

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



INTERPRETACIÓN CIENTÍFICA Y GENERALIZACIÓN MATEMÁTICA DE FLUJO INCOMPRESIBLE EN CONDICIONES NORMALES DE PRESIÓN Y TEMPERATURA, DE SISTEMAS DE TUBERÍAS EN SERIE, PARALELO Y MIXTOS EN SUS DOS VARIANTES (SERIE-PARALELO Y PARALELO-SERIE)

REALIZADO POR: UNIVERSITARIO RAFAEL OROS  
EN LA ASIGNATURA PROYECTO DE INGENIERIA CIVIL II – CIV 502  
GESTIÓN ACADÉMICA 2012/II SEMESTRE

DICIEMBRE DE 2012  
**TARIJA – BOLIVIA**

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

INTERPRETACIÓN CIENTÍFICA Y GENERALIZACIÓN MATEMÁTICA DE FLUJO INCOMPRESIBLE EN CONDICIONES NORMALES DE PRESIÓN Y TEMPERATURA, DE SISTEMAS DE TUBERÍAS EN SERIE, PARALELO Y MIXTOS EN SUS DOS VARIANTES (SERIE-PARALELO Y PARALELO-SERIE)

REALIZADO POR: UNIVERSITARIO RAFAEL OROS

EN LA ASIGNATURA PROYECTO DE INGENIERIA CIVIL II – CIV 502  
GESTIÓN ACADÉMICA 2012/II SEMESTRE

**TARIJA – BOLIVIA**

(HOJA DE ÉTICA DE AUTORÍA DEL PROYECTO)

El Docente y Tribunal evaluador del Proyecto de Ingeniería Civil no se solidarizan con los términos, la forma, los modos y las expresiones empleados en la elaboración del presente trabajo, siendo los mismos y el presente trabajo únicamente de responsabilidad y propiedad exclusiva del autor.

### **Dedicatoria:**

A Dios en quien siempre encontré fuerza e inspiradora motivación para continuar.

A mi madre, que aunque no está conmigo sé que me cuida y me anima a seguir adelante.

A mi esposa, que está conmigo por obra y gracia de Dios, que me cuida y me motiva permanentemente.

A mi hermana, quien confió absolutamente en mí, y supo apoyarme y alentarme en mis momentos de debilidad.

### **Agradecimientos:**

A Dios en quien siempre encontré fuerza, esperanza e inspiración permanente.

A mi madre, que aunque no está conmigo sé que me cuida y me anima a seguir adelante.

A mi hermana, quien confió absolutamente en mí, y supo apoyarme y alentarme en mis momentos de debilidad.

A mis amigos quienes me tendieron siempre la mano y creyeron que podía lograrlo.

A mi tutor que me dedicó tiempo y paciencia.

GRACIAS...

**Pensamiento:**

“Estoy convencido de que en este día somos dueños de nuestro destino, que la tarea que se nos ha impuesto no es superior a nuestras fuerzas, que sus embates no están por encima de lo que soy capaz de soportar. Mientras tengamos fe en nuestra causa y una indeclinable voluntad de vencer, la victoria estará siempre a nuestro alcance”

Winston Churchill, Primer Ministro Británico, durante la Segunda Guerra Mundial enfrentándose a la Alemania fascista.

## ÍNDICE

## RESUMEN

	Página
1. ANTECEDENTES	1
1.1 El problema	1
1.1.1 Planteamiento	3
1.1.2 Formulación	4
1.1.3 Sistematización	5
1.2 Objetivos	5
1.2.1 General	5
1.2.2 Específicos	5
1.3 Justificación	6
1.3.1 Académica	6
1.3.2 Metodológica	7
1.3.3 Práctica	7
1.4 Marco de referencia	8
1.4.1 Teórico	9
1.4.1.1 Generalización de la fórmula de pérdida de carga en una tubería	9
1.4.2 Conceptual	10
1.4.2.1 Circuitos eléctricos	10
1.4.2.1.1 Conexiones en circuitos eléctricos	10
1.4.2.1.2 La ley de Ohm	11
1.4.2.1.3 Circuito de resistores eléctricos en serie	12
1.4.2.1.4 Circuito de resistores eléctricos en paralelo	12
1.4.2.3 Características de sistemas hidráulicos de tuberías	13
1.4.2.3.1 Sistemas de tuberías en serie	13
1.4.2.3.2 Sistemas de tuberías en paralelo	14

	Página
1.4.3 Espacial	15
1.4.4 Temporal	15
1.5 Alcance del Estudio	15
1.5.1 Tipo de Estudio	16
1.5.2 Hipótesis del Proyecto	17
1.5.2.1 De Primer Grado	17
1.5.2.1 De Segundo Grado	17
1.5.2.1 De Tercer Grado	17
2. MARCO TEÓRICO	18
2.1 Descripción del álgebra básico y álgebra matricial	18
2.2 Descripción de la ley de Ohm	18
2.2.1 La electricidad	18
2.2.2 Circuitos eléctricos	19
2.2.2.1 Resistencia eléctrica	20
2.2.2.2 Corriente eléctrica	20
2.2.2.3 Voltaje ó fuerza electromotriz	21
2.2.3 La ley de Ohm	22
2.2.3.1 Circuitos de resistores en serie	23
2.2.3.2 Circuitos de resistores en paralelo	24
2.3 La ecuación general de la pérdida de carga en una tubería	25
2.3.1 Número de Reynolds	25
2.3.2 Magnitudes físicas en la ecuación general de la pérdida de carga	26
2.3.3 La fórmula de pérdida de carga en formato estándar	27
2.3.3.1 Forma resumida estándar de la fórmula de la pérdida de carga	28
2.4 Descripción de las fórmulas para pérdida de carga según diversos autores.	29
2.4.1 Fórmula de Darcy – Weisbach	29
2.4.1.1 Ecuación de Colebrook-White	30



	Página
2.4.1.2 Forma estándar de la fórmula de Darcy – Weisbach	31
2.4.1.3 Forma estándar resumida de la fórmula de Darcy – Weisbach	31
2.4.2 Fórmula de Hazen – Williams	32
2.4.2.1 Forma estándar de la fórmula de Hazen – Williams	34
2.4.2.2 Forma estándar resumida de la fórmula de Hazen – Williams	34
2.4.3 Fórmula de Chezy	35
2.4.3.1 Forma estándar de la fórmula de Chezy	35
2.4.3.2 Forma estándar resumida de la formula de Chezy	36
2.4.4 Fórmula de Manning	37
2.4.4.1 Forma estándar de la fórmula de Manning	37
2.4.4.2 Forma estándar resumida de la fórmula de Manning	37
2.5 Estudio de sistemas de tuberías en serie y paralelo	38
2.5.1 Sistemas de tuberías en serie	38
2.5.2 Sistemas de tuberías en paralelo	40
2.6 Descripción de las fórmulas existentes para el cálculo de pérdidas de carga en sistemas de tuberías en serie y paralelo	41
2.6.1 Pérdida de carga en sistemas de tuberías en serie	41
2.6.2 Pérdida de carga en sistemas de tuberías en paralelo	42
2.7 Modelo matemático para la resolución de sistemas de tuberías: serie, paralelo	44
2.7.1 Identificación de analogías conceptuales entre variables eléctricas e hidráulicas	44
<b>3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>47</b>
3.1 La pérdida de carga	47
3.1.1 La naturaleza física de la pérdida de carga	48
3.1.2 Analogías conceptuales entre variables hidráulicas y eléctricas	50
3.1.3 Interpretación física de la pérdida de carga o energía y la fórmula resumida estándar de pérdida de carga o energía	52

	Página
3.2 La pérdida de carga total en sistemas de tuberías	53
3.2.1 La pérdida de carga total en sistemas de tuberías en serie	53
3.2.2 La pérdida de carga total en sistemas de tuberías en paralelo	54
3.3 El caudal individual en sistemas de tuberías	56
3.3.1 El caudal individual en sistemas de tuberías en serie	56
3.3.2 El caudal individual en sistemas de tuberías en paralelo	57
3.3.2.1 El caudal individual en sistemas de dos tuberías en paralelo	58
3.3.2.2 El caudal individual en sistemas de “N” tuberías en paralelo	63
3.3.2.2.1 Consecuencias matemáticas del factor “ $R_T$ ”	71
3.3.2.3 Fórmulas prácticas para el cálculo de las características hidráulicas de los sistemas de dos tuberías en paralelo	72
3.3.2.3.1 Fórmulas prácticas para el cálculo de la renuencia total en sistemas de dos tuberías en paralelo	72
3.3.2.3.2 Fórmulas prácticas para el cálculo del caudal individual en sistemas de dos tuberías en paralelo	72
3.3.2.3.3 Fórmulas prácticas para el cálculo de la pérdida de carga total en sistemas de dos tuberías en paralelo	73
3.4 Corolario del modelo matemático para la resolución de sistemas de tuberías: serie, paralelo	75
3.5 Resolución por el “Teorema de Afinidad” de los sistemas de tuberías combinados: serie-paralelo y paralelo-serie	77
3.5.1 Resolución por el “Teorema de Afinidad” de los sistemas de tuberías combinados: serie-paralelo	77
3.5.2 Resolución por el “Teorema de Afinidad” de los sistemas de tuberías combinados: paralelo-serie	79
3.6 Verificación de las hipótesis	82
3.6.1 De primer grado	82
3.6.2 De segundo grado	82
3.6.3 De tercer grado	83

	Página
3.7 Contrastación con información experimental, deductiva y aplicada	83
3.7.1 Datos experimentales	83
3.7.1.1 Experimentación con sistemas de tuberías en serie	84
3.7.1.1.1 Demostración usando la fórmula de Hazen-Williams	86
3.7.1.1.2 Demostración usando la fórmula de Darcy-Weisbach	87
3.7.2 Ejemplos deductivos	90
3.7.2.1 Deducción de la pérdida de carga de un sistema de tuberías en serie de cuatro tramos iguales	90
3.7.2.1.1 Demostración	90
3.7.2.2 Deducción de caudales individuales en un sistema de tuberías en paralelo de tres tramos iguales	91
3.7.2.2.1 Demostración	92
3.7.3 Ejemplo de problema aplicado	93
3.7.3.1 Verificación del problema	95

## CONCLUSIONES

## ÍNDICE DE FIGURAS

		Página
<i>Figura 1.4.2.1.1</i>	<i>Esquema de Circuitos de Resistores en Serie y Paralelo, Elaboración Propia</i>	10
<i>Figura 2.2.2</i>	<i>Circuitos de Resistores en Serie y Paralelo, Esquema de Instalación, Elaboración Propia</i>	19
<i>Figura 2.2.3</i>	<i>Esquema de circuito eléctrico, Elaboración Propia</i>	22

		Página
<i>Figura 2.2.3.1</i>	<i>Esquema de Circuito de Resistores en Serie, Elaboración Propia</i>	23
<i>Figura 2.2.3.2</i>	<i>Esquema de Circuito de Resistores en Paralelo, Elaboración Propia</i>	24
<i>Figura 2.3.2</i>	<i>Esquema de Instalación de Perdida de carga en una Tubería, Elaboración Propia</i>	26
<i>Figura 2.5.1</i>	<i>Esquema de Instalación de un Sistema de Tuberías en Serie Elaboración Propia</i>	39
<i>Figura 2.5.2</i>	<i>Esquema de Instalación de un Sistema de Tuberías en Paralelo, Elaboración Propia</i>	40
<i>Figura 3.1.1</i>	<i>Circulación esquemática de Flujo: Ideal y Real, Elaboración Propia</i>	47
<i>Figura 3.1.2</i>	<i>Circulación esquemática de Flujo Real en Tubería y Canal, Elaboración Propia</i>	47
<i>Figura 3.1.1.1</i>	<i>Esquema de Tanques en equilibrio, Elaboración Propia</i>	48
<i>Figura 3.1.1.2</i>	<i>Rasante de energía – Tanques en Equilibrio, Elaboración Propia</i>	48
<i>Figura 3.1.1.3</i>	<i>Esquema de Tanque en Desequilibrio, Elaboración Propia</i>	49
<i>Figura 3.1.1.4</i>	<i>Rasante de energía – Tanques en Desequilibrio, Elaboración Propia</i>	49
<i>Figura 3.1.1.5</i>	<i>Esquema de circuitos de resistores eléctricos en serie y paralelo Elaboración propia</i>	50
<i>Figura 3.1.2</i>	<i>Esquema de analogías de factores físicos eléctricos e hidráulicos, Elaboración propia</i>	51
<i>Figura 3.3.2.1</i>	<i>Esquema de Sistema de dos Tuberías en Paralelo, Elaboración Propia</i>	58
<i>Figura 3.3.2.3</i>	<i>Esquema de Sistema de “N” Tuberías en Paralelo, Elaboración Propia</i>	63

		Página
<i>Figura 3.5.1</i>	<i>Esquema de Sistema Combinado de Tuberías: Serie-Paralelo, Elaboración Propia</i>	77
<i>Figura 3.5.2</i>	<i>Esquema de Sistema Combinado de Tuberías: Paralelo-Serie, Elaboración Propia</i>	79
<i>Figura 3.7.1.1</i>	<i>Grafico esquemático del Sistema de dos Tubería en Serie (experimento real), Elaboración Propia</i>	84
<i>Figura 3.7.2.1</i>	<i>Esquema de Sistema de cuatro Tuberías en Serie, Elaboración Propia</i>	90
<i>Figura 3.7.2.2</i>	<i>Esquema de Sistema de tres Tuberías en Paralelo, Elaboración Propia</i>	91
<i>Figura 3.7.3</i>	<i>Esquema de Sistema Total Combinado en Configuración Serie-Paralelo, Problema aplicado, Elaboración Propia</i>	93

### ÍNDICE DE TABLAS

		Página
<i>Tabla 2.7.1</i>	<i>Tabla de posibles analogías entre factores eléctricos e hidráulicos, Elaboración Propia</i>	44
<i>Tabla 2.7.1A</i>	<i>Tabla Testigo, Variables físicas en circuitos eléctricos, Elaboración Propia</i>	45
<i>Tabla 2.7.1B</i>	<i>Tabla Actual, Variables físicas en Sistemas de Tuberías, Elaboración Propia</i>	45
<i>Tabla 3.1.2</i>	<i>Tabla de analogías resultantes de factores físicos eléctricos e hidráulicos, Elaboración propia</i>	52
<i>Tabla 3.4.1</i>	<i>Tabla Resultado de analogías entre factores eléctricos e hidráulicos, Elaboración propia</i>	75

		Página
<i>Tabla 3.4.1A</i>	<i>Testigo, Características físicas en circuitos eléctricos, Elaboración Propia</i>	75
<i>Tabla 3.4.1B</i>	<i>Tabla - Características físicas en Sistemas de Tuberías, Elaboración Propia</i>	76
<i>Tabla 3.7.1.1.1</i>	<i>Datos iniciales de las Tuberías reales del Experimento real para un sistema de dos Tuberías en Serie, Elaboración propia</i>	84
<i>Tabla 3.7.1.1.2</i>	<i>Datos Generales del Experimento real para un sistema de dos Tuberías en Serie, Elaboración propia</i>	85
<i>Tabla 3.7.1.1.3</i>	<i>Resultados del Experimento real para un sistema de dos Tuberías en Serie, Metodología “Manual de Practicas del Laboratorio de Hidráulica - UAJMS”.</i>	85
<i>Tabla 3.7.1.1.1.1</i>	<i>Resultados de valores comparativos del Experimento real, usando la fórmula de Hazen-Williams, para un sistema de dos Tuberías en Serie, Elaboración propia</i>	87
<i>Tabla 3.7.1.1.2.1</i>	<i>Valores tabulados de <math>f</math> y de las Renuencias Individuales del Experimento real para un sistema de dos Tuberías en Serie, Elaboración propia</i>	88
<i>Tabla 3.7.1.1.2.2</i>	<i>Resultados del Experimento real para un sistema de dos Tuberías en Serie, Metodología “Manual de Practicas del Laboratorio de Hidráulica - UAJMS”, según la formula de Darcy-Weisbach</i>	88
<i>Tabla 3.7.1.1.2.3</i>	<i>Resultados de valores comparativos del Experimento real, usando la formula de Darcy-Weisbach, para un sistema de dos Tuberías en Serie, Elaboración propia</i>	89

## BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS:

- A. ÁLGEBRA BÁSICO Y ÁLGEBRA MATRICIAL
- B. PRINCIPIO DE BERNOULLI
- C. LA RESISTENCIA HIDRÁULICA (RENUENCIA HIDRÁULICA)
- D. ECUACIONES Y TABLAS AUXILIARES
- E. DATOS EXPERIMENTALES DE SISTEMAS DE TUBERÍAS EN SERIE PARA EXPERIMENTACIÓN: HAZEN-WILLIAMS Y DARCY-WEIBACH
- F. DIAGRAMAS DE FLUJO SIMPLES
- H. PRUEBA NUMÉRICA CON UN PROGRAMA INFORMÁTICO