

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**DEPARTAMENTO DE OBRAS HIDRÁULICAS Y SANITARIAS**



**“EFECTO DEL USO DE LA ECUACIÓN HAZEN-WILLIAMS VS  
LA ECUACIÓN DE DARCY-WEISBACH EN CONDUCCIONES  
A PRESIÓN DE AGUA”**

**Por:**

**UNIV. FERNANDO JUVENAL RODRIGUEZ MARQUEZ**

Propuesta elaborada en la asignatura CIV-502, presentada a consideración de la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO” como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

**Semestre I 2020**

**TARIJA – BOLIVIA**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA Y OBRAS SANITARIAS**

**“EFECTO DEL USO DE LA ECUACIÓN HAZEN-WILLIAMS VS  
LA ECUACIÓN DE DARCY-WEISBACH EN CONDUCCIONES A  
PRESIÓN DE AGUA”**

**Por:**

**UNIV. FERNANDO JUVENAL RODRIGUEZ MARQUEZ**

**Semestre I 2020**

**TARIJA – BOLIVIA**

-----  
M.Sc. Ing. Ernesto R. Álvarez Gozalvez  
DECANO FACULTAD DE  
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

-----  
M.Sc. Lic. Elizabeth Castro Figueroa  
VICEDECANA FACULTAD  
DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

**APROBADO POR TRIBUNAL:**

.....  
Ing. Adel Gonzalo Cortez Maire

.....  
M. Sc. Ing. Ivar Fernando Colodro Mendivil

.....  
M. Sc. Ing. Nelzon Rodríguez Lezana

El docente y tribunal evaluador del presente trabajo, no se solidarizan con los términos, la forma, los modos y las expresiones empleadas en la elaboración del presente trabajo, siendo las mismas únicamente responsabilidades del autor.

## **DEDICATORIA**

A mis queridos padres que confiaron en mí y me enseñaron a vivir con amor y esperanza, no me alcanzaría toda una vida para agradecerles todo el esfuerzo y sacrificio que hicieron por mí y permitirme dar este paso tan importante en mi vida.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Divinidad, por el hermoso don de la vida y por el simple hecho de estar aquí.

A mi madre, por el sacrificado esfuerzo realizado en todos los años de estudio siendo ejemplo de amor, fuerza, dedicación y constancia.

A Soraya y Lautaro, por amarme, por acompañarme, por apoyarme y alentarme en este camino y por enseñarme que la vida aún puede ser mucho más hermosa.

A mi tío Efraín por haberme enseñado que la humildad, honradez y amor al prójimo es lo máspreciado en esta vida.

A la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho y a la carrera de Ingeniería civil por la oportunidad de realizarme como profesional.

Y a toda mi familia, tíos, primos, sobrinos, abuelos y amigos por ser parte de mi vida, por amarme y confiar en mí, una promesa de amistad nos mantendrá siempre unidos pese a las distancias.

## CONTENIDO

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN		1
1.1	Introducción	1
1.2	Planteamiento del Problema	3
1.3	Formulación del Problema	3
1.4	Sistematización del problema	3
1.5	Objetivos del proyecto	4
1.6	Justificación	4
CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO		6
2.1	Información relativa a las redes de agua	6
2.1.1	Aducción	7
2.1.2	Redes de distribución	7
2.1.3	Tipos de redes	8
2.1.4	Presiones de servicio	10
2.1.5	Velocidades permisibles	10
2.1.6	Diámetros mínimos	11
2.1.7	Análisis hidráulico	12
2.1.8	Evolución de la modelación hidráulica	13
2.2	Propiedades de los fluidos	25
2.2.1	Distinción entre un sólido y un fluido	25
2.2.2	Densidad y peso específico	26
2.2.3	Fluidos compresibles e incompresibles	27
2.2.4	Fluido ideal	28
2.2.5	Viscosidad	29
2.3	Cinemática de los fluidos	30
2.3.1	Criterio del número de reynolds	30
2.3.2	Pérdidas en tuberías	33
2.3.2.1	Pérdida de carga continua	34
2.3.2.2	Pérdidas de carga singulares	34

2.3.2.3 Pérdidas de carga por fricción	35
2.3.2.4 Darcy – Weisbach	36
2.3.4 Hazen – Williams	43
2.3.4.1 Coeficiente de Hazen – Williams	45
2.3.4.2 Limitaciones en el uso de la ecuación de Hazen – Williams	45
2.3.4.3 Relación de los coeficientes de fricción $C_{HW}$ con el factor de fricción $f$ de Darcy-Weisbach	46
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA PARA DETERMINAR Y ANALIZAR EL USO DE LAS ECUACIONES DE HAZEN-WILLIAMS Y DARCY-WEISBACH	50
3.1 Selección de datos	51
3.2 Selección de rugosidades	52
3.3 Procedimiento para el cálculo hidráulico de las pérdidas por Fricción	53
3.3.1 Darcy-Weisbach	53
3.3.2 Hazen-Williams	54
3.4 Cálculo de la variación del coeficiente de Hazen – Williams y su efecto en las pérdidas por fricción	55
3.4.1 Variación Coeficiente de Hazen-Williams	55
3.5 Corrección de errores en pérdidas por fricción:	60
3.5.1 Programa para la corrección del coeficiente de Hazen-Williams	65
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS	66
4.1 Introducción	66
4.2 Efecto del uso de las ecuaciones de Hazen - Williams y Darcy - Weisbach	66
4.2.1 Variacion Coeficiente de Hazen – Williams	66
4.2.2 Analisis de la variación del coeficiente de Hazen-Williams	100
4.2.3 Efecto en el cálculo de diámetros y capacidad de conducir caudales	108
4.3 Corrección del Coeficiente de Hazen-Williams	111
4.3.1 Corrección de coeficientes para tuberías antiguas	113



	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	117
Conclusiones	_____	117
Recomendaciones	_____	124

## **ANEXOS**

- **ANEXO 1:** Cálculo pérdidas por fricción para PVC
- **ANEXO 2:** Cálculo pérdidas por fricción para PEAD
- **ANEXO 3:** Cálculo pérdidas por fricción para FF
- **ANEXO 4:** Cálculo pérdidas por fricción para FFD
- **ANEXO 5:** Cálculo pérdidas por fricción para FG

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema red de agua.....	7
Figura 2: Esquema red de distribución.....	8
Figura 3: Red abierta o ramificada.....	8
Figura 4: Red cerrada o anillada.....	9
Figura 5: Red mixta.....	9
Figura 6: Esquemmatización estados de la materia.....	26
Figura 7: Fluidos compresibles e incompresibles.....	28
Figura 8: Tipos de fluidos.....	29
Figura 9: Esquema régimen laminar.....	31
Figura 10: Esquema régimen turbulento.....	32
Figura 11: Diferencia de ambos regimenes.....	32
Figura 12: Figura con escala logarítmica $H_f$ vs $V$ .....	33
Figura 13: Pérdida por entrada.....	34
Figura 14: Flujo en un conducto.....	36
Figura 15: Esquema rugosidad relativa.....	39
Figura 16: Abaco de Moody.....	40
Figura 17: Variación del coeficiente Hazen – Williams para tubería “PVC”.....	67
Figura 18: Variación en pérdidas por fricción tubería “PVC; D=1”.....	68
Figura 19: Variación en pérdidas por fricción tubería “PVC; D=2”.....	68
Figura 20: Variación en pérdidas por fricción tubería “PVC; D=3”.....	69
Figura 21: Variación en pérdidas por fricción tubería “PVC; D=4”.....	69
Figura 22: Variación en pérdidas por fricción tubería “PVC; D=6”.....	70
Figura 23: Variación en pérdidas por fricción tubería “PVC; D=8”.....	70
Figura 24: Variación en pérdidas por fricción tubería “PVC; D=10”.....	71
Figura 25: Variación en pérdidas por fricción tubería “PVC; D=12”.....	71
Figura 26: Variación del coeficiente Hazen – Williams para tubería “PEAD”.....	73
Figura 27: Variación en pérdidas por fricción tubería “PEAD; D=1”.....	73
Figura 28: Variación en pérdidas por fricción tubería “PEAD; D=2”.....	74
Figura 29: Variación en pérdidas por fricción tubería “PEAD; D=3”.....	74
Figura 30: Variación en pérdidas por fricción tubería “PEAD; D=4”.....	75
Figura 31: Variación en pérdidas por fricción tubería “PEAD; D=6”.....	75
Figura 32: Variación en pérdidas por fricción tubería “PEAD; D=8”.....	76
Figura 33: Variación en pérdidas por fricción tubería “PEAD; D=10”.....	76
Figura 34: Variación en pérdidas por fricción tubería “PEAD; D=12”.....	77
Figura 35: Variación del coeficiente Hazen – Williams para tubería “FF”.....	78
Figura 36: Variación en pérdidas por fricción tubería “FF; D=1”.....	79
Figura 37: Variación en pérdidas por fricción tubería “FF; D=2”.....	79
Figura 38: Variación en pérdidas por fricción tubería “FF; D=3”.....	80

Figura 39: Variación en pérdidas por fricción tubería "FF; D=4"	80
Figura 40: Variación en pérdidas por fricción tubería "FF; D=6"	81
Figura 41: Variación en pérdidas por fricción tubería "FF; D=8"	81
Figura 42: Variación en pérdidas por fricción tubería "FF; D=10"	82
Figura 43: Variación en pérdidas por fricción tubería "FF; D=12"	82
Figura 44: Variación del coeficiente Hazen – Williams para tubería "FFD"	84
Figura 45: Variación en pérdidas por fricción tubería "FFD; D=1"	84
Figura 46: Variación en pérdidas por fricción tubería "FFD; D=2"	85
Figura 47: Variación en pérdidas por fricción tubería "FFD; D=3"	85
Figura 48: Variación en pérdidas por fricción tubería "FFD; D=4"	86
Figura 49: Variación en pérdidas por fricción tubería "FFD; D=6"	86
Figura 50: Variación en pérdidas por fricción tubería "FFD; D=8"	87
Figura 51: Variación en pérdidas por fricción tubería "FFD; D=10"	87
Figura 52: Variación en pérdidas por fricción tubería "FFD; D=12"	88
Figura 53: Variación del coeficiente Hazen – Williams (c) para tubería "FG"	89
Figura 54: Variación en pérdidas por fricción tubería "FG; D=1"	89
Figura 55: Variación en pérdidas por fricción tubería "FG; D=2"	90
Figura 56: Variación en pérdidas por fricción tubería "FG; D=3"	90
Figura 57: Variación en pérdidas por fricción tubería "FG; D=4"	91
Figura 58: Variación en pérdidas por fricción tubería "FG; D=6"	91
Figura 59: Variación en pérdidas por fricción tubería "FG; D=8"	92
Figura 60: Variación en pérdidas por fricción tubería "FG; D=10"	92
Figura 61: Variación en pérdidas por fricción tubería "FG; D=12"	93
Figura 62: Diferencia en pérdidas por fricción para tubería "PVC" en 1000 m	95
Figura 63: Diferencia en pérdidas por fricción para tubería "PEAD" en 1000 m	96
Figura 64: Diferencia en pérdidas por fricción para tubería "FF" en 1000 m	97
Figura 65: Diferencia en pérdidas por fricción para tubería "FFD" en 1000 m	98
Figura 66: Diferencia en pérdidas por fricción para tubería "FG" en 1000 m	99
Figura 67: Variación del coeficiente Hazen – Williams para tubería "PVC"	101
Figura 68: Variación del coeficiente Hazen – Williams para tubería "PEAD"	102
Figura 69: Variación del coeficiente Hazen – Williams para tubería "FF"	105
Figura 70: Variación del coeficiente Hazen – Williams para tubería "FFD"	105
Figura 71: Variación del coeficiente Hazen – Williams (c) para tubería "FG"	107
Figura 72: Interfaz del programa para la corrección de coeficiente de Hazen-Williams	112
Figura 73: Pérdidas por fricción haciendo uso del coeficiente de Hazen-Williams corregido	113
Figura 74: Variación del coeficiente de H-W para tubería PVC 30 años de uso	114
Figura 75: Variación del coeficiente de H-W para tubería FG 30 años de uso	115

Figura 76: Variación del coeficiente de H-W para tubería FG 20 años de uso .....	116
Figura 77: Variación del coeficiente Hazen – Williams para tubería “PVC” .....	118
Figura 78: Variación del coeficiente Hazen – Williams para tubería “PEAD” .....	119
Figura 79: Variación del coeficiente Hazen – Williams para tubería “FF” .....	120
Figura 80: Variación del coeficiente Hazen – Williams para tubería “FFD” .....	121
Figura 81: Variación del coeficiente Hazen – Williams para tubería “FG” .....	122

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Velocidad máxima permisible en tuberías (m/s).....	11
Tabla 2: Síntesis histórica de formulaciones y métodos de análisis de redes malladas .....	13
Tabla 3: Viscosidad cinemática de algunos líquidos.....	30
Tabla 4: Coeficiente de Hazen-Williams.....	45
Tabla 5: Selección de rugosidades para los materiales planteados.....	53
Tabla 6: Cálculo del error relativo en pérdidas por fricción tubería PVC 1".....	56
Tabla 7: Cálculo del error relativo en pérdidas por fricción tubería PVC 2".....	56
Tabla 8: Cálculo del error relativo en pérdidas por fricción tubería PVC 3".....	57
Tabla 9: Cálculo del error relativo en pérdidas por fricción tubería PVC 4".....	57
Tabla 10: Cálculo del error relativo en pérdidas por fricción tubería PVC 6".....	58
Tabla 11: Cálculo del error relativo en pérdidas por fricción tubería PVC 8".....	58
Tabla 12: Cálculo del error relativo en pérdidas por fricción tubería PVC 10".....	59
Tabla 13: Cálculo del error relativo en pérdidas por fricción tubería PVC 12".....	59
Tabla 14: Corrección del coeficiente de Hazen-Williams tubería PVC 1".....	61
Tabla 15: Corrección del coeficiente de Hazen-Williams tubería PVC 2".....	61
Tabla 16: Corrección del coeficiente de Hazen-Williams tubería PVC 3".....	62
Tabla 17: Corrección del coeficiente de Hazen-Williams tubería PVC 4".....	62
Tabla 18: Corrección del coeficiente de Hazen-Williams tubería PVC 6".....	63
Tabla 19: Corrección del coeficiente de Hazen-Williams tubería PVC 8".....	63
Tabla 20: Corrección del coeficiente de Hazen-Williams tubería PVC 10".....	64
Tabla 21: Corrección del coeficiente de Hazen-Williams tubería PVC 12".....	64
Tabla 22: Porcentaje de sub estimación y sobre estimación de pérdidas de carga para tubería PVC .....	72
Tabla 23: Porcentaje de sub estimación y sobre estimación de pérdidas de carga para tubería PEAD.....	77
Tabla 24: Porcentaje de sub estimación y sobre estimación de pérdidas de carga para tubería FF.....	83
Tabla 25: Porcentaje de sub estimación y sobre estimación de pérdidas de carga para tubería FFD.....	88
Tabla 26: Porcentaje de sub estimación y sobre estimación de pérdidas de carga para tubería FG.....	93
Tabla 27: Porcentaje de sub estimación y sobre estimación de pérdidas por fricción para tubería PVC.....	103
Tabla 28: Porcentaje de sub estimación y sobre estimación de pérdidas por fricción para tubería PEAD.....	104

Tabla 29: Porcentaje de sub estimación y sobre estimación de pérdidas por fricción para tubería FF.....	106
Tabla 30: Porcentaje de sub estimación y sobre estimación de pérdidas por fricción para tubería FFD.....	106
Tabla 31: Porcentaje de sub estimación y sobre estimación de pérdidas por fricción para tubería FG.....	108
Tabla 32: Perdidas de carga sin diámetros depurados.....	109
Tabla 33: Caudales para tubería "PVC; e=0,0000025; C=140".....	110
Tabla 34: Caudales para tubería "PEAD; e=0,0000015; C=140".....	110
Tabla 35: Caudales para tubería "FF; e=0,00015; C=130".....	110
Tabla 36: Caudales para tubería "FFD; e=0,00025; C=120".....	110
Tabla 37: Caudales para tubería "FG; e=0,00015; C=120".....	111
Tabla 38: Porcentaje de sub estimación y sobre estimación para tubería PVC.....	118
Tabla 39: Porcentaje de sub estimación y sobre estimación para tubería PEAD.....	119
Tabla 40: Porcentaje de sub estimación y sobre estimación para tubería FF.....	120
Tabla 41: Porcentaje de sub estimación y sobre estimación para tubería FFD.....	121
Tabla 42: Porcentaje de sub estimación y sobre estimación para tubería FG.....	122