tubería de 1" en el Experimento 1.

4.6.8 Procesamiento estadístico de los datos extraídos en el laboratorio utilizando el software SPSS experimento 2.

4.6.8.1. Temperatura.

Datos de Obtenidos con el Sensor de Temperatura

N°	Giro 1 Temperatura (°C)	Giro 2 Temperatura (°C)	Giro 3 Temperatura (°C)	Giro 4 Temperatura (°C)	Giro 5 Temperatura (°C)
1	19.15	19.93	20.65	21.37	21.99
2	19.15	19.96	20.65	21.37	21.99
3	19.18	19.93	20.65	21.37	21.99
4	19.15	19.99	20.65	21.37	21.99
5	19.18	19.99	20.65	21.37	21.99
6	19.18	19.99	20.65	21.37	21.99
7	19.18	19.99	20.65	21.37	21.99
8	19.18	19.99	20.65	21.37	21.99
9	19.18	19.99	20.65	21.37	21.99
10	19.18	19.99	20.65	21.37	21.99

Cuadro 102. Datos Extraídos de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 1” en el Experimento 2.

Fuente. Elaboración Propia.

Nota. Grados Celsius (°C).

Estadísticos descriptivos - Temperatura

Giro	N Estadístico	Mínimo Estadístico	Máximo Estadístico	Media Estadístico	Media Error	Desviación Estándar
Giro 1 – °C	10	19.15	19.18	19.17	0.0046	0.01449
Giro 2 – °C	10	19.93	19.99	19.98	0.0081	0.02550
Giro 3 – °C	10	20.65	20.65	20.65	0.0000	0.00000
Giro 4 – °C	10	21.37	21.37	21.37	0.0000	0.00000
Giro 5 – °C	10	21.99	21.99	21.99	0.0000	0.00000

Cuadro 103. Resultados Estadísticos de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 1” en el Experimento 2.

Fuente. Elaboración Propia.

Software. IBM SPSS Statistics 25.

4.6.8.2. Presión.

Datos de Obtenidos con el Sensor RD522 de Presión

N°	Giro 1		Giro 2		Giro 3		Giro 4		Giro 5	
	P _{Entrada} (PSI)	P _{salida} (PSI)	P _{Entrada} (PSI)	P _{salida} (PSI)	P _{Entrada} (PSI)	P _{salida} (PSI)	P _{Entrada} (PSI)	P _{salida} (PSI)	P _{Entrada} (PSI)	P _{salida} (PSI)
1	16.57	16.30	18.81	18.56	21.07	20.84	23.40	23.15	25.68	25.46
2	16.60	16.41	18.88	18.52	21.13	20.74	23.43	23.35	25.57	25.43
3	16.53	16.24	18.69	18.69	21.03	20.92	23.30	23.25	25.58	25.36
4	16.65	16.47	18.85	18.52	21.00	20.83	23.36	23.22	25.62	25.45
5	16.62	16.30	18.84	18.56	21.01	20.78	23.36	23.18	25.58	25.46
6	16.50	16.41	18.82	18.5	20.98	20.89	23.32	23.08	25.72	25.36
7	16.62	16.31	18.73	18.71	21.11	20.87	23.45	23.19	25.67	25.54
8	16.66	16.41	18.69	18.42	20.91	20.84	23.30	23.11	25.58	25.39
9	16.62	16.33	18.69	18.52	21.13	20.81	23.32	23.18	25.68	25.35
10	16.54	16.38	18.81	18.59	20.91	20.84	23.35	23.16	25.59	25.41

Cuadro 104. Datos Extraídos de la Presión del Flujo para la Tubería de 1" en el Experimento 2.

Fuente. Elaboración Propia.

Nota. Libras por Pulgada Cuadrada (PSI).

Estadísticos descriptivos - Presión

Giro	Presión	N	Mínimo	Máximo	Media		Desviación
					Estadístico	Estadístico	
		o	o	o	o		
Giro 1	P _{Entrada}	10	16.50	16.66	16.59	0.0170	0.0536
	P _{Salida}	10	16.24	16.47	16.36	0.0223	0.0706
Giro 2	P _{Entrada}	10	18.69	18.88	18.78	0.0233	0.0736
	P _{Salida}	10	18.42	18.71	18.56	0.0275	0.0871
Giro 3	P _{Entrada}	10	20.91	21.13	21.03	0.0259	0.0820
	P _{Salida}	10	20.74	20.92	20.84	0.0164	0.0519
Giro 4	P _{Entrada}	10	23.30	23.45	23.36	0.0167	0.0528
	P _{Salida}	10	23.08	23.35	23.19	0.0239	0.0754
Giro 5	P _{Entrada}	10	25.57	25.72	25.63	0.0175	0.0552
	P _{Salida}	10	25.35	25.54	25.42	0.0188	0.0593

Cuadro 105. Resultados Estadísticos de la Presión del Flujo para la Tubería de 1" en el Experimento 2.

Fuente. Elaboración Propia.

Software. IBM SPSS Statistics 25.

4.6.8.3. Caudal.

Datos de Obtenidos con el Sensor de Flujo

N°	Giro 1 Caudal l/seg	Giro 2 Caudal l/seg	Giro 3 Caudal l/seg	Giro 4 Caudal l/seg	Giro 5 Caudal l/seg
1	0.720	0.775	0.827	0.878	0.921
2	0.720	0.776	0.827	0.872	0.919
3	0.720	0.779	0.829	0.875	0.923
4	0.718	0.779	0.829	0.877	0.923
5	0.722	0.779	0.825	0.877	0.925
6	0.720	0.779	0.825	0.873	0.917
7	0.720	0.774	0.825	0.873	0.924
8	0.720	0.781	0.829	0.875	0.923
9	0.720	0.777	0.830	0.875	0.923
10	0.722	0.779	0.831	0.873	0.919

Cuadro 106. Datos Extraídos del Caudal del Flujo para la Tubería de 1" en el Experimento 2.

Fuente. Elaboración Propia.

Nota. Litros por segundo (l/seg).

Estadísticos descriptivos - Caudal

Giro	N Estadístico	Mínimo Estadístico	Máximo Estadístico	Media Estadístico	Error	Desviación Estándar
Giro 1 - l/seg	10	0.718	0.722	0.720	0.00031	0.00097
Giro 2 - l/seg	10	0.774	0.781	0.778	0.00069	0.00219
Giro 3 - l/seg	10	0.825	0.831	0.827	0.00072	0.00228
Giro 4 - l/seg	10	0.872	0.878	0.875	0.00063	0.00201
Giro 5 - l/seg	10	0.917	0.925	0.921	0.00076	0.00241

Cuadro 107. Resultados Estadísticos del Caudal del Flujo para la Tubería de 1" en el Experimento 2.

Fuente. Elaboración Propia.

Software. IBM SPSS Statistics 25.

4.6.9. Errores y desviación estándar de los datos extraídos del sensor de temperatura.

Datos Estadísticos de la Temperatura en la Tubería PVC-U 1"

Giro	Mínimo	Máximo	Media	Errores			Desviación
	°C	°C	°C	Error Aleatorio	Error Sistemático	Error Total	Estándar
Giro 1	19.15	19.18	19.17	0.0046	0.50	0.50	0.01449
Giro 2	19.93	19.99	19.98	0.0081	0.50	0.50	0.02550
Giro 3	20.65	20.65	20.65	0.0000	0.50	0.50	0.00000
Giro 4	21.37	21.37	21.37	0.0000	0.50	0.50	0.00000
Giro 5	21.99	21.99	21.99	0.0000	0.50	0.50	0.00000

Cuadro 108. Error y Desviación Estándar de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 1" en el Experimento 2.

Fuente. Elaboración Propia.

Software. IBM SPSS Statistics 25.

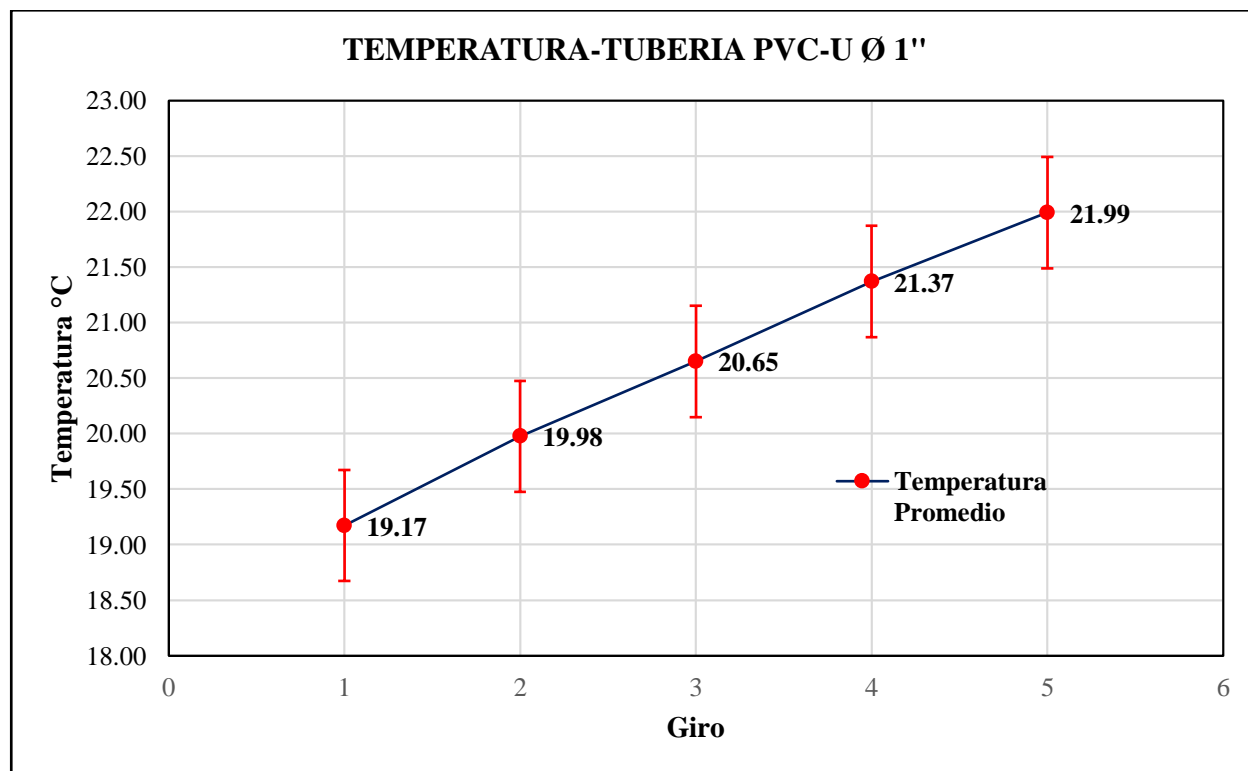


Gráfico 28. Error y Media de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 1" en el Experimento 2.

4.6.10. Errores y desviación estándar de los datos extraídos del sensor RD522 de presión.

Datos Estadísticos de Presiones en la Tubería PVC-U 1"

Giro	Presión	Mínimo	Máximo	Media	Errores		Desviación Estándar
		PSI	PSI	PSI	Error Aleatorio	Error Sistemático	
Giro-1	P _{Entrada}	16.50	16.66	16.59	0.0170	0.145	0.146
	P _{Salida}	16.24	16.47	16.36	0.0223	0.145	0.147
Giro-2	P _{Entrada}	18.69	18.88	18.78	0.0233	0.145	0.147
	P _{Salida}	18.42	18.71	18.56	0.0275	0.145	0.148
Giro-3	P _{Entrada}	20.91	21.13	21.03	0.0259	0.145	0.147
	P _{Salida}	20.74	20.92	20.84	0.0164	0.145	0.146
Giro-4	P _{Entrada}	23.30	23.45	23.36	0.0167	0.145	0.146
	P _{Salida}	23.08	23.35	23.19	0.0239	0.145	0.147
Giro-5	P _{Entrada}	25.57	25.72	25.63	0.0175	0.145	0.146
	P _{Salida}	25.35	25.54	25.42	0.0188	0.145	0.146

Cuadro 109. Error y Desviación Estándar de la Presión del Flujo para la Tubería de 1" en el Experimento 2.

Fuente. Elaboración Propia.

Software. IBM SPSS Statistics 25.

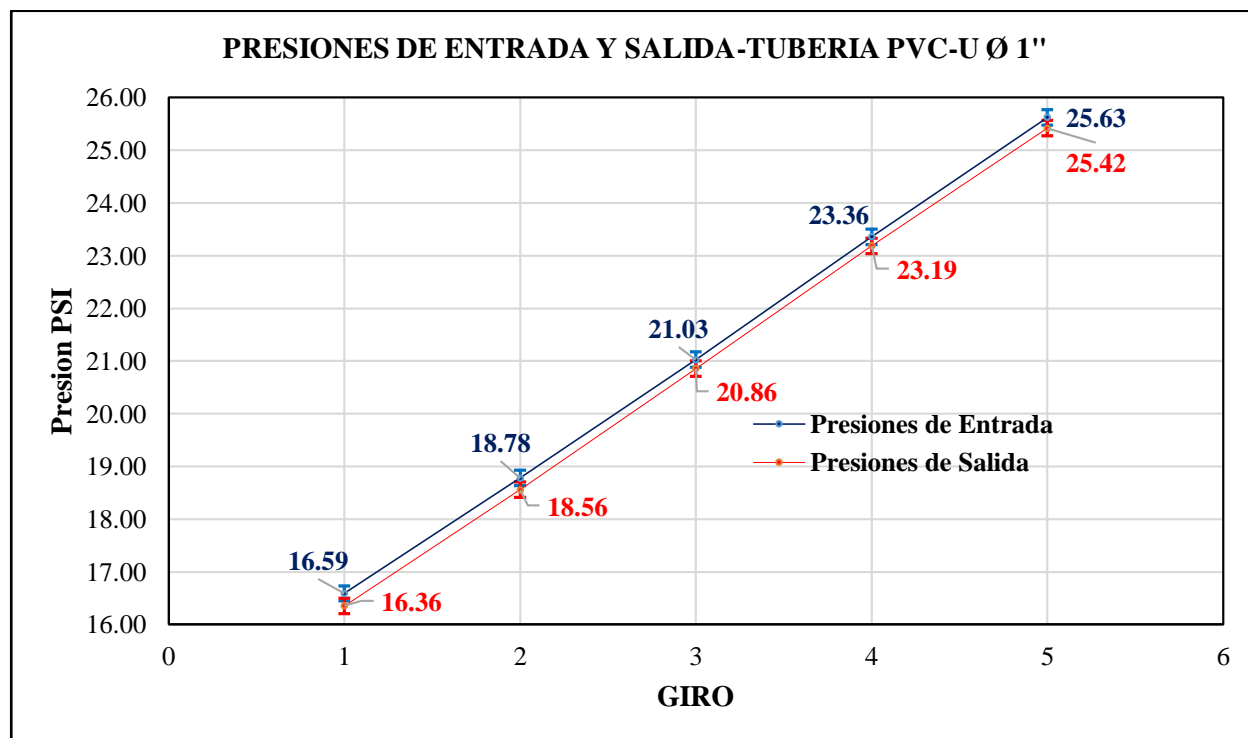


Gráfico 29. Error y Media de la Presión del Flujo en la Tubería de 1" en el Experimento 2.

4.6.11. Errores y desviación estándar de los datos extraídos del sensor de flujo.

Datos Estadísticos de Caudales en la Tubería PVC-U 1"

Giro	Mínimo l/Seg	Máximo l/Seg	Media l/Seg	Errores			Desviación Estándar
				Error Aleatorio	Error Sistemático	Error Total	
Giro 1	0.718	0.722	0.720	0.00031	0.05	0.05	0.00097
Giro 2	0.774	0.781	0.778	0.00069	0.05	0.05	0.00219
Giro 3	0.825	0.831	0.827	0.00072	0.05	0.05	0.00228
Giro 4	0.872	0.878	0.875	0.00063	0.05	0.05	0.00201
Giro 5	0.917	0.925	0.921	0.00076	0.05	0.05	0.00241

Cuadro 110. Error y Desviación Estándar del Caudal del Flujo para la Tubería de 1" en el Experimento 2.

Fuente. Elaboración Propia.

Software. IBM SPSS Statistics 25.

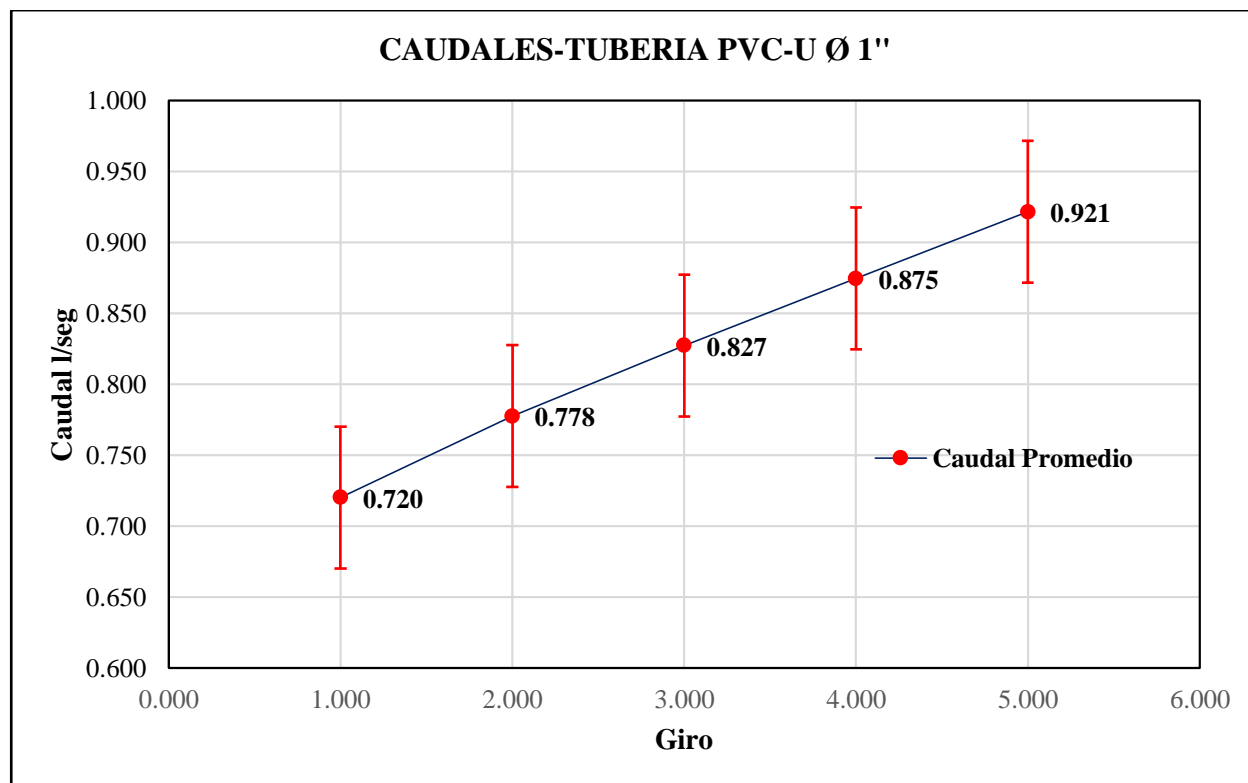


Gráfico 30. Error y Media del Caudal del Flujo en la Tubería de 1" en el Experimento 2.

4.6.12. Procesamiento estadístico de los datos extraídos en el laboratorio utilizando el software SPSS experimento 3.

4.6.12.1. Temperatura.

Datos de Obtenidos con el Sensor de Temperatura

N°	Giro 1 Temperatura (°C)	Giro 2 Temperatura (°C)	Giro 3 Temperatura (°C)	Giro 4 Temperatura (°C)	Giro 5 Temperatura (°C)
1	19.43	20.18	20.9	21.56	22.18
2	19.46	20.18	20.9	21.56	22.18
3	19.43	20.18	20.9	21.56	22.18
4	19.46	20.18	20.9	21.56	22.18
5	19.46	20.18	20.9	21.56	22.18
6	19.46	20.18	20.9	21.56	22.18
7	19.46	20.18	20.9	21.56	22.18
8	19.46	20.18	20.9	21.56	22.18
9	19.46	20.18	20.9	21.59	22.21
10	19.46	20.18	20.9	21.56	22.18

Cuadro 111. Datos Extraídos de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 1” en el Experimento 3.

Fuente. Elaboración Propia.

Nota. Grados Celsius (°C).

Estadísticos descriptivos - Temperatura

Giro	N Estadístico	Mínimo Estadístico	Máximo Estadístico	Media		Desviación Estándar
				Estadístico	Error	
Giro 1 – °C	10	19.43	19.46	19.45	0.0040	0.01265
Giro 2 – °C	10	20.18	20.18	20.18	0.0000	0.00000
Giro 3 – °C	10	20.90	20.90	20.90	0.0000	0.00000
Giro 4 – °C	10	21.56	21.59	21.56	0.0030	0.00949
Giro 5 – °C	10	22.18	22.21	22.18	0.0030	0.00949

Cuadro 112. Resultados Estadísticos de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 1” en el Experimento 3.

Fuente. Elaboración Propia.

Software. IBM SPSS Statistics 25.

4.6.12.2. Presión.

N°	Giro 1		Giro 2		Giro 3		Giro 4		Giro 5	
	P _{Entrada} (PSI)	P _{salida} (PSI)	P _{Entrada} (PSI)	P _{salida} (PSI)	P _{Entrada} (PSI)	P _{salida} (PSI)	P _{Entrada} (PSI)	P _{salida} (PSI)	P _{Entrada} (PSI)	P _{salida} (PSI)
1	16.40	16.25	18.73	25.54	21.21	25.54	25.54	25.54	25.54	25.54
2	16.57	16.41	18.81	25.31	20.98	25.31	25.31	25.31	25.31	25.31
3	16.56	16.3	18.60	25.53	21.08	25.53	25.53	25.53	25.53	25.53
4	16.62	16.22	18.75	25.34	21.10	25.34	25.34	25.34	25.34	25.34
5	16.62	16.3	18.73	25.31	21.17	25.31	25.31	25.31	25.31	25.31
6	16.53	16.21	18.63	25.47	21.05	25.47	25.47	25.47	25.47	25.47
7	16.44	16.28	18.84	25.31	21.17	25.31	25.31	25.31	25.31	25.31
8	16.43	16.24	18.73	25.35	21.16	25.35	25.35	25.35	25.35	25.35
9	16.46	16.25	18.63	25.29	21.17	25.29	25.29	25.29	25.29	25.29
10	16.57	16.37	18.69	25.32	21.21	25.32	25.32	25.32	25.32	25.32

Cuadro 113. Datos Extraídos de la Presión del Flujo para la Tubería de 1” en el Experimento 3.

Fuente. Elaboración Propia.

Nota. Libras por Pulgada Cuadrada (PSI).

Estadísticos descriptivos - Presión

Giro	Presión	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación Estándar
		Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	
Giro 1	P _{Entrada}	10	16.40	16.62	16.52	0.0256
	P _{Salida}	10	16.21	16.41	16.28	0.0204
Giro 2	P _{Entrada}	10	18.60	18.84	18.71	0.0247
	P _{Salida}	10	18.39	18.57	18.49	0.0174
Giro 3	P _{Entrada}	10	20.98	21.21	21.13	0.0238
	P _{Salida}	10	20.76	21.01	20.90	0.0310
Giro 4	P _{Entrada}	10	23.26	23.42	23.36	0.0148
	P _{Salida}	10	22.98	23.22	23.12	0.0216
Giro 5	P _{Entrada}	10	25.55	25.68	25.62	0.0144
	P _{Salida}	10	25.29	25.54	25.38	0.0307

Cuadro 114. Resultados Estadísticos de la Presión del Flujo para la Tubería de 1” en el Experimento 3.

Fuente. Elaboración Propia.

Software. IBM SPSS Statistics 25.

4.6.12.3. Caudal.

Datos de Obtenidos con el Sensor de Flujo

N°	Giro 1 Caudal l/seg	Giro 2 Caudal l/seg	Giro 3 Caudal l/seg	Giro 4 Caudal l/seg	Giro 5 Caudal l/seg
1	0.724	0.777	0.831	0.879	0.924
2	0.727	0.777	0.825	0.877	0.921
3	0.727	0.779	0.831	0.877	0.921
4	0.722	0.779	0.829	0.877	0.924
5	0.722	0.777	0.825	0.877	0.924
6	0.722	0.781	0.831	0.877	0.926
7	0.724	0.779	0.831	0.880	0.919
8	0.722	0.781	0.827	0.875	0.923
9	0.724	0.777	0.831	0.879	0.923
10	0.726	0.777	0.828	0.877	0.923

Cuadro 115. Datos Extraídos del Caudal del Flujo para la Tubería de 1” en el Experimento 3.

Fuente. Elaboración Propia.

Nota. Litros por segundo (l/seg).

Estadísticos descriptivos - Caudal

Giro	N Estadístico	Mínimo Estadístico	Máximo Estadístico	Media Estadístico	Media Error	Desviación Estándar
Giro 1 - l/seg	10	0.722	0.727	0.724	0.00069	0.00217
Giro 2 - l/seg	10	0.777	0.781	0.778	0.00045	0.00142
Giro 3 - l/seg	10	0.825	0.831	0.828	0.00079	0.00250
Giro 4 - l/seg	10	0.875	0.880	0.877	0.00049	0.00154
Giro 5 - l/seg	10	0.919	0.926	0.923	0.00064	0.00204

Cuadro 116. Resultados Estadísticos del Caudal del Flujo para la Tubería de 1” en el Experimento 3.

Fuente. Elaboración Propia.

Software. IBM SPSS Statistics 25.

4.6.13. Errores y desviación estándar de los datos extraídos del sensor de temperatura.

Datos Estadísticos de la Temperatura en la Tubería PVC-U 1"

Giro	Mínimo	Máximo	Media	Errores			Desviación
	°C	°C	°C	Error Aleatorio	Error Sistemático	Error Total	Estándar
Giro 1	19.43	19.46	19.45	0.0040	0.50	0.50	0.01265
Giro 2	20.18	20.18	20.18	0.0000	0.50	0.50	0.00000
Giro 3	20.90	20.90	20.90	0.0000	0.50	0.50	0.00000
Giro 4	21.56	21.59	21.56	0.0030	0.50	0.50	0.00949
Giro 5	22.18	22.21	22.18	0.0030	0.50	0.50	0.00949

Cuadro 117. Error y Desviación Estándar de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 1" en el Experimento 3.

Fuente. Elaboración Propia.

Software. IBM SPSS Statistics 25.

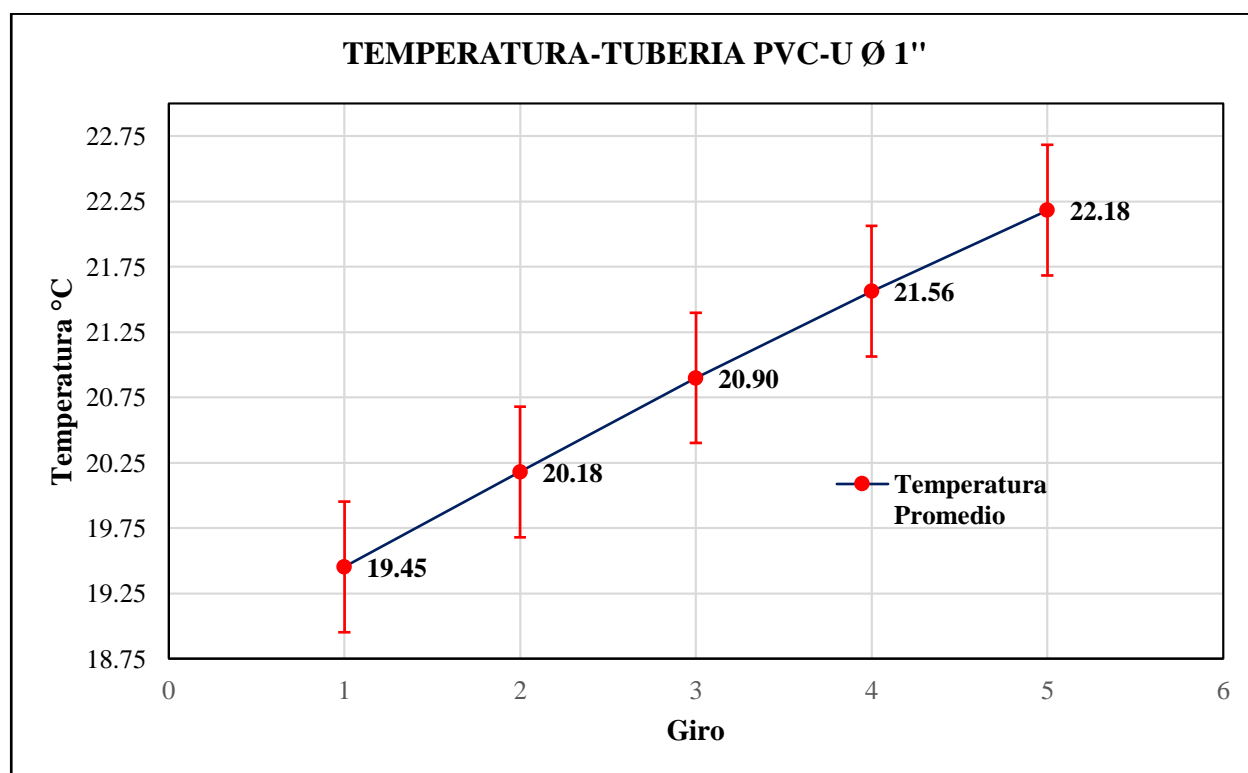


Gráfico 31. Error y Media de la Temperatura del Flujo para la Tubería de 1" en el Experimento 3.

4.6.14. Errores y desviación estándar de los datos extraídos del sensor RD522 de presión.

Datos Estadísticos de Presiones en la Tubería PVC-U 1"

Giro	Presión	Mínimo	Máximo	Media	Errores			Desviación
		PSI	PSI	PSI	Error Aleatorio	Error Sistemático	Error Total	Estándar
Giro-1	P-01	16.40	16.62	16.52	0.0256	0.1450	0.1473	0.0811
	P-02	16.21	16.41	16.28	0.0204	0.1450	0.1465	0.0646
Giro-2	P-01	18.60	18.84	18.71	0.0247	0.1450	0.1471	0.0781
	P-02	18.39	18.57	18.49	0.0174	0.1450	0.1461	0.0550
Giro-3	P-01	20.98	21.21	21.13	0.0238	0.1450	0.1470	0.0751
	P-02	20.76	21.01	20.90	0.0310	0.1450	0.1483	0.0980
Giro-4	P-01	23.26	23.42	23.36	0.0148	0.1450	0.1458	0.0467
	P-02	22.98	23.22	23.12	0.0216	0.1450	0.1466	0.0684
Giro-5	P-01	25.55	25.68	25.62	0.0144	0.1450	0.1458	0.0455
	P-02	25.29	25.54	25.38	0.0307	0.1450	0.1483	0.0972

Cuadro 118. Error y Desviación Estándar de la Presión del Flujo para la Tubería de 1" en el Experimento 3.

Fuente. Elaboración Propia

Software. IBM SPSS Statistics 25

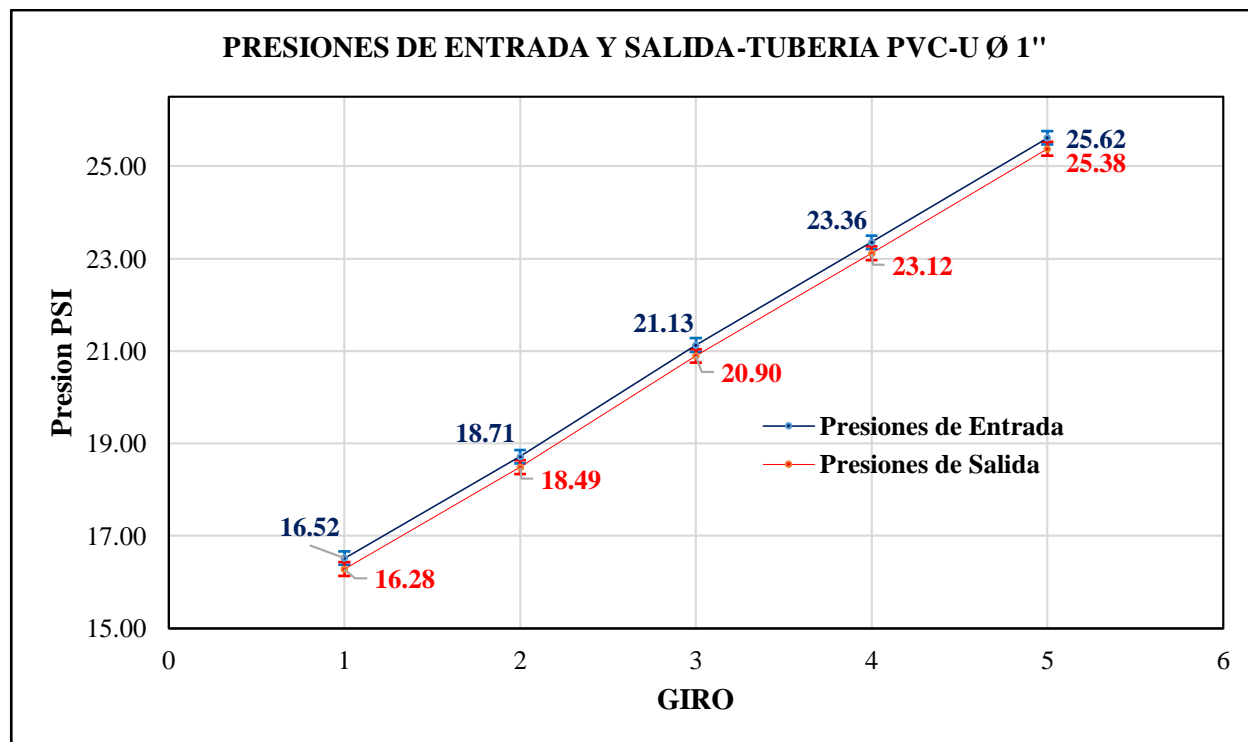


Gráfico 32. Error y Media de la Presión del Flujo en la Tubería de 1" en el Experimento 3.

4.6.15. Errores y desviación estándar de los datos extraídos del sensor de flujo.

Datos Estadísticos de Caudales en la Tubería PVC-U 1"

Giro	Mínimo l/Seg	Máximo l/Seg	Media l/Seg	Errores		Desviación Estándar
				Error Aleatorio	Error Sistemático	
Giro 1	0.722	0.727	0.724	0.00069	0.05	0.00217
Giro 2	0.777	0.781	0.778	0.00045	0.05	0.00142
Giro 3	0.825	0.831	0.828	0.00079	0.05	0.00250
Giro 4	0.875	0.880	0.877	0.00049	0.05	0.00154
Giro 5	0.919	0.926	0.923	0.00064	0.05	0.00204

Cuadro 119. Error y Desviación Estándar del Caudal del Flujo para la Tubería de 1" en el Experimento 3.

Fuente. Elaboración Propia.

Software. IBM SPSS Statistics 25.

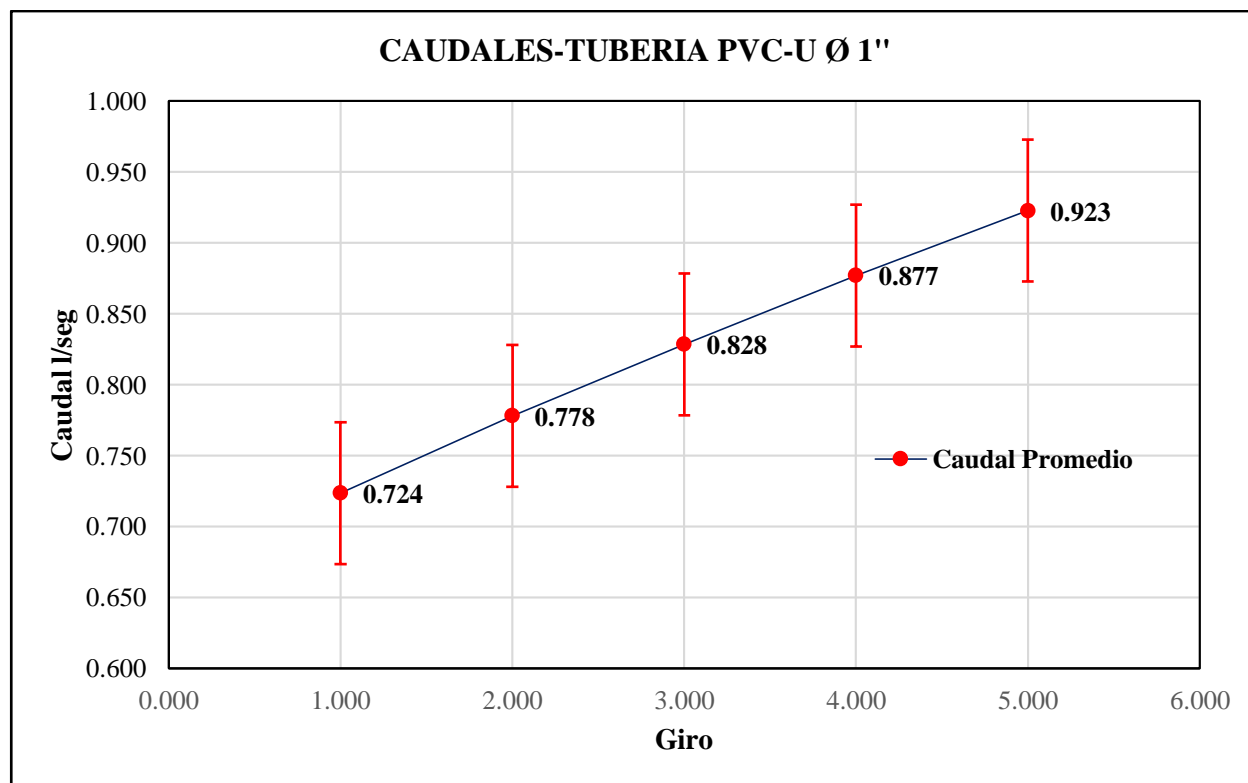


Gráfico 33. Error y Media del Caudal del Flujo en la Tubería de 1" en el Experimento 3.

4.6.16. Propiedades físicas del agua en función a la temperatura del flujo.

4.6.16.1. Experimento 1.

GIRO	Temperatura	Densidad	Viscosidad	Viscosidad Cinemática	Peso Especifico
	T° °C	ρ kg/m ³	μ N.s/m ²	ν m ² /s	γ_{H2O} N/m ³
Giro 1	18.78	998.51	1.038E-03	1.106E-06	9760.94
Giro 2	19.75	998.34	1.012E-03	1.028E-06	9759.23
Giro 3	20.46	998.18	9.956E-04	9.976E-07	9757.74
Giro 4	21.16	998.02	9.813E-04	9.834E-07	9756.15
Giro 5	21.81	997.87	9.680E-04	9.702E-07	9754.68

Cuadro 120. Propiedades Físicas del Flujo en la Tubería de PVC-U Ø 1" en el Experimento 1.

4.6.16.2. Experimento 2.

GIRO	Temperatura	Densidad	Viscosidad	Viscosidad Cinemática	Peso Especifico
	T° °C	ρ kg/m ³	μ N.s/m ²	ν m ² /s	γ_{H2O} N/m ³
Giro 1	19.18	998.44	1.027E-03	1.073E-06	9760.23
Giro 2	19.98	998.29	1.006E-03	1.009E-06	9758.82
Giro 3	21.56	997.93	9.732E-04	9.753E-07	9755.25
Giro 4	22.25	997.77	9.591E-04	9.613E-07	9753.68
Giro 5	22.82	997.64	9.476E-04	9.498E-07	9752.40

Cuadro 121. Propiedades Físicas del Flujo en la Tubería de PVC-U Ø 1" en el Experimento 2.

4.6.16.3. Experimento 3.

GIRO	Temperatura	Densidad	Viscosidad	Viscosidad Cinemática	Peso Especifico
	T° °C	ρ kg/m ³	μ N.s/m ²	γ m ² /s	Γ N/m ³
Giro 1	19.46	998.39	1.020E-03	1.051E-06	9759.74
Giro 2	20.19	998.25	1.001E-03	1.003E-06	9758.36
Giro 3	20.91	998.08	9.865E-04	9.886E-07	9756.73
Giro 4	21.56	997.93	9.731E-04	9.753E-07	9755.24
Giro 5	22.19	997.78	9.604E-04	9.626E-07	9753.82

Cuadro 122. Propiedades Físicas del Flujo en la Tubería de PVC-U Ø 1" en el Experimento 3.

4.6.17. Fórmula de Darcy-Weisbach para el cálculo del coeficiente de fricción “f” en tuberías de PVC-U De 1”.

4.6.17.1. Número de Reynolds.

$$Re = \frac{\text{Fuerzas Inercia}}{\text{Fuerzas Viscosas}} = \frac{\rho_{H_2O} V D}{\mu_{H_2O}} \quad \text{Ecuación (33)}$$

ρ_{H_2O} : Densidad (Kg/m³)

μ_{H_2O} : Viscosidad Dinámica (N.S/m²)

V : Velocidad Media (m/seg)

D : Diámetro Interior (m)

4.6.17.2. Pérdida de carga experimental en tuberías.

$$hf_{exp} = \frac{\Delta P}{\gamma_{H_2O}} \quad \Delta P = P_1 - P_2 \quad \text{Ecuación (34)}$$

hf_{exp} : Pérdida de Carga Experimental (m)

ΔP : Diferencia de Presiones (N/m²)

γ_{H_2O} : Peso Específico Media. (N/m³)

P_1 : Presión de Entrada (N/m²)

P_2 : Presión de Salida. (N/m²)

4.6.17.3. Factor de fricción experimental.

$$f_{exp} = hf_{exp} \frac{2g \cdot D}{V^2 \cdot L} \quad \text{Ecuación (35)}$$

f_{exp} : Factor de Fricción Experimental (Adimensional)

hf_{exp} : Pérdida de Carga Experimental (m)

D : Diámetro Interior de Tubería (m)

V : Velocidad Media (m/seg)

L : Longitud de Prueba (m)

g : Gravedad (m/s²)

4.6.18. Datos para los cálculos del coeficiente de fricción “f” experimental.

4.6.18.1. Característica de la tubería.

Características de la Tubería PVC-U Ø 1"

Nominal	Real	Long. Total	Long. Util	e (mm)	D _{inte}	Di (m)	Área (m ²)
1/2"	21	5	4.97	1.8	17.4	0.0174	0.00023779
3/4"	26.5	5	4.96	1.8	22.9	0.0229	0.00041187
1"	33	5	4.96	1.8	29.4	0.0294	0.00067887

Cuadro 123. Características técnicas de la Tubería para Agua Fría a Presión NTP 399.002:2015.

4.6.18.2. Resumen de datos obtenidos de la presión.

Lectura con el Registro de Presión de Agua RD522

Presión - RD522		Presión - RD522		Presión - RD522	
P _{ENTRADA}	P _{SALIDA}	P _{ENTRADA}	P _{SALIDA}	P _{ENTRADA}	P _{SALIDA}
BAR	BAR	PSI	PSI	N/m ²	N/m ²
1.156	1.141	16.77	16.55	115630	114100
1.295	1.279	18.78	18.54	129490	127860
1.464	1.447	21.24	20.99	146440	144700
1.610	1.592	23.35	23.08	160970	159160
1.765	1.748	25.60	25.35	176510	174760

Cuadro 124. Datos de Presiones de entrada y salida obtenidos en el Experimento 1.

Lectura con el Registro de Presión de Agua RD522

Presión - RD522		Presión - RD522		Presión - RD522	
P _{ENTRADA}	P _{SALIDA}	P _{ENTRADA}	P _{SALIDA}	P _{ENTRADA}	P _{SALIDA}
BAR	BAR	PSI	PSI	N/m ²	N/m ²
1.144	1.128	16.60	16.36	114420	112810
1.295	1.280	18.79	18.56	129520	128000
1.450	1.437	21.03	20.84	145010	143700
1.611	1.599	23.36	23.19	161090	159900
1.767	1.753	25.63	25.43	176730	175310

Cuadro 125. Datos de Presiones de entrada y salida obtenidos en el Experimento 2.

Lectura con el Registro de Presión de Agua RD522

Presión - RD522		Presión - RD522		Presión - RD522	
P _{ENTRADA}	P _{SALIDA}	P _{ENTRADA}	P _{SALIDA}	P _{ENTRADA}	P _{SALIDA}
BAR	BAR	PSI	PSI	N/m ²	N/m ²
1.139	1.123	16.52	16.29	113930	112310
1.291	1.275	18.72	18.49	129070	127500
1.457	1.441	21.14	20.90	145730	144100
1.611	1.594	23.36	23.12	161060	159400
1.766	1.750	25.62	25.38	176640	175000

Cuadro 126. Datos de Presiones de entrada y salida obtenidos en el Experimento 3.

4.6.18.3. Resumen del coeficiente de fricción.

Cálculo del Coeficiente de Fricción “f” con la Ecuación de Darcy Weisbach

N	Caudal m ³ /Seg	Área m ²	Vel. m/seg	Presión		Δ Presión N/m ²	hf m	Reynold	F _{DW}
				P _{ENTRADA} N/m ²	P _{SALIDA} N/m ²				
Giro-1	0.000713	0.0006789	1.05021	115630	114100	1530	0.157	29701	0.0318
Giro-2	0.000780	0.0006789	1.14838	129490	127860	1630	0.167	33310	0.0284
Giro-3	0.000828	0.0006789	1.21961	146440	144700	1740	0.178	35950	0.0268
Giro-4	0.000874	0.0006789	1.28707	160970	159160	1810	0.186	38484	0.0251
Giro-5	0.000922	0.0006789	1.35837	176510	174760	1750	0.179	41166	0.0218

Cuadro 127. Coeficiente de Fricción "f" obtenidos en el Experimento 1.

Cálculo del Coeficiente de Fricción “f” con la Ecuación de Darcy Weisbach

N	Caudal m ³ /Seg	Área m ²	Vel. m/seg	Presión		Δ Presión N/m ²	hf m	Reynold	F _{DW}
				P _{ENTRADA} N/m ²	P _{SALIDA} N/m ²				
Giro-1	0.000720	0.0006789	1.06074	114420	112810	1610	0.165	30311	0.0421
Giro-2	0.000778	0.0006789	1.14529	129520	128000	1520	0.156	33429	0.0341
Giro-3	0.000827	0.0006789	1.21857	145010	143700	1310	0.134	36737	0.0260
Giro-4	0.000875	0.0006789	1.28825	161090	159900	1190	0.122	39402	0.0211
Giro-5	0.000921	0.0006789	1.35734	176730	175310	1420	0.146	42015	0.0227

Cuadro 128. Coeficiente de Fricción "f" obtenidos en el Experimento 2.

Cálculo del Coeficiente de Fricción "f" con la Ecuación de Darcy Weisbach

N	Caudal m ³ /Seg	Área m ²	Vel. m/seg	Presión		Δ Presión N/m ²	hf m	Reynold	FDW
				PENTRADA N/m ²	PSALIDA N/m ²				
Giro-1	0.000724	0.0006789	1.06597	113930	112310	1620	0.166	30687	0.0420
Giro-2	0.000778	0.0006789	1.14625	129070	127500	1570	0.161	33599	0.0352
Giro-3	0.000828	0.0006789	1.22034	145730	144100	1630	0.167	36298	0.0322
Giro-4	0.000877	0.0006789	1.29193	161060	159400	1660	0.170	38952	0.0293
Giro-5	0.000923	0.0006789	1.35903	176640	175000	1640	0.168	41512	0.0262

Cuadro 129. Coeficiente de Fricción "f" obtenidos en el Experimento 3.

4.6.18.4. Correlación logarítmica del coeficiente de fricción.

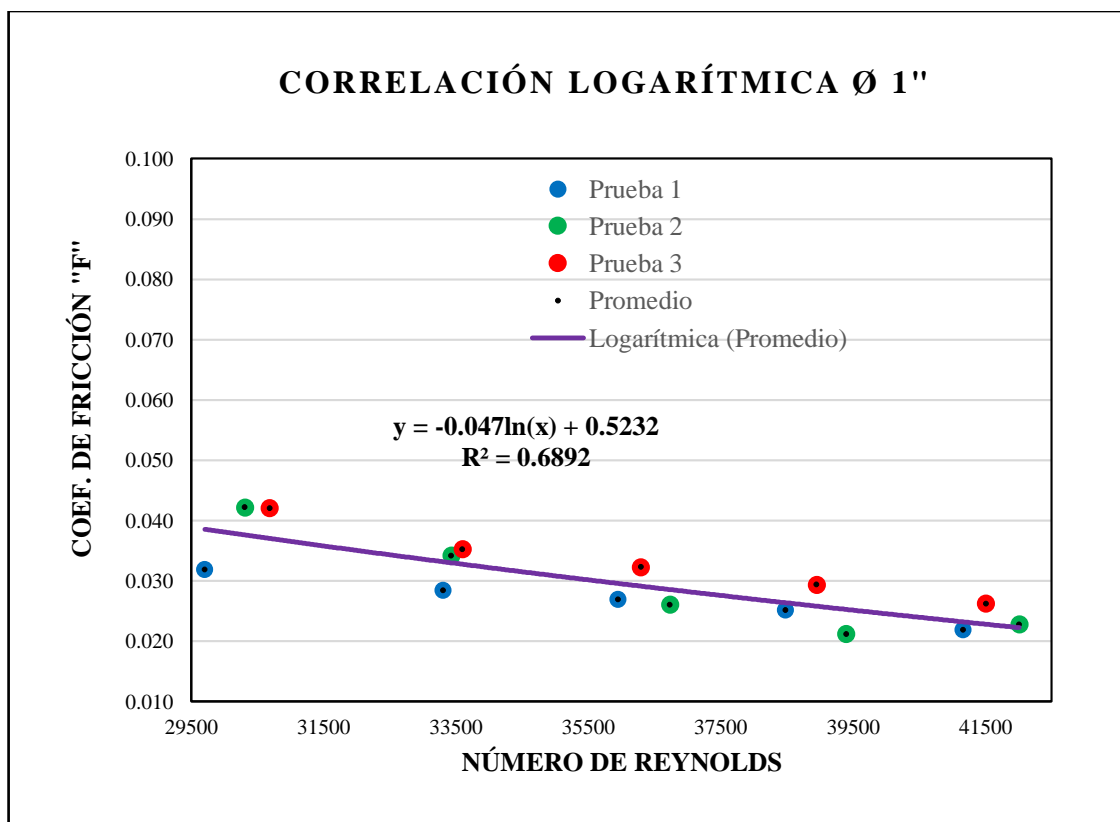


Gráfico 34. Correlación de los Coeficientes de Fricción en la Tubería de PVC-U Ø 1".

4.6.19. Coeficiente de fricción “f” en tuberías de PVC-U de Ø 1” con ecuaciones de diferentes bibliografías.

Para realizar el análisis comparativo del coeficiente de Fricción “f” hallado en el Laboratorio con respecto a las bibliografías se utilizará las siguientes 03 ecuaciones.

- Ecuación Colebrook White.
- Ecuación V. Streeter.
- Ecuación de Haaland.

4.6.19.1. Ecuación Colebrook White.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right) \quad \begin{matrix} 0.01 \leq \frac{\varepsilon}{D} \leq 10^{-6} \\ 5000 \leq Re \leq 10^8 \end{matrix} \quad \text{Ecuación (36)}$$

f : Coeficiente de Fricción de Colebrook.

ε : Rugosidad de Tubería PVC-U Ø 1".

D : Diámetro interno de Tubería PVC-U Ø 1".

4.6.19.2. Cálculo del coeficiente de fricción “f”- Ecuación - Colebrook White.

N 1		N 2		N 3	
Espesor=	0.0000015	Espesor=	0.0000015	Espesor=	0.0000015
Diámetro=	0.0294	Diámetro=	0.0294	Diámetro=	0.0294
Re=	30230	Re=	33446	Re=	36325
f _{supuesto} =	0.0236	f _{supuesto} =	0.0230	f _{supuesto} =	0.0226
f _{teórico} =	0.0236	f _{teórico} =	0.0230	f _{teórico} =	0.0226

N 4		N 5	
Espesor=	0.0000015	Espesor=	0.0000015
Diámetro=	0.0294	Diámetro=	0.0294
Re=	38942	Re=	41561
f _{supuesto} =	0.0223	f _{supuesto} =	0.0219
f _{teórico} =	0.0223	f _{teórico} =	0.0219

4.6.19.3. Cálculo del coeficiente de fricción “f”- Colebrook White.

Giro	Caudal m ³ /Seg	Área m ²	Vel. m/seg	Diámetro m	Espesor Rugosidad m	Reynold	f _{Colebrook}
Giro 1	0.000719	0.000679	1.06	0.0294	0.0000015	30230	0.0236
Giro 2	0.000778	0.000679	1.15	0.0294	0.0000015	33446	0.0230
Giro 3	0.000828	0.000679	1.22	0.0294	0.0000015	36325	0.0226
Giro 4	0.000875	0.000679	1.29	0.0294	0.0000015	38942	0.0223
Giro 5	0.000922	0.000679	1.36	0.0294	0.0000015	41561	0.0219

Cuadro 130. Colebrook White - PVC-U Ø 1".

4.6.19.4. Ecuación - Streeter 9na Edición.

$$f = 1.325 \left[\ln \left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^{-2} \quad \begin{matrix} 10^{-6} \leq \frac{\varepsilon}{D} \leq 0.01 \\ 5000 \leq Re \leq 10^8 \end{matrix} \quad \text{Ecuación (37)}$$

f : Coeficiente de Fricción.

ε : Rugosidad de Tubería PVC-U Ø 1".

D : Diámetro interno de Tubería PVC-U Ø 1".

4.6.19.5. Cálculo del coeficiente de fricción “f”- Ecuación - Streeter 9na Edición.

N 1		N 2		N 3	
Espesor=	0.0000015	Espesor=	0.0000015	Espesor=	0.0000015
Diámetro=	0.0294	Diámetro=	0.0294	Diámetro=	0.0294
Re=	30230	Re=	33446	Re=	36325
ε/D	0.00005	ε/D	0.00005	ε/D	0.00005
f _{teórico} =	0.0235	f _{teórico} =	0.0229	f _{teórico} =	0.0225

N 4		N 5	
Espesor=	0.0000015	Espesor=	0.0000015
Diámetro=	0.0294	Diámetro=	0.0294
Re=	38942	Re=	41561
ε/D	0.00005	ε/D	0.00005
f _{teórico} =	0.0222	f _{teórico} =	0.0218

4.6.19.6. Cálculo del coeficiente de fricción "f"- Streeter 9na Edición

Giro	Caudal m ³ /Seg	Área m ²	Vel. m/seg	DIAMETRO m	Espesor Rugosidad m	Reynold	f _{Streeter}
Giro 1	0.000719	0.000679	1.06	0.0294	0.0000015	30230	0.0235
Giro 2	0.000778	0.000679	1.15	0.0294	0.0000015	33446	0.0229
Giro 3	0.000828	0.000679	1.22	0.0294	0.0000015	36325	0.0225
Giro 4	0.000875	0.000679	1.29	0.0294	0.0000015	38942	0.0222
Giro 5	0.000922	0.000679	1.36	0.0294	0.0000015	41561	0.0218

Cuadro 131. Streeter - PVC-U Ø 1".

4.6.19.7. Ecuación - Haaland (1983).

$$f = \frac{1}{\left\{ -1.8 \log \left[\left(\frac{\varepsilon}{3.7D} \right)^{1.11} + \frac{6.9}{Re} \right] \right\}^2} \quad \begin{array}{l} 0.01 \leq \frac{\varepsilon}{D} \leq 10^{-6} \\ 5000 \leq Re \leq 10^8 \end{array} \quad \text{Ecuación (38)}$$

f : Coeficiente de Fricción.

ε : Rugosidad de Tubería PVC-U Ø 3/4".

D : Diámetro interno de Tubería PVC-U Ø 3/4".

4.6.19.8. Cálculo del coeficiente de fricción "f"- Ecuación - Haaland (1983).

N 1	N 2	N 3
Espesor= 0.0000015	Espesor= 0.0000015	Espesor= 0.0000015
Diámetro= 0.0294	Diámetro= 0.0294	Diámetro= 0.0294
Re= 30230	Re= 33446	Re= 36325
ε/D= 0.00005	ε/D= 0.00005	ε/D= 0.00005
f _{teórico} = 0.0234	f _{teórico} = 0.0228	f _{teórico} = 0.0224

N 4
Espesor= 0.0000015
Diámetro= 0.0294
Re= 38942
ε/D= 0.00005
f _{teórico} = 0.0220

N 5
Espesor= 0.0000015
Diámetro= 0.0294
Re= 41561
ε/D= 0.00005
f _{teórico} = 0.0217

4.6.19.9. Cálculo del coeficiente de fricción "f"- Haaland (1983).

Giro	Caudal m ³ /Seg	Área m ²	Vel. m/seg	DIAMETRO m	Espesor Rugosidad m	Reynold	f _{Haaland}
Giro 1	0.000719	0.000679	1.06	0.0294	0.0000015	30230	0.0234
Giro 2	0.000778	0.000679	1.15	0.0294	0.0000015	33446	0.0228
Giro 3	0.000828	0.000679	1.22	0.0294	0.0000015	36325	0.0224
Giro 4	0.000875	0.000679	1.29	0.0294	0.0000015	38942	0.0220
Giro 5	0.000922	0.000679	1.36	0.0294	0.0000015	41561	0.0217

Cuadro 132. Haaland - PVC-U Ø 1".

4.6.19.10. Resumen del coeficiente de fricción.

Giro	Reynolds	f _{Colebrook.}	f _{Streeter}	f _{Haaland}
Giro 1	30230	0.0236	0.0235	0.0234
Giro 2	33446	0.0230	0.0229	0.0228
Giro 3	36325	0.0226	0.0225	0.0224
Giro 4	38942	0.0223	0.0222	0.0220
Giro 5	41561	0.0219	0.0218	0.0217

Cuadro 133. Coeficiente de Fricción Colebrook, Streeter y Haaland PVC-U 1".

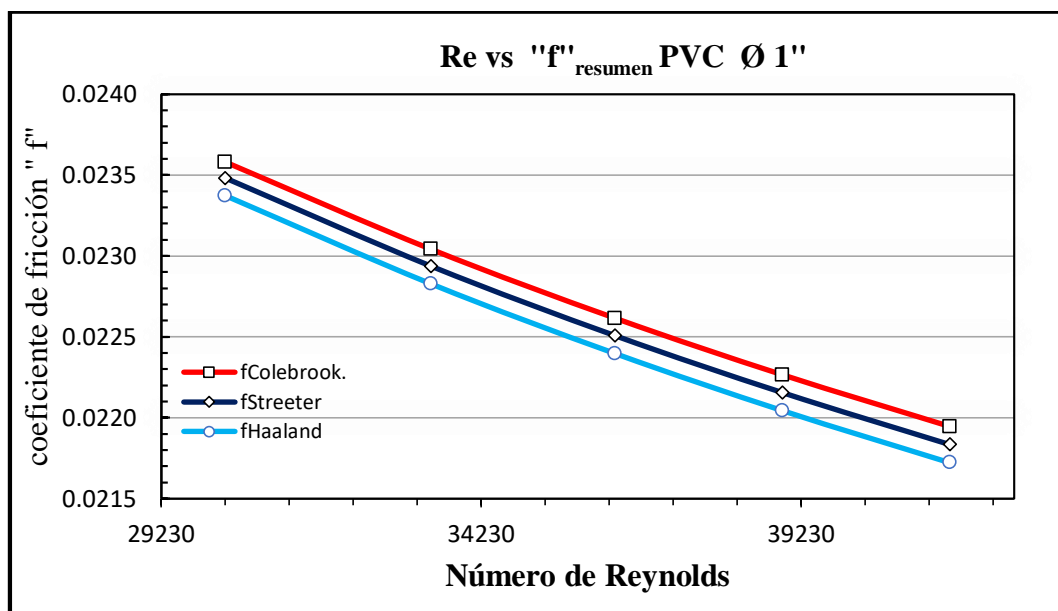


Gráfico 35. Coeficiente de Fricción de Colebrook White, Streeter y Haaland PVC-U Ø 1".

4.6.20. Resultados de la experimentación en el diagrama de Moody para la tubería de PVC-U de Ø 1".

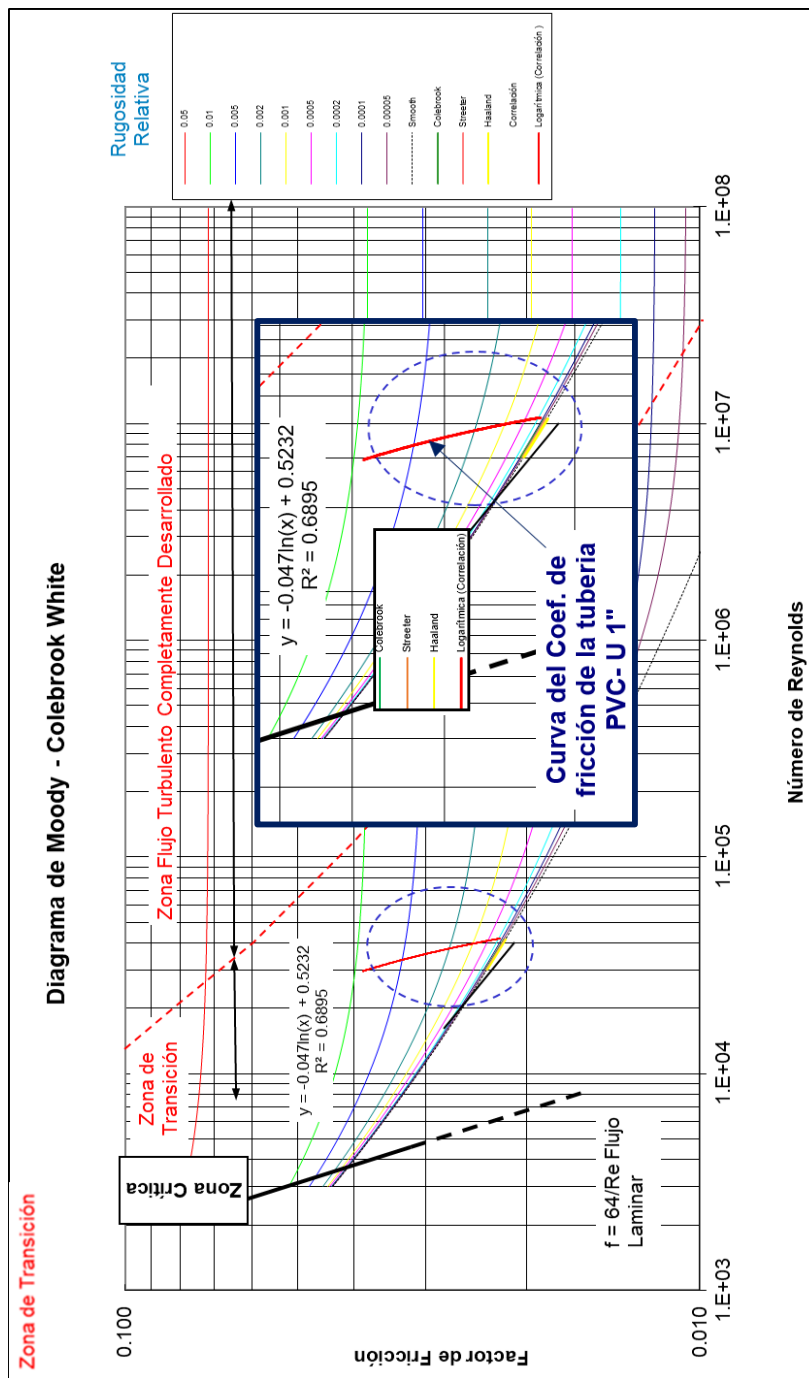


Gráfico 36. Ubicación de los resultados en el diagrama de Moody.

CAPÍTULO V

5. CARACTERIZACIÓN DE INSTRUMENTOS Y EQUIPOS DE MEDICIÓN

5.1 Introducción

Para determinar el coeficiente de fricción “ f ” se ha utilizado la fórmula de Darcy Weisbach, en la cual el coeficiente de fricción está en función de la pérdida de carga, longitud, velocidad, diámetro y gravedad, por lo cual para la implementación del sistema se ha utilizado equipos que nos permitan medir el valor de cada una de las variables con la que está compuesta la fórmula de Darcy Weisbach, a continuación, las características de los instrumentos y equipos usados en la experimentación.

5.2 Banco Hidráulico F1-10

Se procederá a describir el Banco de ensayo con sus respectivas características, este banco permite regular la presión y el flujo de ensayo. El banco hidráulico está construido de plásticos ligeros resistentes a la corrosión y está montado sobre ruedas para su movilidad. La medición volumétrica es integral y se ha elegido con preferencia sobre otros métodos de medición de flujo, debido a la facilidad de uso, precisión y seguridad. El tanque de medición volumétrica ha avanzado para dar cabida a las tasas de flujo bajo o alto. Un deflector de amortiguación reduce las turbulencias y un tubo de visualización remota con escala da una indicación instantánea del nivel del agua dentro del tanque volumétrico. Una válvula de vaciado en la base del tanque volumétrico es operada por un accionador remoto en la parte superior. Levantando el accionador se abre la válvula de vaciado permitiendo que el volumen de agua medido regrese al colector en la base del banco para luego ser recirculado. Cuando es levantado, una vuelta de tuerca de 90° al accionador mantendrá la válvula de vaciado en posición abierta. El rebose en la parte del tanque volumétrico permite que el agua retorne directamente al colector de prevención debido a un sobrellenado si la

válvula de vaciado permanece cerrada. El agua se extrae del depósito mediante una bomba centrífuga autocebante que se monta en un hueco debajo del tanque colector. Un panel montado en la válvula de control regula el flujo de la bomba a una tubería de conexión rápida liberación situado en el piso del canal moldeado en la parte superior del banco. El tubo flexible de suministro en la mayoría de los accesorios simplemente conecta al conector de cierre rápido. Las herramientas de mano no son necesarias para cualquiera de estas operaciones, permitiendo el intercambio rápido de accesorios. Una válvula de drenaje incorporada en un hueco en la parte frontal del tanque recolector, facilita su vaciado. Esta válvula es usada para la conexión de accesorios. El suministro eléctrico de la bomba del motor se realiza mediante un interruptor y un dispositivo de corriente residual montada en un hueco en la parte frontal del banco. Este último ofrece una mayor protección al operador contra descargas eléctricas en caso de que el equipo se convierta eléctricamente peligroso.



Fotografía 20. Banco Hidráulico Modelo F1-10 – ARMFIELD.

5.2.1. Especificaciones técnicas.

- Las dimensiones totales del Banco Hidráulico son las siguientes:
- Longitud: 1.13 m Ancho: 0.73 m Altura: 1.00 m
- Detalles del equipo Bomba de circulación
- Tipo: Centrífuga
- Altura máxima: 21 mca.
- Caudal máximo: 80 lts /min (usando tanque volumétrico)
- Potencia del motor: 0.37kw = 0.5 HP
- Capacidad del tanque sumidero: 250 lts.
- Capacidad del tanque volumétrico para caudales alta 40 lts.
- Capacidad del tanque volumétrico para caudales: 6 lts.

A. Línea de pruebas.

Se inicia con la medición de la temperatura y presión del fluido de trabajo luego de la regulación de presión en las tuberías de prueba. Luego, el fluido ingresa por la tubería de PVC-U de diámetro variable entre 1/2", 3/4" y 1" estas tuberías son conectadas mediante dos uniones universales para poder cambiarlas. Se inicia con la prueba, y se empieza obtener los datos de los sensores de temperatura y de presión en la pantalla led, y a la salida se toma los datos del caudal de la prueba.

B. Regulación de caudal.

La regulación se va a realizar con una válvula tipo mariposa de 1" de diámetro, se va a utilizar una válvula externa al del banco de pruebas, esta regulación se realizara mediante giros a la válvula controlando presiones en la línea de prueba. Se puede ver la instalación de línea de

pruebas completa, Banco Hidráulico, la válvula de regulación de presión, la línea de pruebas, pasando por la instalación de instrumentación, En el anexo 1 se puede ver el esquema general de la instalación.



Fotografía 21. Banco de Ensayos F10 Armfield para determinar el coeficiente de fricción “ f ”.

5.3 Tarjeta Arduino

Para poder obtener los datos de los sensores se utilizará una tarjeta Arduino, Arduino es la plataforma de desarrollo de proyectos en electrónica y robótica más utilizada a nivel mundial, esto debido a su facilidad de aprendizaje y uso, abundante documentación y múltiples aplicaciones. Arduino Mega 2560 R3 es una tarjeta de desarrollo mucho más potente, utilizada en aplicaciones con mayor necesidad de recursos como entradas/salidas, memoria e interfaces.

La tarjeta contiene todo lo necesario para el funcionamiento del micro controlador; basta conectarlo al puerto USB o alimentarlo con una fuente de voltaje continuo o una batería para empezar a usarlo. Para un mejor tiempo de duración alejarlo de cualquier tipo de humedad.

5.3.1. Especificaciones técnicas.

- Micro controlador: ATmega2560.
- Chip USB: ATmega16U2.
- Voltaje de Operación: 5V.
- Voltaje de alimentación: 6-20V (7-12V recomendado).
- Pines digitales I/O: 54 (15 salidas PWM).
- Entradas analógicas: 16.
- Corriente máxima entrada/salida: 40Ma.
- Memoria FLASH: 256K.
- Memoria SRAM: 8K.



Figura 15. Tarjeta ARDUINO. Mega 2560 R3.

5.4 Medición de Temperatura

El sensor de temperatura Digital DS18B20 se ha instalado en el interior del banco de pruebas, de manera que permita caracterizar la viscosidad y densidad del fluido. El periodo de vida útil es de 01 año, después es necesario cambiarlo. La información técnica del instrumento se detalla a continuación.

5.4.1. Especificaciones técnicas.

- Voltaje de Operación: 3.0V – 5.5V.
- Rango de Trabajo: -55°C hasta +125°C (-67°F to +257°F).
- Precisión en el rango de -10°C hasta +85°C: $\pm 0.5^\circ\text{C}$.
- Resolución seleccionable de 9-12 bits.
- Cubierta de Acero Inoxidable de alta calidad, previene la humedad y la oxidación.
- A prueba de Agua, No necesita componentes adicionales.
- Cables: Rojo (+VCC), Blanco (DATA), Negro (GND).
- Protocolo 1-Wire, solo necesita 1 pin para comunicarse.
- Identificación única de 64 bits.



Figura 16. Sensor de Temperatura Digital DS18B20.

5.5. Medición de flujo

Para determinar la medición del flujo se utilizará un Sensor de Flujo, el cual está instalado al término de la línea de prueba, se colocó en la parte final por la que los accesorios que componen su instalación generan pérdidas de cargas locales lo cual no es lo ideal para la determinación del coeficiente de fricción “f”. El sensor de flujo tiene una durabilidad de 300 000 giros, que equivale a un promedio de 50 horas de trabajo. Por cada prueba que se realiza se tiene que realizar el procedimiento descrito en el Capítulo IV, 4.5.2. Verificación de la lectura del sensor de caudal.

5.5.1. Especificaciones técnicas.

- Código: FS400A.
- Voltaje de operación: 5V - 18V DC.
- Corriente de operación: 15mA (5V).
- Capacidad de carga: 10mA (5 VDC).
- Temperatura de funcionamiento: -25°C a 80°C.
- Precisión en el rango: $\pm 10\%$.
- Presión de funcionamiento máximo: 1.2MPa (12 bar).
- Rango de funcionamiento: 1-60L/min.
- Rosca externa: 1" NPS.



Figura 17. Sensor de Flujo FS400A.

5.6. Medición de Presión

Para determinar la medición de la Presión al ingreso y a la salida se instalará un registrador de presión de agua (Water Pressure Logger), El registrador de presión de agua RD522 mide y almacena datos relacionados con la presión y está optimizado para el suministro de agua y servicios de la Industria. El RD522 guarda hasta 240,000 mediciones en un formato digital accesible y las almacena para Memoria local no volátil. El tiempo de medición puede variar desde varios segundos a varios meses para la adquisición de datos a largo plazo. El equipo se encuentra calibrado durante el proceso de extracción de datos, hace 8 meses fue la última vez que se calibro.

5.6.1. Especificaciones técnicas.

- Rango de temperatura Hasta 70 °C
- Exactitud Menos del 0.1% del valor final a 20 °C
- Resolución +/- 0,005% FS, por ejemplo, 0,5 mbar a 10 bar.
- Intervalos de medición 1 segundo hasta 24 horas (seleccionable)
- Monitor LCD (también para gráficos).
- Materiales Caja de acero inoxidable / aluminio con ventilación.



Figura 18. Registrador de presión de agua RD 522.

5.7. Medida de Diámetros de Tuberías

Para comprobar los diámetros internos y externos de las tuberías de PVC-U de $\varnothing 1/2"$, $\varnothing 3/4"$ y $\varnothing 1"$, se ha utilizado Calibrador de Vernier Digital de 150mm de longitud.

5.7.1. Especificaciones técnicas.

- Pantalla LCD
- Color principal: negro
- Gama de medición: 0-150 mm / 0-6 pulgadas
- Resolución: 0,1 mm/0.01 pulgadas
- Repetibilidad: 0,1 mm/0.01 pulgadas
- Velocidad máxima de medición: 1,5 m/seg. o 60 pulgadas/seg.
- Energía: Una batería SR44/LR44/AG13 1.5V
- Tamaño total: 150 mm "(aprox.)
- Pantalla LCD tamaño: 40 * 15 mm / 1.57"* 0,59" (aprox.)



Figura 19. Calibrador de Vernier.

5.8 Medida de Longitud de Tuberías

Respecto a la longitud del tramo de pruebas comprendido entre tomas de presión, se ha utilizado un flexómetro de 5.00 metros.

5.8.1. Especificaciones técnicas.

- Denominación Flexómetro.
- Marca Stanley.
- Rango 20 m.
- Precisión $(0.3 + 0.2 L)$ mm.



Figura 20. Flexómetro Stanley de 5.00 m.

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES

Al realizar el análisis comparativo entre los valores de coeficiente de fricción calculados Experimentalmente por la ecuación de Darcy Weisbach y la Ecuaciones Bibliográficas se puede concluir:

- Para la Tubería de PVC-U de $\varnothing 1/2"$, el coeficiente de Fricción mediante la ecuación de Darcy Weisbach se encuentra dentro del rango (0.0189 - 0.0230) y el número de Reynolds entre (49724 – 65233), estos valores se pueden encontrar en los tres ensayos del banco de pruebas, los valores del coeficiente de Fricción “f” son mayores al de las ecuaciones bibliográficas, estos valores se encuentran dentro de la zona Turbulenta de acuerdo al diagrama de Moody. El rango de los valores del coeficiente de fricción “f” de las ecuaciones bibliográficas se encuentran entre (0.0198 - 0.0212) y el número de Reynolds entre (49724 – 65234). La Ecuación experimental en la tubería de 1/2" queda determinada por la ecuación de correlación: $y = -0.01 \ln(x) + 0.125$ $R^2 = 0.78$. el valor de R^2 se aproxima al valor de 1 por lo tanto la relación de ambas variables es fuerte, la correlación de las variables involucradas en el cálculo es inverso es decir que en la medida que crece el número de Reynolds (variable independiente) el coeficiente de fricción “f” (la variable dependiente) decrece.
- Para la Tubería de PVC-U de $\varnothing 3/4"$, el coeficiente de Fricción mediante la ecuación de Darcy Weisbach se encuentra dentro del rango (0.0210 - 0.0342) y el número de Reynolds entre (37818 – 50685), estos valores se pueden encontrar en los tres ensayos del banco de pruebas, los valores del coeficiente de Fricción “f” son mayores al de las ecuaciones bibliográficas, estos valores se encuentran dentro de la zona turbulenta de

acuerdo al diagrama de Moody. El rango de los valores del coeficiente de Fricción “f” de las ecuaciones bibliográficas se encuentran entre (0.0209 - 0.0224) y el número de Reynolds entre (38158 – 50443). La Ecuación experimental en la tubería de 3/4" queda determinada por la ecuación de correlación: $y = -0.026\ln(x) + 0.3$ $R^2 = 0.707$ el valor de R^2 se aproxima al valor de 1 por lo tanto la relación de ambas variables es fuerte, la correlación de las variables involucradas en el cálculo es inverso es decir que en la medida que crece la el número de Reynolds (variable independiente) el coeficiente de fricción “f” (la variable dependiente) decrece.

- Para la tubería de PVC-U de Ø 1", el coeficiente de Fricción mediante la ecuación de Darcy Weisbach se encuentra dentro del rango (0.0260 - 0.0421) y el número de Reynolds entre (30687 – 42015), estos valores se pueden encontrar en los tres ensayos del banco de pruebas, los valores del coeficiente de Fricción “f” son mayores al de las ecuaciones bibliográficas, estos valores se encuentran dentro de la zona turbulenta de acuerdo al diagrama de Moody. El rango de los valores del coeficiente de Fricción “f” de las ecuaciones bibliográficas se encuentran entre (0.0217 - 0.0236) y el número de Reynolds entre (30230 – 41561). La Ecuación experimental en la tubería de 3/4" queda determinada por la ecuación de correlación: $y = -0.047\ln(x) + 0.5232$ $R^2 = 0.689$ el valor de R^2 se aproxima al valor de 1 por lo tanto la relación de ambas variables es fuerte, la correlación de las variables involucradas en el cálculo es inverso es decir que en la medida que crece la el número de Reynolds (variable independiente) el coeficiente de fricción “f” (la variable dependiente) decrece.

- La Tubería de PVC-U de $\varnothing 1"$, genera mayores coeficientes de fricción "f" comparadas con las ecuaciones Bibliográficas seguidas de la Tubería de PVC-U $\varnothing 3/4"$ y de la Tubería de PVC-U $\varnothing 1/2"$.
- Las pruebas con los tres (03) diámetros de tuberías PVC-U, bajo las mismas condiciones, las tuberías de mayor diámetro generan números de Reynolds menores.
- Para determinar el coeficiente de fricción experimental "f" con la fórmula de Darcy Weisbach, la pérdida de carga es un factor muy sensible al momento de realizar los cálculos, este valor predomina en el resultado del valor del coeficiente de fricción "f".
- Los valores del coeficiente de fricción "f" obtenidos con la fórmula de Darcy Weisbach se encuentran muy alejados de los valores que se obtienen de las ecuaciones recomendadas por las bibliografías, por lo que se concluye que los resultados obtenidos en la experimentación no son los adecuados para ser considerados en una evaluación.

CAPÍTULO VII

7. RECOMENDACIONES

- Para realizar los ensayos en el banco de pruebas, por cada diámetro se debe de cambiar el fluido, al momento de la recirculación se produce el calentamiento del motor, y el mismo fluido al recircular genera energía en forma de calor lo que provoca el incremento de la temperatura.
- La bomba Centrífuga tiene que funcionar con un estabilizador para que la revolución del motor se mantenga constante y no tenga variaciones excesivas.
- Antes de cada ensayo de toma de datos se tiene que esperar que se estabilice el flujo, por lo que se recomienda tres (03) minutos de recirculación antes de la toma de datos.
- Se debe asegurar que todo el sistema del banco de pruebas este adecuadamente instalado, como las abrazaderas, tienen que estar bien ajustadas, para el uso de las uniones universales tienen que llevar siempre el teflón, para evitar fugas en el proceso de recirculación.
- Se está trabajando un sistema electrónico de toma de datos de capacidad de 5 Voltios, por lo que se requiere usar la precauciones al momento de instalarlo, el área donde se va desarrollar las pruebas se debe mantener sin presencia de humedad.
- Se recomienda calibrar los instrumentos utilizados en la investigación, el sensor de presión RD522 esta calibrado, esta calibración fue realizada por SEDA Húanuco, tiene una validez de 1 año. Durante el proceso de la obtención de datos, el sensor RD522 ya tenía 08 meses de haber sido calibrado desde la última vez.

BIBLIOGRAFÍA

Camaraza Medina, Yanán, Landa García, Juan, López Delgado, Daniel Jesús, García Morales, Osvaldo Fidel, (2000) Tecnología Química, “Ecuación Explícita Para El Cálculo De Factores De Fricción En La Zona De Transición Del Régimen Turbulento”.

Victor L. Streeter, E. Benjamin Wylie, Keith W. Bedford., “Mecánica De Fluidos”, Colombia, Novena Edición 1999 Editora Emna Ariza H

Robert L. Mott, “Mecánica De Fluidos”, México, Sexta Edición, 2006, Editorial Pearson México.

Frank M. White, “Mecánica De Fluidos”, quinta edición, España, McGraw-Hill / Interamericana De España, S. A. U.

Joel Martín López Bonilla, (2017), Tesis de Maestría, “Caracterización experimental del factor de fricción y la rugosidad hidráulica en tuberías de acero al carbono con costura y sin costura”.

Ing. Jose Luis Cura Y Tribeño (2014), Trabajo de Investigación "Experiencias De Laboratorio de Mecánica de Fluidos".

Ing. Luis E. Pérez Farrás (2013), Cátedra De Post Grado, “Breve Historia de la Ecuación de Darcy-Weisbach interés sobre la misma”

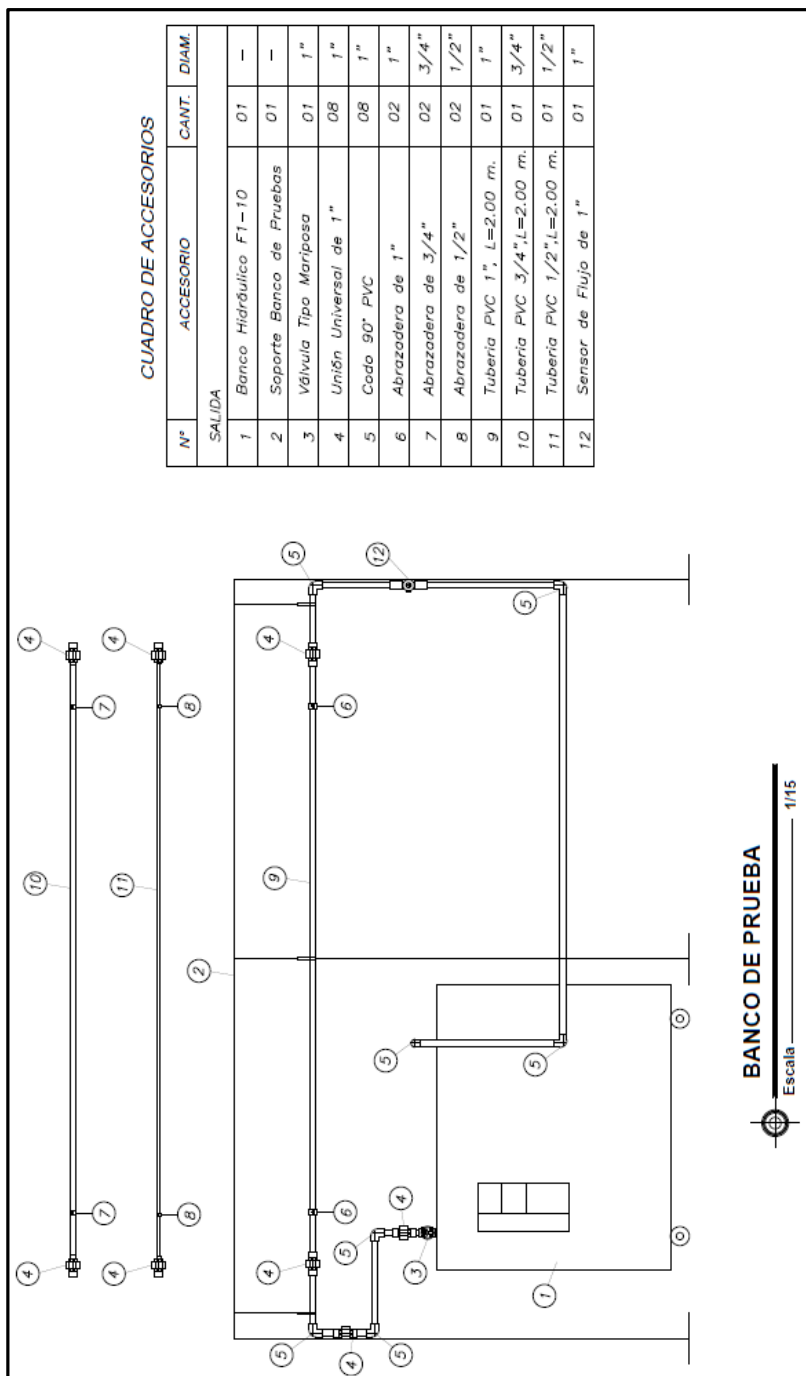
Carolayn Patricia Pereira Quispeynga (2016), Tesis de Investigación, “análisis comparativo de los valores “k”, de pérdida de carga local en accesorios de 3/4”, 1/2” y de 1” de diámetro de fierro galvanizado y PVC, dados por las bibliografías con respecto a los hallados experimentalmente en el laboratorio de hidráulica de la universidad andina del cusco”.

Pérdidas En Tuberías Por Fricción (Obtenida el 15 enero del 2018) de

<http://es.slideshare.net/juancorreag1/laboratorio-1-prdidas-en-tuberas-por-friccin>

ANEXO

ANEXO 1: Esquema del Banco de Pruebas



ANEXO 2: Programación del Sensor de Flujo y de Temperatura en Arduino

```

#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

OneWire ourWire(10);          //Se establece el pin 10 como bus OneWire

DallasTemperature sensors(&ourWire); //Se declara una variable u objeto para nuestro sensor

volatile int NumPulsos; //variable para la cantidad de pulsos recibidos
volatile int NumPulsos2;
int PinSensor2 = 3;
float factor_conversion=7.5; //para convertir de frecuencia a caudal
//---Función que se ejecuta en interrupción-----
void setup() {
  delay(1000);
  Serial.begin(9600);
  sensors.begin(); //Se inicia el sensor
  Serial.begin(9600);
  pinMode(PinSensor2, INPUT);
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(PinSensor2),ContarPulsos2,RISING); //(Interrupcion
0(Pin3),funcion,Flanco de subida)
}
void ContarPulsos2 ()
{
  NumPulsos2++; //incrementamos la variable de pulsos
}

//---Función para obtener frecuencia de los pulsos-----

int ObtenerFrecuencia2()

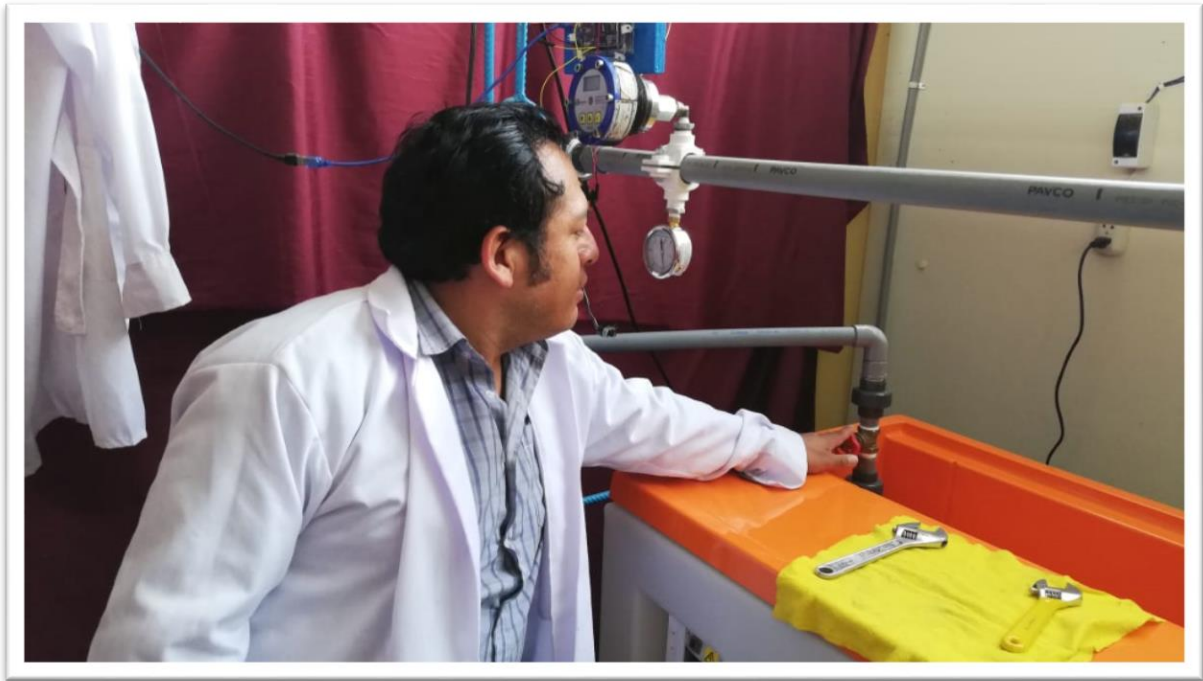
```

```

{
  int frecuencia2;
  NumPulsos2 = 0; //Ponemos a 0 el número de pulsos
  interrupts(); //Habilitamos las interrupciones
  delay(1000); //muestra de 1 segundo
  noInterrupts(); //Desabilitamos las interrupciones
  frecuencia2=NumPulsos2; //Hz(pulsos por segundo)
  return frecuencia2;
}
void loop ()
{
  //-----2-----
  float frecuencia2=ObtenerFrecuencia2(); //obtenemos la Frecuencia de los pulsos en Hz
  float caudal_L_m2=frecuencia2/factor_conversion; //calculamos el caudal en L/m
  float caudal_L_s1=(caudal_L_m2/60)*1.6; //calculamos el caudal en L/h
  sensors.requestTemperatures(); //Se envía el comando para leer la temperatura
  float temp= sensors.getTempCByIndex(0); //Se obtiene la temperatura en °C

  //-----
  Serial.print("Temperatura= ");
  Serial.print(temp);
  Serial.println("C");
  delay(100);
  Serial.print (" Caudal Salida ");
  Serial.print (caudal_L_m2,3);
  Serial.print (" L/m ");
  Serial.print (caudal_L_s1,3);
  Serial.println (" L/SEG");
  Serial.println ("-----");
}

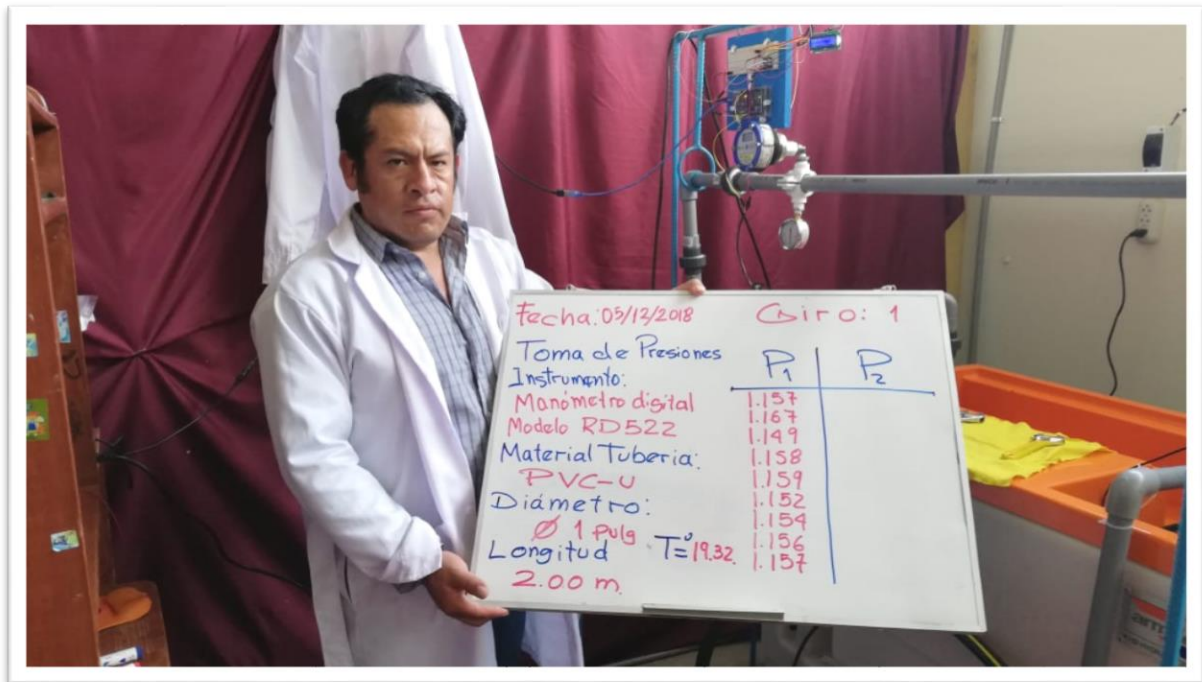
```

ANEXO 3: Panel Fotográfico

Fotografía A-1. Manipulación del giro de la Válvula para producir diferentes caudales.



Fotografía A-2. Instalación del sensor de presión RD522.



Fotografía A-3. Extracción de los datos del sensor de presión RD522.



Fotografía A-4. Control de presión del sensor de presión RD522 y el manómetro analógico.



Fotografía A-5 Acoplando el manómetro analógico para las pruebas.



Fotografía A-6. Instalación del sistema del banco de pruebas.