



# FACULTAD DE INGENIERÍA

---

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

“INFLUENCIA DE LA CONCENTRACIÓN DE SEDIMENTOS EN  
SUSPENSIÓN EN LA PÉRDIDA DE CARGA POR FRICCIÓN EN  
TUBERÍAS DE PVC”

Tesis para optar el título profesional de:

**INGENIERO CIVIL**

**Autor:**

JULIO CÉSAR CHUQUILÍN LÓPEZ

**Asesor:**

ING. LUIS VÁSQUEZ RAMÍREZ

Cajamarca – Perú

2016

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>DEDICATORIA</b> .....	3
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	4
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS</b> .....	5
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	8
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	9
<b>RESUMEN</b> .....	11
<b>ABSTRACT</b> .....	12
<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN</b> .....	13
<b>1.1. Realidad Problemática:</b> .....	13
<b>1.2. Formulación del Problema:</b> .....	13
<b>1.3. Justificación del problema:</b> .....	14
<b>1.4. Limitaciones:</b> .....	14
<b>1.5. Objetivos:</b> .....	14
<b>1.5.1. Objetivo General:</b> .....	14
<b>1.5.2. Objetivos Específicos:</b> .....	14
<b>CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO</b> .....	15
<b>2.1. Antecedentes:</b> .....	15
<b>2.2. Bases teóricas:</b> .....	16
<b>2.2.1. Conceptos Generales</b> .....	16
<b>2.2.2. Clasificaciones de los suelos para las mezclas de lodo líquido o pulpa</b> .....	16
<b>2.2.3. Plasticidad de suelos</b> .....	20
<b>2.2.4. Flujo de fluidos</b> .....	20
<b>2.2.5. Teorema de Bernoulli - Ecuación de la energía</b> .....	21
<b>2.2.6. Régimen Laminar y Turbulento</b> .....	23
<b>2.2.7. Número de Reynolds</b> .....	25
<b>2.2.8. Pérdidas de energía debido a la fricción</b> .....	26
<b>2.2.9. Flujo de lodo líquido o pulpa</b> .....	30
<b>2.2.10. Densidad de una mezcla en suspensión</b> .....	32
<b>2.2.11. Viscosidad dinámica de una mezcla en suspensión newtoniana</b> .....	33

2.2.12.	Modelo de Wasp (1977)	35
2.3.	Definición de términos básicos	36
2.3.1.	Sedimento:	36
2.3.2.	Pérdida de Carga:	37
2.3.3.	Fricción:	37
2.3.4.	Fluido:	37
2.3.5.	Densidad específica o absoluta:	37
2.3.6.	Densidad relativa:	37
2.3.7.	Viscosidad absoluta o dinámica:	37
2.3.8.	Viscosidad cinemática:	38
2.3.9.	Presión:	38
2.3.10.	Límite Líquido (LL):	38
2.3.11.	Límite Plástico (LP):	38
2.3.12.	Índice de Plasticidad (IP):	38
<b>CAPÍTULO 3: HIPÓTESIS</b>		39
3.1.	Planteamiento de la hipótesis:	39
3.2.	Variables:	39
3.3.	Operacionalización de variables:	39
<b>CAPÍTULO 4: MATERIALES Y MÉTODOS</b>		40
4.1.	Tipo de diseño de investigación:	40
4.2.	Material	40
4.2.1.	Unidad de estudio:	40
4.2.2.	Población:	40
4.2.3.	Muestra:	40
4.3.	Métodos	40
4.3.1.	Técnicas de recolección y análisis de datos	40
<b>CAPÍTULO 5: DESARROLLO</b>		42
5.1.	Selección y preparación del limo y arcilla para los ensayos.	42
5.2.	Ensayo de peso específico.	42
5.3.	Ensayo de límites de consistencia o límites de Atterberg	43
5.4.	Instalación del equipo de pérdidas de carga	45

5.5. Preparación de mezclas de agua con sedimentos en suspensión a concentraciones de 1%, 3%, 5% y 7%.....	47
5.6. Ensayos de pérdidas de carga por fricción.....	48
<b>CAPÍTULO 6: RESULTADOS.....</b>	<b>49</b>
6.1. Peso específico.....	49
6.2. Límites de consistencia o límites de Attemberg .....	49
6.3. Dosificación de sedimento para la preparación de mezclas.....	50
6.4. Pérdidas de carga por fricción.....	51
6.4.1. Tubería de $\varnothing=1/2"$ .....	51
6.4.2. Tubería de $\varnothing = 3/4"$ .....	56
6.4.3. Tubería de $\varnothing = 1"$ .....	61
6.4.4. Tubería de $\varnothing = 1 1/2"$ .....	66
6.5. Viscosidad Dinámica y Viscosidad Cinemática.....	70
6.6. Caudales de estudio según rango de velocidades.....	72
<b>CAPÍTULO 7: DISCUSIÓN.....</b>	<b>73</b>
7.1. Variación de pérdidas de carga por fricción en tuberías de $\varnothing = 1/2"$ .....	73
7.2. Variación de pérdidas de carga por fricción en tuberías de $\varnothing = 3/4"$ .....	74
7.3. Variación de pérdidas de carga por fricción en tuberías de $\varnothing = 1"$ .....	75
7.4. Variación de pérdidas de carga por fricción en tuberías de $\varnothing = 1 1/2"$ .....	77
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>79</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>80</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>81</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>83</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Sistema Unificado de Clasificación de Suelos .....	18
<b>Tabla 2.</b> Gama de tamaños de partículas de los suelos según ASTM D2487 (1993) .....	20
<b>Tabla 3.</b> Coeficiente de Hazen-Williams para algunos materiales. ....	29
<b>Tabla 4.</b> Relaciones de Arrastre .....	36
<b>Tabla 5.</b> Operacionalización de Variables .....	39
<b>Tabla 6.</b> Peso Específico .....	49
<b>Tabla 7.</b> Límites de Consistencia o Límites de Atterberg .....	50
<b>Tabla 8.</b> Cantidad de sedimento para concentraciones de 1%, 3%, 5% y 7% .....	50
<b>Tabla 9.</b> Pérdidas de carga por fricción en tubería de $\varnothing = 1/2$ " .....	51
<b>Tabla 10.</b> Pérdidas de carga por fricción en tubería de $\varnothing = 3/4$ " .....	56
<b>Tabla 11.</b> Pérdidas de carga por fricción en tubería de $\varnothing = 1$ " .....	61
<b>Tabla 12.</b> Pérdidas de carga por fricción en tubería de $\varnothing = 1 1/2$ " .....	66
<b>Tabla 13.</b> Viscosidad Dinámica y Viscosidad Cinemática.....	70
<b>Tabla 14.</b> Caudales de estudio según rango de velocidades.....	72
<b>Tabla 15.</b> Pérdidas de carga para caudales de estudio en tubería de $\varnothing=1/2$ " .....	73
<b>Tabla 16.</b> Variación porcentual de pérdidas de carga en tubería de $\varnothing=1/2$ " .....	73
<b>Tabla 17.</b> Pérdidas de carga para caudales de estudio en tubería de $\varnothing=3/4$ " .....	74
<b>Tabla 18.</b> Variación porcentual de pérdidas de carga en tubería de $\varnothing=3/4$ " .....	74
<b>Tabla 19.</b> Pérdidas de carga para caudales de estudio en tubería de $\varnothing=1$ " .....	76
<b>Tabla 20.</b> Variación porcentual de pérdidas de carga en tubería de $\varnothing=1$ ".....	76
<b>Tabla 21.</b> Pérdidas de carga para caudales de estudio en tubería de $\varnothing=1 1/2$ " .....	77
<b>Tabla 22.</b> Variación porcentual de pérdidas de carga en tubería de $\varnothing=1 1/2$ " .....	77

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Carta de Plasticidad de suelos - Clasificación SUCS.....	19
<b>Figura 2.</b> Teorema de Bernoulli .....	22
<b>Figura 3.</b> Flujo Laminar en una tubería circular.....	23
<b>Figura 4.</b> Flujo Turbulento en tubería circular.....	24
<b>Figura 5.</b> Distribución parabólica de velocidades en régimen laminar.....	24
<b>Figura 6.</b> Distribución de velocidades en régimen turbulento.....	25
<b>Figura 7.</b> Límite Líquido .....	49
<b>Figura 8.</b> Tubería de $\varnothing = 1/2$ " - C = 0% .....	52
<b>Figura 9.</b> Tubería de $\varnothing = 1/2$ " - C = 1% .....	52
<b>Figura 10.</b> Tubería de $\varnothing = 1/2$ " - C = 3% .....	53
<b>Figura 11.</b> Tubería de $\varnothing = 1/2$ " - C = 5% .....	53
<b>Figura 12.</b> Tubería de $\varnothing = 1/2$ " - C = 7% .....	54
<b>Figura 13.</b> Caudal vs. Pérdida de carga por fricción - Tubería de $\varnothing = 1/2$ " .....	54
<b>Figura 14.</b> Concentración vs. Pérdida de carga - $\varnothing = 1/2$ " .....	55
<b>Figura 15.</b> Tubería de $\varnothing = 3/4$ " - C =0% .....	57
<b>Figura 16.</b> Tubería de $\varnothing = 3/4$ " - C =1% .....	57
<b>Figura 17.</b> Tubería de $\varnothing = 3/4$ " - C =3% .....	58
<b>Figura 18.</b> Tubería de $\varnothing = 3/4$ " - C =5% .....	58
<b>Figura 19.</b> Tubería de $\varnothing = 3/4$ " - C =7% .....	59
<b>Figura 20.</b> Caudal vs. Pérdida de carga por fricción - Tubería de $\varnothing = 3/4$ ".....	59
<b>Figura 21.</b> Concentración vs. Pérdida de carga - $\varnothing = 3/4$ " .....	60
<b>Figura 22.</b> Tubería de $\varnothing = 1$ " - C =0% .....	62
<b>Figura 23.</b> Tubería de $\varnothing = 1$ " - C =1% .....	62
<b>Figura 24.</b> Tubería de $\varnothing = 1$ " - C =3% .....	63
<b>Figura 25.</b> Tubería de $\varnothing = 1$ " - C =5% .....	63
<b>Figura 26.</b> Tubería de $\varnothing = 1$ " - C =7% .....	64
<b>Figura 27.</b> Caudal vs. Pérdida de carga por fricción - Tubería de $\varnothing = 1$ " .....	64
<b>Figura 28.</b> Concentración vs. Pérdida de carga - $\varnothing = 1$ " .....	65
<b>Figura 29.</b> Tubería de $\varnothing = 1 1/2$ " - C =0%.....	67
<b>Figura 30.</b> Tubería de $\varnothing = 1 1/2$ " - C =1%.....	67

<b>Figura 31.</b> Tubería de $\varnothing = 1 \frac{1}{2}$ " - C =3%.....	68
<b>Figura 32.</b> Tubería de $\varnothing = 1 \frac{1}{2}$ " - C =5%.....	68
<b>Figura 33.</b> Tubería de $\varnothing = 1 \frac{1}{2}$ " - c =7%.....	69
<b>Figura 34.</b> Caudal vs. Pérdida de carga por fricción - Tubería de $\varnothing = 1 \frac{1}{2}$ ".....	69
<b>Figura 35.</b> Concentración vs. Pérdida de carga - $\varnothing = 1 \frac{1}{2}$ " .....	70
<b>Figura 36.</b> Variación de la Viscosidad Dinámica .....	71
<b>Figura 37.</b> Variación de la Viscosidad Cinemática .....	71
<b>Figura 38.</b> Concentración de sedimentos vs. Variación porcentual en tubería de $\varnothing=1/2$ " .....	73
<b>Figura 39.</b> Concentración de sedimentos vs. Variación porcentual en tubería de $\varnothing=3/4$ " .....	75
<b>Figura 40.</b> Concentración de sedimentos vs. Variación porcentual en tubería de $\varnothing=1$ " .....	76
<b>Figura 41.</b> Concentración de sedimentos vs. Variación porcentual en tubería de $\varnothing=1 \frac{1}{2}$ " .....	78

## RESUMEN

Esta investigación da a conocer la influencia de la concentración de sedimentos en suspensión en las pérdidas de carga por fricción en tuberías de PVC, basados netamente en ensayos experimentales de laboratorio, en tuberías de  $\frac{1}{2}$ ",  $\frac{3}{4}$ ", 1" y  $1\frac{1}{2}$ ", para lo cual se preparó mezclas de agua con sedimentos del tipo ML, es decir, limos arcillosos con ligera plasticidad, con concentraciones en peso de 1%, 3%, 5% y 7%.

Los procedimientos experimentales consistieron en instalar un sistema de recirculación de agua en el laboratorio de hidráulica, que contó con la instrumentación adecuada para las mediciones de caudal y pérdidas de carga por fricción, ya que se instaló un medidor de agua en la tubería de descarga y piezómetros en las tuberías de ensayo, los mismos que estuvieron separados 4.5m, durante los ensayos, se tuvo especial cuidado para trabajar bajo un régimen de flujo permanente, lo cual se logró mediante la instalación de válvulas en la tubería de impulsión, lo que garantizó controlar el flujo de salida y de llegada a cada recipiente (tanque elevado y cárcamo de bombeo).

Luego de haber realizado los ensayos en el laboratorio y el análisis de la información obtenida, los resultados mostraron que se trabajó con limos arcillosos con ligera plasticidad, es decir, tipo ML según la clasificación SUCS; y para un rango de caudales entre 0.55 L/s y 0.65 L/s, en una tubería de  $\varnothing = \frac{1}{2}$ ", con una concentración en peso ( $C_w$ ) de 1%, las pérdidas de carga por fricción ( $H_f$ ) aumentaron en 14.54%; respecto a las pérdidas en agua sin sedimentos, con  $C_w = 3\%$  aumentó en 32.48%, con  $C_w = 5\%$  aumentó en 58.82% y con  $C_w = 7\%$  aumentó en 93.55%; en una tubería de  $\varnothing = \frac{3}{4}$ ", con  $C_w = 1\%$  la pérdida aumentó en 3.55%, con  $C_w = 3\%$  aumentó en 8.15%, con  $C_w = 5\%$  aumentó en 15.69% y con  $C_w = 7\%$  aumentó en 25.98%; en una tubería de  $\varnothing = 1$ ", con  $C_w = 1\%$  la pérdida aumentó en 34.31%, con  $C_w = 3\%$  aumentó en 69.40%, con  $C_w = 5\%$  aumentó en 146.96% y con  $C_w = 7\%$  aumentó en 267%; en una tubería de  $\varnothing = 1\frac{1}{2}$ ", con  $C_w = 1\%$  la pérdida aumentó en 126.83%, con  $C_w = 3\%$  aumentó en 130.21%, con  $C_w = 5\%$  aumentó en 272.85% y con  $C_w = 7\%$  aumentó en 554.75%.



## ABSTRACT

This research discloses the influence of the concentration of suspended sediment in losses by friction in pipes of PVC, based purely on experimental laboratory tests in pipes  $\frac{1}{2}$ ",  $\frac{3}{4}$ ", 1" and  $1\frac{1}{2}$ " for which mixtures silty type ML was prepared clayey silts with slight plasticity, with concentrations by weight of 1%, 3%, 5% and 7%.

The experimental procedures consisted of installing a recirculation system water in the hydraulic laboratory, which was appropriate instrumentation for measurements of flow and pressure losses by friction, as a water meter was installed in the discharge line and piezometers in test pipes, the same as they were separated 4.5m, during rehearsals, special care to work under a regime of permanent flux had, which was achieved by installing valves in the impulsion pipe, which ensured control the flow of departure and arrival of each container (elevated tank and pump station).

After completing the tests in the laboratory and analysis of information obtained, the results showed that we worked with clay silts with slight plasticity, and according to SUCS classification the clay silts are ML type; and for a range of flow rates between 0.55 L / s and 0.65 L / s, a pipe  $\varnothing = \frac{1}{2}$ " , with a weight concentration ( $C_w$ ) of 1%, the losses by friction ( $H_f$ ) increased by 14.54%; respect of losses in water without sediment, with  $C_w = 3\%$  increased by 32.48%, with  $C_w = 5\%$  it increased by 58.82% and  $C_w = 7\%$  increased by 93.55%; in a pipe  $\varnothing = \frac{3}{4}$ " with  $C_w = 1\%$  loss increased by 3.55%, with  $C_w = 3\%$  increased by 8.15%, with  $C_w = 5\%$  increased by 15.69% and with  $C_w = 7\%$  increased by 25.98%; in a pipe  $\varnothing = 1$ " with  $C_w = 1\%$  loss increased by 34.31%, with  $C_w = 3\%$  increased by 69.40%, with  $C_w = 5\%$  increased by 146.96% and  $C_w = 7\%$  increased by 267%; in a pipe  $\varnothing = 1\frac{1}{2}$ " with  $C_w = 1\%$  loss increased by 126.83%, with  $C_w = 3\%$  increased by 130.21%, with  $C_w = 5\%$  increased by 272.85% and  $C_w = 7\%$  increased 554.75 %.

## **NOTA DE ACCESO**

**No se puede acceder al texto completo pues contiene datos confidenciales**

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Tomas, D. & Jordan, JR. (1988). *Sistemas de Agua potable por Gravedad para Poblaciones Rurales*, (pp. 135) Lima – Perú. Recuperado de: [http://www.cepes.org.pe/pdf/OCR/Partidos/sistemas\\_agua/sistemas\\_agua\\_potable\\_gravedad\\_poblaciones\\_rurales.pdf](http://www.cepes.org.pe/pdf/OCR/Partidos/sistemas_agua/sistemas_agua_potable_gravedad_poblaciones_rurales.pdf)
2. Lahiri, Sandip k. (2010). *Study on slurry flow modelling in pipeline*. (Ph.D. Tesis, National Institute of Technology, Durgapur, India)
3. Nabil, T., El-Sawaf, I., & El-Nahhas, K. (2014). *Sand-Water Slurry Flow Modelling in a Horizontal Pipeline by Computational fluid Dynamics Technique*. En revista International Water Technology Journal. Recuperado de <http://iwjtj.info/wp-content/uploads/2014/06/V.4-N.1-P.13.pdf>
4. Villavicencio Moreno, Orlando T. (2001) *Flujo Dispersivo en una Tubería con Transporte de Partículas Sólidas*. (Tesis de Maestría) Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial – Universidad de los Andes. Mérida – Venezuela.
5. Fuentes, R. (1994). *Transporte Hidráulico de Sólidos por Tuberías y Canales*. Curso dictado como actividad previa al XVI Congreso Latinoamericano de Hidráulica Asociación Internacional de Investigaciones Hidráulicas (AIIH). División Regional Latinoamérica. Santiago de Chile.
6. Aguirre P., J. & Quisca, S. (1995). *Unsteady Propagation of a Quasi Two – phase Wave on a Dry Steep Channel*. International Proceedings of the XXVI Congress IAHR, Hydra 2000, Vol. 2, Londres, pp.208-213.
7. Gil, P.O. & Gonzáles, M. (1998). *Construcción y calbracion de un sistema de flujo dispersivo bifásico*. (Tesis) Universidad de los Andes. Mérida – Venezuela. p. 78
8. Durand, R. (1953). *Basic Relationships of the Transportation of Solids in Pipes - Experimental Research*. Proceedings of the International Association of Hydraulic Research. Minneapolis.
9. Abulnaga, Baha E. (2002). *Slurry Systems Handbook*, New York: McGraw-Hill
10. Wasp E.J, Kenny J.P., Gandhi R.L. (1977), *Solid liquid flow –slurry pipeline transportation*, Trans tech Publ., Rockport.
11. Thomas D. G. (1965). *Transient Characteristics of Suspensions: Part VIII. A Note on the Viscosity of Newtonian Suspensions of Uniform Spherical Particles*. Journal Colloid Science.

12. Mataix, Claudio (1986). *Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas* (2da edición). Madrid, España.
13. García Flores M. y Maza Alvarez J. A. (1995). Manual de Ingeniería de Ríos "Origen y Propiedad de los Sedimentos". Instituto de Ingeniería de la UNAM
14. Sotelo Ávila, G. (1997) *Hidráulica General*. Vol. 1. Mexico
15. Streeter, V.L., Wylie, E. B. & Bedford, K. W. (2000) *Mecánica de Fluidos*. 9ª Edición. Santafé de Bogotá, Colombia
16. NTP 339.134 (1999). Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, SUCS)
17. NTP 339.129, (1999). SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos.
18. Rocha F., A (2007). *Hidráulica de Tuberías y Canales*. Lima – Perú
19. Giles, R.V. (1994) *Mecánica de Fluidos e Hidráulica*. 3ª Edición. México
20. Mott, Robert L. (2006) *Mecánica de Fluidos*. 6ª Edición. México
21. Saldarriaga V., Juan G. (1998). *Hidráulica de Tuberías*. Colombia.