

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



TESIS

**“MECÁNICA DE FLUJOS DE RELAVES MINEROS EN CANALES
ABIERTOS”**

PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR

ALDO CONCEPCIÓN CCORAHUA

ASESOR

Ing. ROGER HIDALGO GARCÍA

LIMA-PERU

2020

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



PLAN DE TESIS

**“MECÁNICA DE FLUJOS DE RELAVES MINEROS EN
CANALES ABIERTOS”**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

ELABORADO POR

ALDO CONCEPCIÓN CCORAHUA

ASESOR

Ing. ROGER HIDALGO GARCÍA

Lima- Perú

2020

ÍNDICE

ÍNDICE	1
RESUMEN	4
ABSTRACT	5
PRÓLOGO	6
LISTA DE CUADROS	7
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS	10
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	14
1.1 GENERALIDADES	14
1.2 DESCRIPCION DEL PROBLEMA DE INVESTIGACION	14
1.3 OBJETIVO DEL ESTUDIO	15
1.3.1 Objetivo General	15
1.3.2 Objetivos Específicos.....	15
1.4 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	15
1.5 HIPÓTESIS	17
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	18
2.1 MARCO TEÓRICO	18
2.2 MARCO CONCEPTUAL	19
2.2.1 Medio continuo	19
2.2.2 Número de Reynolds y número de Froude	19
2.2.3 Propiedades físicas de mezclas de relave	22
2.2.3.1. <i>Densidad, peso específico y gravedad específica</i>	22
2.2.3.2. <i>Concentración de sólidos</i>	22
2.2.3.3. <i>Diámetro de partícula o grano</i>	22
2.2.4 Propiedades químicas	22
2.2.4.1. <i>Potencial de hidrógeno</i>	22

2.2.5 Propiedades mineralógicas.....	23
2.2.5.1. <i>Mineralogía</i>	23
2.2.6 Propiedades reológicas.....	23
2.2.6.1. <i>Esfuerzo de cedencia</i>	23
2.2.7 Hidráulica de canales abiertos.....	23
2.2.8 Descripción del movimiento de un fluido.....	23
2.2.9 Tipo de flujos en canales abiertos.....	24
2.2.9.1. <i>Flujo no permanente</i>	24
2.2.9.2. <i>Flujo uniforme</i>	25
2.2.9.3. <i>Flujos gradualmente y rápidamente variados</i>	26
2.2.10 Reología.....	27
2.2.11 Modelos reológicos.....	27
2.2.11.1. <i>Ecuación de O'Brien & Julien</i>	28
2.2.11.2. <i>Ecuación de Einstein</i>	30
2.2.11.3. <i>Ecuación de Oswald</i>	30
2.2.11.4. <i>Ecuación de Bingham</i>	31
2.2.12 Reometría.....	31
CAPITULO III: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	32
3.1 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	32
3.2 CONSTRUCCIÓN DEL CANAL DE INVESTIGACIÓN.....	32
3.2.1 Base estructural del canal.....	32
3.2.2 Apoyos de la estructura del canal.....	33
3.2.3 Sistema de variación de pendiente.....	34
3.2.4 Sistema de variación de talud de pared.....	35
3.2.5 Sistema de fijación del ancho de la base del canal.....	35
3.2.6 Compuerta de retención de relaves.....	36
3.2.7 Sistema de descarga a la salida.....	36
3.3 CARACTERIZACIÓN DE LAS MUESTRAS DE RELAVE.....	37

3.3.1 Ensayos de granulometría y límites de Atterberg	37
3.3.2 Ensayos de gravedad específica	37
3.3.3 Ensayos Químicos	37
3.3.4 Ensayos de densidad y peso específico de la mezcla.....	38
3.3.5 Ensayos de concentración de sólidos de la mezcla	38
3.4 DISEÑO DE EXPERIMENTO	40
3.4.1 Ensayos preliminares.....	40
3.4.1.1. <i>Pendiente</i>	40
3.4.1.2. <i>Sensibilidad de la Concentración de sólidos</i>	41
3.4.1.3. <i>Otros parámetros</i>	44
3.5 MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DEL FRENTE DE ONDA DE RELAVES MINEROS.....	45
CAPITULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	47
4.1 REGISTRO POSICIÓN VS. TIEMPO DEL FRENTE DE ONDA DE RELAVE	47
4.2 REGISTRO DE TRAZA O MÁXIMOS TIRANTES DE RELAVE	59
CONCLUSIONES	60
RECOMENDACIONES	61
BIBLIOGRAFÍA	62
ANEXOS	64

RESUMEN

El presente documento aborda el tema relacionado a la mecánica de los flujos de relaves en canales abiertos, ya que este sistema de transporte de residuos mineros es el más usado en la industria minera nacional. Los problemas intrínsecos en las actividades mineras relacionadas al manejo de relaves se originan con el desconocimiento parcial o total del comportamiento mecánico y reológico de este tipo de mezclas. Estos problemas pueden ser desde procedimientos de manejo, protocolos de seguridad, impacto ambiental, técnico e ingenieril, traduciéndose todo esto en un problema económico debido al gran costo que se tiene que pagar por la falta de criterios y conocimiento de la mecánica de relaves. Por tal motivo, esta investigación busca profundizar el conocimiento de la relación de las características físicas (concentración) del relave, las condiciones de transporte del canal (pendiente y ancho de la base de canal) y la velocidad del movimiento del relave (mecánica).

Para lograr el objetivo se diseñó y construyó un canal de investigación denominado "**Canal de geometría y pendiente variables para flujos bifásicos**". La versatilidad del equipo experimental permitió generar una matriz de ensayos con diferentes condiciones de ancho y pendiente del canal, que a su vez fueron combinadas con muestras de relave a diferentes concentraciones de sólidos. El equipamiento complementario del canal es un sistema de registros de cámaras de circuito cerrado de televisión (CCTV), con los cuales se obtiene el registro fílmico de los ensayos de los flujos de relaves bajo las condiciones establecidas.

El análisis de los resultados experimentales mostró una relación potencial entre la velocidad media del frente de onda y las demás variables que participan en el fenómeno de escurrimiento o flujo de mezclas de relave en un canal abierto, obteniéndose la siguiente expresión:

$$V_m = \left[\left(\frac{V}{y'^3} \right)^{0.437} \left(\frac{y'}{B} \right)^{0.587} e^{-1.648C_w} S^{0.045} \right] \sqrt{gy'}$$

RESUMEN

El presente documento aborda el tema relacionado a la mecánica de los flujos de relaves en canales abiertos, ya que este sistema de transporte de residuos mineros es el más usado en la industria minera nacional. Los problemas intrínsecos en las actividades mineras relacionadas al manejo de relaves se originan con el desconocimiento parcial o total del comportamiento mecánico y reológico de este tipo de mezclas. Estos problemas pueden ser desde procedimientos de manejo, protocolos de seguridad, impacto ambiental, técnico e ingenieril, traducándose todo esto en un problema económico debido al gran costo que se tiene que pagar por la falta de criterios y conocimiento de la mecánica de relaves. Por tal motivo, esta investigación busca profundizar el conocimiento de la relación de las características físicas (concentración) del relave, las condiciones de transporte del canal (pendiente y ancho de la base de canal) y la velocidad del movimiento del relave (mecánica).

Para lograr el objetivo se diseñó y construyó un canal de investigación denominado "**Canal de geometría y pendiente variables para flujos bifásicos**". La versatilidad del equipo experimental permitió generar una matriz de ensayos con diferentes condiciones de ancho y pendiente del canal, que a su vez fueron combinadas con muestras de relave a diferentes concentraciones de sólidos. El equipamiento complementario del canal es un sistema de registros de cámaras de circuito cerrado de televisión (CCTV), con los cuales se obtiene el registro fílmico de los ensayos de los flujos de relaves bajo las condiciones establecidas.

El análisis de los resultados experimentales mostró una relación potencial entre la velocidad media del frente de onda y las demás variables que participan en el fenómeno de escurrimiento o flujo de mezclas de relave en un canal abierto, obteniéndose la siguiente expresión:

$$V_m = \left[\left(\frac{V}{y'^3} \right)^{0.437} \left(\frac{y'}{B} \right)^{0.587} e^{-1.648C_w} S^{0.045} \right] \sqrt{gy'}$$

ABSTRACT

This document addresses the topic related to the mechanics of tailings flows in open channels. This mining waste transport system is the most used in the national mining industry. The intrinsic problems in mining activities related to tailings management have their origin in the partial or total ignorance of the mechanical and rheological behavior of this type of mixtures. These problems can be due to handling procedures, safety protocols, environmental, technical and engineering impact. All this translates into an economic problem due to the high cost that has to be paid for the lack of criteria and knowledge of tailings mechanics. Therefore, this research seeks to deepen the knowledge of the relationship between the physical characteristics (concentration) of the tailings, the transport conditions of the channel (slope and width of the channel base) and the speed of movement of the tailings (mechanical).

To achieve the objective, a research channel called "Variable geometry and slope channel for biphasic flows" was designed and built. The versatility of the experimental equipment allowed generating a matrix of tests with different width and slope conditions of the channel, which in turn were combined with samples of tailings at different concentrations of solids. The channel's complementary equipment is a closed circuit television (CCTV) camera recording system. With this equipment the filming of tailings flow tests is obtained under the established conditions.

The analysis of the experimental results showed a potential relationship between the mean speed of the wave front and the other variables that participate in the phenomenon of runoff or tailings mixtures flow in an open channel, obtaining the following expression:

$$V_m = \left[\left(\frac{v}{y'^3} \right)^{0.437} \left(\frac{y'}{B} \right)^{0.587} e^{-1.648C_w} S^{0.045} \right] \sqrt{gy'}$$

PRÓLOGO

La minería es una actividad extractiva estrechamente ligada a la historia del Perú, y su relevancia en la economía nacional es evidente; según los especialistas actualmente la minería incide aproximadamente en el 14% del PBI y en el 60% de las exportaciones. El crecimiento de la minería en el Perú, ya sea por la apertura de operaciones de nuevos proyectos mineros o el incremento del volumen de la producción de las ya existentes, conlleva un desafío para la adecuada eliminación del también creciente volumen de sus residuos industriales, comúnmente llamado relaves mineros. Aunque se viene desarrollando nuevas técnicas para la manipulación de los relaves mineros, los convencionales sistemas de conducción dentro de una matriz acuosa, sea en conductos presurizados (tuberías) o gravitacionales (canales), siguen siendo de amplio uso en la minería nacional. Dentro de los lineamientos del desarrollo sostenible se conjugan diferentes factores, especialmente con el enfoque técnico-económico y ambiental, los cuales pueden ser encarados satisfactoriamente con un mejor entendimiento de la mecánica de estos flujos.

El flujo de los relaves mineros es singular en su comportamiento, partiendo de su naturaleza bifásica que involucra las características intrínsecas de las fases sólida y líquida de la mezcla, que aunadas a las condiciones del sistema de conducción, se traducen en la complejidad de su estudio. El presente trabajo de investigación, orientado al estudio del flujo de relaves en canales abiertos, analiza las relaciones de la velocidad del frente de onda con variables como el volumen de la mezcla, concentración gravimétrica de sólidos y las características del canal expresado en términos de pendiente y ancho de la estructura de conducción. El análisis del movimiento se realizó con el uso de imágenes registradas con sistema de cámaras de video monitoreadas en tiempo real.

Expreso mi gratitud a la Universidad Nacional de Ingeniería por todo el apoyo brindado para el desarrollo de esta investigación, contando con el financiamiento del Instituto General de Investigación (IGI), las instalaciones del Laboratorio Nacional de Hidráulica (LNH) y del Instituto para la Mitigación de los Efectos del Fenómeno de El Niño (IMEFEN), también las gracias a los colegas del Departamento Académico de Hidráulica e Hidrología (DAHH) por el estímulo recibido.

Roger Hidalgo García
Asesor de la tesis

LISTA DE CUADROS

Cuadro N°	Título	
1	: Clasificación de reómetros	31
2	: Propiedades geométricas de vigas.....	32
3	: Fuerzas/Momentos actuantes y resistentes -Vigas.	32
4	: Deflexión Mínima y Máxima.	32
5	: Fuerzas actuantes y resistentes - Elementos de Apoyos	33
6	: Granulometría y Límites de Atterberg.....	37
7	: Densidad, Peso Específico, Gravedad Específica.....	37
8	: Potencial de Hidrogeno en relave.....	38
9	: Datos de ensayos preliminares, variación Velocidad y variación de pendiente.	40
10	: Datos de ensayos preliminares, variación de Velocidad media y variación de concentración	41
11	: Límites y condición inicial de ensayos definitivos	44
12	: Variables de interés y sus respectivos valores de estudio	44
13	: Relación del tiempo según el número de foto.....	47
14	: Resumen de la regresión	56
15	: Análisis de Varianza.....	56
16	: Coeficiente de la regresión con variables Logarítmicas.....	57

LISTA DE FIGURAS

Figura N°	Título	
1	: Relación profundidad - velocidad de flujo en un canal abierto. (Chow, 1994).....	21
2	: Clasificación de flujos según su reología (Cabrejos, 2011)	27
3	: Vigas principales del canal. (Elab. propia).....	33
4	: Estructuras de apoyo del canal. (Elab. propia)	34
5	: Sistema de variación de pendiente. (Elab. propia)	34
6	: Sistema de variación de talud lateral. (Elab. propia).....	35
7	: Sistema de fijación del ancho de la base. (Elab. propia)	35
8	: Compuertas de diferentes geometrías. (Elab. propia)	36
9	: Sistema de descarga y almacenamiento. (Elab. propia).....	36
10	: Ensayo a una concentración de 69% w/w (S=10%). Se muestra el escaso desplazamiento en el canal. (Elab. propia)	43
11	: Vistas diversas del ensayo a una concentración de 69% w/w (S=10%). (Elab. propia)	43
12	: Vista interior del canal con un ancho establecido (B= 20 cm). (Elab. propia).....	44
13	: Cámara de Video colocada en la parte superior del tramo inicial donde se puede observar el depósito de relave y la compuerta. (Elab. propia).....	46
14	: Equipo de monitoreo, edición y procesamiento de información filmográfica. (Elab. propia)	46
15	: Gráfica X vs t del Ensayo #11 (antes del ajuste). (Elab. propia)	48
16	: Gráfica X vs t del Ensayo #11 (después del ajuste). (Elab. propia) .	48
17	: Tramo de estudio en la gráfica posición Vs Tiempo. (Elab. propia) .	49
18	: Esquema de las variables del fenómeno físico. (Elab. propia)	50
19	: Relación de la velocidad media vs. Pendiente de fondo. (Elab. propia).....	51
20	: Relación de la velocidad media vs. Concentración de sólidos. (Elab. propia).....	52
21	: π_1 vs π_2 . (Elab. propia)	53
22	: π_1 vs π_3 . (Elab. propia)	53
23	: π_1 vs π_4 como nube de puntos. (Elab. propia)	54
24	: π_1 vs π_4 con pendiente constante. (Elab. propia).....	54

25	: $\pi 1$ vs $\pi 5$ como nube de puntos. (Elab. propia)	55
26	: $\pi 1$ vs $\pi 5$ con concentración constante. (Elab. propia)	55
27	: Ajuste de datos experimentales y teóricos a la función identidad. (Elab. propia)	58
28	: Distribución de residuos respecto de la V media teórica. (Elab. propia)	58
29	: Distribución de residuos (%) respecto de la V media teórica. (Elab. propia)	59

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

Símbolos

a	Función aceleración
A	Área de la sección mojada en un canal
A	Área de la sección del perfil de fierro
B	Ancho base del canal de investigación
B_f	Ancho del ala
C	Coefficiente de Chezy
C_c	Coefficiente de Curvatura
C_u	Coefficiente de Uniformidad
C_v	Concentración volumétrica.
C_w	Concentración gravimétrica de sólidos
c_1	Coefficiente de transformación de unidades
D	Profundidad hidráulica
D_m	Diámetro medio del grano
d_s	Tamaño del sedimento
dv / dy	Velocidad de corte
D_{10}	Diámetro de la malla donde pasa el 10% de muestra
D_{30}	Diámetro de la malla donde pasa el 30% de muestra
D_{50}	Diámetro de la malla donde pasa el 50% de muestra
D_{60}	Diámetro de la malla donde pasa el 60% de muestra
e	Número exponencial
F	Número de Fisher
Fr	Número de Froude
g	Aceleración de la gravedad
G_s	Gravedad Específica
H	Altura del perfil
H_0	Altura de carga inicial
I_x-x	Inercia de la sección en el eje x
l	Longitud característica en tuberías
L	Longitud característica en canales
l_m	Longitud de Prandtl

L_0	Longitud del depósito de relave
Nf	Número de Foto en una secuencia de fotos
nFr	Número de foto repetida en una secuencia de fotos
pH	Potencial de Hidrógeno
p_s	Presión intergranular
R	Radio Hidráulico
Re	Número de Reynolds
S	Pendiente de fondo del canal de investigación
s	Función posición
S_F	Pendiente de fondo de canal
S_W	Pendiente del pelo de agua
S_0	Pendiente de la línea de energía
t	Variable temporal t
t_f	Espesor del ala
t_h	Espesor del alma
T_{max}	Tiempo total del recorrido
V	Función velocidad
V	Velocidad media
V_m	Velocidad media del frente de onda
V_{recip}	Volumen de recipiente o baker
$W_{líquido}$	Peso de la porción líquida de una mezcla
W_{mh}	Peso de muestra húmeda de relave
W_{ms}	Peso de muestra seca de relave
W_r	Peso de recipiente
W_{r+ms}	Peso de muestra seca en recipiente
W_{r+mh}	Peso de muestra húmeda en recipiente
W_{recip}	Peso de recipiente o baker
$W_{recip+mh}$	Peso de muestra húmeda en recipiente o baker
$W_{sólido}$	Peso de la porción sólida de una mezcla
x	Variable espacial en el eje x
X_{max}	Recorrido máximo alcanzado por el frente de onda
y	Variable espacial en el eje y
Y	Centro de gravedad de la sección
y'	Tirante promedio de frente de onda

Z	Variable espacial en el eje z
γ	Peso Específico
γ_{agua}	Peso Específico del agua
ΔC_w	Variación de la concentración gravimétrica
Δm	Incremento de masa
ΔS	Variación de la pendiente de fondo
ΔV	Incremento volumétrico
ΔV_m	Variación de la Velocidad media
μ	Viscosidad dinámica
μ_0	Viscosidad del fluido sin partículas
π_1	Número Adimensional 1
π_2	Número Adimensional 2
π_3	Número Adimensional 3
π_4	Número Adimensional 4
π_5	Número Adimensional 5
ρ	Densidad
ρ_{agua}	Densidad del agua
ρ_m	Densidad de la mezcla
τ	Esfuerzo cortante
τ_c	Esfuerzo límite cohesivo
τ_d	Esfuerzo cortante dispersivo
τ_{mc}	Esfuerzo de Mohr-Coulomb
τ_t	Esfuerzo cortante turbulento
τ_v	Esfuerzo cortante viscoso
ϕ	Ángulo de reposo del material
V	Volumen de relave

Siglas

ASTM	American Society for Testing and Materials
CR	Velocidades angulares controladas
CS	Esfuerzos de corte controlados
DVR	Digital Video Recorder
F° F°	Fierro negro
FPS	Frame Per Second
IMEFEN	Instituto para la mitigación de los efectos del Fenómeno El Niño
IP	Índice de Plasticidad
LL	Límite Líquido
LNH	Laboratorio Nacional de Hidráulica
LP	Límite Plástico
MP4	Moving Picture Experts Group 4
N.A:	Ninguna de las anteriores
NTP	Norma Técnica Peruana
S.A.	Sociedad Anónima
SUCS	Sistema Unificado de Clasificación de suelos

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

En la actualidad existen nuevas técnicas de disposición de relaves, entre ellas, rellenos subterráneos, relaves espesados y relaves deshidratados; sin embargo, la eliminación de relaves por medio de canales o tuberías de conducción siguen siendo de gran utilización en la minería.

La investigación universitaria en temas relacionados al manejo de relaves mineros o mezclas bifásicas es muy escasa, en el acopio de tesis, en la temática de nuestro interés, dentro de la Universidad Nacional de Ingeniería se encontró los enunciados a continuación:

Vera Lazo (1970), Córdova Rojas (1988), Zevallos Cruz (1997), Castillo Navarro (2006), Gaitán Barreda (2010), Rosario Garcilazo (2010), Cabrera Cabrera (2010), Cabrejos Salinas (2011), Mendoza Chuchón (2014) y Zorrilla Aliaga (2017).

Reconociendo la escasez de conocimiento en este campo, es necesario profundizar en el estudio del comportamiento de mezclas hiperconcentradas, como el caso de los relaves, para mejorar el diseño de los sistemas de conducción siguiendo un criterio ingenieril a partir de la comprensión de la mecánica que rige el movimiento de estos flujos.

1.2 DESCRIPCION DEL PROBLEMA DE INVESTIGACION

La disponibilidad de agua es un problema que las empresas mineras abordan desde las fases iniciales de sus proyectos, o que deben afrontar al evaluar una ampliación de sus operaciones; esta situación se complica cuando la oferta natural es reducida. La normatividad legal de los recursos hídricos, además de plantear la jerarquía en el otorgamiento para su uso, exige su adecuado uso de modo que no redunde en el deterioro de la calidad del recurso y por extensión de cualquier implicancia medioambiental, especialmente en zonas donde la actividad económica principal es la agropecuaria; el incumplimiento de estos principios es causa de muchos conflictos sociales. El problema de la disponibilidad hídrica se agudiza cuando se hacen evidentes las manifestaciones del cambio climático y la escasez de agua obliga a restricciones en el servicio.

La disminución de la resistencia al movimiento en el transporte de relaves mineros, es decir la facilidad de su eliminación, comúnmente se obtiene con el incremento de agua a la mezcla, y consecuentemente las estructuras son

sobredimensionadas, esta situación es desfavorable en aspectos de costos y del manejo ambiental.

El presente trabajo se orienta a investigar el comportamiento mecánico del flujo de relaves para incrementar el conocimiento del transporte de dichas sustancias en canales abiertos para el diseño de sistemas más eficientes, que redunden en una disminución del uso de recurso hídrico al mejorar los criterios de diseño que faciliten su transporte en canales abiertos.

1.3 OBJETIVO DEL ESTUDIO

1.3.1 Objetivo General

Ampliar los conocimientos en el campo de la Reología de flujos Hiperconcentrados.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Efectuar la experimentación del flujo de relaves mineros a diferentes concentraciones de sólidos y condiciones físicas del canal.
- Formular relaciones entre la velocidad del flujo y otros parámetros físicos característicos.

1.4 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

En diferentes partes del mundo existe un esfuerzo por investigar los temas relacionados a los flujos hiperconcentrados. En este apartado conoceremos algunas investigaciones realizadas tanto en el Perú como en el extranjero.

O'Brien & Julien (1988), muestran las relaciones gráficas y matemáticas entre el esfuerzo de fluencia, Viscosidad y las características físicas (concentración de sólidos) de la mezcla de arcilla y limo en las montañas rocosas de Colorado. Estos investigadores ostentan una gran labor en el estudio de flujos hiperconcentrados como el flujo de lodos.

Aguirre-Pe y Moncada Alix (1993) realizaron un estudio de flujos de relaves aproximando su comportamiento al modelo reológico de Herschel – Bulkley.

Guatarasma, Luis (2004) estudió el efecto de impacto de una onda de masa bifásica que reológicamente se define como un flujo hiperconcentrado de arcilla bentónica. La investigación realizada consistía en medir con un dinamómetro el

impacto de la onda aguas abajo del canal de conducción. Si bien las condiciones del conducto eran limitados tanto en pendiente y ancho (10 cm), es un documento interesante para establecer una metodología de trabajo con mezclas bifásicas.

Ancey Christophe (2005) explica los fundamentos de la reología y reometría, así como los comportamientos reológicos, modelos reológicos y las propiedades reológicas más importantes.

Boger N. Pashias (1996) desarrollaron un reómetro muy práctico conocido como el reómetro de los cincuenta centavos, cuyo principio se basó en la deformación de una masa de hiperconcentrada debido a la remoción súbita del su cilindro contenedor. Esta deformación es realizada por la gravedad ya que la muestra se encuentra repentinamente sin confinamiento. Las relaciones numéricas obtenidas fueron entre el asentamiento de la masa y los esfuerzos de fluencia.

Zevallos, Roberto (1997), desarrolló el tema relacionado al diseño, selección y ejecución de sistemas de bombeo para la deposición de relave en una cancha de relave.

Cabrejos, Juan (2011), investigó como recuperar el agua usada para el transporte de los desechos mineros, generando de esta manera muestras de relave de diferentes concentraciones teniendo como finalidad maximizar la concentración de sólidos de los relaves transportados.

Cabe hacer la precisión que estos avances en la investigación de estos flujos se fueron dando de manera esporádica y sin líneas de investigación continuas. No obstante, en los últimos años el Instituto para Mitigación de los Efectos del Fenómeno El Niño (IMEFEN) está desarrollando importantes investigaciones en el campo de la Reología con líneas de investigación enfocadas en relaves mineros, y flujo de escombros (Huaycos).

Algunos investigadores abordan la temática enfocándose en la caracterización de los relaves (Gaitán, 2010). Por otro lado, el conocimiento de cómo medir los parámetros reológicos (reometría) fue abordado por Rosario, Kenñe (2010), Cabrera, Juan (2010), Mendoza, José (2014) y Zorrilla, Bill (2018).

Rosario (2010) elaboró un equipo que determina las características reológicas de mezclas de relaves según la resistencia que opone al efecto de penetración de una varilla en caída libre.

Cabrera, Juan (2010), confeccionó unos moldes semejantes al cono de Abrams para buscar una relación empírica entre el asentamiento de la masa de relave y el esfuerzo de cedencia. Cabe mencionar que este procedimiento ya fue desarrollado por otros investigadores cuyas ecuaciones también fueron probadas en la investigación de Cabrera.

Mendoza, José (2014), desarrolló un equipamiento para determinar los esfuerzos contantes en una sustancia mediante una interface que permitía traducir los impulsos eléctricos como esfuerzos generados producto de la rotación de un cilindro concéntrico interior que tiene una sustancia de viscosidad considerable entre ambos cilindros. La novedad de esta investigación es que el equipo es controlado por computadora y sus resultados son observados en tiempo real.

Zorrilla, Bill (2017) realizó una mejora significativa en el equipo de Cabrera. Se basó en los mismos principios y buscó una relación entre el asentamiento y el esfuerzo de cedencia. Adicional a esto, involucró en su análisis la variable química potencial de hidrógeno (pH), que se presume influye en el comportamiento reológico de los relaves.

1.5 HIPÓTESIS

- El flujo de relaves mineros se comporta como un medio continuo.
- La mecánica de los flujos hiperconcentrados está gobernada por condiciones del material y las características del sistema de conducción.
- Existe una relación entre los parámetros físicos del sistema de conducción y del relave en estudio con la velocidad del flujo hiperconcentrado.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1 MARCO TEÓRICO

El desarrollo de esta investigación tiene con un marco teórico específico (temas de relaves) muy escaso; no obstante, muchos de los autores que se mencionan en el acápite 1.4 son profesionales e investigadores de la UNI e IMEFEN con los cuales se pudo realizar reuniones y charlas relacionadas a sus investigaciones presentadas por Rosario, Kenñe (2010), Cabrera, Juan (2010), Mendoza, José (2014) y Zorrilla, Bill (2018) quienes tomaron como muestras de estudio los relaves mineros y fabricando equipos de medición para buscar una relación empírica entre las características del ensayo y las propiedades del relave.

Por otro lado, hay autores mencionados en el acápite 1.4 que abordan el tema de los relaves pero enfocados en un aplicación particular o para solucionar un problema específico dentro del sector minero u otra industria que maneje sustancias de propiedades reológicas importantes; en ese sentido, sus aportes sirvieron para manejar una mayor cantidad de información respecto a las diferencia entre relaves y otras sustancias, mas no para captar conceptos nuevos e importantes que sirva como fundamento teórico para las próximas investigaciones. En este grupo de estudios tenemos aportes de Zevallos, Roberto (1997), Cabrejos, Juan (2011), entre otros.

Para la adopción de la metodología de trabajo para esta tesis, la investigación de Aguirre-Pe y Moncada Alix (1993) fue fundamental, ya que su metodología permitió que la descripción Lagrangiana del movimiento se adecuó muy bien a la investigación. No obstante, se mejoraron algunos aspectos como el sistema de referencia especial grillado y la integración de un sistema de cámaras que captaban el movimiento en imágenes y video.

Asimismo, se revisaron libros de reología muy importantes y elementales para el inicio del estudio como el Ancey Christophe (2005), que aporta el fundamento y principios generales a tomar en cuenta para temas específicos como el comportamiento de los relaves o mezclas bifásicas complejas.

2.2 MARCO CONCEPTUAL

2.2.1 Medio continuo

Es un conjunto infinito de partículas (que forman parte, por ejemplo, de un sólido, de un fluido o de un gas) que va a ser estudiado macroscópicamente, es decir, sin considerar las posibles discontinuidades existentes en el nivel microscópico (nivel atómico o molecular). En consecuencia, se admite que no hay discontinuidades entre las partículas y que la descripción matemática de este medio y de sus propiedades se puede realizar mediante funciones continuas. (Olivella, 2000).

En el estudio de la mecánica de los fluidos conviene suponer que tanto gases como líquidos están continuamente distribuidos por toda una región de interés, esto es, el fluido se trata como medio continuo. La propiedad principal utilizada para determinar si la suposición de medio continuo es apropiada es la densidad ρ . (Potter, 2002)

$$\rho = \lim_{\Delta \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta V} \dots \dots \dots \text{(Ec. 1)}$$

2.2.2 Número de Reynolds y número de Froude

El número de Reynolds es la relación entre la fuerza inercial y la fuerza viscosa. Por consiguiente, cuando esta relación llega a ser grande, es de esperarse que las fuerzas inerciales dominen las viscosas. Por regla general esto se cumple cuando ocurren cambios geométricos, cortos y repentinos; en el caso de tramos largos de tubo o canales abiertos, no es esta la situación. Con un número de Reynolds suficientemente bajo ($Re < 2000$ en un tubo y $Re < 1500$ en un canal ancho) resulta un flujo laminar, y con un número de Reynolds suficientemente alto ocurre un flujo turbulento. (Potter, 2002)

Como el flujo en la mayor parte de los canales es turbulento, un modelo empleado para simular un canal prototipo debe de ser diseñado de tal manera que el número de Reynolds del flujo en el canal modelo debe ser igual al número de Reynolds del flujo en el canal prototipo.

$$Re = \frac{V\rho l}{\mu} \dots \dots \dots \text{(Ec. 2)}$$

Donde V es la velocidad media del flujo, ρ es la densidad, l es la longitud característica y μ es la viscosidad.

El efecto de la gravedad sobre el estado de flujo se representa por la relación entre las fuerzas inerciales y las gravitacionales. Esta relación está dada por el *número de Froude*, definido como

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gL}} \dots \dots \dots (Ec. 3)$$

Donde V es la velocidad media del flujo, g es la aceleración de la gravedad y L es la longitud característica. En el flujo en canales abiertos, la longitud característica se hace igual a la profundidad hidráulica D, la cual está definida como el área de la sección transversal de agua perpendicular a la dirección del flujo en el canal dividido por el ancho de la superficie libre. Para canales rectangulares ésta es igual a la profundidad de la sección de flujo.

Cuando Fr es igual a la unidad, la ecuación Ec.3 se convierte en

$$V = \sqrt{gD} \dots \dots \dots (Ec. 4)$$

y se dice que el flujo está en un estado crítico. Si Fr es menor que la unidad, o $V < \sqrt{gD}$, el flujo es subcrítico. En este estado el papel jugado por las fuerzas gravitacionales es más pronunciado; por tanto, el flujo tiene una velocidad baja y a menudo se escribe como tranquilo y de corriente lenta. Si Fr es mayor que la unidad, o $V > \sqrt{gD}$, el flujo es *supercrítico*. En este estado las fuerzas inerciales se vuelvan dominantes; el flujo tiene una alta velocidad y se describe usualmente como rápido, ultrarrápido y torrencial. En la mecánica de las ondas de agua, la velocidad crítica \sqrt{gD} es igual a la *celeridad* de pequeñas ondas gravitacionales que pueden ocurrir en aguas poco profundas en canales como resultado de cualquier cambio momentáneo en la profundidad local del agua. Un cambio de este tipo puede ser causado por perturbaciones u obstáculos en el canal, que causan un desplazamiento del agua por encima y por debajo del nivel medio de la superficie y, por consiguiente, crean ondas que ejercen peso o fuerza gravitacional. Debe anotarse que una onda gravitacional puede propagarse hacia aguas arriba en un canal con un flujo subcrítico, pero no puede hacerlo en un canal con flujo supercrítico, debido a que la celeridad es mayor que la velocidad de flujo en el primer caso y menor en el segundo. Debido a que el flujo en la mayor parte de los canales está controlado por efectos gravitacionales, un modelo utilizado para simular un canal prototipo con propósitos de prueba debe ser diseñado teniendo en cuenta este efecto; es decir, el número de Froude del flujo en el canal modelo debe ser igual al número de Froude del flujo en el canal prototipo. (Chow, 1994)

En un canal abierto el *efecto* combinado de la viscosidad y de la gravedad puede producir cualquiera de cuatro *regímenes de flujo*, los cuales son, 1) *subcrítico - laminar*, cuando Fr es menor que la unidad y Re está en el rango laminar; 2)

supercrítico-laminar, cuando Fr es mayor que la unidad y Re está en el rango laminar; 3) *supercrítico-turbulento*, cuando Fr es mayor que la unidad y Re está en el rango turbulento; y 4) *subcrítico-turbulento*, cuando Fr es menor que la unidad y Re está en el rango turbulento. La relación profundidad - velocidad para los cuatro regímenes de flujo en un canal abierto ancho puede ilustrarse mediante una gráfica logarítmica (Ver Figura N° 1).

La línea gruesa para $Fr = 1$ y la banda sombreada para el rango transicional laminar-turbulento se intersecan en la gráfica y dividen el área total en cuatro regiones, cada una de la cuales representa un régimen de flujo. Los primeros dos regímenes, subcrítico-laminar y supercrítico-laminar, no son frecuentes en la hidráulica aplicada de canales abiertos, debido a que el flujo es generalmente turbulento en los canales considerados en problemas de ingeniería. Sin embargo, estos regímenes ocurren con frecuencia cuando existe una profundidad muy pequeña, lo cual es conocido como *flujo en láminas* se vuelven significativos en problemas tales como la prueba en modelos hidráulicos, en el estudio de flujo superficial sobre el terreno y el control de erosión para tal flujo. (Chow, 1994).

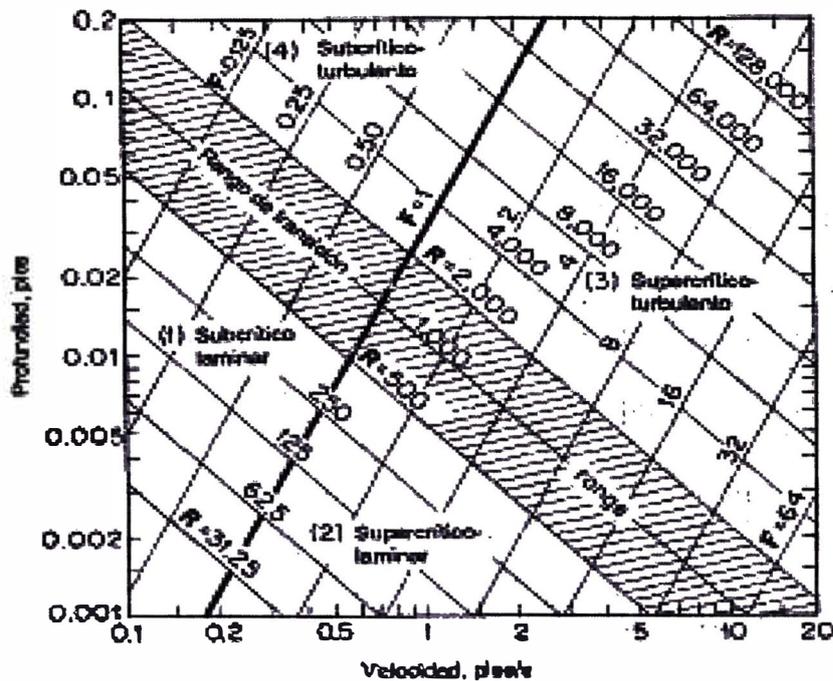


Figura N° 1: Relación profundidad - velocidad de flujo en un canal abierto.(Chow, 1994)

2.2.3 Propiedades físicas de mezclas de relave

2.2.3.1. Densidad, peso específico y gravedad específica

La densidad del fluido se define como masa por unidad de volumen. Una propiedad del fluido directamente relacionada con la densidad es el *peso específico* o peso por unidad de volumen y se define como

$$\gamma = \rho g \dots \dots \dots \text{(Ec. 5)}$$

Donde g es la gravedad local. Las unidades de peso específico son N/m^3 . Para el agua se utiliza el valor nominal de 9800 N/m^3 .

Con frecuencia se utiliza la *gravedad específica* para determinar el peso específico o densidad de un fluido (en general un líquido). Se define como la relación de la densidad de una sustancia con la del agua a una temperatura de referencia de 4°C : (Potter, 2002)

$$G_s = \frac{\rho}{\rho_{\text{agua}}} = \frac{\gamma}{\gamma_{\text{agua}}} \dots \dots \dots \text{(Ec. 6)}$$

2.2.3.2. Concentración de sólidos

Es la relación gravimétrica o volumétrica de las partículas sólidas respecto de la muestra general (agua y sólidos). En minería, la concentración de sólidos por lo general se expresa en términos gravimétricos y en porcentaje. Este parámetro influye significativamente en el comportamiento reológico de los relaves mineros.

$$C_w = \frac{W_{\text{sólido}}}{W_{\text{sólido}} + W_{\text{líquido}}} * 100\% \dots \dots \dots \text{(Ec.7)}$$

2.2.3.3. Diámetro de partícula o grano

La parte sólida de los relaves está formada por partículas de diferentes diámetros dentro de la mezcla total. La Curva granulométrica facilita determinar diámetros representativos como el D_{50} , D_{30} , D_m , entre otros. Así también los coeficientes de Uniformidad (C_u) y Curvatura (C_c) que define la gradación de los diámetros de partículas de una muestra.

2.2.4 Propiedades químicas

2.2.4.1. Potencial de hidrógeno

Conocido por sus siglas pH, mide la cantidad de iones de hidrógeno que contiene una solución determinada. La escala del pH abarca tres condiciones:

Condición de acidez, para valores de pH menor a 7

Condición Neutra, para pH igual a 7

Condición Básica, para valores de pH mayor a 7

En la minería, el transporte y almacenamiento de relaves se realiza a un pH lo más cercano al valor neutro, debido al mejor manejo ambiental.

2.2.5 Propiedades mineralógicas

2.2.5.1. Mineralogía

Es la ciencia dedicada al estudio de los minerales. Los minerales son sustancias inorgánicas de origen natural con una composición química definida y de forma cristalina. Es por ello que un estudio mineralógico de una muestra de relave ayuda a caracterizar cualitativamente las partículas sólidas presentes en el relave minero.

2.2.6 Propiedades reológicas

2.2.6.1. Esfuerzo de cedencia

Es el esfuerzo cortante mínimo diferente de cero necesario para hacer fluir una sustancia. Por lo general los flujos no newtonianos Pseudoplásticos presentan esta característica en su comportamiento reológico. Este parámetro también es llamado esfuerzo de fluencia. Su determinación se hace con equipos llamados reómetros mediante la gráfica esfuerzo vs velocidad de deformación.

2.2.7 Hidráulica de canales abiertos

Es la parte de la hidráulica que estudia el transporte de fluidos (generalmente agua) a través de conductos no presurizados que mantienen contacto con la atmósfera, cuyo movimiento es gobernado por fuerzas gravitatorias. (Rocha, 2007).

2.2.8 Descripción del movimiento de un fluido

En la descripción de un campo de flujo conviene pensar en partículas individuales, cada una de las cuales se considera como una pequeña masa de fluido, compuesta de un gran número de moléculas, que ocupan un volumen pequeño ΔV que se mueve junto con el flujo. Si el fluido es incompresible, el volumen no cambia de magnitud, pero puede deformarse. Si el fluido es compresible, o si el volumen se deforma, también cambia de magnitud. En ambos casos se considera que las partículas se desplazan a través de un campo de fluido como una entidad.

En el estudio de la mecánica de partículas, donde se presta atención a partículas individuales, el movimiento es considerado como una función del tiempo. La posición, velocidad y aceleración de cada partícula se expresan como $\mathbf{s}(x, y, z)$, $\mathbf{V}(x, y, z, t)$, y $\mathbf{a}(x, y, z, t)$ y las cantidades de interés pueden ser calculadas. El punto (x, y, z) localiza el punto de inicio de cada partícula. Esta es la descripción **Lagrangiana** del movimiento, nombrada en honor de Joseph L. Lagrange (1736-1813), utilizada en los cursos de dinámica. En la descripción Lagrangiana muchas partículas pueden ser seguidas y su influencia en otras observada. Esto, sin embargo, llega a ser una tarea difícil conforme el número de partículas es cada vez más grande, como en el flujo de un fluido.

Una alternativa del seguimiento de cada partícula por separado es identificar puntos en el espacio y luego observar la velocidad de las partículas que pasan por cada punto; se puede observar el cambio de velocidad conforme las partículas pasan por cada punto, esto es, $\partial v/\partial x$, $\partial v/\partial y$ y $\partial v/\partial z$, y observar si la velocidad cambia con el tiempo en cada punto determinado, es decir $\partial v/\partial t$. Esta es la descripción Euleriana del movimiento, nombrada en honor de Leonhard Euler (1707-1783). Las propiedades de flujo tal como la velocidad son funciones tanto del espacio como del tiempo. En coordenadas cartesianas la velocidad se expresa como $V = V(x, y, z, t)$. La región del flujo considerada se llama campo de flujo. (Potter, 2002)

2.2.9 Tipo de flujos en canales abiertos

2.2.9.1. Flujo no permanente

El problema del flujo no permanente más comúnmente encontrado en canales abiertos está relacionado con las *ondas traslacionales*, que son ondas gravitacionales que se prolongan en un canal abierto y originan un desplazamiento significativo de las partículas de agua en una dirección paralela al flujo. En flujo en canales abiertos reales las partículas de agua también pueden oscilar (Chow, 1994).

Para propósitos de análisis, el flujo no permanente se clasifica en dos tipos: el flujo no permanente gradualmente variado y el flujo no permanente rápidamente variado. En el primer tipo la curvatura del perfil de onda es suave y el cambio en la profundidad es gradual. La componente vertical de la aceleración de las partículas de agua es insignificante en comparación con la aceleración total, en tanto que el efecto de la fricción del canal a menudo es apreciable y debe

considerarse para un análisis exacto. En el segundo tipo la curvatura de perfil de onda es muy grande, de modo que la superficie del perfil puede volverse virtualmente discontinua. La componente vertical de la aceleración, por consiguiente, juega un papel importante en el fenómeno, en tanto que el efecto de fricción en el canal es insignificante en comparación con el efecto dinámico del flujo. Ejemplos comunes de flujo no permanente gradualmente variado son las ondas de creciente y las debidas a la operación lenta de estructuras de control, como las compuertas y las compuertas deslizantes en esclusas. Algunos ejemplos de flujo no permanente rápidamente variado son las oleadas de diferentes clases, causadas por la operación rápida de estructuras de control. (Chow, 1994)

2.2.9.2. Flujo uniforme

Se considera que el flujo uniforme tiene las siguientes características principales: 1) la profundidad, el área mojada, la velocidad y el caudal en cada sección del canal son constantes; y 2) la línea de energía, la superficie del agua y el fondo del canal son paralelos; es decir, sus pendientes son todas iguales, o $S_F = S_W = S_0 = S$. para propósitos prácticos, el requerimiento de una velocidad constante puede interpretarse libremente como el requerimiento de que el flujo posea una velocidad media constante. Sin embargo, en rigor, esto significaría que el flujo posee una velocidad constante en cada punto de sección del canal dentro del tramo del flujo uniforme. En otras palabras, la distribución de velocidades a través de la sección del canal no se altera dentro del tramo. Este patrón estable de la distribución de velocidades puede obtenerse cuando la llamada "capa límite" se encuentra desarrollada por completo. (Chow, 1994)

El flujo uniforme sucede en un canal cuando la profundidad y la velocidad no varían a lo largo de éste. En tales condiciones, el grado de energía, la superficie del agua y el fondo son paralelos. Así también este flujo puede ser pronosticado por una ecuación de la forma

$$V = C\sqrt{RS_0} \dots\dots\dots (Ec.8)$$

Donde S_0 es la pendiente del fondo del canal y C es el coeficiente de Chezy, el cual es independiente del número de Reynolds puesto que el flujo se considera completamente turbulento. Ha llegado a ser una práctica común de Ingeniería relacionar C con la aspereza del canal y el radio hidráulico por medio de la *relación de Manning*.

$$C = \frac{c_1}{n} R^{\frac{1}{6}} \dots\dots\dots (Ec.9)$$

Donde $C_1 = 1$ con unidades SI y $C_1 = 1.49$ con unidades inglesas. Si se combinan las ecuaciones Ec. 8 y Ec. 9 con la ecuación de descarga se obtiene la ecuación de *Chezy-Manning*

$$Q = \frac{C_1}{n} AR^{2/3} \sqrt{S_0} \dots\dots\dots (Ec.10)$$

2.2.9.3. Flujos gradualmente y rápidamente variados

El flujo rápidamente variado tiene curvatura de sus líneas de corriente muy pronunciadas. El cambio de la curvatura puede volverse tan abrupto que el perfil de flujo virtualmente se rompe, dando como resultado un estado de alta turbulencia; éste es el flujo rápidamente variado con perfil discontinuo, del cual el resalto hidráulico es un ejemplo.

En vista del contraste con el flujo gradualmente variado, deben considerarse los siguientes aspectos característicos del flujo rápidamente variado.

1. La curvatura del flujo es tan pronunciada que no puede suponerse la distribución de presiones como hidrostática.
2. La variación rápida del régimen de flujo a menudo ocurre en un tramo más o menos corto. Por consiguiente, la fricción en las fronteras, la cual debería jugar el papel primordial en el flujo gradualmente variado, es comparativamente pequeña y en la mayor parte de los casos es insignificante.
3. Cuando un flujo rápidamente variado ocurre en una estructura de transición abrupta, las características físicas de flujo en lo fundamental están fijadas por la geometría de la frontera de la estructura y por el estado de flujo.
4. Cuando ocurren cambios rápidos en el área mojada en el flujo rápidamente variado, los coeficientes de distribución de velocidades α y β a menudo son mucho mayores que la unidad y no pueden determinarse con exactitud.
5. Pueden ocurrir zonas de separación, remolinos y corrientes secundarias que tienden a complicar el patrón de flujo en un flujo rápidamente variado y a distorsionar la distribución real de velocidades en la corriente. En tales casos, el flujo en realidad está confinado por una o más zonas de separación y no por fronteras sólidas. (Chow, 1994)

2.2.10 Reología

La Reología es la parte de la física que estudia la deformación y el flujo de un cuerpo sometido a fuerzas externas. Describe la relación entre el esfuerzo aplicado y la deformación generada en cuerpos sensibles a la deformación o fluencia. En tal contexto, explica principalmente, el comportamiento de los materiales que no pueden describirse únicamente por modelos lineales de hidrodinámica (Newton), ni por leyes que gobiernan la elasticidad de los cuerpos (Hooke).

Su objetivo principal es encontrar las ecuaciones constitutivas que relacionen el esfuerzo, la deformación producida, el gradiente de velocidad o velocidad de corte y el tiempo, que permitan modelar el comportamiento del cuerpo. Dependiendo de cómo sea esta relación, los materiales presentan comportamientos reológicos diferentes. (Schramm, 2000).

2.2.11 Modelos reológicos

Los investigadores a menudo, buscan describir el comportamiento de los flujos mediante modelos reológicos. Existen muchos modelos reológicos para todos los tipos de flujos (multifásicos) y fluidos (monofásicos). Reológicamente, las sustancias se pueden clasificar según la relación entre el esfuerzo de corte actuante con la velocidad de corte o velocidad de deformación (Ver Figura N° 2).

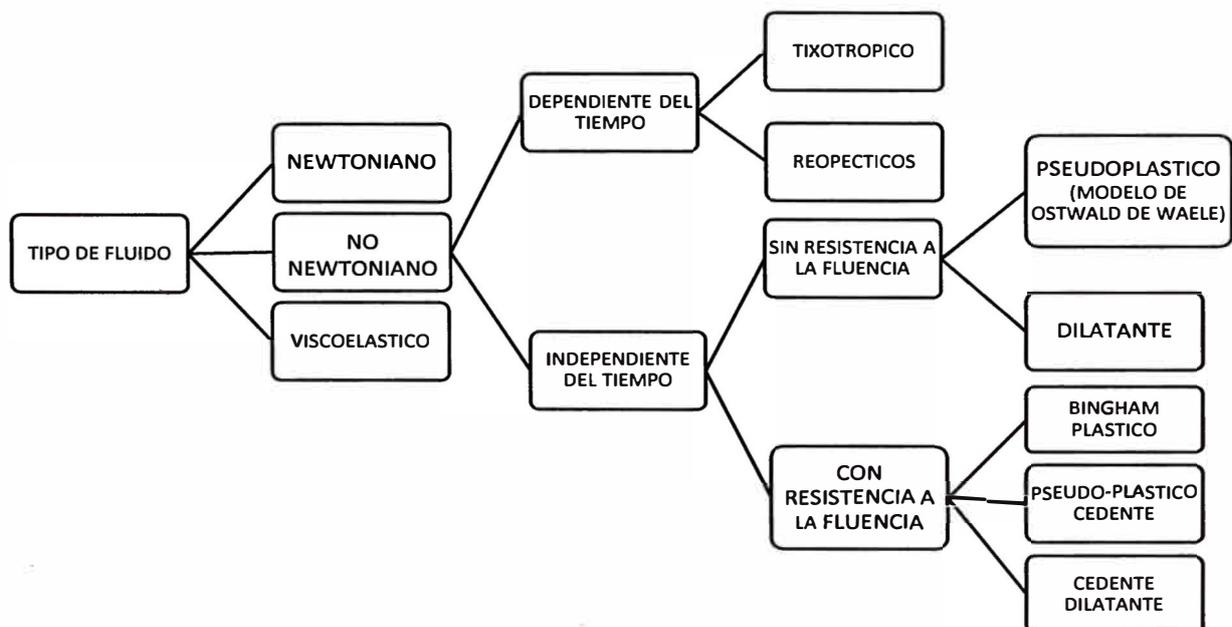


Figura N° 2: Clasificación de flujos según su reología (Cabrejos, 2011)

2.2.11.1. Ecuación de O'Brien & Julien

En 1985, O'Brien y Julien realizaron investigaciones en el flujo de lodos con alta concentración de sedimentos finos en la matriz fluida.

En una matriz fluida con baja concentración de sedimentos, los esfuerzos turbulentos predominan en el flujo. Por otro lado, una alta concentración de partículas gruesas combinada con una baja concentración de partículas finas, origina esfuerzos dispersivos. El modelo cuadrático propuesto por O'Brien y Julien describe el comportamiento del flujo, desde el régimen continuo viscoso hasta el comportamiento turbulento/dispersivo. En este contexto, el flujo de sedimentos hiperconcentrados, como el flujo de lodos o el flujo de escombros, envuelve la interacción entre la parte fluida y los sedimentos de una manera compleja, considerándose entre otros la acción de la turbulencia, los esfuerzos viscosos, el intercambio de momentum interparticular sedimento-fluido, el arrastre de partículas y la cohesión de partículas sedimentarias. La cohesión del sedimento fino, controla el comportamiento no-newtoniano de la matriz fluida. Esta cohesión contribuye al esfuerzo de cedencia el cual debe ser excedido por una fuerza aplicada para iniciar el flujo.

El esfuerzo cortante (τ) en flujos sedimentarios hiperconcentrados, puede calcularse por la suma de 5 componentes del esfuerzo.

$$\tau = \tau_c + \tau_{mc} + \tau_v + \tau_t + \tau_d \quad \dots \text{(Ec.11)}$$

Dónde:

τ_c : Esfuerzo límite cohesivo

τ_{mc} : Esfuerzo de Mohr-Coulomb

τ_v : Esfuerzo cortante viscoso,

τ_t : Esfuerzo cortante turbulento

τ_d : Esfuerzo cortante dispersivo.

En términos de la velocidad de corte (dv/dy), el modelo reológico cuadrático de O'Brien y Julien se muestra:

$$\tau = \tau_y + \mu \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right) + C \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \quad \dots \text{(Ec. 12)}$$

$$\tau_y = \tau_c + \tau_{mc} \quad \dots \text{(Ec.13)}$$

$$C = \rho_m l_m^2 + f(\rho_m, C_v) d_s^2 \dots \dots \dots \text{(Ec.14)}$$

Donde:

μ : Viscosidad dinámica de la mezcla,

C : Coeficiente de esfuerzos cortantes inerciales

τ_c : Esfuerzo límite cohesivo (esfuerzo de fluencia),

$\tau_{mc} = p_s \tan \phi$: Esfuerzo de corte de Mohr-Coulomb,

p_s : Presión intergranular,

ϕ : Ángulo de reposo del material,

ρ_m : Densidad de la mezcla,

l_m : Longitud de Prandtl

d_s : Tamaño del sedimento

C_v : Concentración volumétrica.

O'Brien y Julien, indicaron que la viscosidad y el esfuerzo de cedencia se incrementan exponencialmente con la concentración volumétrica de sedimentos, según la relación:

$$\mu = \alpha_1 e^{\beta_1 C} \dots \dots \dots \text{(Ec.15)}$$

y la relación:

$$\tau = \alpha_2 e^{\beta_2 C} \dots \dots \dots \text{(Ec.16)}$$

Donde los coeficientes empíricos α_1 , β_1 , α_2 y β_2 se obtienen por análisis de regresión para cada caso, O'Brien y Julien señalaron que cuando menor sea el contenido de arcilla en una mezcla de lodo, menor es el esfuerzo de cedencia de la mezcla; aunque esta tendencia no se nota claramente cuando se observa que el esfuerzo de cedencia y la viscosidad se incrementan en tres órdenes de magnitud cuando la concentración volumétrica crece de 0,10 a 0,46. Apuntan que el efecto de agregar partículas de arena a suspensiones de arcilla bentonítica o a matrices de barro es despreciable siempre que la mezcla se incrementa rápidamente para concentraciones volumétricas menores que el 20%. Sin embargo, la viscosidad de la mezcla se incrementa rápidamente para concentraciones de arena superiores al 20%. El campo de estudios reológicos se puede ahora extender, considerando que Schatzmann et al. desarrollaron un

equipo de medición, con esfera, que emplea para determinar el comportamiento reológico de fluidos con grandes partículas sólidas. (O'Brien & P. Julien, 1988).

2.2.11.2. Ecuación de Einstein

El primer modelo teórico fue desarrollado por Einstein en su tesis doctoral presentada en la Universidad de Zúrich (1911).

$$\frac{\mu}{\mu_0} = 1 + \frac{5}{2} C_v \dots\dots\dots (Ec.17)$$

Donde:

μ : Viscosidad de la suspensión.

μ_0 : Viscosidad del fluido sin partículas.

C_v : Concentración de sólidos

Este modelo es válido solamente para concentraciones muy pequeñas y partículas esféricas. Para partículas no esféricas, el cálculo fue extendido por Jeffrey (1922).

Si las partículas son elipsoides muy alargados:

$$\frac{\mu}{\mu_0} = 1 + 2C_v \dots\dots\dots (Ec.18)$$

Este resultado sugiere que la viscosidad relativa no depende muy significativamente de la forma de las partículas, al menos para concentraciones pequeñas, conservativamente menores que 1%. (Fuentes, 2008)

2.2.11.3. Ecuación de Oswaltd

$$\tau_{yx} = -m \left| \frac{dv_x}{dy} \right|^{n-1} \frac{dv_x}{dy} \dots\dots\dots (Ec.19)$$

Esta ecuación de dos parámetros se conoce también con el nombre de ley de la potencia. Para $n=1$ se transforma en la ley de la viscosidad de Newton, siendo $m = \mu$; por consiguiente, la desviación del valor de n con respecto a la unidad es una medida del grado de desviación del comportamiento newtoniano. Cuando n es menor que uno el comportamiento es pseudo-plástico, mientras que para valores superiores a la unidad es dilatante.

2.2.11.4. Ecuación de Bingham

$$\tau_{yx} = -\mu_0 \frac{dv_x}{dy} \pm \tau_0 \quad \text{si } |\tau_{yx}| > \tau_0$$

$$\frac{dv_x}{dy} = 0 \quad \text{si } |\tau_{yx}| < \tau_0$$

..... (Ec.20)

Dónde:

μ_0, τ_0 : Parámetros de Bingham para la suspensión.

Toda sustancia que se comporta de acuerdo a este modelo de dos parámetros se denomina plástico de Bingham; permanece rígida mientras el esfuerzo cortante es menor de un determinado valor τ_0 , por encima del cual se comporta de forma semejante a un fluido newtoniano.

2.2.12 Reometría

El principio básico de la reometría es el de realizar experimentos donde las características del flujo, tales como el esfuerzo de corte o tensión de corte y el perfil de la distribución de velocidades, pueden conocerse previamente. Bajo estas condiciones, determinar la curva del flujo definiendo: o la variación del esfuerzo de corte como una función de la velocidad de corte, o a partir de las mediciones de valores como el torque y la velocidad rotacional. (Mendoza, 2014)

Cuadro N° 1: Clasificación de reómetros (Cabrejos, 2011)

Clasificación	Método	Equipo/accesorio necesario	Modos
Métodos directos estáticos	a. vane	Viscosímetro o reómetro	CR
	b. Placa ranurada	Placa ranurada	
	c. Penetrómetro	Penetrómetro	N.A
	d. Plano inclinado	Plano inclinado	N.A
Métodos directos reométricos	a. Rampa de esfuerzo (Stress ramp)	Reómetro	CS
	b. Deformación (Creep)	Reómetro	CS
Métodos indirectos	a. Explotación de la curva de flujo	Viscosímetro o reómetro	CR o CS
	b. Modelo de Casson	Viscosímetro o reómetro	CR o CS
	c. Modelo de Herschel – Bulkley	Viscosímetro o reómetro	CR o CS

Donde:

CR: Velocidades angulares controladas

CS: Esfuerzos de corte controlados

N.A: Ninguna de las anteriores

CAPITULO III: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación consiste en monitorear el avance del frente de onda de una masa de relave minero a determinadas concentraciones de sólidos a lo largo de un canal abierto de laboratorio de inclinaciones variables; el movimiento se origina por la apertura súbita de la compuerta de retención ubicada aguas arriba del canal. Las variables medidas son la posición del frente de onda relativa a la ubicación de la compuerta y el tiempo transcurrido del fenómeno hasta su detención.

Para cumplir con los objetivos de esta investigación se debe de construir un canal de pendiente variable y realizar procedimiento de caracterización o preparación de muestras de relave minero a diferentes concentraciones.

3.2 CONSTRUCCIÓN DEL CANAL DE INVESTIGACIÓN

3.2.1 Base estructural del canal

La estructura del canal consiste en un sistema de vigas principales y secundarias dispuestas en forma de malla con una longitud principal de 3.60 m. Las vigas son de F° F° y perfil I que fueron calculados para las condiciones más exigentes de cargas actuantes tanto de flexión como esfuerzos cortantes. Sobre estas vigas se pegó dos planchas de acrílico de 8.0 mm de espesor (0.70 m x 1.80 m) como base o fondo del canal. Así mismo se verificó que las deformaciones de la estructura se encuentren dentro de lo permisible (Ver Anexo A).

Cuadro N° 2: Propiedades geométricas de vigas. (Elab. propia)

B _f (cm)	H (cm)	t _f (cm)	t _h (cm)	Y (cm)	A (cm ²)	I _{x-x} (cm ⁴)	J (cm ³)
7.10	8.38	0.46	0.7	5.15	16.298	271.892	3.269

Cuadro N° 3: Fuerzas / Momentos actuantes y resistentes - Vigas (Elab. propia)

	Fuerza/Momento Resistente	Fuerza/Momento Actuante
Axial	37130.51 Kg	0 Kg
Corte	27504.08 Kg	45.51 Kg
Flexión	2354.26 Kg -m	13.37 Kg -m

Cuadro N° 4: Deflexión mínima y máxima. (Elab. propia)

Deflexión mínima (mm)	Deflexión máxima (mm)
0.010	0.114



Figura N° 3: Vigas principales del canal. (Elab. propia)

3.2.2 Apoyos de la estructura del canal

Estos elementos cumplen la función de transmitir las cargas hacia la losa del piso. Los apoyos que se diseñaron con elementos tipo tubo de F° F° de diámetro 1 3/4" unidos por puntos de soldadura tipo E6013 (electrodo). El apoyo ubicado aguas arriba del canal permite la rotación del canal sobre un eje de acero en posición horizontal (ver Figura N° 4).

El apoyo ubicado aguas abajo tiene adosado un sistema de variación de pendiente que a su vez tiene acoplado un dispositivo que permite compensar el desplazamiento relativo de la estructura del canal con este apoyo.

Ambos apoyos tienen ruedas de 5" en sus cuatro patas para poder movilizarlo a otros lugares donde se necesite. El Anexo B muestra los planos con los detalles y dimensiones de cada elemento que forma parte de esta estructura.

Cuadro N° 5: Fuerzas actuantes y resistentes - Elementos de apoyos. (Elab. propia)

Tipo de carga	Fuerza Resistente	Fuerza Actuante
Tracción	9423.10 Kg	5.69 Kg
Compresión	7623.47 Kg	29.27 Kg

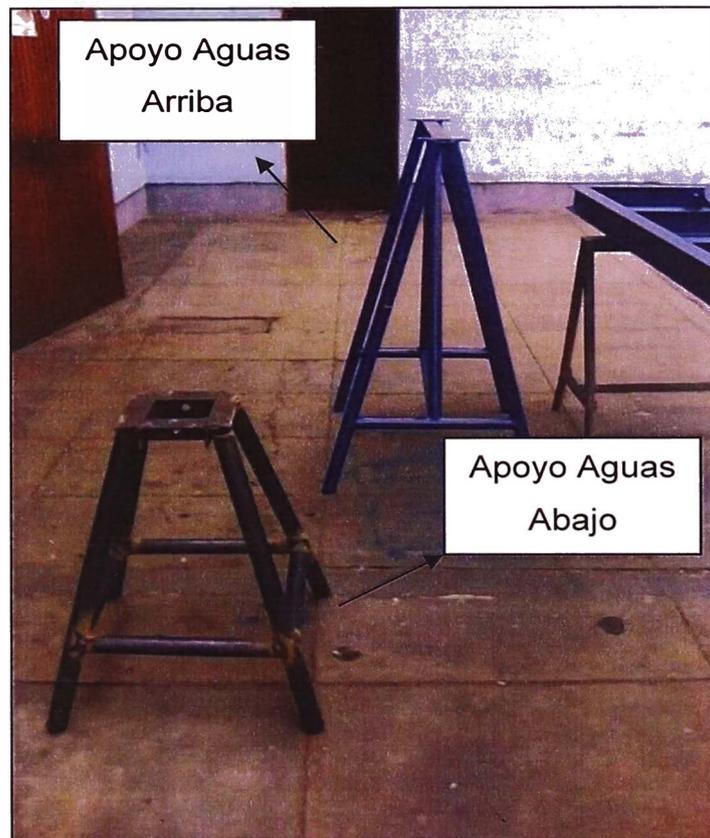


Figura N° 4: Estructuras de apoyo del canal. (Elab. propia)

3.2.3 Sistema de variación de pendiente

Este dispositivo se diseñó para variar la pendiente del fondo del canal y consiste en una varilla roscada de acero inoxidable de 1.5" de diámetro acoplada a un dispositivo que permite compensar el desplazamiento horizontal relativo de la estructura del canal con este apoyo ubicado aguas abajo (ver Figura N° 5).



Figura N° 5: Sistema de variación de pendiente. (Elab. propia)

3.2.4 Sistema de variación de talud de pared

Consiste en una pieza tipo bisagra que tiene acoplada un elemento de acero con un extremo en punta que se apoya en cada ranura que define una inclinación o talud de pared. Existen 8 puntos de apoyo por cada pared de canal garantizando su estabilidad e inclinación adecuada. El Anexo B muestra los planos con los detalles y dimensiones de cada elemento que forma parte de este sistema.



Figura N° 6: Sistema de variación de talud lateral. (Elab. propia)

3.2.5 Sistema de fijación del ancho de la base del canal

El canal diseñado permite la variación de su ancho ya que las juntas de la base con las paredes son de una silicona acética (Sikasil IA) resistente a la humedad que nos brinda un grado de versatilidad al aplicarlo y retirarlo en cada ancho que se requiere. La fijación del ancho se logra con un juego de 16 prensas planas que ejercen presión a un extremo del sistema de variación de talud contra la base del canal y el ala de la viga principal (Ver Figura N° 7). El Anexo B muestra los planos con los detalles y dimensiones de cada elemento que forma parte de este sistema.



Figura N° 7: Sistema de fijación del ancho de la base. (Elab. propia)

3.2.6 Compuerta de retención de relaves

Este elemento está hecho de acrílico transparente de 8.0 mm de espesor con bordes forrados con jebe micro poroso que evita la fuga del relave por los contornos de la compuerta garantizando una junta hermética con las paredes y base del canal. Las formas y dimensiones de las compuertas varían desde rectangulares hasta trapezoidales con anchos de base de 0.10 m a 0.40 m (ver Figura N° 8).



Figura N° 8: Compuertas de diferentes geometrías. (Elab. propia)

3.2.7 Sistema de descarga a la salida

Este sistema permite disipar y almacenar de manera ordenada, limpia y segura el relave usado en cada ensayo. Consiste en una estructura de disipación por impacto que canaliza el relave hacia un cilindro de 160 litros como lugar de almacenamiento. Los elementos de este sistema descritos en líneas anteriores descansan sobre una estructura de F° F° con perfiles cuadrados de 1 ¼" y 1" que permite mover todo el sistema gracias a las ruedas que tiene en cada vértice de su base (ver Figura N° 9). El Anexo B muestra los planos con los detalles y dimensiones de cada elemento que forma parte de este sistema.



Figura N° 9: Sistema de descarga y almacenamiento. (Elab. propia)

3.3 CARACTERIZACIÓN DE LAS MUESTRAS DE RELAVE

Las muestras de relave que se usaron para la investigación provienen de los laboratorios de la empresa Golder S.A. cuyas características fueron obtenidas mediante los procedimientos y ensayos que se muestran a continuación.

3.3.1 Ensayos de granulometría y límites de Atterberg

Estos ensayos fueron realizados en las instalaciones del Laboratorio de Mecánica de suelos de la Facultad de Ingeniería Civil bajo las normas ASTM D442 y NTP 3309.129 obteniéndose los resultados mostrados en la Cuadro N° 6. Estos resultados nos permiten conocer las características físicas del grano sólido que forma parte del relave. Cabe mencionar que este parámetro no ha variado, sin embargo, se cree que el diámetro de las partículas sólidas juega un papel importante en la mecánica de flujos de relaves.

Cuadro N° 6: Granulometría y Límites de Atterberg. (Elab. propia)

Clasificación SUCS	D ₆₀ (mm)	D ₃₀ (mm)	D ₁₀ (mm)	Cu	Cc	LL	LP	IP
Arcilla limosa arenosa (CL-ML)	0.0075	0.0060	0.0010	--	--	25	18	7

3.3.2 Ensayos de gravedad específica

Al igual que los ensayos anteriores, estos fueron realizados en el Laboratorio de Mecánica de suelos de la Facultad de Ingeniería Civil bajo la norma NTP 339.331 obteniéndose los resultados mostrados en el Cuadro N° 7. La finalidad de estos ensayos nos ayuda a comprender la relación gravimétrica de la parte sólida con respecto a la parte líquida (agua), que en conjunto forman una mezcla hiperconcentrada llamada relave.

Cuadro N° 7: Densidad, peso específico, gravedad específica. (Elab. propia)

Densidad (g/cm ³)	Peso Específico (T/m ³)	Gravedad Específica
2.824	27.703	2.824

3.3.3 Ensayos Químicos

Dentro de este grupo de ensayos, a modo cualitativo se tomó el potencial de Hidrogeno (pH) de la muestra de relave obtenido de la muestra global

proporcionada por los Laboratorios Golder S.A basándonos en los procedimientos de la norma NTP 339.176. (Ver Cuadro N° 8).

Cuadro N° 8: Potencial de hidrogeno en relave. (Elab. propia)

pH	Temperatura (°C)	Medio
7.50	20.7	Básico
7.70	20.3	Básico
7.69	20.7	Básico

3.3.4 Ensayos de densidad y peso específico de la mezcla

Estos ensayos son realizados en las instalaciones del Laboratorio de pruebas físicas y químicas acondicionado por el equipo de trabajo de esta investigación en un espacio proporcionado por el Laboratorio Nacional de Hidráulica (LNH). El protocolo consiste en calcular el peso de la muestra de relave depositada en un Baker (recipiente) que tienen un volumen de almacenamiento de 30 ml fijo. Para estos ensayos se toma tres (3) Baker por muestra para validar la hipótesis de medio continuo ya que los resultados de las tres muestras relave a ensayar nos dan valores con una desviación estándar promedio de 0.024 g/cm³; así también los tres bakers sirven para evitar algún error humano en la medición y registro de la densidad. Para esta investigación los rango de la densidad fluctuaron entre 1.574 g/cm³ hasta 1.895 g/cm³.

$$\gamma = \frac{W_{mh}}{V_{recip}} \dots\dots\dots (Ec.21)$$

$$W_{mh} = (W_{recip+mh}) - W_{recip} \dots\dots\dots (Ec.22)$$

Donde:

W_{mh} : Peso de muestra húmeda (gr)

V_{recip} : Volumen de recipiente o baker (ml)

W_{recip} : Peso de recipiente o baker (gr)

$W_{recip+mh}$: Peso de muestra húmeda en recipiente o baker (gr).

3.3.5 Ensayos de concentración de sólidos de la mezcla

Estos ensayos son realizados en las instalaciones del Laboratorio de pruebas físicas y químicas acondicionado por el equipo de trabajo de esta investigación en un espacio proporcionado por el Laboratorio Nacional de Hidráulica (LNH). El protocolo está basado en las normas ASTM D2216 para la obtención del grado de humedad, sin embargo, en este proyecto se tiene por interés calcular el contenido de sólido gravimétrico. El procedimiento consiste en la toma de una muestra

representativa de la mezcla de relave en 5 taras, que después fueron pesadas (Peso de muestras + Peso de taras), posteriormente llevadas al horno a una temperatura de 100 °C durante 6 horas (condiciones para garantizar la evaporación del agua contenida en la mezcla). Luego de este tiempo las muestras son retiradas del horno eléctrico y enfriado al medio ambiente. Finalmente, se pesa las muestras en su estado seco y se relacionan con sendos pesos en su estado húmedo inicial. Esta investigación contempla trabajar con un rango definido de concentraciones para lo cual, si la concentración obtenida no coincide con la requerida, se procede a calcular el diferencial de agua necesaria para llegar a la concentración de interés. Terminado este paso, se realiza el mismo procedimiento descrito en el párrafo anterior para verificar si la concentración obtenida coincide con la concentración requerida, de lo contrario se seguirá con el procedimiento descrito para estos ensayos hasta lograr una aproximación permisible.

Cabe señalar que la obtención de muestra representativa de esta mezcla se consigue mediante un proceso de batido continuo por 10 minutos con una varilla de acero inoxidable que nos permita raspar todo el material sólido de la base y mantenerlo en suspensión para que se mezcle con todo el volumen de la muestra dentro del balde. Adicional a ello, se procede a introducir un cucharón de acero inoxidable y extraer una muestra de relave desde el fondo para después dejarlo caer, a fin de observar la homogeneidad de la muestra (sin grumos). De no pasar dichas pruebas la muestra no puede ser considerada representativa, y por ello tendría que repetir el procedimiento desde el batido. En esta investigación el rango de las concentraciones gravimétricas se encuentran entre 59.898 % w/w hasta 70.058 % w/w.

$$C_W = \frac{W_{ms}}{W_{mh}} \times 100\% \dots\dots\dots (Ec.23)$$

$$W_{ms} = (W_{r+ms}) - W_r \dots\dots\dots (Ec.24)$$

$$W_{mh} = (W_{r+mh}) - W_r \dots\dots\dots (Ec.25)$$

Donde:

C_w : Concentración de sólidos (%)

W_{ms} : Peso de muestra seca de relave (gr)

W_{mh} : Peso de muestra húmeda de relave (gr)

W_r : Peso de recipiente (gr)

W_{r+ms} : Peso de muestra seca en recipiente (gr)

W_{r+mh} : Peso de muestra húmeda en recipiente (gr)

3.4 DISEÑO DE EXPERIMENTO

3.4.1 Ensayos preliminares

Se define como los ensayos realizados para conocer un poco más este tipo de fenómenos a partir de la observación y medición de parámetros a tomar en cuenta en los ensayos definitivos. De esta manera se optimiza la cantidad de ensayos significativos para la investigación, definimos nuestro rango de trabajo, grado de precisión de nuestras variables, errores admisibles, y otras consideraciones que deben quedar claras para continuar con los ensayos definitivos que serán tomadas en cuenta para la etapa de análisis e interpretación de resultados. El grupo de ensayos preliminares fueron de 19 pruebas con diferentes concentraciones y pendientes.

3.4.1.1. Sensibilidad de la Pendiente

Según los resultados obtenidos en los ensayos preliminares se observó que una diferencia de 0.5% en la pendiente de la base del canal muestra una variación significativa en la velocidad media de la onda con valores entre 0.05 m/s y 0.16 m/s. Por otro lado, el sistema que permite variar la pendiente tiene una precisión de 0.5% con una pendiente máxima de 9%. Finalmente, dadas las condiciones y mediciones mostradas en el Cuadro N° 9 se consideró como pendientes de estudio los valores de 0.5%, 1%, 2%, 2.5%, 5%, 7.5% y 9%.

Cuadro N° 9: Datos de ensayos preliminares, variación de velocidad y variación de pendiente.
(Elab. propia)

N°	Prueba 1			Prueba 2			Variaciones		
	C _w (%)	S (%)	V _m (m/s)	C _w (%)	S (%)	V _m (m/s)	ΔC _w (%)	ΔS (%)	ΔV _m (m/s)
1	73.283	0.5	0.27	73.283	10	0.233	0	9.5	0.037
2	73.283	10	0.19	73.283	10	0.233	0	0	0.043
3	63.257	1.5	0.67	63.223	2	0.72	0.034	0.5	0.05
4	72.783	0.5	0.52	72.783	10	0.46	0	9.5	0.06
5	73.283	0.5	0.27	73.283	10	0.19	0	9.5	0.08
6	60.5	0.5	0.79	60.5	10	0.89	0	9.5	0.1
7	62.5	0.5	0.86	62.5	1	1.02	0	0.5	0.16
8	62.983	1	0.55	63.07	6	0.74	0.087	5	0.19
9	59.5	0.5	0.72	59.5	10	0.93	0	9.5	0.21
10	60	0.5	0.8	60	10	1.34	0	9.5	0.54
11	59.5	0.5	0.72	59.5	10	1.31	0	9.5	0.59

Donde:

ΔC_w = Variación de la concentración gravimétrica.

ΔS = Variación de la pendiente de fondo.

ΔV_m = Variación de la Velocidad media.

Con los ensayos preliminares se pudo observar que una variación de pendiente en diferentes rangos de concentración no conlleva una misma variación de la velocidad media del frente de onda.

3.4.1.2. Sensibilidad de la Concentración de sólidos

De igual manera que con la variable pendiente, tomando el registro de los ensayos preliminares se observó que una variación aproximada de 0.50% en la concentración genera cambios significativos en la velocidad media del frente de onda (0.25 m/s) bajo las condiciones fijas de pendiente y ancho. Además, el procedimiento de definir una concentración de sólidos nos permite aproximarnos a $\pm 0.25\%$ de la concentración de interés sin realizar más de una repetición del protocolo de preparación de muestra (Ver acápite 3.3.5).

Con estos indicios, se consideró 1% como variación significativa mínima en concentraciones de sólidos para lo cual el error de $\pm 0.25\%$ respecto a la concentración de interés no altere los cálculos posteriores.

Los relaves son transportados por lo general a una concentración de 60% w/w ya que permite movilizar estas sustancias sin mucha dificultad debido a la cantidad de agua usada. Sin embargo, la tecnología busca realizar este transporte con relaves a concentraciones más altas como el caso de relaves espesados que pueden llegar a 70% w/w. Teniendo presente estos datos y conociendo mediante ensayos preliminares que las muestras a concentraciones por debajo de 67% de presentan un desplazamiento apreciable respecto a otros ensayos realizados con concentraciones superiores (Ver Figura N° 10 y Figura N° 11). Es por esto que se define como concentraciones gravimétricas de estudio los valores de 60%, 61%, 62%, 63%, 64%, 65%, 66% y 67%.

Para los ensayos preliminares se tomaron variaciones aleatoria y se compararon las pruebas bajo una variación de la pendiente igual a cero para observar la incidencia e importancia de las variaciones de concentración gravimétrica de sólidos (Ver Cuadro N° 10).

Cabe señalar que las concentraciones definidas líneas arriba son las concentraciones objetivo, sin embargo es muy difícil llegar a precisarlo como ya se explicó anteriormente por lo que se toma un margen de error admisible, dicho

esto, podemos mencionar que el rango real de concentraciones varía desde 59.898 hasta 70.048 % w/w

La variación en el límite inferior es de -0.102%, mientras que en el límite superior es de + 0.048%, dando valor absoluto promedio de 0.075% lo cual evidencia el grado de precisión de las mediciones de concentración.

Cuadro N° 10: Datos de ensayos preliminares, variación de velocidad media y variación de concentración. (Elab. propia)

N°	Prueba 1			Prueba 2			Variaciones		
	C _w (%)	S (%)	V _m (m/s)	C _w (%)	S (%)	V _m (m/s)	ΔC _w (%)	ΔS (%)	ΔV _m (m/s)
1	60.5	0.5	0.79	60	0.5	0.8	0.5	0	0.01
2	60.5	10	0.89	59.5	10	0.93	1	0	0.04
3	63.787	0.5	0.64	65	0.5	0.6	1.213	0	0.04
4	60	0.5	0.8	62.5	0.5	0.86	2.5	0	0.06
5	60.5	0.5	0.79	62.5	0.5	0.86	2	0	0.07
6	60.5	0.5	0.79	59.5	0.5	0.72	1	0	0.07
7	63.787	0.5	0.64	59.5	0.5	0.72	4.287	0	0.08
8	72.783	0.5	0.52	65	0.5	0.6	7.783	0	0.08
9	59.5	0.5	0.72	60	0.5	0.8	0.5	0	0.08
10	59.5	0.5	0.72	65	0.5	0.6	5.5	0	0.12
11	63.787	0.5	0.64	72.783	0.5	0.52	8.996	0	0.12
12	59.5	0.5	0.72	62.5	0.5	0.86	3	0	0.14
13	63.787	0.5	0.64	60.5	0.5	0.79	3.287	0	0.15
14	63.787	0.5	0.64	60	0.5	0.8	3.787	0	0.16
15	60.5	0.5	0.79	65	0.5	0.6	4.5	0	0.19
16	59.5	0.5	0.72	72.783	0.5	0.52	13.283	0	0.2
17	60	0.5	0.8	65	0.5	0.6	5	0	0.2
18	63.787	0.5	0.64	62.5	0.5	0.86	1.287	0	0.22
19	73.283	10	0.233	72.783	10	0.46	0.5	0	0.227
20	73.283	0.5	0.27	72.783	0.5	0.52	0.5	0	0.25
21	62.5	0.5	0.86	65	0.5	0.6	2.5	0	0.26
22	73.283	10	0.19	72.783	10	0.46	0.5	0	0.27
23	60.5	0.5	0.79	72.783	0.5	0.52	12.283	0	0.27
24	60	0.5	0.8	72.783	0.5	0.52	12.783	0	0.28
25	73.283	0.5	0.27	65	0.5	0.6	8.283	0	0.33
26	72.783	0.5	0.52	62.5	0.5	0.86	10.283	0	0.34
27	63.787	0.5	0.64	73.283	0.5	0.27	9.496	0	0.37
28	59.5	10	0.93	60	10	1.34	0.5	0	0.41
29	60.5	10	0.89	72.783	10	0.46	12.283	0	0.43

Cuadro N° 10: Datos de ensayos preliminares, variación de velocidad media y variación de concentración (continuación)

N°	Prueba 1			Prueba 2			Variaciones		
	C _w (%)	S (%)	V _m (m/s)	C _w (%)	S (%)	V _m (m/s)	ΔC _w (%)	ΔS (%)	ΔV _m (m/s)
30	73.283	0.5	0.27	59.5	0.5	0.72	13.783	0	0.45
31	60.5	10	0.89	60	10	1.34	0.5	0	0.45
32	62.983	1	0.55	62.5	1	1.02	0.483	0	0.47
33	59.5	10	0.93	72.783	10	0.46	13.283	0	0.47
34	73.283	0.5	0.27	60.5	0.5	0.79	12.783	0	0.52
35	73.283	0.5	0.27	60	0.5	0.8	13.283	0	0.53
36	73.283	0.5	0.27	62.5	0.5	0.86	10.783	0	0.59
37	73.283	10	0.233	60.5	10	0.89	12.783	0	0.657
38	73.283	10	0.233	59.5	10	0.93	13.783	0	0.697
39	73.283	10	0.19	60.5	10	0.89	12.783	0	0.7
40	73.283	10	0.19	59.5	10	0.93	13.783	0	0.74
41	60	10	1.34	72.783	10	0.46	12.783	0	0.88
42	73.283	10	0.233	60	10	1.34	13.283	0	1.107
43	73.283	10	0.19	60	10	1.34	13.283	0	1.15



Figura N° 10: Ensayo a una concentración de 69% w/w (S=10%). Se muestra el escaso desplazamiento en el canal. (Elab. propia)



Figura N° 11: Vistas diversas del ensayo a una concentración de 69% w/w (S=10%). (Elab. propia)

3.4.1.3. Otros parámetros

El volumen de relave por ensayo y para toda la matriz de ensayos tomando en cuenta la cantidad de muestra proporcionada por Golder S.A se estableció un depósito de 0.30 m x 0.20 m con una altura de carga inicial (H_0) de 10 cm. Por el mismo motivo anterior, el ancho de ensayo ($B=20$ cm) fue determinado según el volumen de relave (Ver Figura N° 12).



Figura N° 12: Vista interior del canal con un ancho establecido ($B= 20$ cm). (Elab. propia)

Ensayos definitivos

Finalmente, con todas las consideraciones tomadas para las variables de importancia y condiciones iniciales de ensayos (Ver Cuadro N° 11) se determinó la matriz de ensayos que viene a ser una combinación de las variables de interés. De esta manera tenemos un número mínimo de ensayos para el desarrollo de esta investigación. (Ver Cuadro N° 12).

Cuadro N° 11: Límites y condición inicial de ensayos definitivos. (Elab. propia)

	Cw (%)	S (%)	H_0 (cm)
Límite Máximo	67	0.5	10
Límite Mínimo	60	9.0	10

Cuadro N° 12: Variables de interés y sus respectivos valores de estudio. (Elab. propia)

Concentración de sólidos (%)	67	66	65	64	63	62	61	60
Pendiente de fondo (%)	0.5	1.0	2.0	2.5	5.0	7.5	9.0	
Velocidad del frente de onda (m/s)	Esta variable de interés se considera hipotéticamente dependiente de la Cw (%), S (%)							

3.5 MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DEL FRENTE DE ONDA DE RELAVES MINEROS.

En esta sección se aborda la etapa del ensayo propiamente dicho que se basa en el estudio del escurrimiento de la masa de relave que se encuentra retenida por una compuerta plana. El procedimiento del ensayo en canal de investigación consiste en llenar el depósito ubicado aguas arriba del tramo efectivo de canal que se encuentra confinada por las paredes verticales laterales, pared posterior y compuerta plana. Una vez lleno el depósito hasta la altura de carga establecida ($H_0 = 10$ cm) se retira la compuerta de retención súbitamente, dejando así el libre escurrimiento de la muestra de relave a lo largo y ancho del canal según las configuraciones establecidas previamente.

Se tomó el método de análisis Lagrangiano, y se opta por monitorear el avance del frente de onda que se genera al retirar la compuerta mediante el uso de cámaras de video integradas distribuidas a lo largo de todo el canal de investigación (Ver Anexo B). Dicho monitoreo se basa en determinar la posición y tiempo del frente de onda captada en cada fotograma que conforma el video, para determinar de manera indirecta su velocidad de avance.

La velocidad de grabación o tasa de cuadros por lo general se realizó a 15 FPS (frame per second), es decir que por cada segundo de grabación existen 15 fotogramas o cuadros captados durante el movimiento de la masa de relaves, no obstante, existen algunos ensayos realizados a 14 FPS debido al cambio del equipo de grabación.

Finalmente, el registro filmográfico obtenido del DVR (Digital Video Recorder), es convertido a un formato de video estándar como el MP4 y dividido en archivos de fotogramas.

La información fotográfica obtenida en este último paso, es registrada en un cuadro Posición vs tiempo que será analizada para calcular la velocidad media por evento o ensayo. Además, se pudo observar en el registro fotográfico las diferentes formas del perfil del frente de onda para cada ensayo, dejando ver una distribución de velocidad en planta, por esa razón se optó por estudiar el punto del frente de onda ubicado al eje del canal ya que es la posición que presenta el mayor recorrido en cada uno de los ensayos realizados en esta etapa de la investigación. En algunos de los ensayos realizados se midieron longitudes de avance que no correspondían con la relación lógica entre los parámetros concentración de sólidos, pendiente de fondo y longitud de avance del frente de onda, por este

motivo se descartaron ensayos que no cumplieran dicho criterio lógico. Cabe precisar que los ensayos se realizaron partiendo de muestras de una misma concentración de sólidos variando la pendiente de fondo, lo cual nos permite estimar una relación inicial del tipo directa entre la pendiente y la longitud de avance. El total de ensayos realizados para este ancho de 0.20 m llegaron a 48 ensayos válidos.



Figura N° 13: Cámara de Video colocada en la parte superior del tramo inicial donde se puede observar el depósito de relave y la compuerta. (Elab. propia)

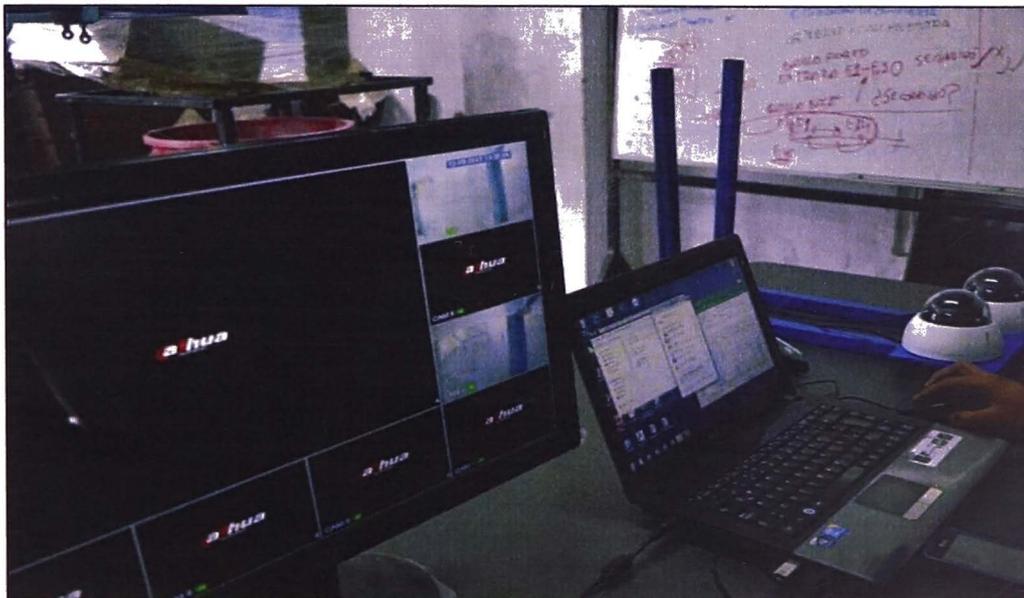


Figura N° 14: Equipo de monitoreo, edición y procesamiento de información filmográfica. (Elab. propia)

CAPITULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 REGISTRO POSICIÓN VS. TIEMPO DEL FRENTE DE ONDA DE RELAVE

El registro de Posición Vs Tiempo, nos permite determinar la velocidad del frente de onda según la posición y tiempo de cada fotograma analizado. Para definir el tiempo o instante de un fotograma se buscó una relación lógica entre el número de foto en la secuencia de fotogramas considerando la velocidad de grabación de cada Ensayo. Por lo general se trabajó a 15 FPS sin embargo por motivos diversos se cambiaron las cámaras en ciertos momentos y se llegó a trabajar a 14 FPS. No obstante, se concluyó que existe un conjunto de fotos que se repiten dentro de toda la secuencia de fotos en una grabación. Dichas fotos repetidas obedecen a una secuencia lógica según la velocidad de grabación. Para esta investigación se llegó a trabajar con dos secuencias lógicas encontradas y comprobadas en cada cámara y ensayo realizado durante la investigación (Ver Cuadro N° 13).

Cuadro N° 13: Relación del tiempo según el número de foto. (Elab. propia)

FPS	nFr	Tiempo
15	8+1	$\frac{(nF - (\lfloor \frac{nF}{8} \rfloor + 1) - (\lfloor \frac{nF}{8} \rfloor + 1) - (\lfloor \frac{nF}{8} \rfloor + 1) - 1)}{FPS}$
	8+3	
	8+6	
14	16+1	$\frac{\left(nF - (\lfloor \frac{nF}{16} \rfloor + 1) - 1 \right)}{FPS}$
	16+3	
	16+5	
	16+7	
	16+10	
	16+12	
	16+14	

Donde:

nFr: Número de foto repetida en una secuencia de fotos.

FPS: Velocidad de grabación de un video

nF: Número de Foto en una secuencia de fotos.

$\lfloor \]$: Operador Máximo entero

Debido a que las seis cámaras integradas distribuidas a lo largo del canal tienen un desfase relativo entre sí respecto del tiempo (Ver Figura N° 15), se realizó un ajuste de los datos de tiempo mediante una corrección según la posición del frente de onda en cada canal de grabación. (Ver Figura N° 16).

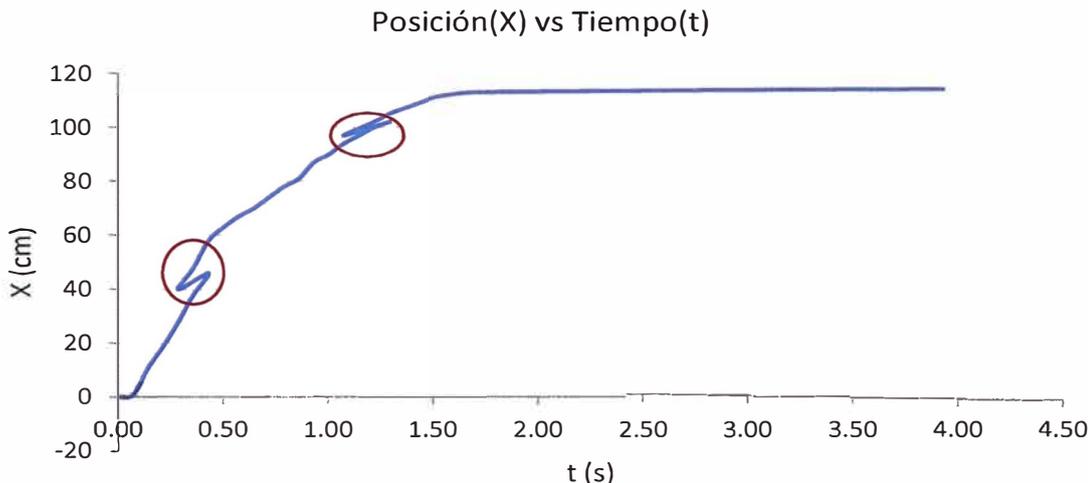


Figura N° 15: Gráfica X vs t del Ensayo #11 (antes del ajuste). (Elab. propia)

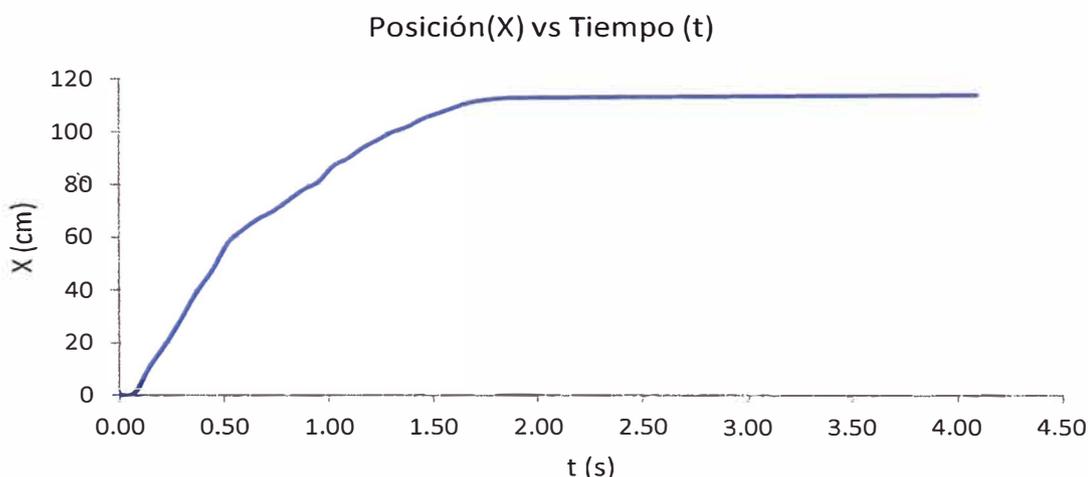


Figura N° 16: Gráfica X vs t del Enseyo #11 (después del ajuste). (Elab. propia)

Durante las correcciones se pudo establecer dos zonas con comportamientos diferenciados (ver Figura N° 17), el tramo de estudio es donde se concentran las velocidades y se obtiene los máximos desplazamiento. Cabe precisar que el tramo que no es estudiado, muestra un movimiento a velocidades muy bajas cuyo tiempo de observación tendría que ser muy grande.

Se identifica el punto (T_{max}, X_{max}) como el punto de inflexión que limita el tramo de estudio (Ver Figura N° 17) donde T_{max} representa el tiempo total del recorrido y X_{max} representa el recorrido máximo alcanzado por el frente de onda. Finalmente, se determina la velocidad media en el tramo de estudio:

$$V_m = \frac{X_{max}}{T_{max}} \dots\dots\dots (Ec. 26)$$

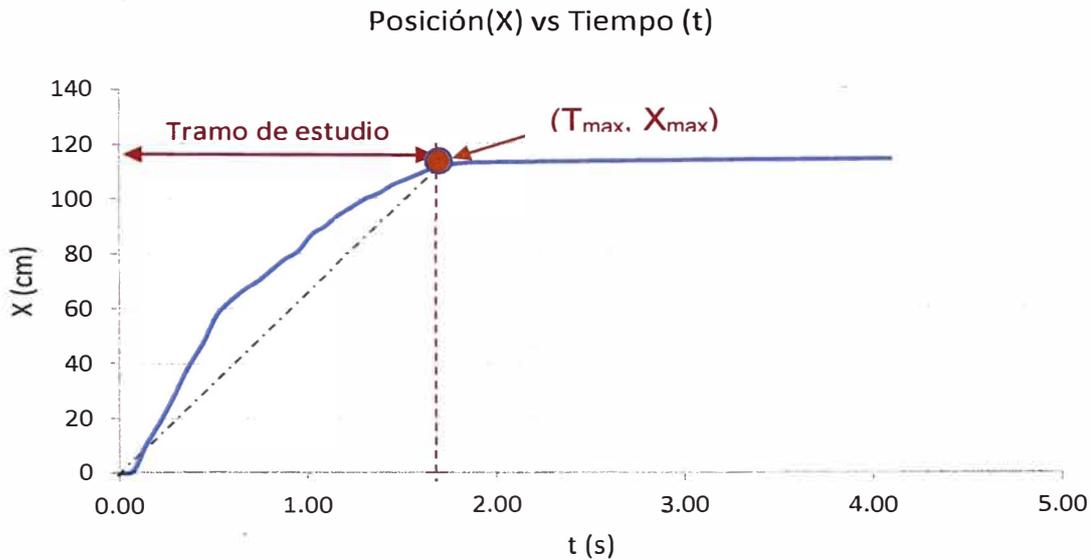


Figura N° 17: Tramo de estudio en la gráfica posición Vs Tiempo. (Elab. propia)

Una vez determinada la variable dependiente (V_m), se utiliza las herramientas del análisis dimensional para relacionar las variables que influyen en el fenómeno.

$$V_m = f(\nabla, y', B, C_w, S, g) \dots\dots\dots (\text{Ec. 27})$$

$$0 = \varphi(V_m, \nabla, y', B, C_w, S, g) \dots\dots\dots (\text{Ec. 28})$$

$$\pi_1 = \frac{V_m}{\sqrt{gy'}}, \pi_2 = \frac{\nabla}{y'^3}, \pi_3 = \frac{y'}{B}, \pi_4 = e^{C_w}, \pi_5 = S$$

Donde:

V_m = Velocidad media del frente de onda (cm/s)

∇ = Volumen de relave (cm³)

y' = Tirante promedio de frente de onda (cm)

g = Aceleración de la gravedad (cm²/s)

B = Ancho base del canal (cm)

S = Pendiente de fondo de canal (cm/cm)

C_w = Concentración gravimétrica de sólidos (w/w)

A modo de esquema, se presenta la Figura N° 18 donde se explica el escurrimiento de la masa de relave en el canal alcanzando su detenimiento debido a las fuerzas de interacción entre el conducto y el relave. El volumen de la muestra siempre será constante en cada instante de tiempo para satisfacer el principio de

conservación de la masa, por ello se considera despreciable las mermas dejadas en las paredes.

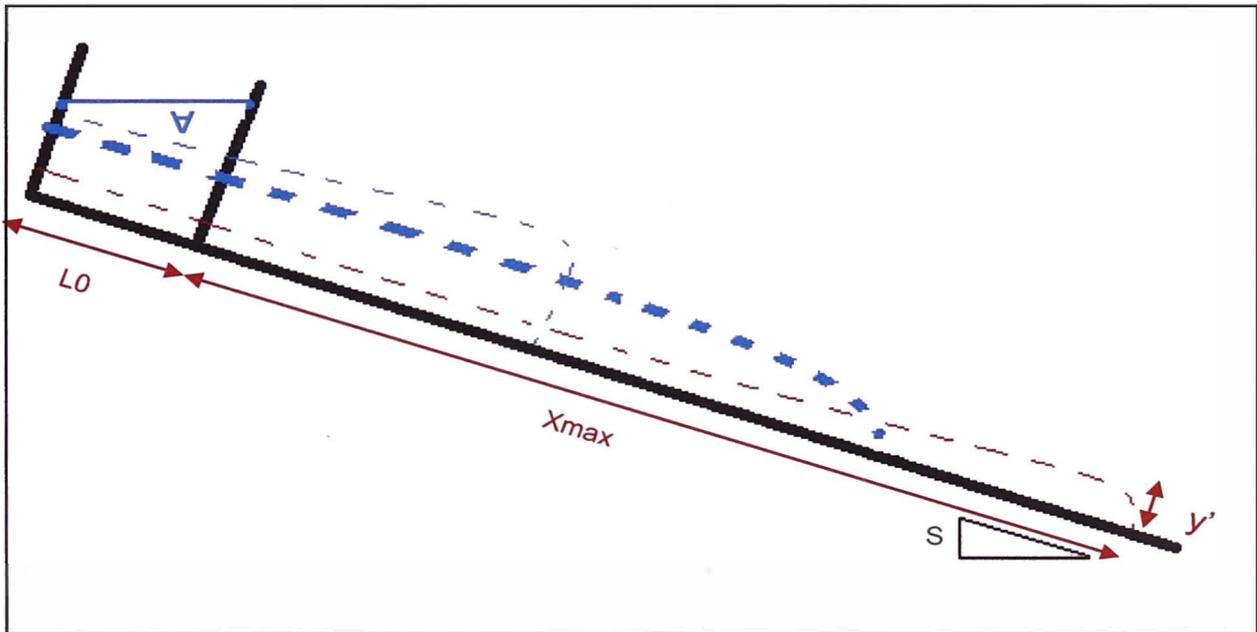


Figura N° 18: Esquema de las variables del fenómeno físico. (Elab. propia)

Por lo dicho anteriormente, se pudo deducir la siguiente expresión:

$$y' = \frac{V}{(X_{max} + L_0)B}$$

Donde:

L_0 = Longitud del depósito de relave, cuyo valor es 30 cm.

Con la información ordenada en tablas, se puede buscar las primeras relaciones entre las variables velocidad (V_m), pendiente (S) y Concentración gravimétrica (C_w). Sin embargo, cabe mencionar que estas relaciones son prematuras y solo sirven para ayudar a un entendimiento del fenómeno.

En la Figura N° 19, se muestra un ajuste de las curvas V_m vs. S con pendientes de fondo determinados y constantes. Se puede percibir que el comportamiento potencial se ajusta a dichos datos, sin embargo, conforme la concentración va disminuyendo los grados de ajuste son menores (bajas correlaciones). Las primeras especulaciones nos permiten contemplar otras variables que generen ese cambio de comportamiento debido al cambio de concentración.

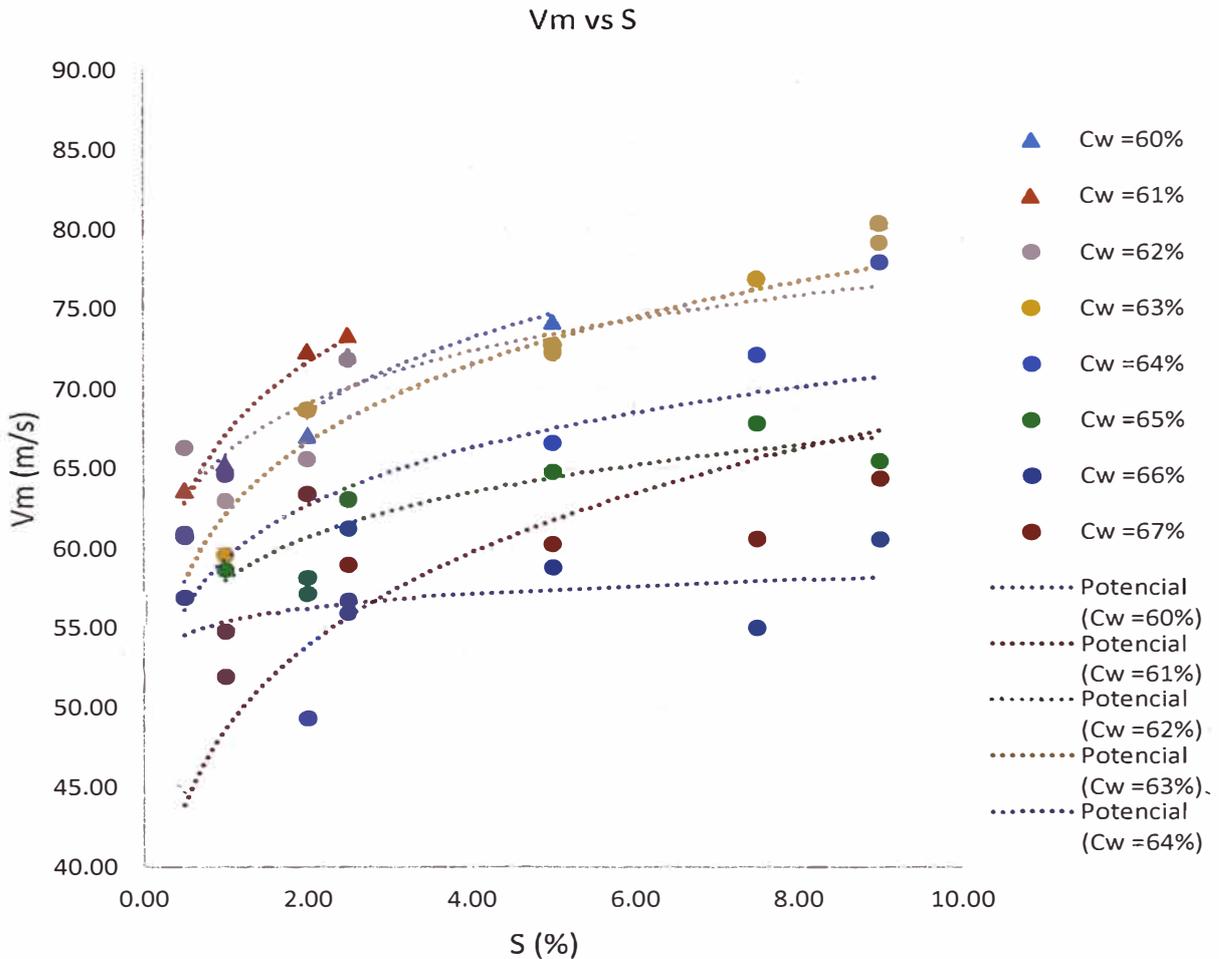


Figura N° 19: relación de la velocidad media vs. Pendiente de fondo. (Elab. propia)

La Figura N° 20, refleja un comportamiento relativamente aleatorio que se ajusta a una Polinómica de grado tres, pero sin una correlación aceptable. A diferencia de la gráfica anterior, esta no deja observar nada importante o por el momento es difícil de entenderlo. Sin embargo, se puede apreciar una sinusoidalidad en los las condiciones de concentración extremas y un tramo central aproximadamente rectilíneo. En esta figura se puede evidenciar más influencia de otras variables involucradas en el fenómeno.

Cabe mencionar que en esta etapa no se está analizando expresiones matemáticas, sino se basa en un análisis descriptivo y visual de las relaciones entre la variable dependiente (V_m) y las independientes conocidas hasta el momento. (C_w y S).

Luego de una etapa de análisis más profundo y sistemático se pudo identificar otras variables que serían involucradas mediante un análisis dimensional que busca generar variables adimensionales.

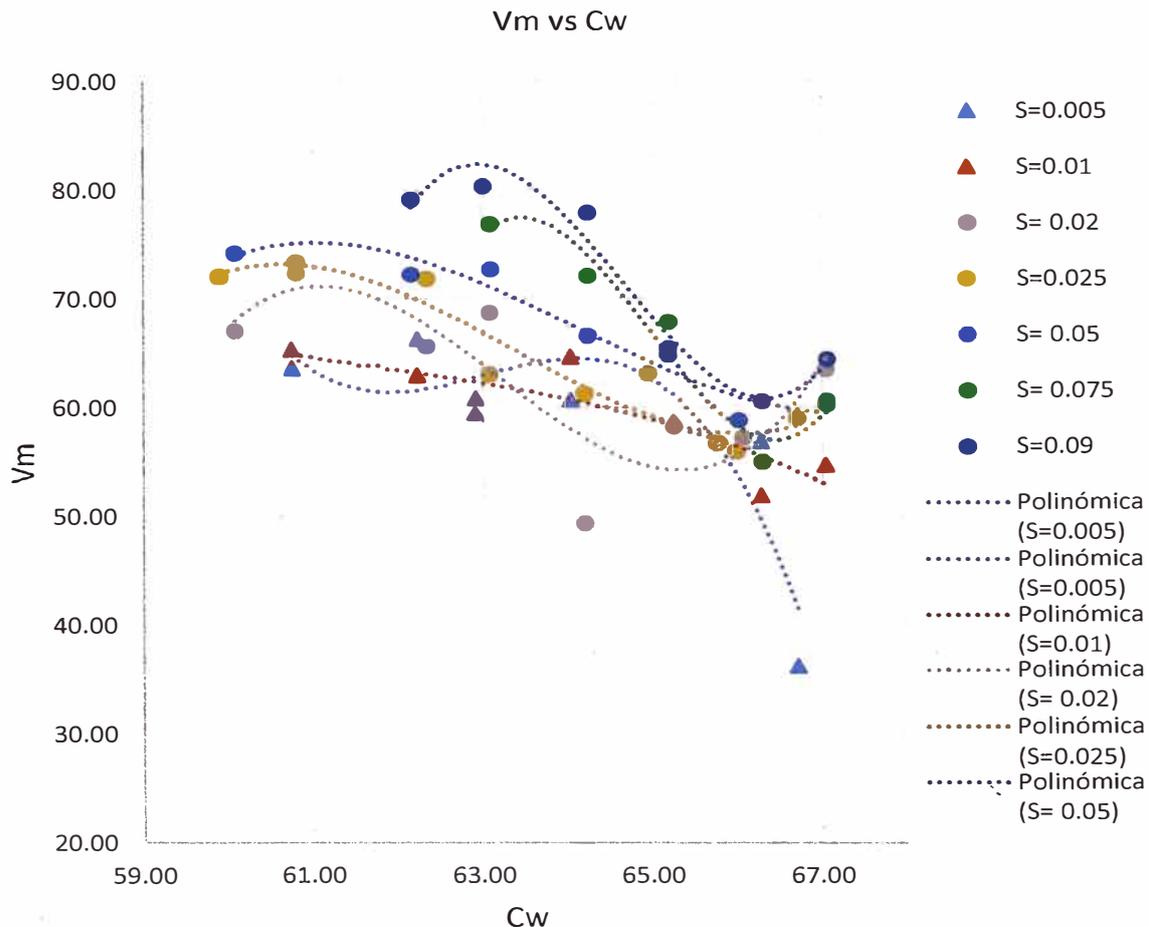


Figura N° 20: relación de la velocidad media vs. Concentración de sólidos. (Elab. propia)

Para un mejor análisis del comportamiento de las variables adimensionales y su relación con el factor adimensional que contiene la variable dependiente, se muestran las gráficas π_1 vs π_2 (Figura N° 21), π_1 vs π_3 (Figura N° 22), π_1 vs π_4 (Figura N° 23 y Figura N° 24) y π_1 vs π_5 (Figura N° 25 y Figura N° 26).

La Figura N° 21 deja indicios de una relación del tipo potencial entre π_1 y π_2 dando un coeficiente de determinación de 0.944. Así mismo la Figura N° 22 al igual que la Figura N° 21, mantiene una relación potencial entre π_1 y π_3 con R^2 igual a 0.943.

La Figura N° 23 muestra una nube de puntos aparentemente sin relación, no obstante al ordenarla según las pendientes o el factor π_5 (Ver Figura N° 24) muestran tendencias del tipo potencial con valores de R^2 que fluctúan desde 0.755 hasta 0.908 Cabe indicar que el factor π_4 fue definido como una función exponencial a criterio del investigador sin que ello altere el análisis dimensional.

A pesar que la determinación de la concentración de sólidos maneja un error de 0.25% durante su preparación, la Figura N° 26 intenta reflejar curvas bajo una concentración de solidos aproximadamente iguales (error máximo de 0.25%). Este intento nos evidencia un posible comportamiento del tipo potencial entre el factor π_1 y π_5 con coeficientes de determinación que oscilan entre 0.685 hasta 0.954.

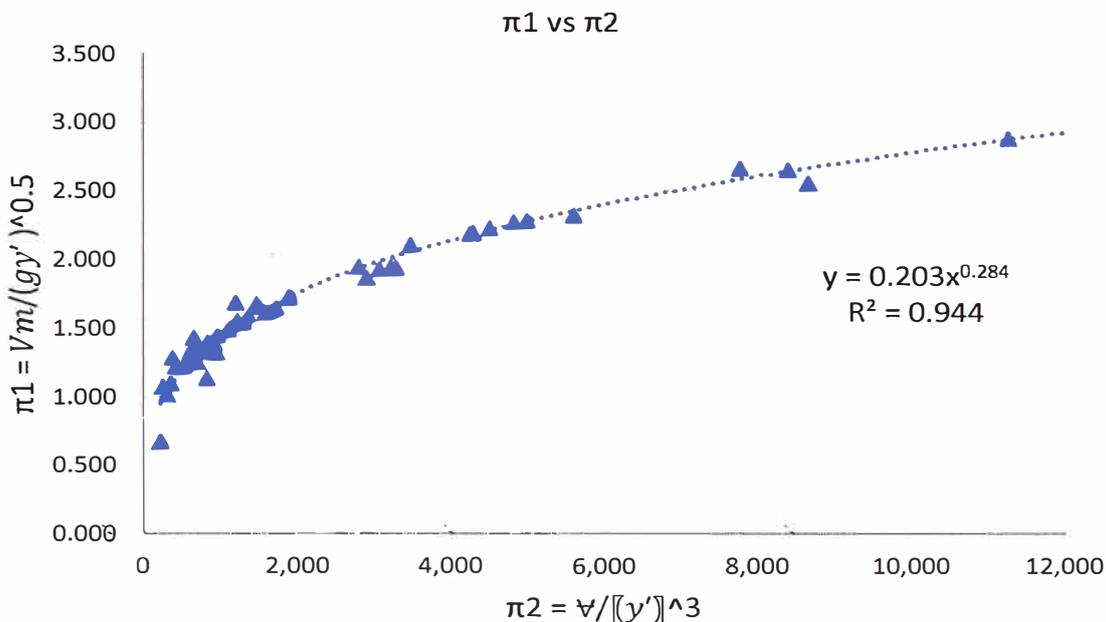


Figura N° 21: π_1 vs π_2 . (Elab. propia)

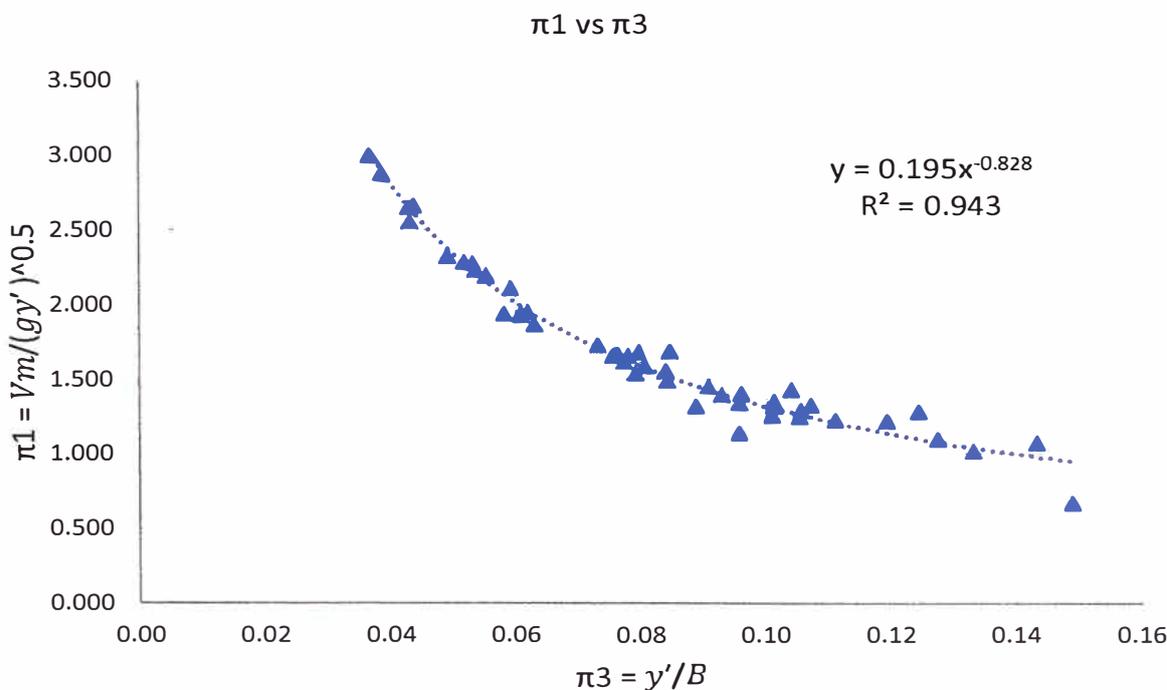


Figura N° 22: π_1 vs π_3 . (Elab. propia)

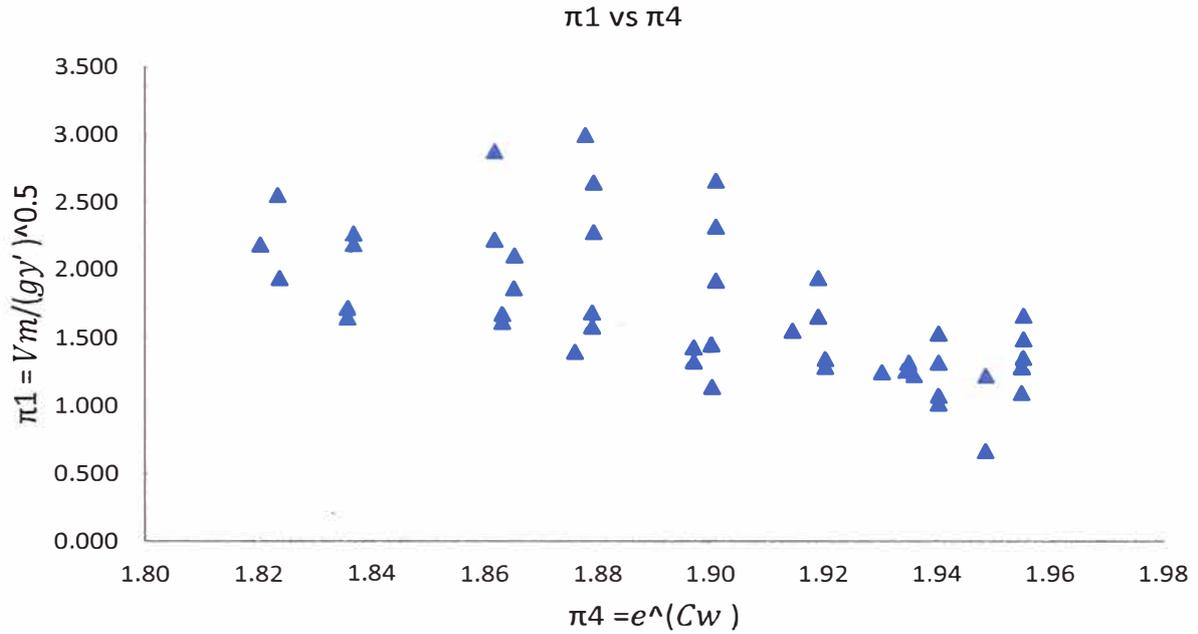


Figura N° 23: π_1 vs π_4 como nube de puntos. (Elab. propia)

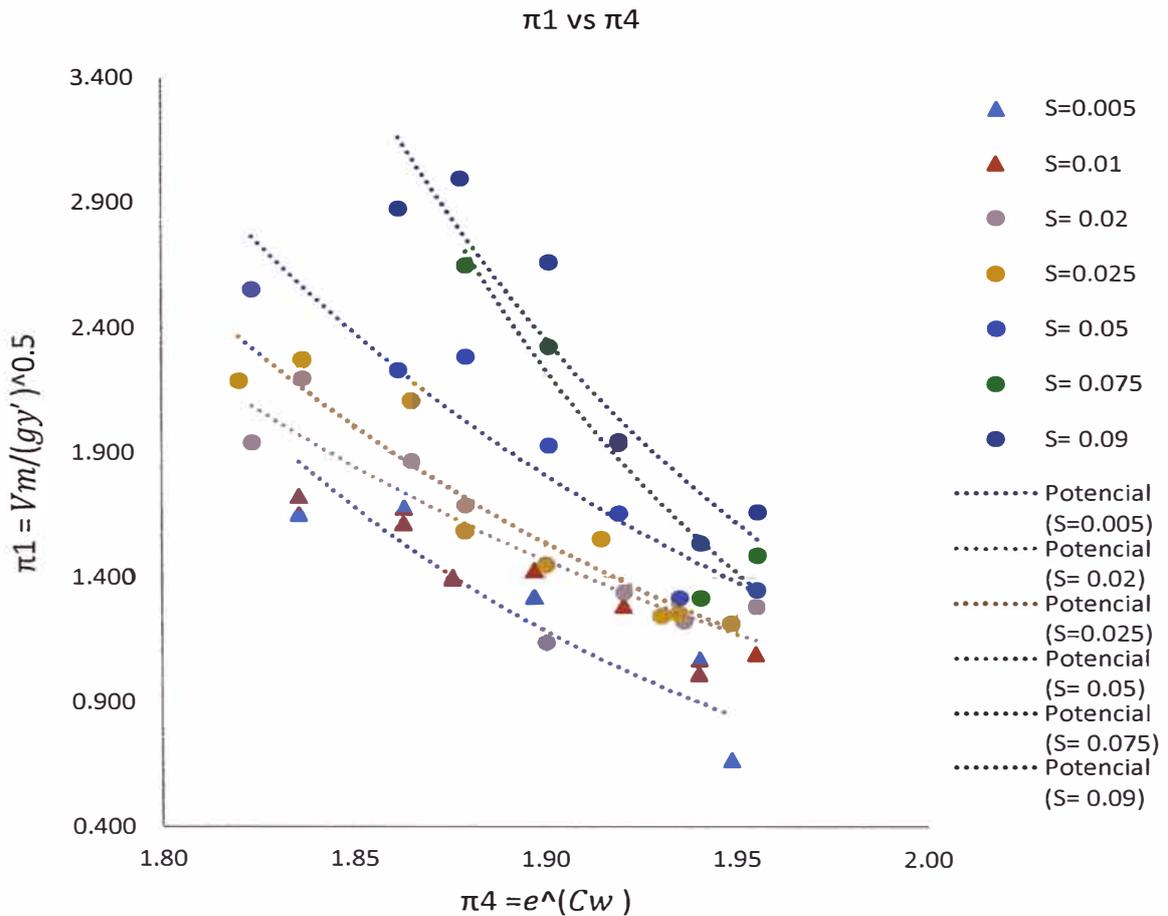


Figura N° 24: π_1 vs π_4 con pendiente constante. (Elab. propia)

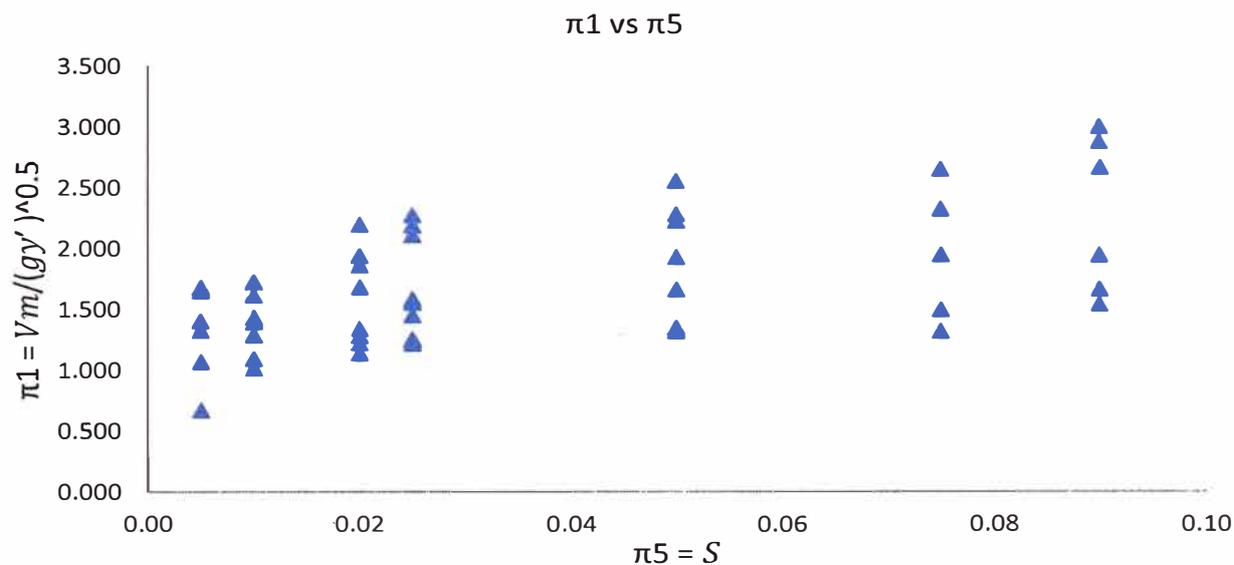
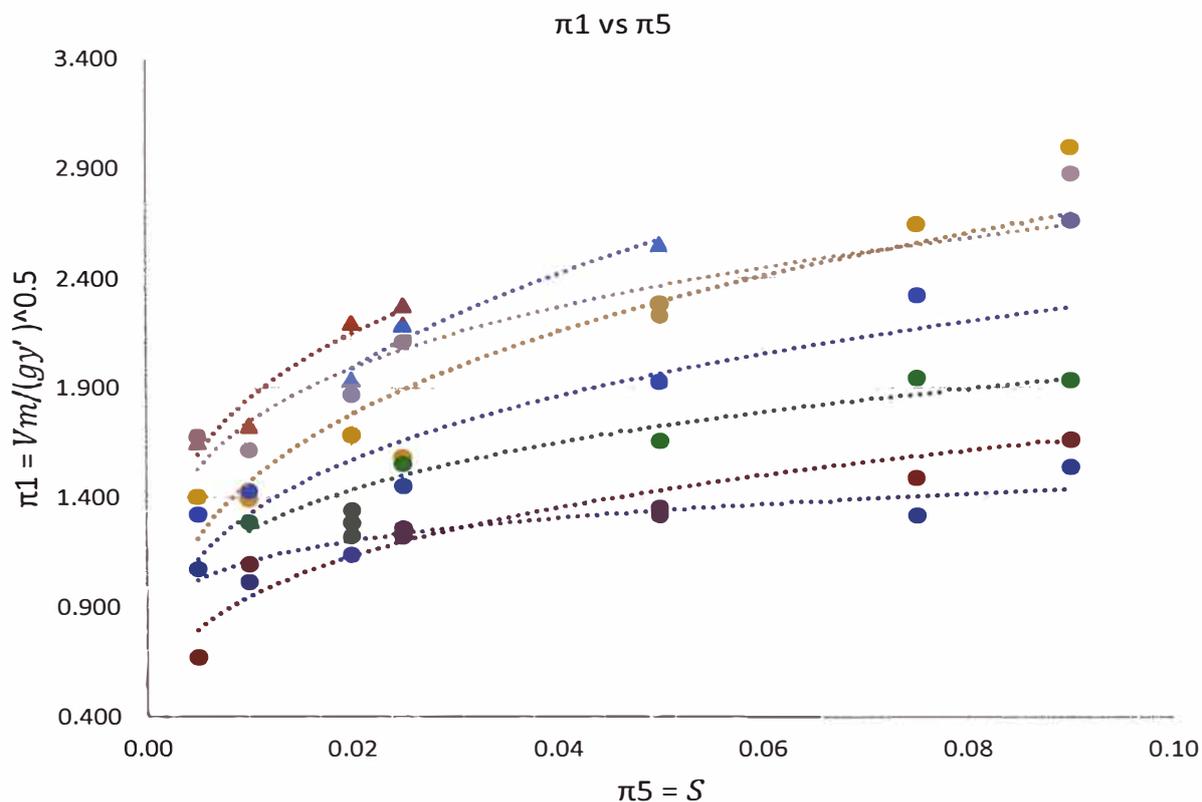


Figura N° 25: π_1 vs π_5 como nube de puntos. (Elab. propia)



- ▲ Cw = 60%
- ▲ Cw = 61%
- Cw = 62%
- Cw = 63%
- Cw = 64%
- Cw = 65%
- Cw = 66%
- Cw = 67%
- Potencial (Cw = 60%)
- Potencial (Cw = 61%)
- Potencial (Cw = 62%)
- Potencial (Cw = 63%)
- Potencial (Cw = 64%)
- Potencial (Cw = 65%)
- Potencial (Cw = 66%)
- Potencial (Cw = 67%)

Figura N° 26: π_1 vs π_5 con concentración constante. (Elab. propia)

A partir de los indicios observadas en el análisis anterior, se estableció una relación múltiple del tipo no lineal entre los factores π adimensionales.

$$\pi_1 = \Phi (\pi_2, \pi_3, \pi_4, \pi_5) \dots\dots\dots (Ec.29)$$

$$\pi_1 = \pi_2^\alpha \pi_3^\beta \pi_4^\phi \pi_5^\delta \dots\dots\dots (Ec.30)$$

La ecuación 30 se resuelve empezando con linealizar los factores adimensionales mediante la función logaritmo natural (Ec. 31), con la finalidad de aplicar una regresión lineal entre los nuevos factores modificados y así determinar el valor de las incógnitas α, ϕ, δ . (Ver Cuadro N° 16).

$$\ln(\pi_1) = \alpha \ln(\pi_2) + \beta \ln(\pi_3) + \phi \ln(\pi_4) + \delta \ln(\pi_5) \dots\dots\dots (Ec. 31)$$

El Cuadro N° 14 y Cuadro N° 15 muestran los datos generales del procedimiento de regresión lineal y la prueba F de Fisher de las variables logarítmicas cuyos valores son aceptables para esta investigación, por lo tanto se estima que existe una relación estrecha entre las variables.

Cuadro N° 14: Resumen de la regresión. (Elab. propia)

<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>
Coficiente de correlación múltiple	0.992
Coficiente de determinación R ²	0.984
R ² ajustado	0.960
Error típico	0.076
Observaciones	48

Cuadro N° 15: Análisis de Varianza. (Elab. propia)

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	4	15.481	3.870	670.74	3.9948E-38
Residuos	44	0.254	0.006		
Total	48	15.734			

El Cuadro N° 16 muestra los valores de los coeficientes que afectan a cada variable logarítmica, sin embargo, estos coeficientes llegarán a ser finalmente los exponentes de los factores adimensionales representados en la Ec. 32.

Cuadro N° 16: Coeficiente de la regresión con variables Logarítmicas. (Elab. propia)

Coeficiente	Valor
α	0.438
β	0.587
ϕ	-1.648
δ	0.045

Si bien los coeficientes de correlación y determinación de la regresión lineal son muy aceptables, se tiene que realizar la transportación a las variables reales u originales (Variables dimensionales), dicho cambio trae consigo una disminución de los coeficientes estadísticos (R^2 y R) que definen el grado de aproximación de la data experimental y la data pronosticada (teórica).

Se define la ecuación definitiva con variables dimensionales:

$$\pi_1 = \pi_2^{0.438} \pi_3^{0.587} \pi_4^{-1.648} \pi_5^{0.045} \dots\dots\dots (Ec.32)$$

$$\frac{V_m}{\sqrt{gy'}} = \left(\frac{V}{y'^3}\right)^{0.438} \left(\frac{y'}{B}\right)^{0.587} e^{-1.648C_w} S^{0.045}$$

$$V_m = \left[\left(\frac{V}{y'^3}\right)^{0.437} \left(\frac{y'}{B}\right)^{0.587} e^{-1.648C_w} S^{0.045} \right] \sqrt{gy'}$$

Teóricamente deberían ajustarse a la recta de la identidad, sin embargo, la recta de mejor ajuste tiene una pendiente de 0.963 y con un punto de intersección con el eje vertical en 2.505, dando un coeficiente de determinación de 0.775. Por otro lado, la segunda recta de ajuste pasa por el origen con una pendiente de 1.001 y un coeficiente de determinación de 0.774 (Ver Figura N° 27).

Comparando ambas rectas de ajuste se observa que el R^2 son prácticamente los mismos, sin embargo, sus pendientes si varía en el orden de las centésimas. Dicho esto, se considera a la segunda recta la más próxima a la función identidad con una pendiente de 1.001, por ello podemos considerar una buena semejanza entre los datos experimentales y los teóricos (Ver Figura N° 27).

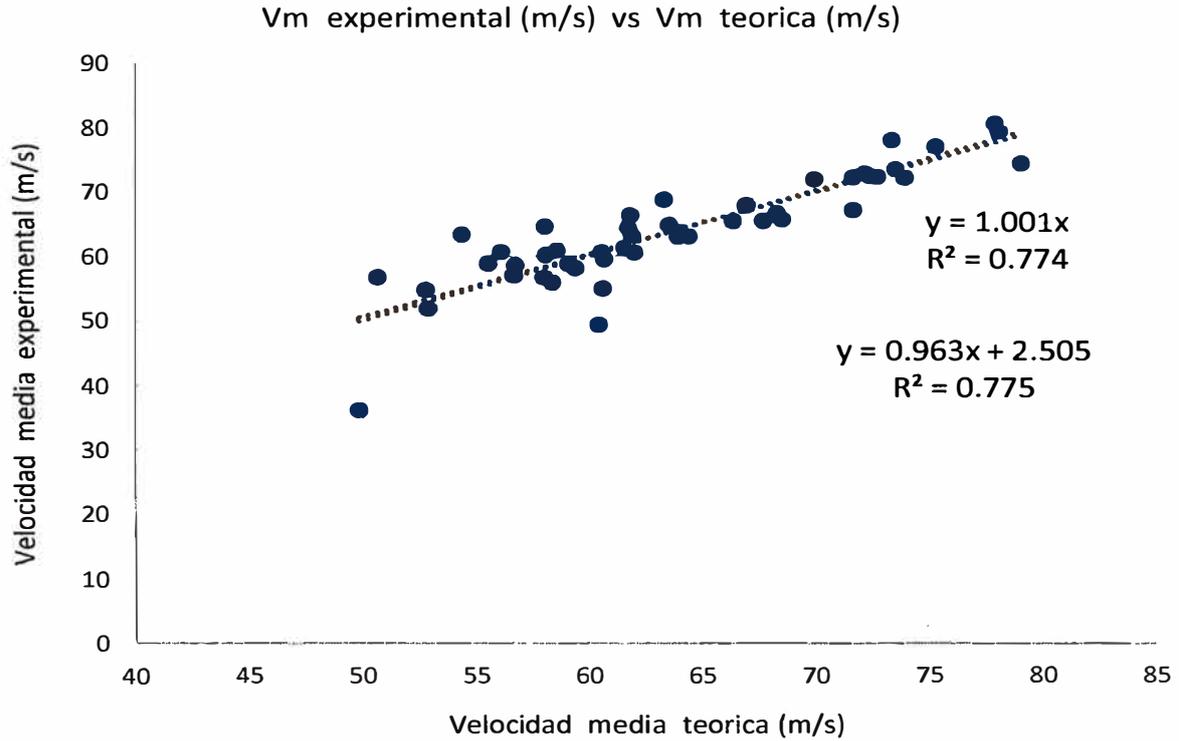


Figura N° 27: Ajuste de datos experimentales y teóricos a la función identidad. (Elab. propia)

Los errores o residuos entre los valores teóricos y experimentales de la velocidad media varían de -9.08 cm/s hasta 13.56 cm/s, siendo estos errores admisibles para esta investigación tomando en cuenta las precisiones durante la mediciones de las variables (Ver Figura N° 28).

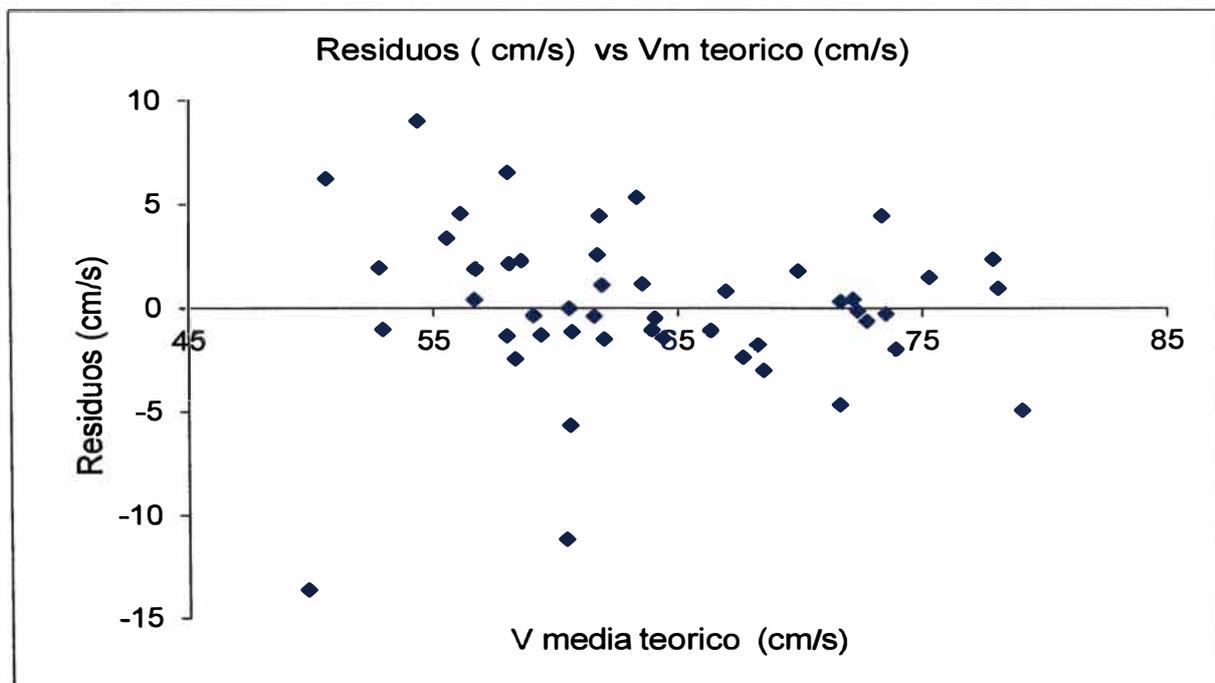


Figura N° 28: Distribución de residuos respecto de la V media teórica. (Elab. propia)

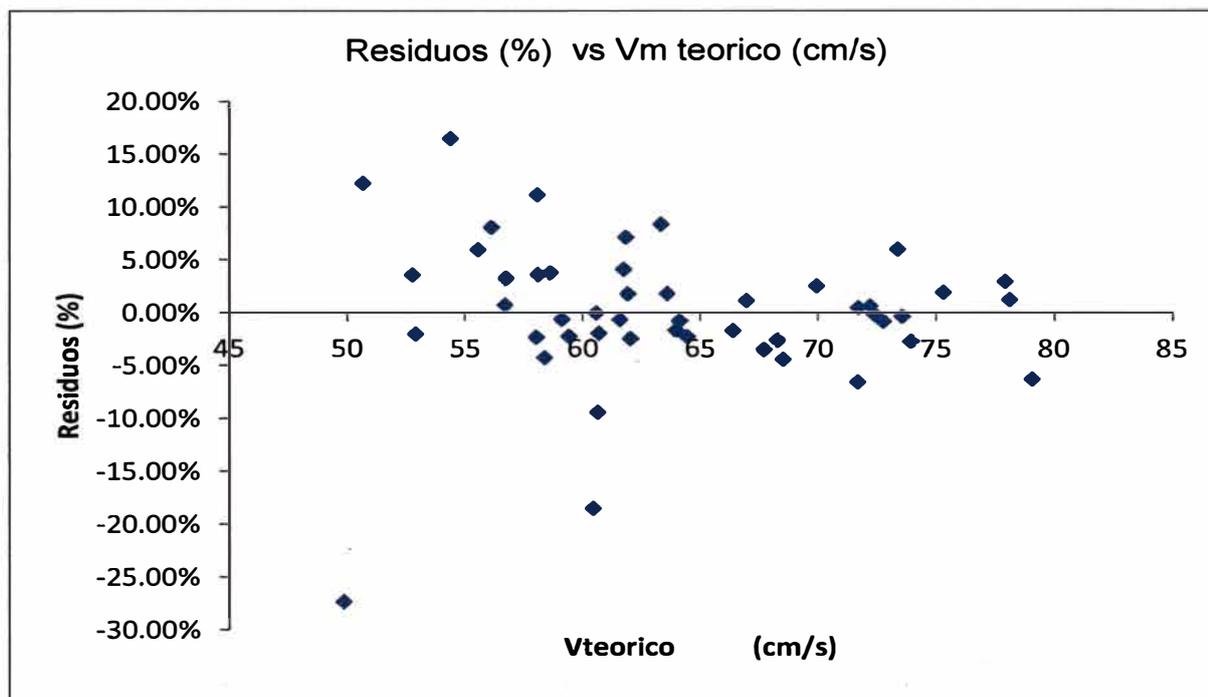


Figura N° 29 : Distribución de residuos (%) respecto de la V media teórica. (Elab. propia).

4.2 REGISTRO DE TRAZA O MÁXIMOS TIRANTES DE RELAVE

Además de registrar la posición del frente de onda, se elaboró un registro de los tirantes máximos en cada posición evidenciándose por las marcas de relave en las paredes del canal. La marca de la traza en la pared es leída cada 5 cm de distancia a lo largo del canal. El registro muestra en general un movimiento inicial abrupto donde el tirante disminuye significativamente, para luego variar de manera gradual a lo largo del canal hasta un valor de tirante aproximado de 0.5 a 1 cm según la concentración. Todos los ensayos realizados tienen un registro de traza que se muestra en el Anexo C3. Debido al grado de sensibilidad y precisión de nuestro sistema de medición no fue conveniente incluirlo como variable para evitar efectos erróneos en interacción con las otras variables de entrada. No obstante nos permite observar una posible relación entre los tirantes máximos, pendiente, y concentración de sólidos de la muestra de relave.

Con una adecuada implementación de dispositivos ópticos y electrónicos podrían mejorarse la lectura de la variable tirante con la finalidad de incluirlo en la ecuación y obtener un modelo matemático más completo.

Además, se observó que el tirante máximo en la posición más cercana a la compuerta tiene un valor promedio de 5.0 cm llegando a un valor máximo de 5.5 cm bajo las condiciones de ancho base de 20 cm definida inicialmente para esta investigación.

CONCLUSIONES

- El análisis de los fotogramas, con fines de interpretación del tiempo, para el estudio lagrangiano del movimiento del frente de onda conlleva a la depuración de fotogramas repetidos o fotogramas en áreas de traslape, lo que a su vez está gobernada por las características técnicas de los equipos de filmación utilizados y la disposición espacial de las cámaras de video.
- Los desfases temporales, del orden de 1/15 de segundo, entre los registros de las cámaras consecutivas, fueron ajustados por técnicas de interpolación o extrapolación, considerando como criterio de empalme la posición espacial del eje central de la vista en planta del frente de onda.
- En el análisis de correlación entre la velocidad del frente de onda y las otras variables involucradas en la investigación, se logra una mejor explicación de las relaciones trabajando con los números adimensionales, que al analizar las variables en su forma dimensional
- La pequeña magnitud del volumen de la mezcla experimental, asociada a su concentración gravimétrica y las condiciones del canal experimental, limitan una observación más completa del fenómeno del escurrimiento bifásico.
- Al comparar la variación de la velocidad del frente de onda, dentro de un mismo rango, se observa una mayor sensibilidad de ésta con la concentración de sólidos de la mezcla que con la pendiente del canal.
- En esta investigación se logra establecer la relación de la velocidad del frente de onda con las otras variables de acuerdo a la expresión:

$$V_m = \left[\left(\frac{V}{y'^3} \right)^{0.437} \left(\frac{y'}{B} \right)^{0.587} e^{-1.648C_w} S^{0.045} \right] \sqrt{gy'}$$

Donde:

V_m = Velocidad media del frente de onda (cm/s)

V = Volumen de relave (cm³)

y' = Tirante promedio de frente de onda (cm)

g = Aceleración de la gravedad (cm²/s)

B = Ancho base del canal (cm)

S = Pendiente de fondo de canal (cm/cm)

C_w = Concentración gravimétrica de sólidos (w/w)

RECOMENDACIONES

- En concordancia al análisis de fotogramas, al considerar que dicho análisis es válido solo para la información de esta investigación; se recomienda que en réplicas de ensayos posteriores la acción inicial es obtener el algoritmo para la interpretación de imágenes.
- Se recomienda enriquecer la investigación de este tipo de flujo considerando otras variables físicas adicionales como densidad de la mezcla, esfuerzo de cedencia, además de considerar anchos variables del canal experimental.
- Es recomendable ampliar la investigación en el régimen permanente de un flujo continuo, bajo un sistema de recirculación de la mezcla de relave, condición cercana al caso real en la industria minera, lo que a su vez permitiría atender necesidades del sector productivo minero.
- Se recomienda ampliar el rango de experimentación de concentración de sólidos de 55% – 70% y pendiente del canal hasta 30%; adicionalmente, se sugiere afinar las variaciones incrementales de éstas.
- Se recomienda desarrollar otras investigaciones aprovechando la versatilidad de la geometría del canal de ancho y taludes variables.
- Para ampliar la aplicación o alcance de esta investigación se recomienda investigar su aplicabilidad en flujos similares tales como mudflow (Huaycos laminares) y hasta debris flow (Huaycos turbulentos) sin desestimar las particularidades de cada mezcla.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ancey, Christophe. *Introduction to Fluid Rheology*. Lausanne – Suisse, Laboratoire hydraulique environnementale (LHE)-École Polytechnique Fédérale de Lausanne, 2005.
2. Boger N. Pashias. *A fifty cent rheometer for yield stress measurement*. Department of Chemical Engineering, University of Melbourne Parkville, Victoria - Australia, 1996.
3. Cabrejos, Juan. *Estudio de Pre-Factibilidad para la recuperación de agua a partir de relaves de gran minería de cobre mediante la tecnología de relaves espesados*. Tesis para optar el título de Ingeniero Metalurgista, Lima-Perú ,2011.
4. Cabrera, Juan. *Relación entre el asentamiento y esfuerzo de cedencia en relaves mineros.*, Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil, FIC - UNI, Lima-Perú ,2010.
5. Castillo, Leonardo. *Aplicación de un modelo numérico de flujo de escombros y lodo en una quebrada en el Perú*. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil, FIC-UNI, Lima-Perú, 2006.
6. Chow, V. T. *Hidráulica de Canales Abiertos*, Santa Fe de Bogotá, 1994.
7. Córdova, Carlos. *Transporte de pulpas por tuberías y canales*. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil, FIC- UNI, Lima-Perú, 1988.
8. Fuentes, Ramón. *Reología de suspensiones sólido-líquido (barros)*. Santiago de Chile: JRI ingeniería,2008.
9. Gaitán, Iván. *Estimación de parámetros reológicos de pulpas minerales a diferentes concentraciones de sólidos*. Tesis para optar el título de Maestría en Ingeniería Hidráulica,FIC- UNI, Lima-Perú, 2010.
10. Guatarasma, Luis. *Impacto de flujos de barro sobre una pantalla*. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial, Universidad de los Andes, Mérida- Venezuela, 2004.

11. Mendoza, José. *Reometría de flujos hiperconcentrados con equipo rotacional*. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil, FIC-UNI, Lima-Perú, 2014.
12. Moncada, Alix. *Modelación de flujos de relaves*. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial. Universidad de los Andes, Mérida-Venezuela, 1993.
13. O'Brien & P. Julien. *Laboratory Analysis of Mudflow Properties*. Journal of Hydraulic Engineering ASCE, 1988 .
14. Olivella, X. O. *Mecánica de Medios Continuos para Ingenieros*. Barcelona: UPC, 2000.
15. Potter, M. C. *Mecánica de Fluidos*. México D.F: International Thomson, 2002.
16. Rocha, Arturo. *Hidráulica de Tuberías y Canales*. Lima: UNI-FIC, 2007.
17. Rosario, Kenñe. *Determinación de Parámetros Reológicos de Flujos Hiperconcentrados Aplicado a Relaves Mineros*. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil, FIC- UNI, Lima-Perú , 2010.
18. Schramm, G. *A Practical Approach to Rheology and Rheometry*. Thermo Haake Rheology. Karlsruhe: Gebrueder HAAKE GmbH, 2000.
19. Zevallos, Roberto. *Diseño, cálculo, selección y ejecución de sistema de bombeo para la deposición de relave en la cancha N° 6 de Arcata S.A*. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil. FIC- UNI, Lima-Perú, 1997.
20. Zorrilla, Bill. *Relación entre pH y esfuerzo de cedencia aplicado a relaves mineros*. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil, FIC – UNI, Lima-Perú, 2017.

ANEXOS

ANEXO A

**ANÁLISIS ESTRUCTURAL PARA EL DISEÑO DEL CANAL DE
INVESTIGACIÓN**



MATRIZ DE ENSAYOS REALIZADOS
ESTUDIO DE FLUJOS DE RELAVES EN CANALES ABIERTOS
IMEFEN/ LNH -UNI

N°	Datos de entrada															Factores Adimensionales					Logaritmo de Factores Adimensionales					REGRESION NO LINEAL		
	Cw (%)	ps (g/cm3)	p (g/cm3)	S (%)	B (cm)	t (s)	X (cm)	Tmax (s)	Xmax (cm)	Vmedia (cm/s)	L0 (cm)	h0 (cm)	h' (cm)	V (cm/s)	g (cm/s2)	π1	π2	π3	π4	π5	Ln(π1)	Ln(π2)	Ln(π3)	Ln(π4)	Ln(π5)	Vteorico (cm/s)	Vteorico - Vmedia (cm/s)	Vteorico-V (cm/s)
1	66.713	2.824	1.895	0.5	20	1.36	62	1.93	70	36.27	30	10	5	5955	981	0.671	225.593	0.149	1.949	0.005	-0.40	5.42	-1.90	0.67	-5.30	49.828335	13.56	13.56
4	66.286	2.824	1.718	0.5	20	1.30	74	1.30	74	56.92	30	10	5	5955	981	1.074	253.762	0.143	1.940	0.005	0.07	5.54	-1.94	0.66	-5.30	50.627578	-6.30	6.30
10	64.034	2.824	1.646	0.5	20	1.79	109	1.79	109	60.74	30	10	5.5	5955	981	1.325	605.858	0.107	1.897	0.005	0.28	6.41	-2.23	0.64	-5.30	56.106883	-4.63	4.63
13	62.912	2.824	1.574	0.5	20	2.05	125	2.05	125	60.92	30	10	5.5	5955	981	1.403	840.082	0.096	1.876	0.005	0.34	6.73	-2.34	0.63	-5.30	58.580683	-2.34	2.34
21	60.749	2.824	1.585	0.5	20	2.22	163	2.62	167	63.69	30	10	5.25	5955	981	1.654	1724.746	0.076	1.836	0.005	0.50	7.45	-2.58	0.61	-5.30	64.091699	0.41	0.41
48	62.228	2.824	1.657	0.5	20	2.23	156	2.37	157	66.34	30	10	5	5955	981	1.679	1475.201	0.080	1.863	0.005	0.52	7.30	-2.53	0.62	-5.30	61.815543	-4.52	4.52
2	67.046	2.824	1.751	1.0	20	1.57	86	1.57	86	54.78	30	10	5	5910	981	1.096	357.511	0.127	1.955	0.010	0.09	5.88	-2.06	0.67	-4.61	52.77256	-2.00	2.00
5	66.286	2.824	1.718	1.0	20	1.56	81	1.56	81	51.94	30	10	5	5910	981	1.016	313.245	0.133	1.940	0.010	0.02	5.75	-2.02	0.66	-4.61	52.907291	0.97	0.97
11	64.034	2.824	1.646	1.0	20	1.73	112	1.73	112	64.66	30	10	5.5	5910	981	1.431	655.813	0.104	1.897	0.010	0.36	6.49	-2.26	0.64	-4.61	58.055111	-6.60	6.60
14	62.912	2.824	1.574	1.0	20	1.83	125	2.16	129	59.59	30	10	5.25	5910	981	1.396	920.675	0.093	1.876	0.010	0.33	6.83	-2.38	0.63	-4.61	60.671443	1.08	1.08
22	60.749	2.824	1.585	1.0	20	2.43	170	2.63	172	65.37	30	10	5.25	5910	981	1.726	1887.857	0.073	1.836	0.010	0.55	7.54	-2.62	0.61	-4.61	66.372912	1.00	1.00
49	62.228	2.824	1.657	1.0	20	2.22	157	2.56	161	63.00	30	10	5	5910	981	1.617	1595.935	0.077	1.863	0.010	0.48	7.38	-2.56	0.62	-4.61	63.95927	0.96	0.96
64	65.255	2.824	1.714	1.0	20	1.88	110	1.88	110	58.67	30	10	5	5910	981	1.289	628.491	0.106	1.920	0.010	0.25	6.44	-2.25	0.65	-4.61	56.716449	-1.95	1.95
3	67.046	2.824	1.751	2.0	20	1.37	87	1.37	87	63.44	30	10	5.5	5820	981	1.284	378.270	0.124	1.955	0.020	0.25	5.94	-2.08	0.67	-3.91	54.35817	-9.08	9.08
19	62.338	2.824	1.594	2.0	20	3.06	201	3.06	201	65.61	30	10	5.25	5820	981	1.866	2911.253	0.063	1.865	0.020	0.62	7.98	-2.76	0.62	-3.91	68.520405	2.91	2.91
25	60.084	2.824	1.579	2.0	20	2.65	204	3.12	209	67.08	30	10	5.5	5820	981	1.941	3224.317	0.061	1.824	0.020	0.66	8.08	-2.80	0.60	-3.91	71.663084	4.58	4.58
26	60.803	2.824	1.895	2.0	20	3.09	232	3.22	233	72.36	30	10	5.5	5820	981	2.196	4296.465	0.055	1.837	0.020	0.79	8.37	-2.89	0.61	-3.91	72.369678	0.01	0.01
51	63.081	2.824	1.7	2.0	20	2.07	142	2.07	142	68.71	30	10	5.5	5820	981	1.687	1201.792	0.085	1.879	0.020	0.52	7.09	-2.47	0.63	-3.91	63.315949	-5.39	5.39
57	66.069	2.824	1.646	2.0	20	1.63	100	1.77	101	57.17	30	10	5.5	5820	981	1.225	530.955	0.111	1.936	0.020	0.20	6.27	-2.20	0.66	-3.91	56.671646	-0.50	0.50
60	64.203	2.824	1.718	2.0	20	2.34	121	2.47	122	49.35	30	10	5	5820	981	1.139	829.421	0.096	1.900	0.020	0.13	6.72	-2.35	0.64	-3.91	60.441261	11.09	11.09
65	65.255	2.824	1.714	2.0	20	1.83	120	2.10	122	58.17	30	10	5.5	5820	981	1.342	829.421	0.096	1.920	0.020	0.29	6.72	-2.35	0.65	-3.91	59.402635	1.23	1.23
12	66.713	2.824	1.895	2.5	20	1.54	91	1.54	91	58.98	30	10	5.5	5775	981	1.219	424.954	0.119	1.949	0.025	0.20	6.05	-2.13	0.67	-3.69	55.534173	-3.45	3.45
20	62.338	2.824	1.594	2.5	20	2.98	214	2.98	214	71.84	30	10	5.25	5775	981	2.109	3484.621	0.059	1.865	0.025	0.75	8.16	-2.83	0.62	-3.69	69.953582	-1.89	1.89
27	60.803	2.824	1.895	2.5	20	3.16	240	3.30	242	73.38	30	10	5	5775	981	2.274	4827.171	0.053	1.837	0.025	0.82	8.48	-2.94	0.61	-3.69	73.531321	0.15	0.15
29	64.952	2.824	1.636	2.5	20	2.12	141	2.25	142	63.11	30	10	5.5	5775	981	1.555	1220.594	0.084	1.915	0.025	0.44	7.11	-2.48	0.65	-3.69	61.906037	-1.21	1.21
50	63.081	2.824	1.7	2.5	20	2.23	148	2.36	149	63.06	30	10	5.5	5775	981	1.585	1375.768	0.081	1.879	0.025	0.46	7.23	-2.52	0.63	-3.69	64.423237	1.37	1.37
59	64.203	2.824	1.718	2.5	20	2.11	129	2.11	129	61.27	30	10	5	5775	981	1.452	964.223	0.091	1.900	0.025	0.37	6.87	-2.40	0.64	-3.69	61.569756	0.30	0.30
68	66	2.824	1.749	2.5	20	1.89	112	2.02	113	55.97	30	10	5	5775	981	1.257	701.446	0.101	1.935	0.025	0.23	6.55	-2.29	0.66	-3.69	58.355698	2.39	2.39
73	65.772	2.824	1.69	2.5	20	1.75	106	1.89	107	56.74	30	10	5	5775	981	1.248	616.805	0.105	1.930	0.025	0.22	6.42	-2.25	0.66	-3.69	58.009803	1.27	1.27
76	59.898	2.824	1.653	2.5	20	2.74	224	3.20	231	72.09	30	10	5.5	5775	981	2.188	4264.887	0.055	1.820	0.025	0.78	8.36	-2.89	0.60	-3.69	73.941868	1.85	1.85
32	66.016	2.824	1.707	5.0	20	1.62	104	1.82	107	58.82	30	10	5.5	5550	981	1.320	667.830	0.101	1.935	0.050	0.28	6.50	-2.29	0.66	-3.00	59.091992	0.27	0.27
33	62.152	2.824	1.641	5.0	20	2.77	223	3.17	229	72.23	30	10	5.5	5550	981	2.228	4512.356	0.054	1.862	0.050	0.80	8.41	-2.93	0.62	-3.00	72.740878	0.51	0.51
37	63.089	2.824	1.657	5.0	20	3.14	237	3.27	238	72.73	30	10	5.5	5550	981	2.282	4999.291	0.052	1.879	0.050	0.83	8.52	-2.96	0.63	-3.00	72.182407	-0.55	0.55
43	65.188	2.824	1.668	5.0	20	1.88	140	2.28	148	64.82	30	10	5	5550	981	1.657	1464.752	0.078	1.919	0.050	0.51	7.29	-2.55	0.65	-3.00	63.560602	-1.26	1.26
52	67.058	2.824	1.718	5.0	20	1.78	107	1.78	107	60.28	30	10	5.5	5550	981	1.352	667.830	0.101	1.955	0.050	0.30	6.50	-2.29	0.67	-3.00	58.086121	-2.20	2.20
61	60.078	2.824	1.718	5.0	20	3.18	278	3.93	292	74.24	30	10	5	5550	981	2.553	8671.049	0.043	1.824	0.050	0.94	9.07	-3.14	0.60	-3.00	79.0717	4.83	4.83
70	64.238	2.824	1.742	5.0	20	2.71	195	2.97	198	66.62	30	10	5	5550	981	1.928	3078.283	0.061	1.901	0.050	0.66	8.03	-2.80	0.64	-3.00	68.284254	1.67	1.67
38	63.089	2.824	1.657	7.5	20	3.51	279	3.64	280	76.88	30	10	5.5	5325	981	2.649	8404.964	0.043	1.879	0.075	0.97	9.04	-3.15	0.63	-2.59	75.29977	-1.58	1.58
44	65.188	2.824	1.668	7.5	20	2.19	174	2.73	185	67.85	30	10	5.25	5325	981	1.947	2803.923	0.062	1.919	0.075	0.67	7.94	-2.78	0.65	-2.59	66.958162	-0.89	0.89
46	66.294	2.824	1.713	7.5	20	1.42	105	2.18	120	55.02	30	10	5.25	5325	981	1.319	952.192	0.089	1.940	0.075	0.28	6.86	-2.42	0.66	-2.59	60.604109	5.58	5.58
53	67.058	2.824	1.718	7.5	20	1.98	127	2.11	128	60.63	30	10	5	5325	981	1.491	1112.813	0.084	1.955	0.075	0.40	7.01	-2.47	0.67	-2.59	60.553967	-0.08	0.08
71	64.238	2.824	1.742	7.5	20	2.74	231	3.34	241	72.11	30	10	5.5	5325	981	2.323	5615.115	0.049	1.901	0.075	0.84	8.63	-3.01	0.64	-2.59	71.672961	-0.43	0.43
35	62.152	2.824	1.641	9.0	20	3.53	302	3.87	306	79.15	30	10	5	5190	981	2.876	11266.087	0.039	1.862	0.090	1.06	9.33	-3.25	0.62	-2.41	78.088681	-1.06	1.06
39	63.008	2.824	1.69	9.0	20	3.56	318	4.03	324	80.37	30	10	5.5	5190	981	2.997	13175.438	0.037	1.878	0.090	1.10	9.49	-3.31	0.63	-2.41	77.909876	-2.46	2.46



DETERMINACIÓN DE LA TRAZA EN EL CANAL

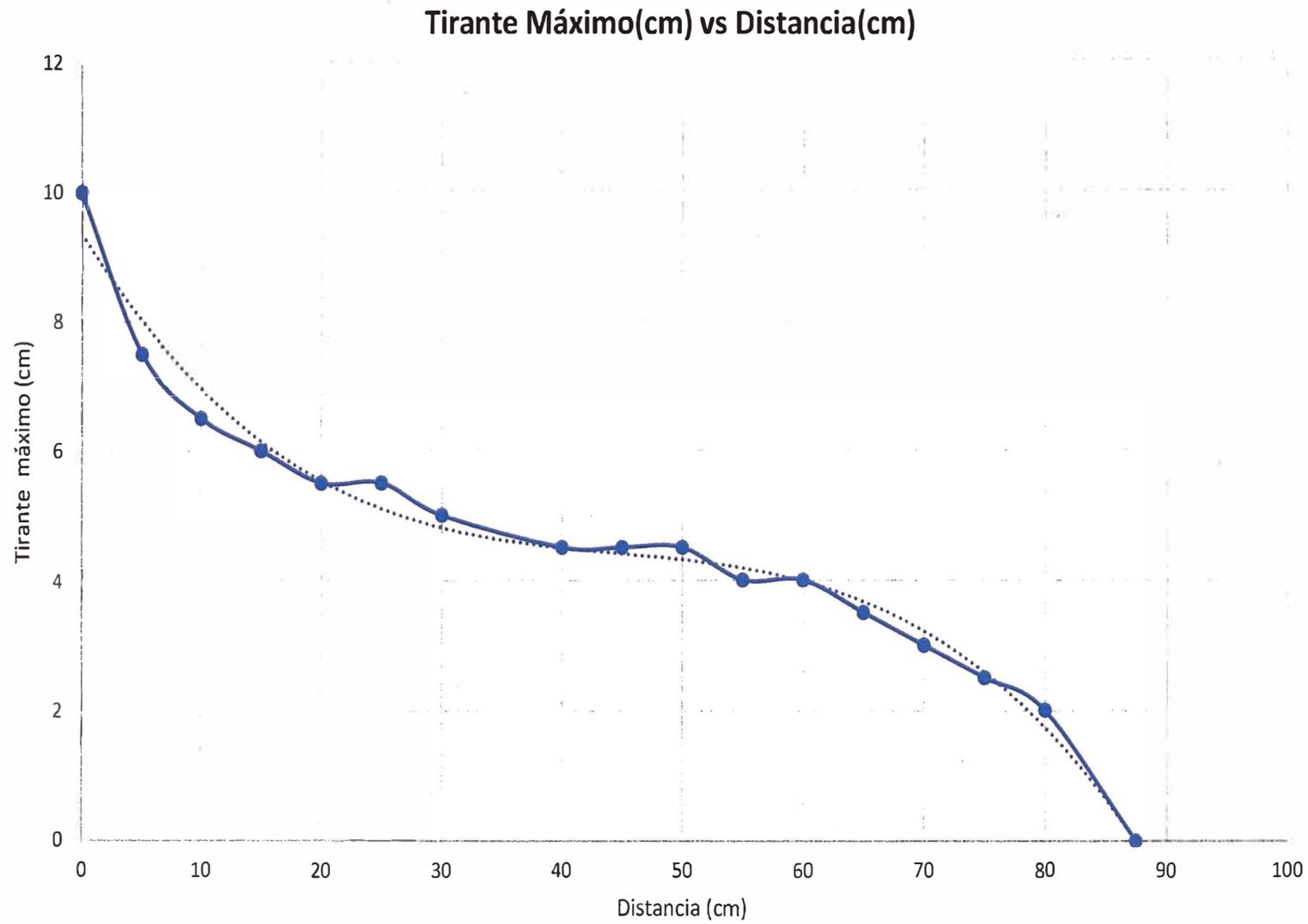
1.0 DATOS GENERALES

Proyecto: Mecánica de flujos de relave minero en canales abiertos
Fecha: 31/07/2017
Muestra: MUESTRA N° BALDE 15
Realizado por: Alexander Avila de la Cruz
Revisado por: Aldo Concepción Ccorahua

2.0 TRAZA DE LOS MAXIMOS TIRANTES DEL FLUJO DE RELAVE

Punto	Distancia (cm)	Tirante (cm)
1	0	10
2	5	7.5
3	10	6.5
4	15	6
5	20	5.5
6	25	5.5
7	30	5
8	40	4.5
9	45	4.5
10	50	4.5
11	55	4
12	60	4
13	65	3.5
14	70	3
15	75	2.5
16	80	2
17	87.5	0

3.0 GRAFICA DE LA TRAZA





DETERMINACIÓN DE LA TRAZA EN EL CANAL

1.0 DATOS GENERALES

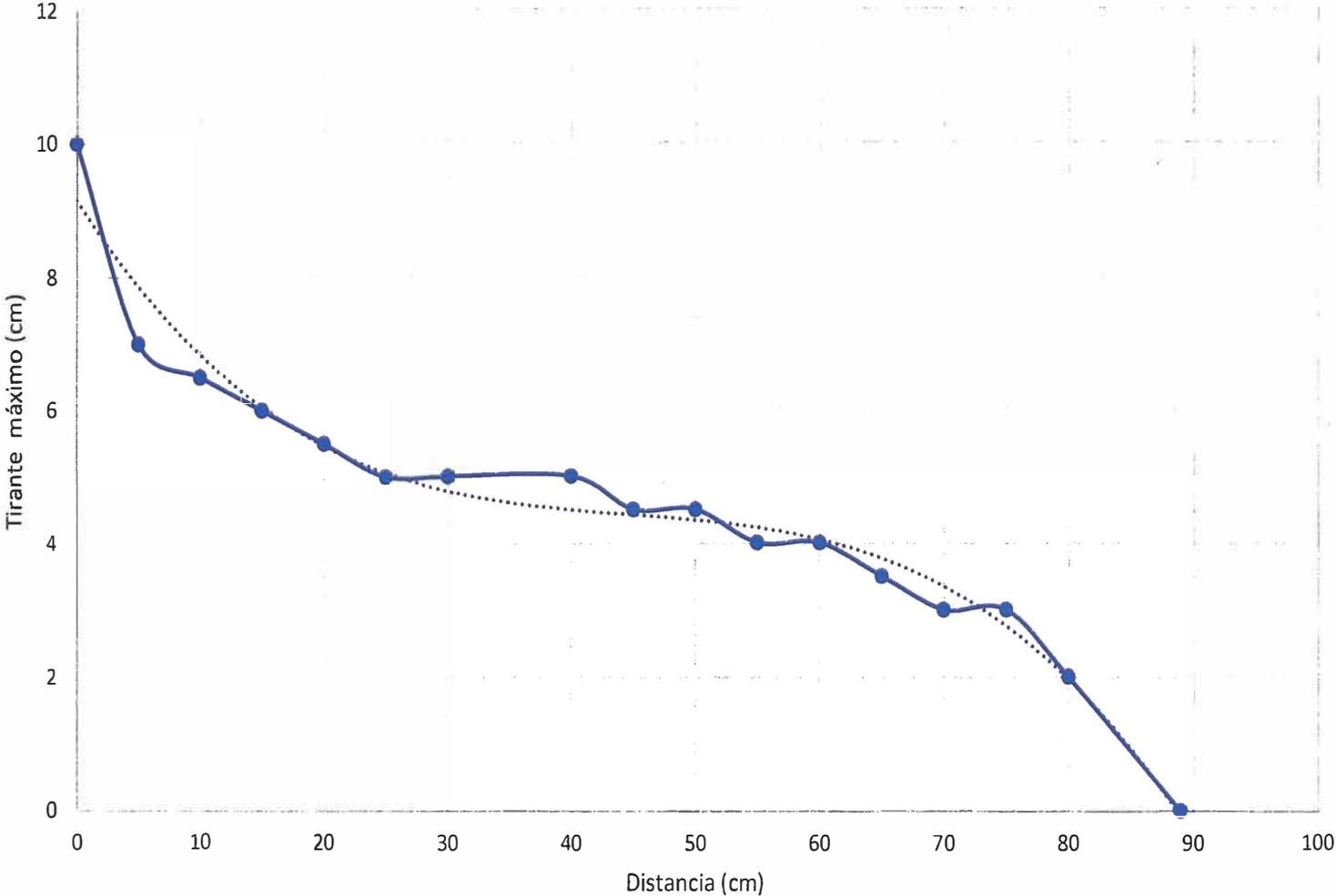
Proyecto: Mecánica de flujos de relave minero en canales abiertos
Fecha: 02/08/2017
Muestra: MUESTRA N° BALDE 18
Realizado por: Alexander Avila de la Cruz
Revisado por: Aldo Concepción Ccorahua

2.0 TRAZA DE LOS MAXIMOS TIRANTES DEL FLUJO DE RELAVE

	Distancia (cm)	Tirante (cm)
1	0	10
2	5	7
3	10	6.5
4	15	6
5	20	5.5
6	25	5
7	30	5
8	40	5
9	45	4.5
10	50	4.5
11	55	4
12	60	4
13	65	3.5
14	70	3
15	75	3
16	80	2
17	89	0

3.0 GRAFICA DE LA TRAZA

Tirante Máximo(cm) vs Distancia(cm)





DETERMINACIÓN DE LA TRAZA EN EL CANAL

1.0 DATOS GENERALES

Proyecto: Mecánica de flujos de relave minero en canales abiertos

Fecha: 02/08/2017

Muestra: MUESTRA N° BALDE 18

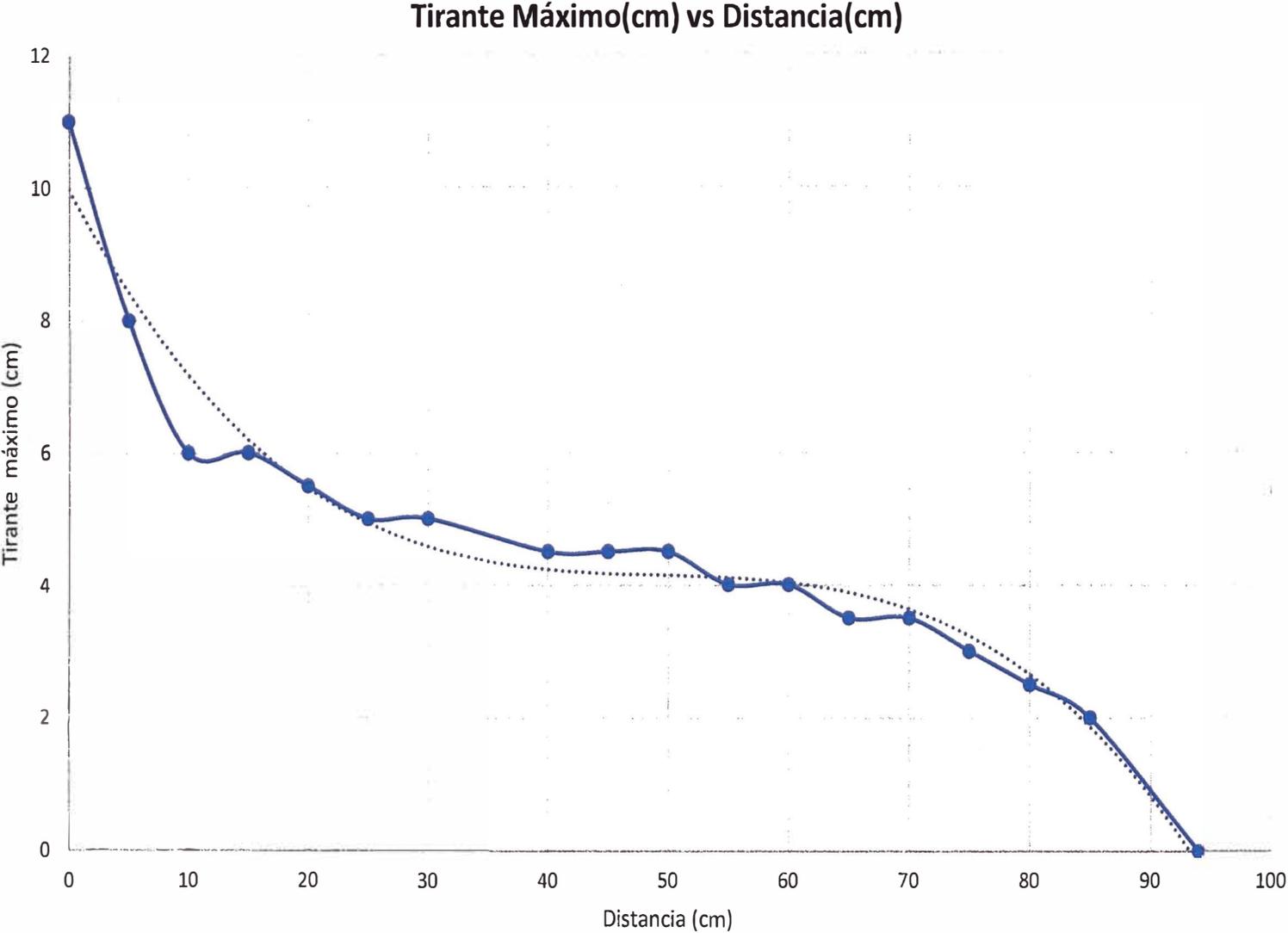
Realizado por: Alexander Avila de la Cruz

Revisado por: Aldo Concepción Ccorahua

2.0 TRAZA DE LOS MAXIMOS TIRANTES DEL FLUJO DE RELAVE

Punto	Distancia (cm)	Tirante (cm)
1	0	11
2	5	8
3	10	6
4	15	6
5	20	5.5
6	25	5
7	30	5
8	40	4.5
9	45	4.5
10	50	4.5
11	55	4
12	60	4
13	65	3.5
14	70	3.5
15	75	3
16	80	2.5
17	85	2
18	94	0

3.0 GRAFICA DE LA TRAZA





DETERMINACIÓN DE LA TRAZA EN EL CANAL

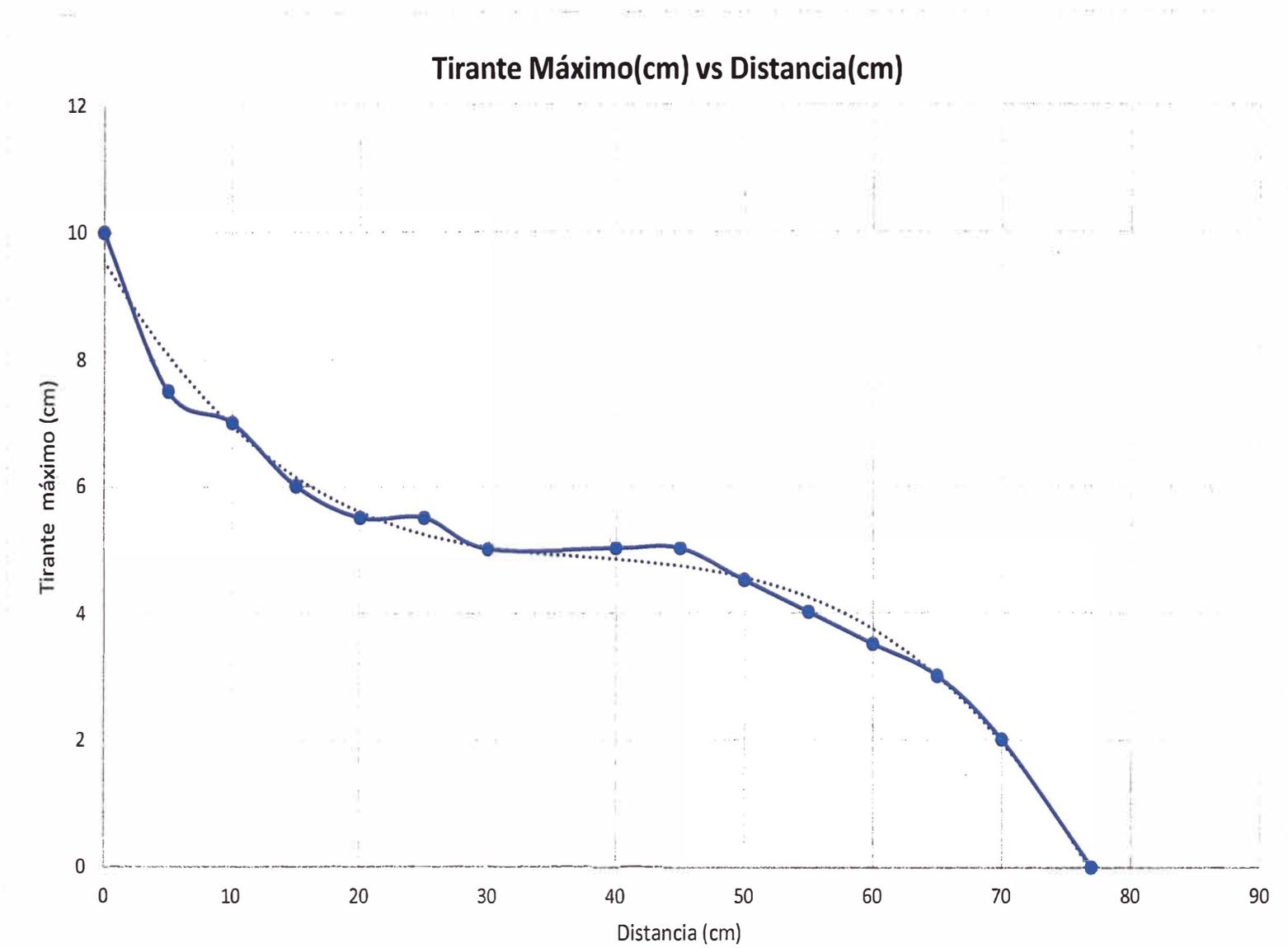
1.0 DATOS GENERALES

Proyecto: Mecánica de flujos de relave minero en canales abiertos
Fecha: 03/08/2017
Muestra: MUESTRA N° BALDE 16
Realizado por: Alexander Avila de la Cruz
Revisado por: Aldo Concepción Ccorahua

2.0 TRAZA DE LOS MAXIMOS TIRANTES DEL FLUJO DE RELAVE

Punto	Distancia (cm)	Tirante (cm)
1	0	10
2	5	7.5
3	10	7
4	15	6
5	20	5.5
6	25	5.5
7	30	5
8	40	5
9	45	5
10	50	4.5
11	55	4
12	60	3.5
13	65	3
14	70	2
15	77	0

3.0 GRAFICA DE LA TRAZA





ENSAYO EN CANALES ABIERTOS CON RELAVES MINEROS

1.0 DATOS GENERALES

Proyecto:	Mecánica de flujos de relave minero en canales abiertos
Fecha:	02/08/2017
Muestra:	MUESTRA N° BALDE 01
Realizado por:	Ciro Alegría Zambrano
Revisado por:	Aldo Concepción Ccorahua

2.0 PARÁMETROS DE ENSAYO

Ensayo:	1
Concentración(%):	67
Pendiente(%):	0.5
Ancho(cm):	20
Tiempo de inicio:	04:08:08 p.m.
Tiempo final:	04:08:11 p.m.
Velocidad(FPS)	14
Nomenclatura:	E1_C67_S0.5_B20

3.0 OBTENCIÓN DE DATOS

CÁMARA	FOTO	TIEMPO(s)	TIEMPO RELATIVO (s)	DELTA DEL TIEMPO(s)	POSICION (cm)	VELOCIDAD (m/s)
Channel 1	0035	1.43	0.00	-	0	-



**ENSAYO EN CANALES
ABIERTOS
CON RELAVES MINEROS**

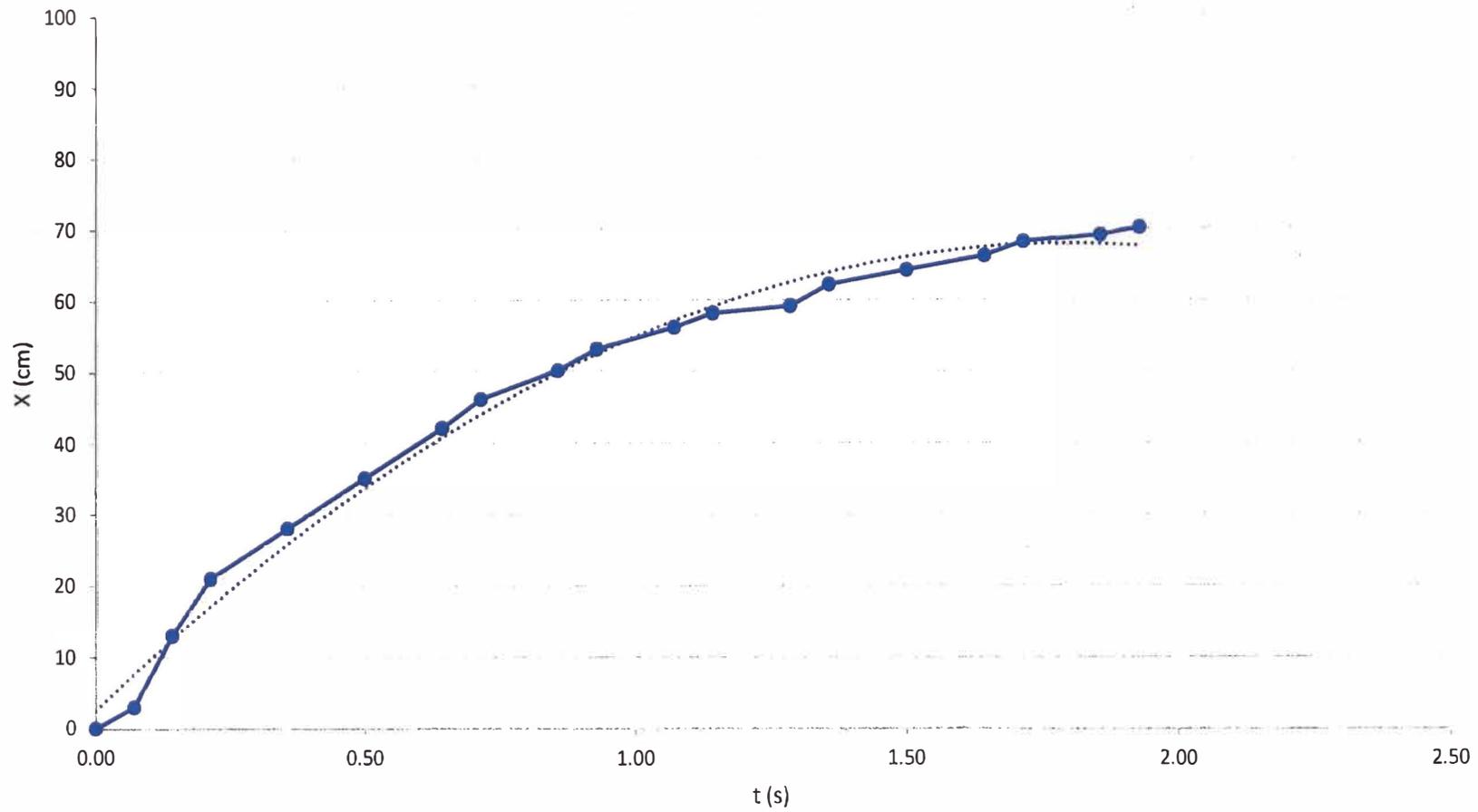
CÁMARA	FOTO	TIEMPO(s)	TIEMPO RELATIVO (s)	DELTA DEL TIEMPO(s)	POSICION (cm)	VELOCIDAD (m/s)
Channel 1	0036	1.50	0.07	0.07	3	0.42
	0039	1.57	0.14	0.07	13	1.40
	0041	1.64	0.21	0.07	21	1.12
	0044	1.79	0.36	0.14	28	0.49
	0047	1.93	0.50	0.14	35	0.49
	0050	2.07	0.64	0.14	42	0.49
	0052	2.14	0.71	0.07	46	0.56
Channel 2	0050	2.29	0.86	0.14	50	0.28
	0052	2.36	0.93	0.07	53	0.42
	0055	2.50	1.07	0.14	56	0.21
	0058	2.57	1.14	0.07	58	0.28
	0061	2.71	1.29	0.14	59	0.07
	0063	2.79	1.36	0.07	62	0.42
	0066	2.93	1.50	0.14	64	0.14
	0069	3.07	1.64	0.14	66	0.14
	0071	3.14	1.71	0.07	68	0.28
	0074	3.29	1.86	0.14	69	0.07
	0077	3.36	1.93	0.07	70	0.14
	0082	3.57	2.14	0.21	71	0.05
	0140	6.00	4.57	2.43	72	0.00



ENSAYO EN CANALES ABIERTOS CON RELAVES MINEROS

4.0 GRÁFICA POSICIÓN(X) vs TIEMPO(S)

Posición(X) vs Tiempo(t)





ENSAYO EN CANALES ABIERTOS CON RELAVES MINEROS

1.0 DATOS GENERALES

Proyecto: Mecánica de flujos de relave minero en canales abiertos
 Fecha: 02/08/2017
 Muestra: MUESTRA N° BALDE 18
 Realizado por: Ciro Alegría Zambrano
 Revisado por: Aldo Concepción Ccorahua

2.0 PARÁMETROS DE ENSAYO

Ensayo:	2
Concentración(%):	67
Pendiente(%):	1.0
Ancho(cm):	20
Tiempo de inicio:	04:36:36 p.m.
Tiempo final:	04:36:39 p.m.
Velocidad(FPS)	14
Nomenclatura:	E2_C67_S1.0_B20

3.0 OBTENCIÓN DE DATOS

CÁMARA	FOTO	TIEMPO (s)	TIEMPO RELATIVO (s)	DELTA DE TIEMPO (s)	POSICION (cm)	VELOCIDAD (m/s)
Channel 1	0023	0.93	0.00	-	0	-



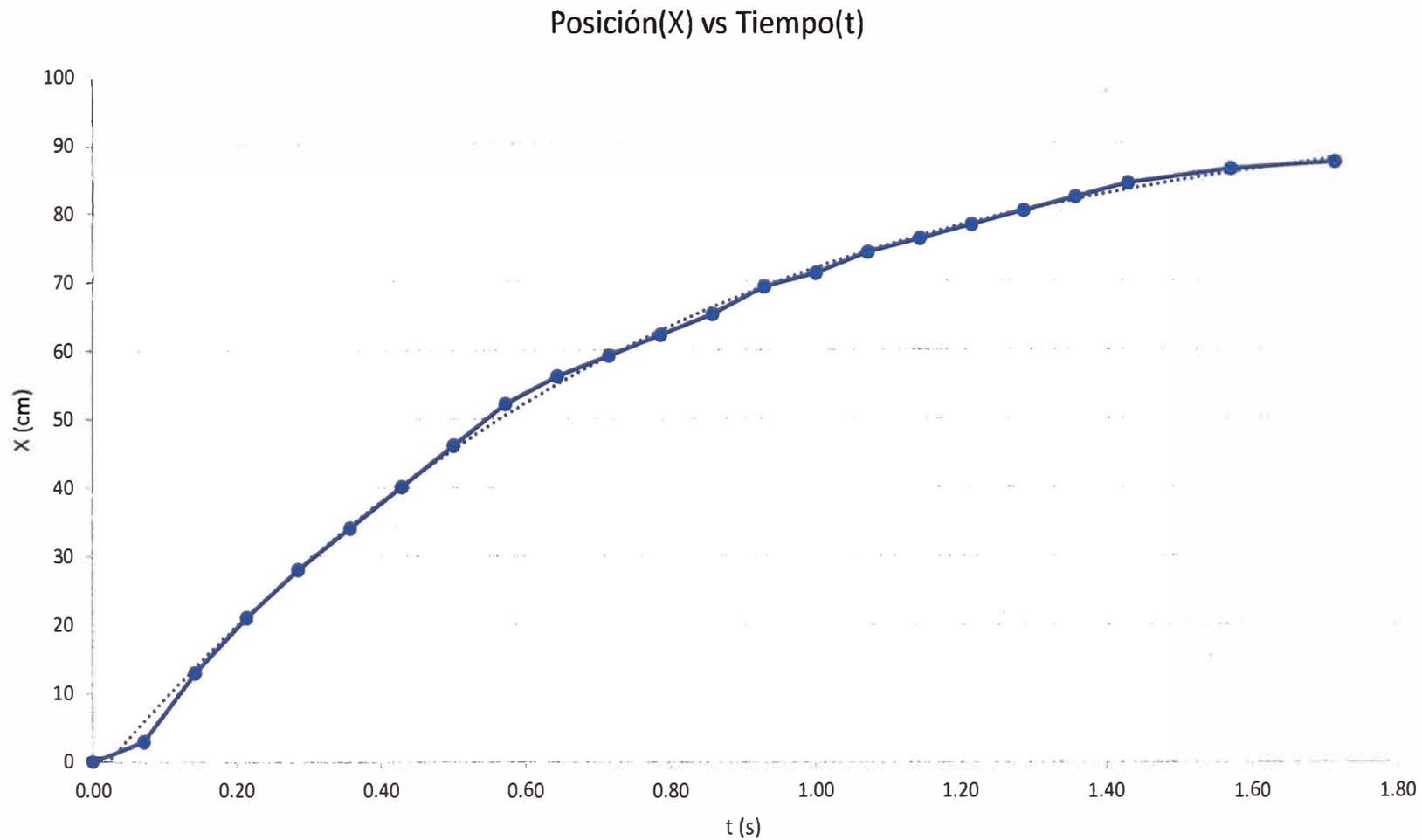
**ENSAYO EN CANALES
ABIERTOS
CON RELAVES MINEROS**

CÁMARA	FOTO	TIEMPO (s)	TIEMPO RELATIVO (s)	DELTA DE TIEMPO (s)	POSICION (cm)	VELOCIDAD (m/s)
Channel 1	0024	1.00	0.07	0.07	3	0.42
	0026	1.07	0.14	0.07	13	1.40
	0028	1.14	0.21	0.07	21	1.12
	0030	1.21	0.29	0.07	28	0.98
	0031	1.29	0.36	0.07	34	0.84
	0033	1.36	0.43	0.07	40	0.84
	0035	1.43	0.50	0.07	46	0.84
Channel 2	0033	1.50	0.57	0.07	52	0.84
	0035	1.57	0.64	0.07	56	0.56
	0036	1.64	0.71	0.07	59	0.42
	0038	1.71	0.79	0.07	62	0.42
	0040	1.79	0.86	0.07	65	0.42
	0042	1.86	0.93	0.07	69	0.56
	0043	1.93	1.00	0.07	71	0.28
	0045	2.00	1.07	0.07	74	0.42
	0047	2.07	1.14	0.07	76	0.28
	0048	2.14	1.21	0.07	78	0.28
	0050	2.21	1.29	0.07	80	0.28
	0052	2.29	1.36	0.07	82	0.28
	0054	2.36	1.43	0.07	84	0.28
	0057	2.50	1.57	0.14	86	0.14
	0060	2.64	1.71	0.14	87	0.07
0091	3.93	3.00	1.29	88	0.01	



ENSAYO EN CANALES ABIERTOS CON RELAVES MINEROS

4.0 GRÁFICA POSICIÓN(X) vs TIEMPO(S)





ENSAYO EN CANALES ABIERTOS CON RELAVES MINEROS

1.0 DATOS GENERALES

Proyecto: Mecánica de flujos de relave minero en canales abiertos
Fecha: 08/08/2017
Muestra: MUESTRA N° BALDE 11
Realizado por: Ciro Alegría Zambrano
Revisado por: Aldo Concepción Ccorahua

2.0 PARÁMETROS DE ENSAYO

Ensayo:	14
Concentración(%):	63
Pendiente(%):	1.0
Ancho(cm):	20
Tiempo de inicio:	03:09:40 p.m.
Tiempo final:	03:09:46 p.m.
Velocidad(FPS)	15
Nomenclatura:	E14_C63_S1.0_B20

3.0 OBTENCIÓN DE DATOS

CÁMARA	FOTO	TIEMPO (s)	TIEMPO RELATIVO (s)	DELTA TIEMPO (s)	POSICION (cm)	VELOCIDAD (m/s)
Channel 1	0031	1.20	0.00		0	-



**ENSAYO EN CANALES
ABIERTOS
CON RELAVES MINEROS**

CÁMARA	FOTO	TIEMPO (s)	TIEMPO RELATIVO (s)	DELTA TIEMPO (s)	POSICION (cm)	VELOCIDAD (m/s)
Channel 1	0032	1.27	0.07	0.07	1	0.15
	0034	1.33	0.13	0.07	7	0.90
	0036	1.40	0.20	0.07	14	1.05
	0037	1.47	0.27	0.07	22	1.20
	0039	1.53	0.33	0.07	32	1.50
	0040	1.60	0.40	0.07	40	1.20
	0042	1.67	0.47	0.07	49	1.35
	A	1.68	0.48	0.01	51	1.35
channel 2	0040	1.75	0.55	0.07	58	1.05
	0042	1.81	0.61	0.07	63	0.75
	0044	1.88	0.68	0.07	67	0.60
	0045	1.95	0.75	0.07	71	0.60
	0047	2.01	0.81	0.07	75	0.60
	0048	2.08	0.88	0.07	79	0.60
	0050	2.15	0.95	0.07	84	0.75
	0052	2.21	1.01	0.07	88	0.60
	0053	2.28	1.08	0.07	92	0.60
	0055	2.35	1.15	0.07	96	0.60
	0056	2.41	1.21	0.07	99	0.45
	B	2.43	1.23	0.02	100	0.60
	Channel 3	0068	2.50	1.30	0.07	105
0069		2.56	1.36	0.07	108	0.45
0071		2.63	1.43	0.07	111	0.45



**ENSAYO EN CANALES
ABIERTOS
CON RELAVES MINEROS**

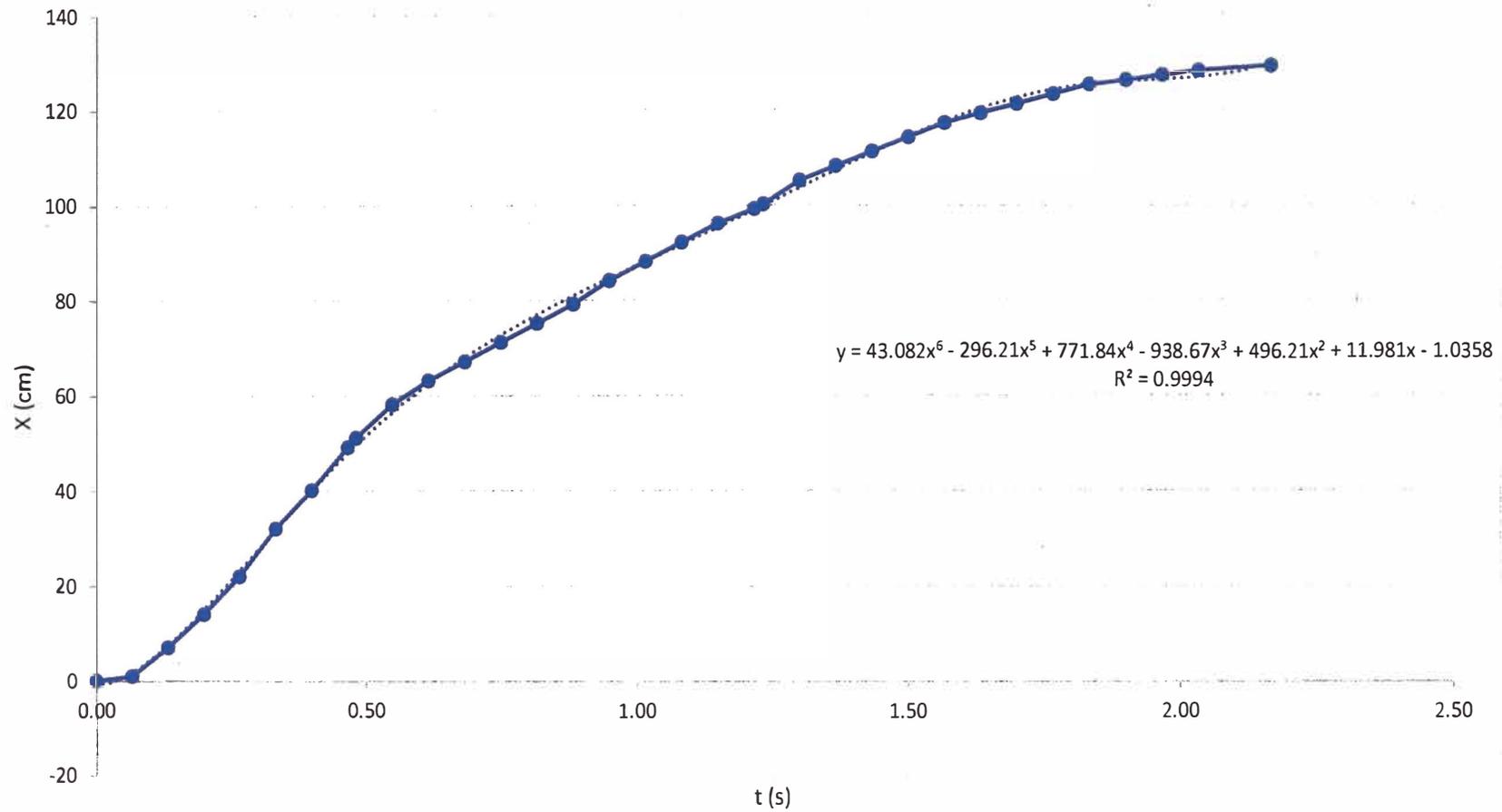
CÁMARA	FOTO	TIEMPO (s)	TIEMPO RELATIVO (s)	DELTA TIEMPO (s)	POSICION (cm)	VELOCIDAD (m/s)
Channel 3	0072	2.70	1.50	0.07	114	0.45
	0074	2.76	1.56	0.07	117	0.45
	0076	2.83	1.63	0.07	119	0.30
	0077	2.90	1.70	0.07	121	0.30
	0079	2.96	1.76	0.07	123	0.30
	0080	3.03	1.83	0.07	125	0.30
	0082	3.10	1.90	0.07	126	0.15
	0084	3.16	1.96	0.07	127	0.15
	0085	3.23	2.03	0.07	128	0.15
	0088	3.36	2.16	0.13	129	0.07
	0151	5.96	4.76	2.60	130	0.00



ENSAYO EN CANALES ABIERTOS CON RELAVES MINEROS

4.0 GRÁFICA POSICIÓN(X) vs TIEMPO(S)

Posición(X) vs Tiempo(t)





ENSAYO EN CANALES ABIERTOS CON RELAVES MINEROS

1.0 DATOS GENERALES

Proyecto: Mecánica de flujos de relave minero en canales abiertos
 Fecha: 09/08/2017
 Muestra: MUESTRA N° BALDE 3
 Realizado por: Ciro Alegría Zambrano
 Revisado por: Aldo Concepción Ccorahua

2.0 PARÁMETROS DE ENSAYO

Ensayo:	19
Concentración(%):	62
Pendiente(%):	2.0
Ancho(cm):	20
Tiempo de inicio:	02:40:42 p.m.
Tiempo final:	02:40:46 p.m.
Velocidad(FPS)	14
Nomenclatura:	E19_C62_S2.0_B20

3.0 OBTENCIÓN DE DATOS

CÁMARA	FOTO	TIEMPO (s)	TIEMPO RELATIVO	DELTA TIEMPO	POSICION (cm)	VELOCIDAD (m/s)
Channel 1	0012	0.43	0.00		0	-



**ENSAYO EN CANALES
ABIERTOS
CON RELAVES MINEROS**

CÁMARA	FOTO	TIEMPO (s)	TIEMPO RELATIVO	DELTA TIEMPO	POSICION (cm)	VELOCIDAD (m/s)
Channel 1	0013	0.50	0.07	0.07	2	0.28
	0015	0.57	0.14	0.07	9	0.98
	0016	0.64	0.21	0.07	17	1.12
	0018	0.71	0.29	0.07	25	1.12
	0020	0.79	0.36	0.07	34	1.26
	0021	0.86	0.43	0.07	45	1.54
	A	0.86	0.44	0.01	46	1.54
Channel 2	0020	0.94	0.51	0.07	56	1.40
	0021	1.01	0.58	0.07	65	1.26
	0023	1.08	0.65	0.07	73	1.12
	0024	1.15	0.72	0.07	79	0.84
	0026	1.22	0.79	0.07	85	0.84
	0028	1.29	0.86	0.07	90	0.70
	0029	1.36	0.94	0.07	95	0.70
	B	1.39	0.96	0.03	97	0.70
Channel 3	0039	1.46	1.04	0.07	103	0.84
	0040	1.54	1.11	0.07	109	0.84
	0042	1.61	1.18	0.07	114	0.70
	0044	1.68	1.25	0.07	120	0.84
	0045	1.75	1.32	0.07	125	0.70
	0047	1.82	1.39	0.07	130	0.70
	0048	1.89	1.46	0.07	135	0.70
	0050	1.96	1.54	0.07	140	0.70



**ENSAYO EN CANALES
ABIERTOS
CON RELAVES MINEROS**

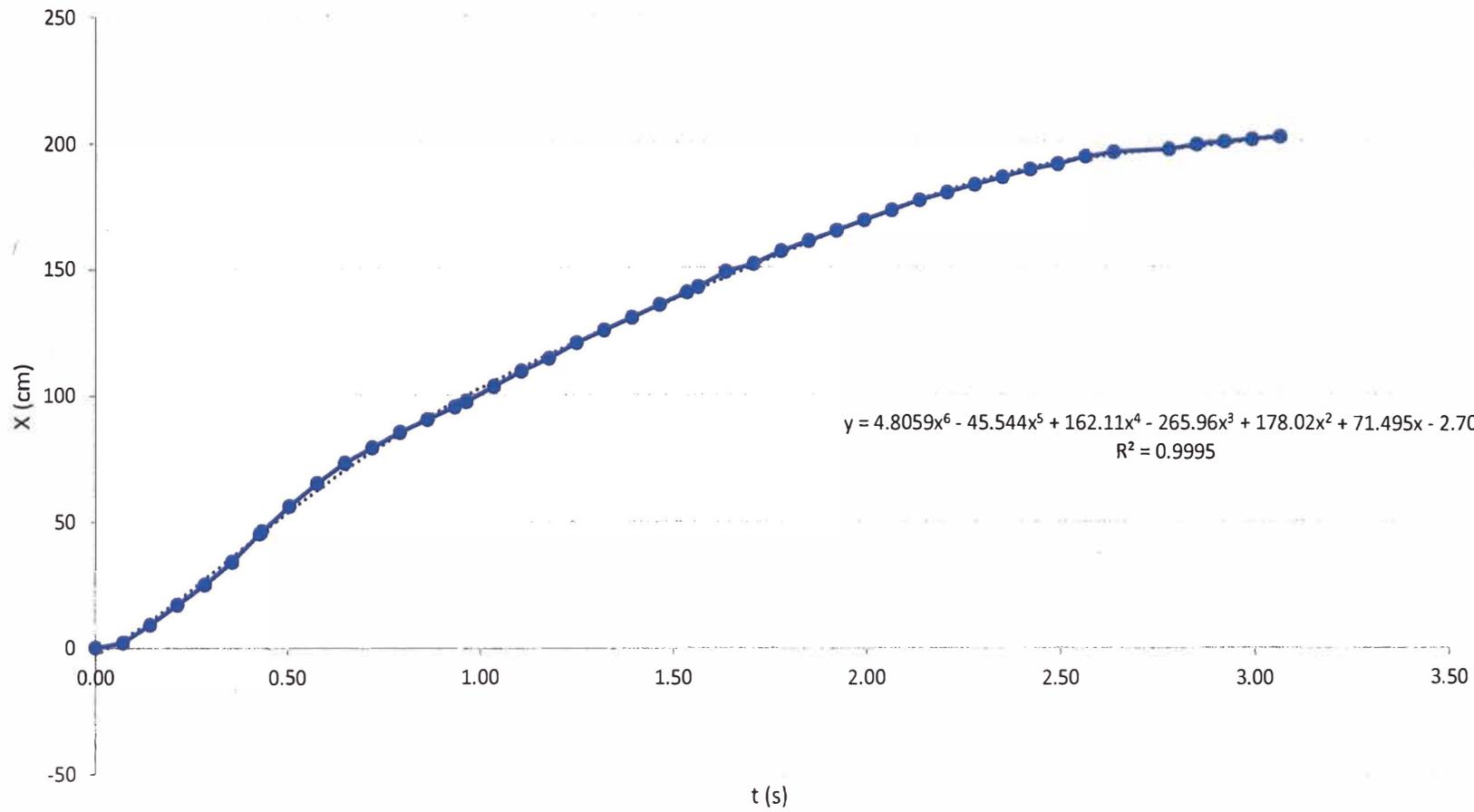
CÁMARA	FOTO	TIEMPO (s)	TIEMPO RELATIVO	DELTA TIEMPO	POSICION (cm)	VELOCIDAD (m/s)
Channel 3	C	1.99	1.56	0.03	142	0.70
Channel 4	0045	2.06	1.64	0.07	148	0.84
	0047	2.14	1.71	0.07	151	0.42
	0048	2.21	1.78	0.07	156	0.70
	0050	2.28	1.85	0.07	160	0.56
	0052	2.35	1.92	0.07	164	0.56
	0053	2.42	1.99	0.07	168	0.56
	0055	2.49	2.06	0.07	172	0.56
	0056	2.56	2.14	0.07	176	0.56
	0058	2.64	2.21	0.07	179	0.42
	0060	2.71	2.28	0.07	182	0.42
	0061	2.78	2.35	0.07	185	0.42
	0063	2.85	2.42	0.07	188	0.42
	0064	2.92	2.49	0.07	190	0.28
	0066	2.99	2.56	0.07	193	0.42
	0068	3.06	2.64	0.07	195	0.28
	0071	3.21	2.78	0.14	196	0.07
	0072	3.28	2.85	0.07	198	0.28
	0074	3.35	2.92	0.07	199	0.14
0076	3.42	2.99	0.07	200	0.14	
0077	3.49	3.06	0.07	201	0.14	
0102	4.56	4.14	1.07	202	0.01	



ENSAYO EN CANALES ABIERTOS CON RELAVES MINEROS

4.0 GRÁFICA POSICIÓN(X) vs TIEMPO(S)

Posición(X) vs Tiempo(t)





ENSAYO EN CANALES ABIERTOS CON RELAVES MINEROS

1.0 DATOS GENERALES

Proyecto: Mecánica de flujos de relave minero en canales abiertos
Fecha: 10/08/2017
Muestra: MUESTRA N° BALDE 2
Realizado por: Ciro Alegría Zambrano
Revisado por: Aldo Concepción Ccorahua

2.0 PARÁMETROS DE ENSAYO

Ensayo:	28
Concentración(%):	61
Pendiente(%):	5.0
Ancho(cm):	20
Tiempo de inicio:	04:28:15 p.m.
Tiempo final:	04:28:46 p.m.
Velocidad(FPS)	15
Nomenclatura:	E28_C61_S5.0_B20

3.0 OBTENCIÓN DE DATOS

CÁMARA	FOTO	TIEMPO (s)	TIEMPO RELATIVO(s)	DELTA DE TIEMPO (s)	POSICION (cm)	VELOCIDAD (m/s)
Channel 1	0003	0.13	0.00		0	-



**ENSAYO EN CANALES
ABIERTOS
CON RELAVES MINEROS**

CÁMARA	FOTO	TIEMPO (s)	TIEMPO RELATIVO(s)	DELTA DE TIEMPO (s)	POSICION (cm)	VELOCIDAD (m/s)
Channel 1	0005	0.27	0.13	0.13	5	0.38
	0006	0.33	0.20	0.07	13	1.20
	0007	0.40	0.27	0.07	23	1.50
	0008	0.47	0.33	0.07	33	1.50
	0010	0.53	0.40	0.07	43	1.50
	A	0.57	0.43	0.03	48	1.50
Channel 2	0010	0.63	0.50	0.07	58	1.50
	0011	0.70	0.57	0.07	68	1.50
	0012	0.77	0.63	0.07	78	1.50
	0013	0.83	0.70	0.07	86	1.20
	0014	0.90	0.77	0.07	94	1.20
	0015	0.97	0.83	0.07	101	1.05
	0016	1.03	0.90	0.07	108	1.05
	B	1.05	0.92	0.02	110	1.05
Channel 3	0016	1.12	0.99	0.07	116	0.90
	0017	1.19	1.05	0.07	123	1.05
	0018	1.25	1.12	0.07	130	1.05
	0019	1.32	1.19	0.07	137	1.05
	0020	1.39	1.25	0.07	144	1.05
	0021	1.45	1.32	0.07	152	1.20
	0022	1.52	1.39	0.07	160	1.20
	C	1.56	1.43	0.04	165	1.20
Channel 4	0023	1.63	1.49	0.07	172	1.05



**ENSAYO EN CANALES
ABIERTOS
CON RELAVES MINEROS**

CÁMARA	FOTO	TIEMPO (s)	TIEMPO RELATIVO(s)	DELTA DE TIEMPO (s)	POSICION (cm)	VELOCIDAD (m/s)
Channel 4	0025	1.76	1.63	0.13	179	0.53
	0026	1.83	1.69	0.07	186	1.05
	0027	1.89	1.76	0.07	193	1.05
	0028	1.96	1.83	0.07	200	1.05
	0029	2.03	1.89	0.07	207	1.05
	D	2.07	1.93	0.04	211	1.05
Channel 5	0046	2.13	2.00	0.07	217	0.90
	0047	2.20	2.07	0.07	223	0.90
	0048	2.27	2.13	0.07	229	0.90
	0049	2.33	2.20	0.07	235	0.90
	0050	2.40	2.27	0.07	241	0.90
	0051	2.47	2.33	0.07	246	0.75
	0052	2.53	2.40	0.07	251	0.75
	0056	2.80	2.67	0.27	267	0.60
	0057	2.87	2.73	0.07	271	0.60
	0058	2.93	2.80	0.07	275	0.60
E	2.97	2.83	0.03	277	0.60	
Channel 6	0059	3.03	2.90	0.07	281	0.60
	0060	3.10	2.97	0.07	284	0.45
	0061	3.17	3.03	0.07	288	0.60
	0062	3.23	3.10	0.07	291	0.45
	0063	3.30	3.17	0.07	295	0.60
	0064	3.37	3.23	0.07	298	0.45



**ENSAYO EN CANALES
ABIERTOS
CON RELAVES MINEROS**

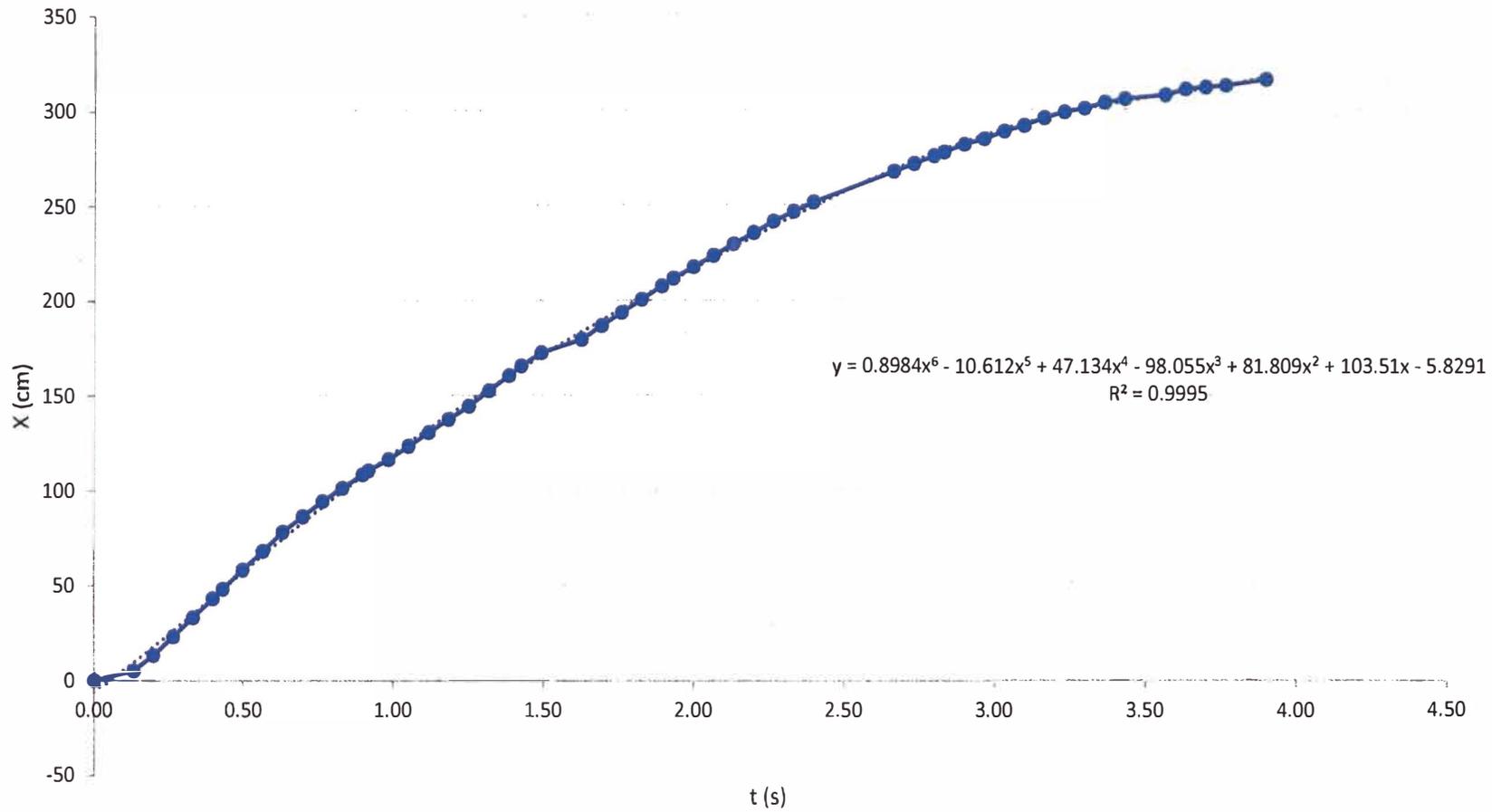
CÁMARA	FOTO	TIEMPO (s)	TIEMPO RELATIVO(s)	DELTA DE TIEMPO (s)	POSICION (cm)	VELOCIDAD (m/s)
Channel 6	0065	3.43	3.30	0.07	300	0.30
	0066	3.50	3.37	0.07	303	0.45
	0067	3.57	3.43	0.07	305	0.30
	0069	3.70	3.57	0.13	307	0.15
	0070	3.77	3.63	0.07	310	0.45
	0071	3.83	3.70	0.07	311	0.15
	0072	3.90	3.77	0.07	312	0.15
	0074	4.03	3.90	0.13	315	0.23



ENSAYO EN CANALES ABIERTOS CON RELAVES MINEROS

4.0 GRÁFICA POSICIÓN(X) vs TIEMPO(S)

Posición(X) vs Tiempo(t)





ENSAYO EN CANALES ABIERTOS CON RELAVES MINEROS

1.0 DATOS GENERALES

Proyecto: Mecánica de flujos de relave minero en canales abiertos
Fecha: 16/08/2017
Muestra: MUESTRA N° BALDE 16
Realizado por: Ciro Alegría Zambrano
Revisado por: Aldo Concepción Ccorahua

2.0 PARÁMETROS DE ENSAYO

Ensayo:	35
Concentración(%):	62
Pendiente(%):	9.0
Ancho(cm):	20
Tiempo de inicio:	12:58:15 p.m.
Tiempo final:	12:59:20 p.m.
Velocidad(FPS)	15
Nomenclatura:	E35_C62_S9.0_B20

3.0 OBTENCIÓN DE DATOS

CÁMARA	FOTO	TIEMPO (s)	TIEMPO RELATIVO (s)	DELTA DE TIEMPO (s)	POSICION (cm)	VELOCIDAD (m/s)
Channel 1	0019	0.67	0.00		0	-



**ENSAYO EN CANALES
ABIERTOS
CON RELAVES MINEROS**

CÁMARA	FOTO	TIEMPO (s)	TIEMPO RELATIVO (s)	DELTA DE TIEMPO (s)	POSICION (cm)	VELOCIDAD (m/s)
Channel 1	0020	0.73	0.07	0.07	6	0.90
	0021	0.80	0.13	0.07	14	1.20
	0023	0.87	0.20	0.07	23	1.35
	0024	0.93	0.27	0.07	32	1.35
	0026	1.00	0.33	0.07	42	1.50
	A	1.02	0.35	0.02	45	1.50
Channel 2	0048	1.09	0.42	0.07	56	1.65
	0050	1.15	0.49	0.07	66	1.50
	0052	1.22	0.55	0.07	75	1.35
	0053	1.29	0.62	0.07	82	1.05
	0055	1.35	0.69	0.07	89	1.05
	0056	1.42	0.75	0.07	95	0.90
	0058	1.49	0.82	0.07	100	0.75
	0060	1.55	0.89	0.07	107	1.05
	B	1.56	0.90	0.01	108	1.05
Channel 3	0058	1.63	0.96	0.07	115	1.05
	0060	1.70	1.03	0.07	122	1.05
	0061	1.76	1.10	0.07	129	1.05
	0063	1.83	1.16	0.07	137	1.20
	0064	1.90	1.23	0.07	143	0.90
	0066	1.96	1.30	0.07	151	1.20
	C	2.01	1.34	0.05	156	1.05
Channel 4	0068	2.08	1.41	0.07	163	1.05



**ENSAYO EN CANALES
ABIERTOS
CON RELAVES MINEROS**

CÁMARA	FOTO	TIEMPO (s)	TIEMPO RELATIVO (s)	DELTA DE TIEMPO (s)	POSICION (cm)	VELOCIDAD (m/s)
Channel 4	0069	2.14	1.48	0.07	170	1.05
	0071	2.21	1.54	0.07	178	1.20
	0072	2.28	1.61	0.07	185	1.05
	0074	2.34	1.68	0.07	192	1.05
	0076	2.41	1.74	0.07	199	1.05
	D	2.47	1.80	0.06	204	0.90
Channel 5	0068	2.53	1.87	0.07	210	0.90
	0069	2.60	1.93	0.07	216	0.90
	0071	2.67	2.00	0.07	221	0.75
	0072	2.73	2.07	0.07	227	0.90
	0074	2.80	2.13	0.07	232	0.75
	0076	2.87	2.20	0.07	237	0.75
	0077	2.93	2.27	0.07	242	0.75
	0079	3.00	2.33	0.07	247	0.75
	0080	3.07	2.40	0.07	251	0.60
	0082	3.13	2.47	0.07	256	0.75
	0084	3.20	2.53	0.07	260	0.60
	0085	3.27	2.60	0.07	264	0.60
	0087	3.33	2.67	0.07	268	0.60
	0088	3.40	2.73	0.07	272	0.60
	0090	3.47	2.80	0.07	275	0.45
0092	3.53	2.87	0.07	278	0.45	
0093	3.60	2.93	0.07	281	0.45	



**ENSAYO EN CANALES
ABIERTOS
CON RELAVES MINEROS**

CÁMARA	FOTO	TIEMPO (s)	TIEMPO RELATIVO (s)	DELTA DE TIEMPO (s)	POSICION (cm)	VELOCIDAD (m/s)
Channel 5	0095	3.67	3.00	0.07	284	0.45
	0096	3.73	3.07	0.07	287	0.45
Channel 6	0100	3.80	3.13	0.07	289	0.30
	0101	3.87	3.20	0.07	292	0.45
	0103	3.93	3.27	0.07	294	0.30
	0104	4.00	3.33	0.07	296	0.30
	0106	4.07	3.40	0.07	298	0.30
	0108	4.13	3.47	0.07	300	0.30
	0109	4.20	3.53	0.07	302	0.30
	0111	4.27	3.60	0.07	303	0.15
	0112	4.33	3.67	0.07	304	0.15
	0115	4.40	3.73	0.07	305	0.15
	0117	4.53	3.87	0.13	306	0.08
	0122	4.73	4.07	0.20	307	0.05
	0149	5.87	5.20	1.13	308	0.01
	0202	8.07	7.40	2.20	309	0.00
	0248	10.00	9.33	1.93	310	0.01
	0305	12.33	11.67	2.33	311	0.00
	0353	14.33	13.67	2.00	312	0.01
	0401	16.33	15.67	2.00	313	0.01
0446	18.20	17.53	1.87	314	0.01	
0489	20.00	19.33	1.80	315	0.01	
0542	22.20	21.53	2.20	316	0.00	



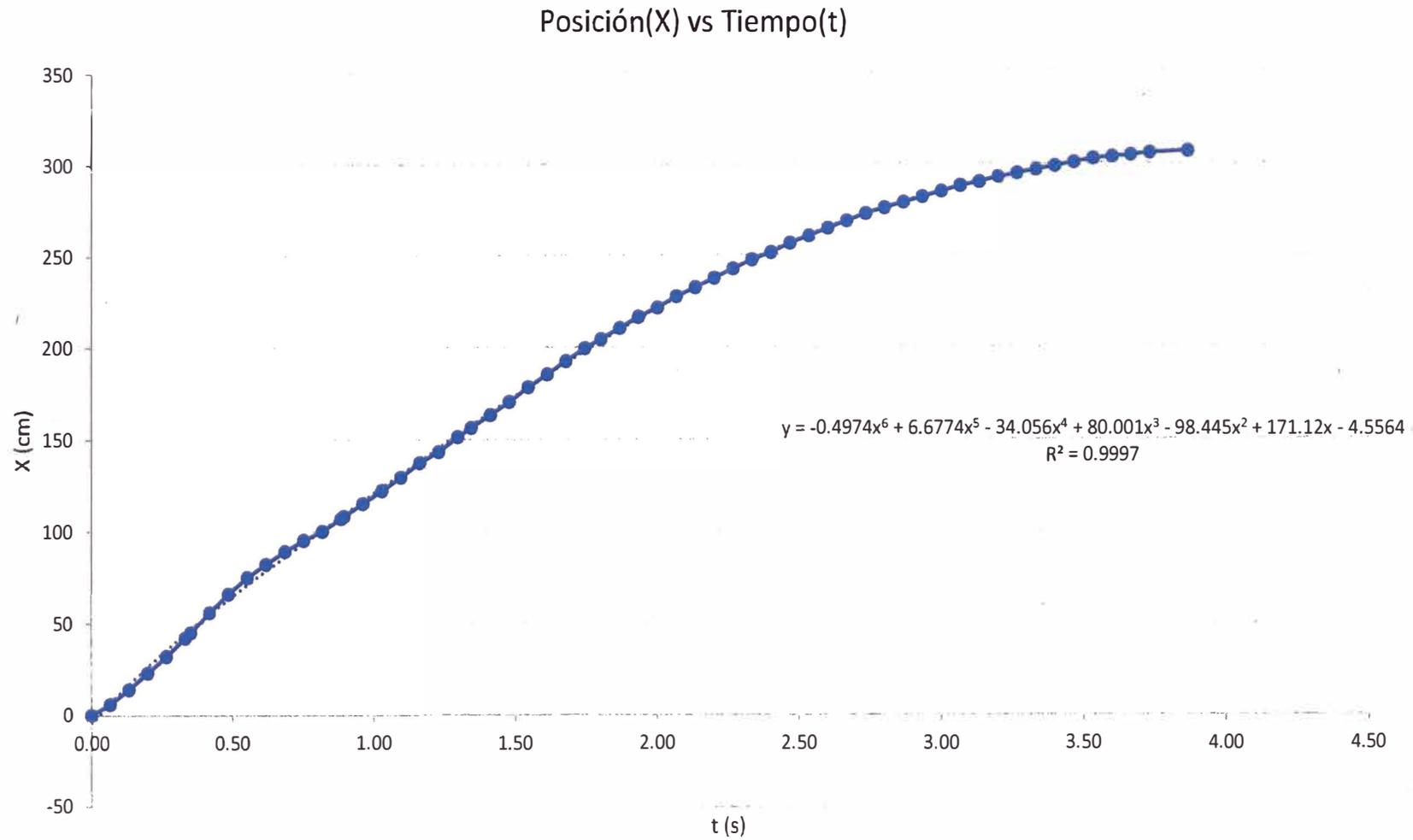
**ENSAYO EN CANALES
ABIERTOS
CON RELAVES MINEROS**

CÁMARA	FOTO	TIEMPO (s)	TIEMPO RELATIVO (s)	DELTA DE TIEMPO (s)	POSICION (cm)	VELOCIDAD (m/s)
Channel 6	0594	24.40	23.73	2.20	317	0.00
	0638	26.20	25.53	1.80	318	0.01
	0678	27.87	27.20	1.67	319	0.01
	0731	30.07	29.40	2.20	320	0.00
	0769	31.67	31.00	1.60	321	0.01
	0816	33.67	33.00	2.00	322	0.01
	0865	35.67	35.00	2.00	323	0.01



ENSAYO EN CANALES ABIERTOS CON RELAVES MINEROS

4.0 GRÁFICA POSICIÓN(X) vs TIEMPO(S)





ENSAYO EN CANALES ABIERTOS CON RELAVES MINEROS

1.0 DATOS GENERALES

Proyecto: Mecánica de flujos de relave minero en canales abiertos
Fecha: 17/08/2017
Muestra: MUESTRA N° BALDE 14
Realizado por: Ciro Alegría Zambrano
Revisado por: Aldo Concepción Ccorahua

2.0 PARÁMETROS DE ENSAYO

Ensayo:	46
Concentración(%):	66
Pendiente(%):	7.5
Ancho(cm):	20
Tiempo de inicio:	03:49:39 p.m.
Tiempo final:	03:50:20 p.m.
Velocidad(FPS)	15
Nomenclatura:	E46_C66_S7.5_B20

3.0 OBTENCIÓN DE DATOS

CÁMARA	FOTO	TIEMPO(s)	TIEMPO RELATIVO	DELTA TIEMPO	POSICION (cm)	VELOCIDAD (m/s)
Channel 1	0030	1.13	0.00		0	-



**ENSAYO EN CANALES
ABIERTOS
CON RELAVES MINEROS**

CÁMARA	FOTO	TIEMPO(s)	TIEMPO RELATIVO	DELTA TIEMPO	POSICION (cm)	VELOCIDAD (m/s)
Channel 1	0031	1.20	0.07	0.07	4	0.60
	0032	1.27	0.13	0.07	10	0.90
	0034	1.33	0.20	0.07	18	1.20
	0036	1.40	0.27	0.07	26	1.20
	0037	1.47	0.33	0.07	34	1.20
	0039	1.53	0.40	0.07	41	1.05
	0040	1.60	0.47	0.07	49	1.20
	A	1.62	0.49	0.02	51	1.05
Channel 2	0040	1.69	0.55	0.07	57	0.39
	0042	1.75	0.62	0.07	62	0.75
	0044	1.82	0.69	0.07	66	0.60
	0045	1.89	0.75	0.07	69	0.45
	0047	1.95	0.82	0.07	73	0.60
	0048	2.02	0.89	0.07	77	0.60
	0050	2.09	0.95	0.07	81	0.60
	0052	2.15	1.02	0.07	85	0.60
	0053	2.22	1.09	0.07	89	0.60
	0055	2.29	1.15	0.07	92	0.45
	0056	2.35	1.22	0.07	96	0.60
	0058	2.42	1.29	0.07	99	0.45
	0060	2.49	1.35	0.07	102	0.45
	0061	2.55	1.42	0.07	105	0.45
Channel 3	0066	2.71	1.58	0.16	107	0.18



**ENSAYO EN CANALES
ABIERTOS
CON RELAVES MINEROS**

CÁMARA	FOTO	TIEMPO(s)	TIEMPO RELATIVO	DELTA TIEMPO	POSICION (cm)	VELOCIDAD (m/s)
Channel 3	0068	2.78	1.65	0.07	110	0.45
	0069	2.85	1.71	0.07	112	0.30
	0071	2.91	1.78	0.07	114	0.30
	0072	2.98	1.85	0.07	115	0.15
	0074	3.05	1.91	0.07	117	0.30
	0076	3.11	1.98	0.07	118	0.15
	0078	3.18	2.05	0.07	119	0.15
	0081	3.31	2.18	0.13	120	0.07
	0102	4.18	3.05	0.87	121	0.01
	0134	5.51	4.38	1.33	122	0.01
	0161	6.65	5.51	1.13	123	0.01
	0190	7.85	6.71	1.20	124	0.01
	0218	9.05	7.91	1.20	125	0.01
	0249	10.31	9.18	1.27	126	0.01
	0272	11.31	10.18	1.00	127	0.01
	0301	12.51	11.38	1.20	128	0.01
	0331	13.71	12.58	1.20	129	0.01
	0359	14.91	13.78	1.20	130	0.01
	0383	15.91	14.78	1.00	131	0.01
	0415	17.25	16.11	1.33	132	0.01
0441	18.31	17.18	1.07	133	0.01	
0473	19.65	18.51	1.33	134	0.01	
0502	20.85	19.71	1.20	135	0.01	



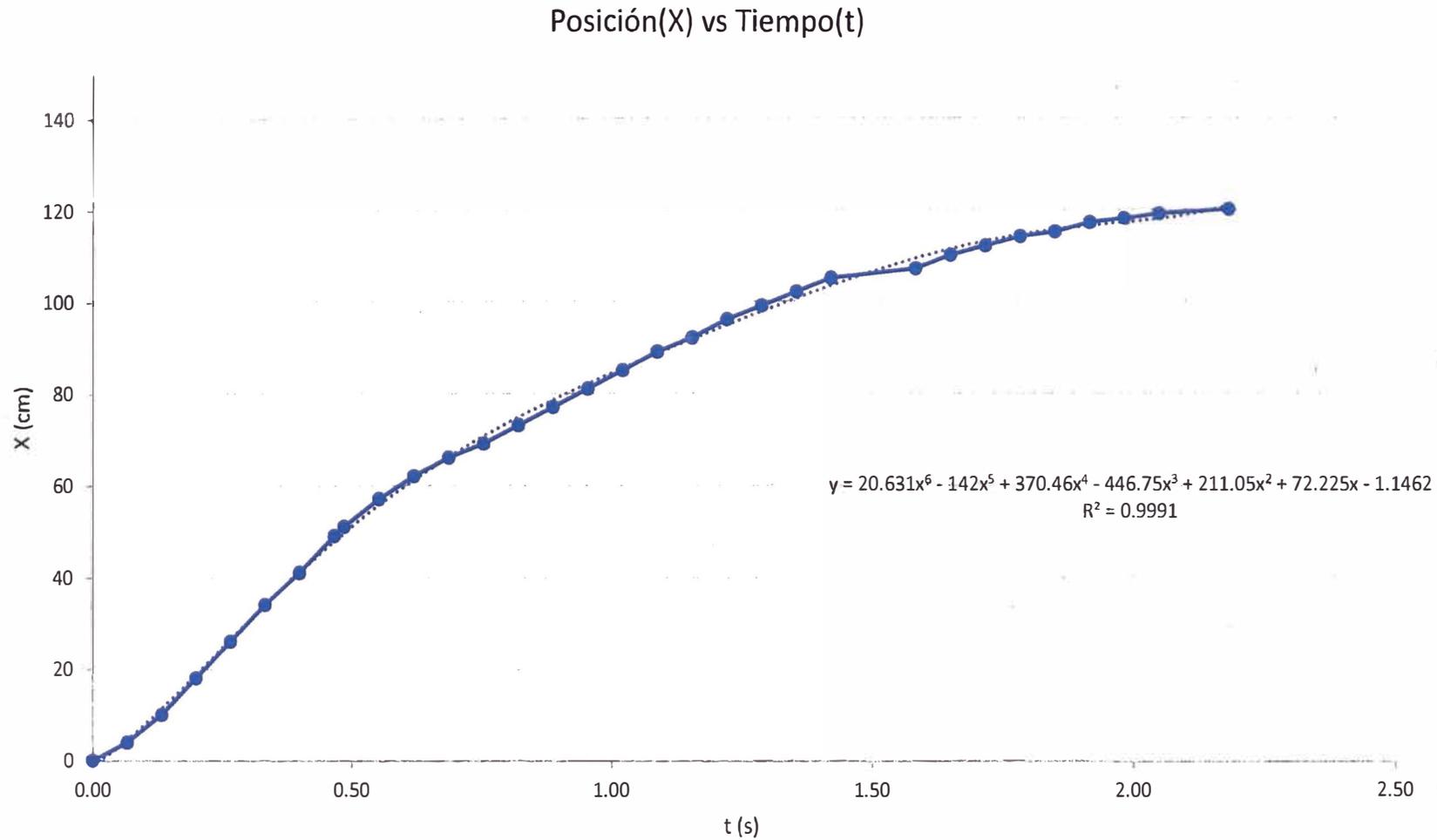
**ENSAYO EN CANALES
ABIERTOS
CON RELAVES MINEROS**

CÁMARA	FOTO	TIEMPO(s)	TIEMPO RELATIVO	DELTA TIEMPO	POSICION (cm)	VELOCIDAD (m/s)
Channel 3	0531	22.05	20.91	1.20	136	0.01
	0563	23.38	22.25	1.33	137	0.01
	0598	24.85	23.71	1.47	138	0.01
	0631	26.25	25.11	1.40	139	0.01
	0670	27.85	26.71	1.60	140	0.01
	0722	30.05	28.91	2.20	141	0.00
	0914	38.05	36.91	8.00	142	0.00



ENSAYO EN CANALES ABIERTOS CON RELAVES MINEROS

4.0 GRÁFICA POSICIÓN(X) vs TIEMPO(S)





ENSAYO EN CANALES ABIERTOS CON RELAVES MINEROS

1.0 DATOS GENERALES

Proyecto: Mecánica de flujos de relave minero en canales abiertos
 Fecha: 22/08/2017
 Muestra: MUESTRA N° BALDE 16
 Realizado por: Avila dela Cruz Alexander Jesus
 Revisado por: Aldo Concepción Ccorahua

2.0 PARÁMETROS DE ENSAYO

Ensayo:	50
Concentración(%):	63
Pendiente(%):	2.5
Ancho(cm):	20
Tiempo de inicio:	10:55:09 a.m.
Tiempo final:	10:55:19 a.m.
Velocidad(FPS)	15
Nomenclatura:	E50_C63_S2.5_B20

3.0 OBTENCIÓN DE DATOS

CÁMARA	FOTO	TIEMPO (s)	TIEMPO RELATIVO (s)	DELTA DE TIEMPO (s)	POSICION (cm)	VELOCIDAD (m/s)
Channel 1	0015	0.53	0.00		1	-



**ENSAYO EN CANALES
ABIERTOS
CON RELAVES MINEROS**

CÁMARA	FOTO	TIEMPO (s)	TIEMPO RELATIVO (s)	DELTA DE TIEMPO (s)	POSICION (cm)	VELOCIDAD (m/s)
Channel 1	0016	0.60	0.07	0.07	6	0.75
	0018	0.67	0.13	0.07	15	1.35
	0020	0.73	0.20	0.07	23	1.20
	0021	0.80	0.27	0.07	32	1.35
	0023	0.87	0.33	0.07	40	1.20
	0025	0.93	0.40	0.07	49	1.35
	A	0.96	0.43	0.03	53	1.35
Channel 2	0036	1.03	0.50	0.07	60	1.05
	0037	1.10	0.56	0.07	66	0.90
	0039	1.16	0.63	0.07	71	0.75
	0040	1.23	0.70	0.07	76	0.75
	0042	1.30	0.76	0.07	80	0.60
	0044	1.36	0.83	0.07	83	0.45
	0045	1.43	0.90	0.07	89	0.90
	0047	1.50	0.96	0.07	93	0.60
	0048	1.56	1.03	0.07	97	0.60
	0050	1.63	1.10	0.07	102	0.75
	0052	1.70	1.16	0.07	106	0.60
	0053	1.76	1.23	0.07	110	0.60
	0055	1.83	1.30	0.07	114	0.60
Channel 3	0055	1.90	1.36	0.07	117	0.45
	0056	1.96	1.43	0.07	121	0.60
	0058	2.03	1.50	0.07	125	0.60



**ENSAYO EN CANALES
ABIERTOS
CON RELAVES MINEROS**

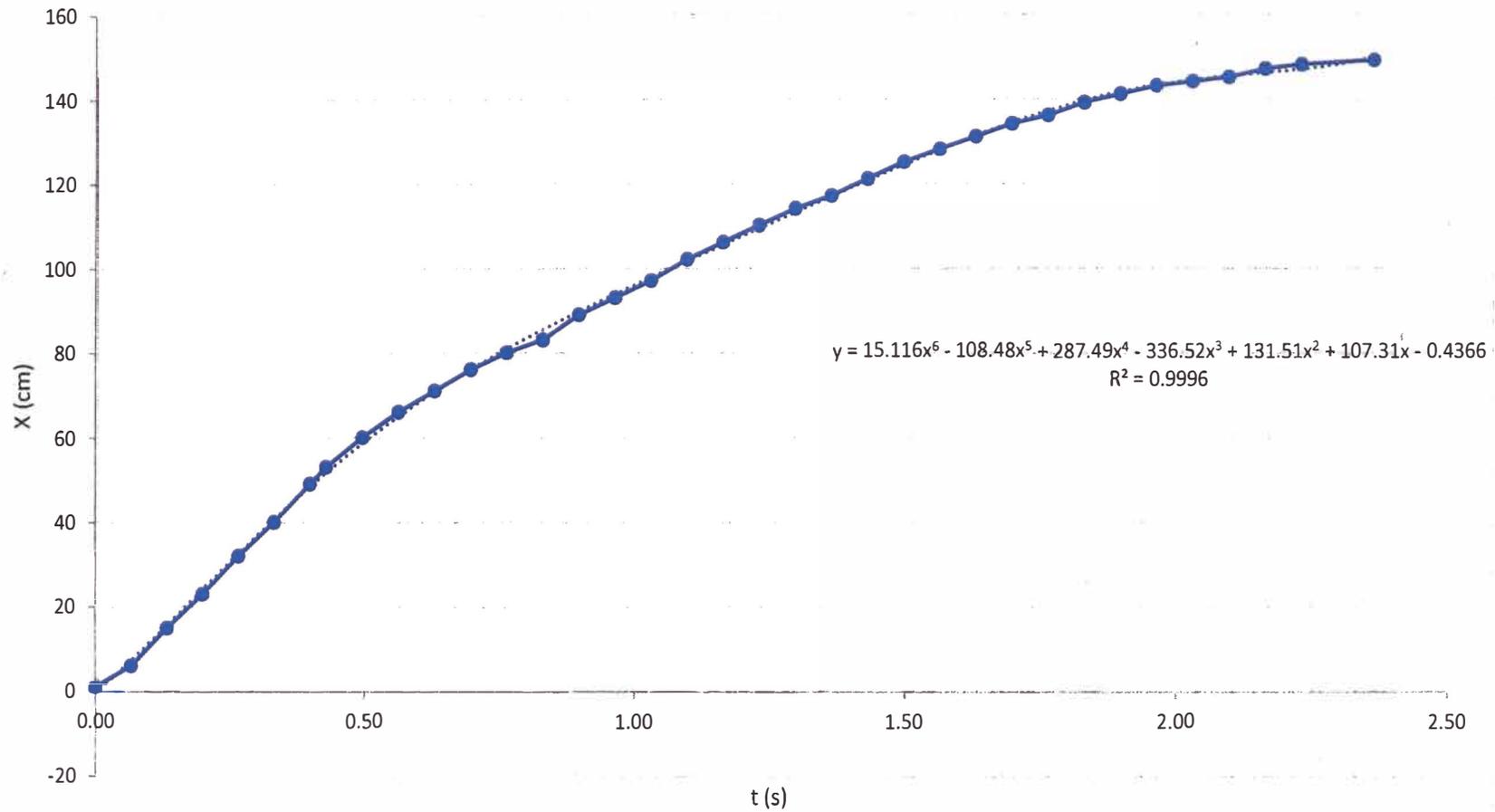
CÁMARA	FOTO	TIEMPO (s)	TIEMPO RELATIVO (s)	DELTA DE TIEMPO (s)	POSICION (cm)	VELOCIDAD (m/s)
Channel 3	0060	2.10	1.56	0.07	128	0.45
	0061	2.16	1.63	0.07	131	0.45
	0063	2.23	1.70	0.07	134	0.45
	0064	2.30	1.76	0.07	136	0.30
	0066	2.36	1.83	0.07	139	0.45
	0068	2.43	1.90	0.07	141	0.30
	0069	2.50	1.96	0.07	143	0.30
	0071	2.56	2.03	0.07	144	0.15
	0072	2.63	2.10	0.07	145	0.15
	0074	2.70	2.16	0.07	147	0.30
	0076	2.76	2.23	0.07	148	0.15
	0079	2.90	2.36	0.13	149	0.07



ENSAYO EN CANALES ABIERTOS CON RELAVES MINEROS

4.0 GRÁFICA POSICIÓN(X) vs TIEMPO(S)

Posición(X) vs Tiempo(t)





ENSAYO EN CANALES ABIERTOS CON RELAVES MINEROS

1.0 DATOS GENERALES

Proyecto:	Mecánica de flujos de relave minero en canales abiertos
Fecha:	24/08/2017
Muestra:	MUESTRA N° BALDE 13
Realizado por:	Ciro Alegría Zambrano
Revisado por:	Aldo Concepción Ccorahua

2.0 PARÁMETROS DE ENSAYO

Ensayo:	60
Concentración(%):	64
Pendiente(%):	2.0
Ancho(cm):	20
Tiempo de inicio:	03:45:56 p.m.
Tiempo final:	03:46:07 p.m.
Velocidad(FPS)	15
Nomenclatura:	E60_C64_S2.0_B20

3.0 OBTENCIÓN DE DATOS

CÁMARA	FOTO	TIEMPO(s)	TIEMPO RELATIVO	DELTA TIEMPO	POSICION (cm)	VELOCIDAD (m/s)
Channel 1	0054	2.13	0.00		0	-



**ENSAYO EN CANALES
ABIERTOS
CON RELAVES MINEROS**

CÁMARA	FOTO	TIEMPO(s)	TIEMPO RELATIVO	DELTA TIEMPO	POSICION (cm)	VELOCIDAD (m/s)
Channel 1	0055	2.20	0.07	0.07	2	0.30
	0058	2.33	0.20	0.13	8	0.45
	0061	2.47	0.33	0.13	16	0.60
	0064	2.60	0.47	0.13	25	0.68
	0067	2.67	0.53	0.07	35	1.50
	0070	2.80	0.67	0.13	41	0.45
	0073	2.93	0.80	0.13	49	0.60
	A	2.98	0.85	0.05	52	0.60
Channel 2	0039	3.05	0.92	0.07	58	0.90
	0040	3.12	0.98	0.07	63	0.75
	0042	3.18	1.05	0.07	67	0.60
	0044	3.25	1.12	0.07	71	0.60
	0045	3.32	1.18	0.07	75	0.60
	0047	3.38	1.25	0.07	78	0.45
	0048	3.45	1.32	0.07	82	0.60
	0050	3.52	1.38	0.07	86	0.60
	0052	3.58	1.45	0.07	90	0.60
	0053	3.65	1.52	0.07	94	0.60
	0055	3.72	1.58	0.07	97	0.45
	A	3.74	1.61	0.02	98	0.45
	Channel 3	0056	3.81	1.67	0.07	101
0058		3.87	1.74	0.07	104	0.45
0060		3.94	1.81	0.07	107	0.45



**ENSAYO EN CANALES
ABIERTOS
CON RELAVES MINEROS**

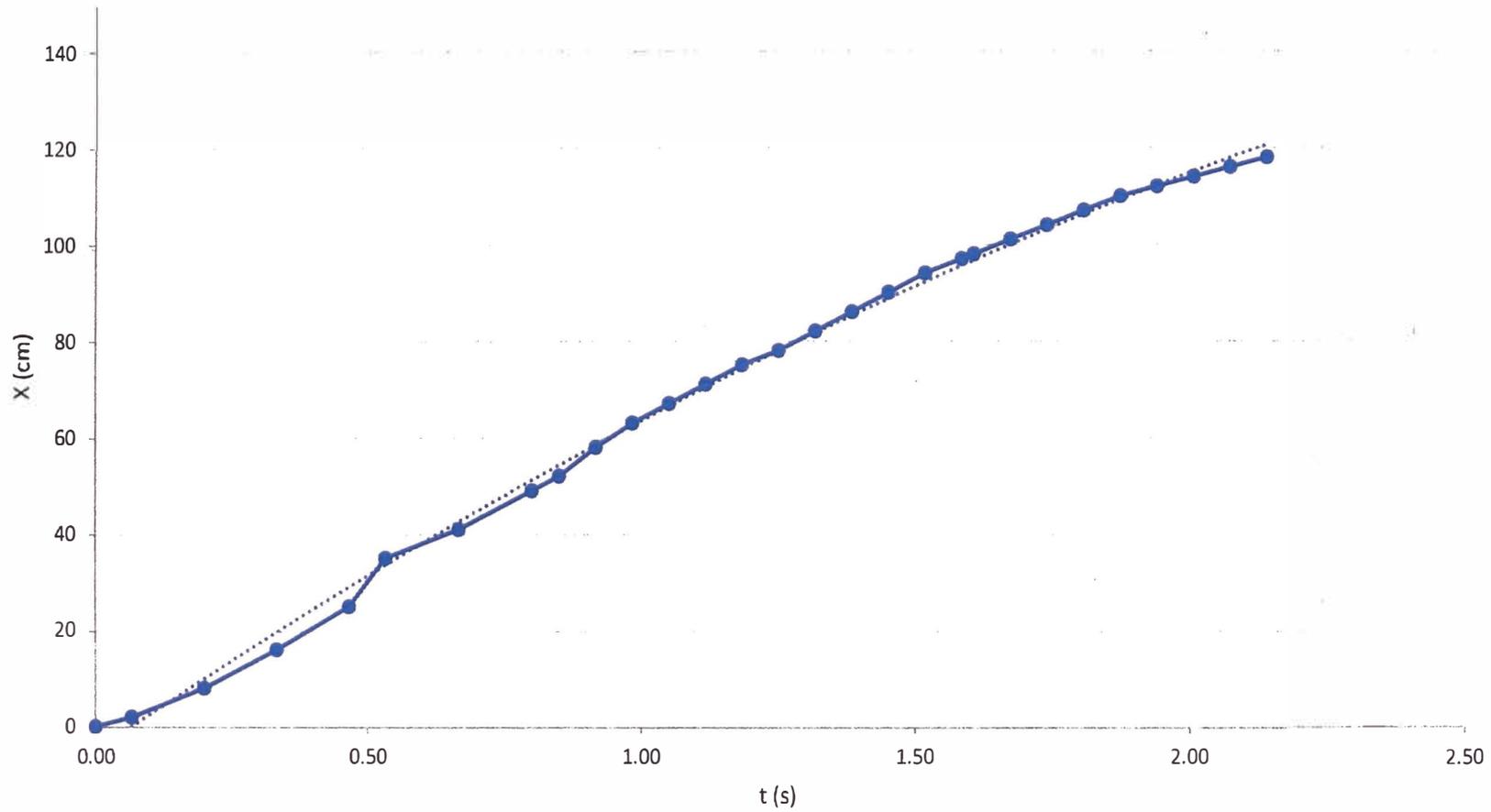
CÁMARA	FOTO	TIEMPO(s)	TIEMPO RELATIVO	DELTA TIEMPO	POSICION (cm)	VELOCIDAD (m/s)
Channel 3	0061	4.01	1.87	0.07	110	0.45
	0063	4.07	1.94	0.07	112	0.30
	0064	4.14	2.01	0.07	114	0.30
	0066	4.21	2.07	0.07	116	0.30
	0068	4.27	2.14	0.07	118	0.30
	0070	4.34	2.21	0.07	119	0.15
	0071	4.41	2.27	0.07	120	0.15
	0072	4.47	2.34	0.07	121	0.15
	0076	4.61	2.47	0.13	122	0.08
	0144	7.47	5.34	2.87	123	0.00
	0197	9.67	7.54	2.20	124	0.00
	0263	12.41	10.27	2.73	125	0.00



ENSAYO EN CANALES ABIERTOS CON RELAVES MINEROS

4.0 GRÁFICA POSICIÓN(X) vs TIEMPO(S)

Posición(X) vs Tiempo(t)





ENSAYO EN CANALES ABIERTOS CON RELAVES MINEROS

1.0 DATOS GENERALES

Proyecto: Mecánica de flujos de relave minero en canales abiertos
Fecha: 25/08/2017
Muestra: MUESTRA N° BALDE 2
Realizado por: Ciro Alegría Zambrano
Revisado por: Aldo Concepción Ccorahua

2.0 PARÁMETROS DE ENSAYO

Ensayo:	66
Concentración(%):	61
Pendiente(%):	7.5
Ancho(cm):	20
Tiempo de inicio:	01:00:20 p.m.
Tiempo final:	01:00:55 p.m.
Velocidad(FPS)	15
Nomenclatura:	E66_C61_S7.5_B20

3.0 OBTENCIÓN DE DATOS

CÁMARA	FOTO	TIEMPO(s)	TIEMPO RELATIVO (s)	DELTA DE TIEMPO (s)	POSICION (cm)	VELOCIDAD (m/s)
Channel 1	0047	1.87	0.00		0	-



**ENSAYO EN CANALES
ABIERTOS
CON RELAVES MINEROS**

CÁMARA	FOTO	TIEMPO(s)	TIEMPO RELATIVO (s)	DELTA DE TIEMPO (s)	POSICION (cm)	VELOCIDAD (m/s)
Channel 1	0048	1.93	0.07	0.07	4	0.60
	0050	2.00	0.13	0.07	12	1.20
	0052	2.07	0.20	0.07	21	1.35
	0053	2.13	0.27	0.07	31	1.50
	0055	2.20	0.33	0.07	41	1.50
	0056	2.27	0.40	0.07	52	1.65
	A	2.28	0.42	0.02	55	1.65
Channel 2	0064	2.35	0.48	0.07	66	1.65
	0066	2.42	0.55	0.07	74	1.20
	0068	2.48	0.62	0.07	83	1.35
	0069	2.55	0.68	0.07	90	1.05
	0071	2.62	0.75	0.07	97	1.05
	0072	2.68	0.82	0.07	104	1.05
	0074	2.75	0.88	0.07	111	1.05
	B	2.80	0.93	0.05	116	1.05
Channel 3	0084	2.87	1.00	0.07	124	1.20
	0085	2.93	1.07	0.07	131	1.05
	0087	3.00	1.13	0.07	139	1.20
	0088	3.07	1.20	0.07	147	1.20
	0090	3.13	1.27	0.07	155	1.20
	C	3.15	1.28	0.02	157	1.20
Channel 4	0092	3.22	1.35	0.07	164	1.05
	0093	3.28	1.42	0.07	172	1.20



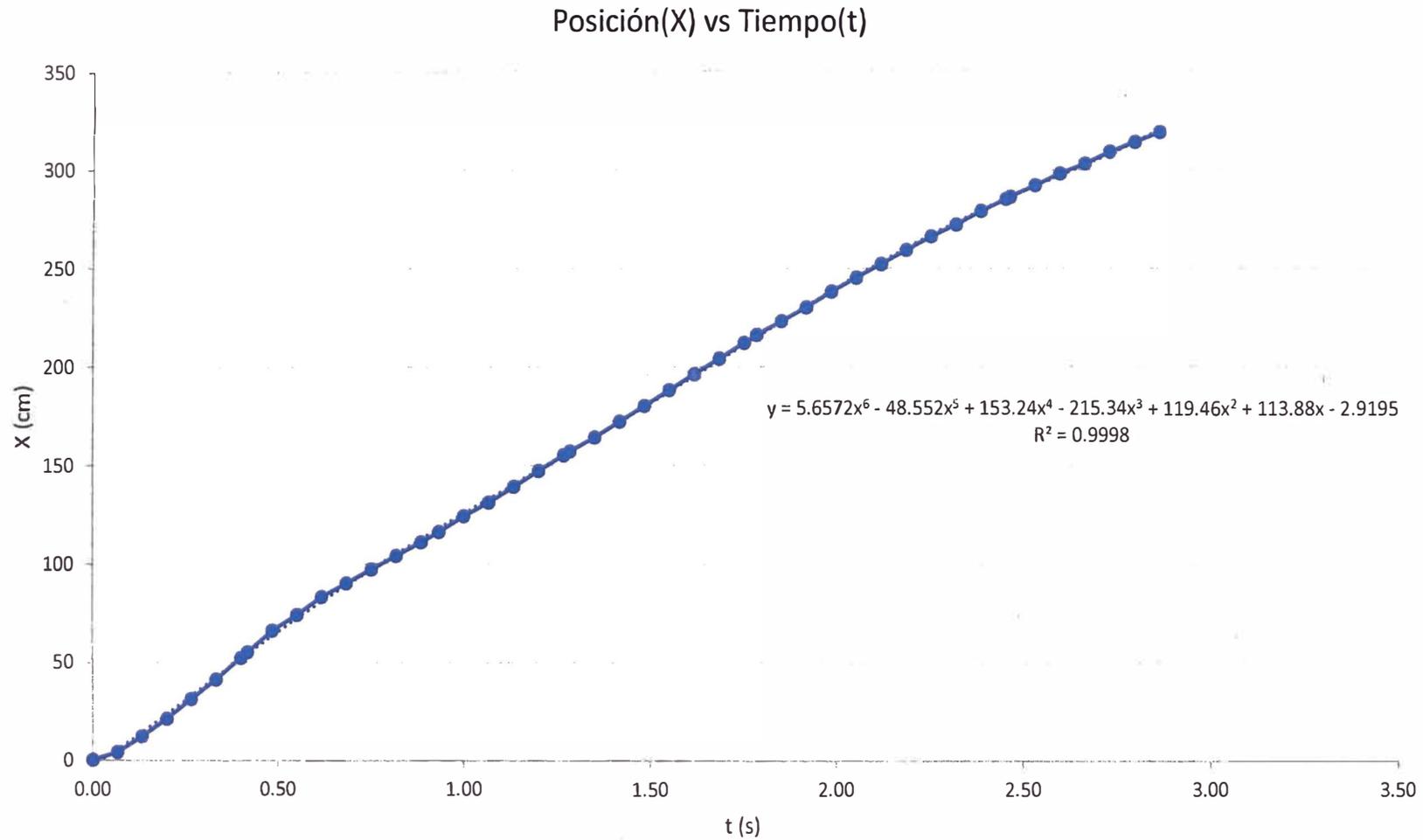
**ENSAYO EN CANALES
ABIERTOS
CON RELAVES MINEROS**

CÁMARA	FOTO	TIEMPO(s)	TIEMPO RELATIVO (s)	DELTA DE TIEMPO (s)	POSICION (cm)	VELOCIDAD (m/s)
Channel 4	0095	3.35	1.48	0.07	180	1.20
	0096	3.42	1.55	0.07	188	1.20
	0098	3.48	1.62	0.07	196	1.20
	0100	3.55	1.68	0.07	204	1.20
	0101	3.62	1.75	0.07	212	1.20
	D	3.65	1.78	0.03	216	1.20
Channel 5	0103	3.72	1.85	0.07	223	1.05
	0104	3.78	1.92	0.07	230	1.05
	0106	3.85	1.98	0.07	238	1.20
	0108	3.92	2.05	0.07	245	1.05
	0109	3.98	2.12	0.07	252	1.05
	0111	4.05	2.18	0.07	259	1.05
	0112	4.12	2.25	0.07	266	1.05
	0114	4.18	2.32	0.07	272	0.90
	0116	4.25	2.38	0.07	279	1.05
	0117	4.32	2.45	0.07	285	0.90
	E	4.33	2.46	0.01	286	0.90
Channel 6	0116	4.39	2.53	0.07	292	0.90
	0117	4.46	2.59	0.07	298	0.90
	0119	4.53	2.66	0.07	303	0.75
	0120	4.59	2.73	0.07	309	0.90
	0122	4.66	2.79	0.07	314	0.75
	0124	4.73	2.86	0.07	319	0.75



ENSAYO EN CANALES ABIERTOS CON RELAVES MINEROS

4.0 GRÁFICA POSICIÓN(X) vs TIEMPO(S)





ENSAYO EN CANALES ABIERTOS CON RELAVES MINEROS

1.0 DATOS GENERALES

Proyecto: Mecánica de flujos de relave minero en canales abiertos
Fecha: DD/MM/AAAA
Muestra: MUESTRA N° BALDE #
Realizado por: Ciro Alegría Zambrano
Revisado por: Aldo Concepción Ccorahua

2.0 PARÁMETROS DE ENSAYO

Ensayo:	75
Concentración(%):	60
Pendiente(%):	.5
Ancho(cm):	20
Tiempo de inicio:	D
Tiempo final:	E
Velocidad(FPS)	15
Nomenclatura:	E75_C60_S.5_B20

3.0 OBTENCIÓN DE DATOS

CÁMARA	FOTO	TIEMPO(s)	TIEMPO RELATIVO	DELTA TIEMPO	POSICION (cm)	VELOCIDAD (m/s)
Channel 1	0023	0.87	0.00		0	-



**ENSAYO EN CANALES
ABIERTOS
CON RELAVES MINEROS**

CÁMARA	FOTO	TIEMPO(s)	TIEMPO RELATIVO	DELTA TIEMPO	POSICION (cm)	VELOCIDAD (m/s)
Channel 1	0024	0.93	0.07	0.07	4	0.60
	0026	1.00	0.13	0.07	11	1.05
	0028	1.07	0.20	0.07	19	1.20
	0029	1.13	0.27	0.07	28	1.35
	0031	1.20	0.33	0.07	37	1.35
	0032	1.27	0.40	0.07	46	1.35
Channel 2	0032	1.33	0.47	0.07	55	1.35
	0034	1.40	0.53	0.07	64	1.35
	0036	1.47	0.60	0.07	72	1.20
	0037	1.53	0.67	0.07	78	0.90
	0044	1.80	0.93	0.27	98	0.75
	A	1.81	0.95	0.01	99	0.75
	0045	1.88	1.01	0.07	104	0.75
Channel 3	0047	1.95	1.08	0.07	109	0.75
	0048	2.01	1.15	0.07	115	0.90
	0050	2.08	1.21	0.07	120	0.75
	0052	2.15	1.28	0.07	125	0.75
	0053	2.21	1.35	0.07	130	0.75
	0055	2.28	1.41	0.07	134	0.60
	0056	2.35	1.48	0.07	138	0.60
	0058	2.41	1.55	0.07	143	0.75
	0063	2.61	1.75	0.20	154	0.55
	A	2.66	1.80	0.05	157	0.60



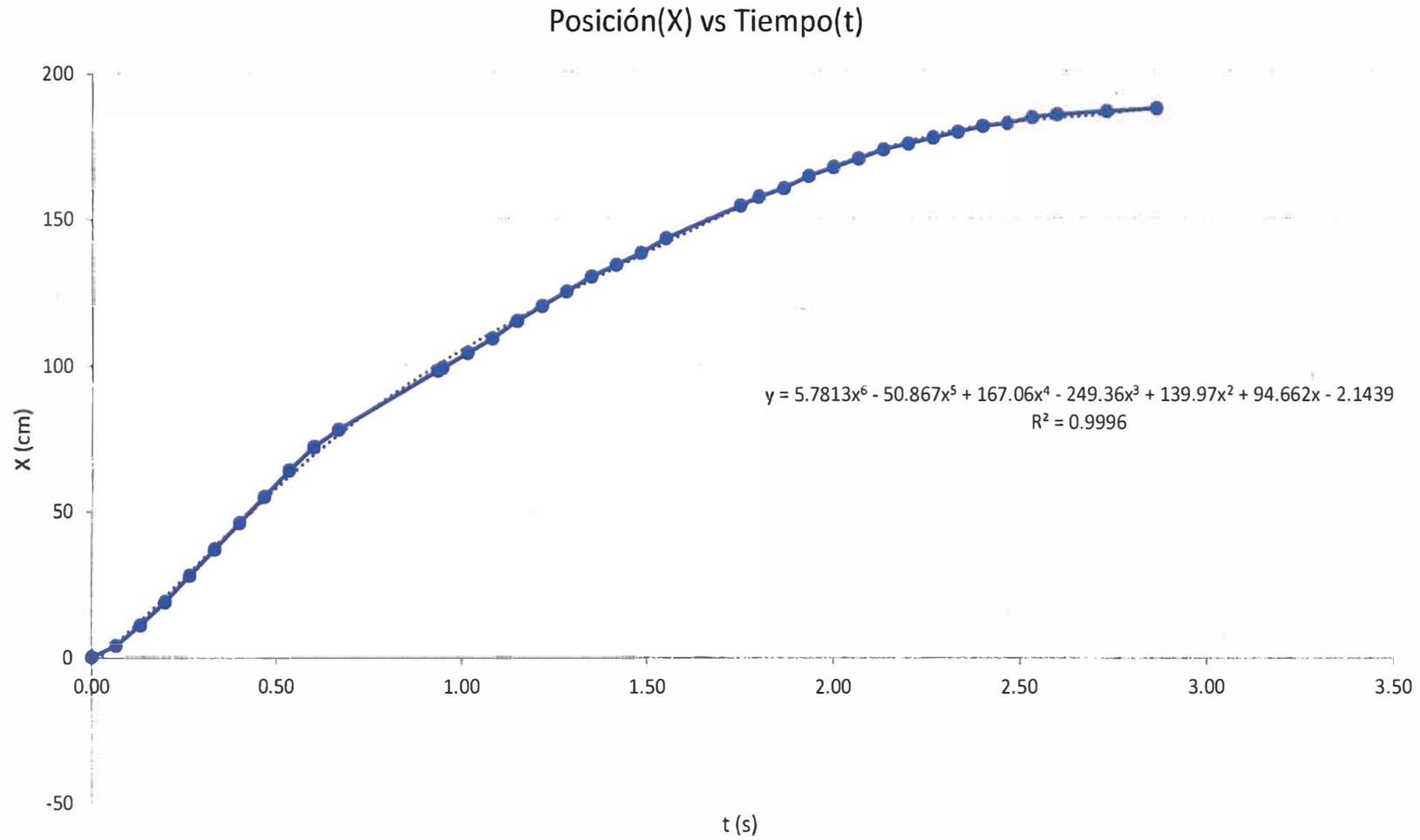
**ENSAYO EN CANALES
ABIERTOS
CON RELAVES MINEROS**

CÁMARA	FOTO	TIEMPO(s)	TIEMPO RELATIVO	DELTA TIEMPO	POSICION (cm)	VELOCIDAD (m/s)
Channel 4	0060	2.73	1.86	0.07	160	0.45
	0061	2.80	1.93	0.07	164	0.60
	0063	2.86	2.00	0.07	167	0.45
	0064	2.93	2.06	0.07	170	0.45
	0066	3.00	2.13	0.07	173	0.45
	0068	3.06	2.20	0.07	175	0.30
	0069	3.13	2.26	0.07	177	0.30
	0071	3.20	2.33	0.07	179	0.30
	0072	3.26	2.40	0.07	181	0.30
	0074	3.33	2.46	0.07	182	0.15
	0076	3.40	2.53	0.07	184	0.30
	0077	3.46	2.60	0.07	185	0.15
	0080	3.60	2.73	0.13	186	0.08
	0084	3.73	2.86	0.13	187	0.08



ENSAYO EN CANALES ABIERTOS CON RELAVES MINEROS

4.0 GRÁFICA POSICIÓN(X) vs TIEMPO(S)





ENSAYO DE CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA DE SÓLIDOS

1.0 DATOS GENERALES

Proyecto: Mecánica de flujos de relave minero en canales abiertos
Fecha: 01/08/2017
Muestra: MUESTRA N° BALDE 1
Real por: Alexander Avila de la Cruz
Rev por: Aldo Concepción Ccorahua

2.0 DETERMINACIÓN DEL PESO TOTAL DE MUESTRA PARA EL ENSAYO EN EL CANAL

Wrec = 0.922 kg
Wrec+Wmt = 20.374 kg
Wmt = 19.452 kg

Wmt = 19.452

2.1 DETERMINACIÓN DE LOS PESOS TOTALES DE LAS MUESTRAS REPRESENTATIVAS

	DATOS				
TARA	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5
Wtara (gr)	33.149	32.816	33.821	33.890	34.545
Wtara(gr)+W t(gr)	98.527	78.708	88.478	80.600	85.371
Wtara(gr)+W s(gr)	76.723	63.429	70.313	65.057	68.456

2.2 CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA DE SÓLIDOS

de Bandeja en el horno: N° 4
Inicio de secado al horno: 12:30 p.m.
Final del secado al horno: 06:30 p.m.
Tiempo total de secado: 6.00 Hr

	RESULTADOS				
TARA	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5
Ws (gr)	43.574	30.613	36.492	31.167	33.911
Wt (gr)	65.378	45.892	54.657	46.710	50.826
Cw(%)	66.649	66.707	66.765	66.724	66.720

Se promedian los valores calculados de los 5 ensayos.

Cw = 66.713 %



ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO

1.0 DATOS GENERALES

Proyecto: Mecánica de flujos de relave minero en canales abiertos
Fecha: 15/06/2017
Muestra: MUESTRA N° BALDE 1
Real por: Alexander Avila de la Cruz
Rev por: Aldo Concepción Ccorahua

2.0 DETERMINACIÓN DEL PESO TOTAL DE MUESTRA PARA EL ENSAYO EN EL CANAL

Wplatillo = 72.95 g

RECIPIENTE	VOL. Recip.	W recip.	Wrecip + Wmt	Wmt	Peso esp.
1	30.2512	60.454	190.15	56.746	1.876
2	29.9154	58.991	189.15	57.209	1.912
3	29.9088	61.969	191.65	56.731	1.897

Se promedian los valores calculados de los 5 ensayos.

Pe = 1.895 g/cm³



ENSAYO DE CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA DE SÓLIDOS

1.0 DATOS GENERALES

Proyecto: Mecánica de flujos de relave minero en canales abiertos
Fecha: 18/07/2017
Muestra: MUESTRA N° BALDE 16
Real por: Alexander Avila de la Cruz
Rev por: Aldo Concepción Ccorahua

2.0 DETERMINACIÓN DEL PESO TOTAL DE MUESTRA PARA EL ENSAYO EN EL CANAL

Wrec = 0.868 kg
Wrec+Wmt = 28.092 kg
Wmt = 27.224 kg Wmt = 27.224

2.1 DETERMINACIÓN DE LOS PESOS TOTALES DE LAS MUESTRAS REPRESENTATIVAS

	DATOS				
TARA	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5
Wtara (gr)	24.121	31.182	36.702	21.413	32.946
Wtara(gr)+Wt(gr)	92.423	95.759	109.082	83.264	98.898
Wtara(gr)+Ws(gr)	69.439	73.988	84.639	62.423	76.646

2.2 CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA DE SÓLIDOS

de Bandeja en el horno: N° 4
Inicio de secado al horno: 01:00 p.m.
Final del secado al horno: 07:00 p.m.
Tiempo total de secado: 6.00 Hr

	RESULTADOS				
TARA	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5
Ws (gr)	45.318	42.806	47.937	41.010	43.700
Wt (gr)	68.302	64.577	72.380	61.851	65.952
Cw(%)	66.349	66.287	66.230	66.305	66.260

Se promedian los valores calculados de los 5 ensayos.

Cw = 66.286 %



ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO

1.0 DATOS GENERALES

Proyecto: Mecánica de flujos de relave minero en canales abiertos

Fecha: 18/07/2017

Muestra: MUESTRA N° BALDE 14

Real por: Alexander Avila de la Cruz

Rev por: Aldo Concepción Ccorahua

2.0 DETERMINACIÓN DEL PESO TOTAL DE MUESTRA PARA EL ENSAYO EN EL CANAL

Wplatillo = 72.95 g

RECIPIENTE	VOL. Recip.	W recip.	Wrecip + Wmt	Wmt	Peso esp.
1	30.2512	60.454	185	51.596	1.706
2	29.9154	58.991	184	52.059	1.740
3	29.9088	61.969	186	51.081	1.708

Se promedian los valores calculados de los 3 ensayos.

Pe = 1.718 gr/cm³



ENSAYO DE CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA DE SÓLIDOS

1.0 DATOS GENERALES

Proyecto: Mecánica de flujos de relave minero en canales abiertos
Fecha: 18/07/2017
Muestra: MUESTRA N° BALDE 16
Real por: Alexander Avila de la Cruz
Rev por: Aldo Concepción Ccorahua

2.0 DETERMINACIÓN DEL PESO TOTAL DE MUESTRA PARA EL ENSAYO EN EL CANAL

Wrec = 0.868 kg
Wrec+Wmt = 28.092 kg
Wmt = 27.224 kg Wmt = 27.224

2.1 DETERMINACIÓN DE LOS PESOS TOTALES DE LAS MUESTRAS REPRESENTATIVAS

	DATOS				
TARA	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5
Wtara (gr)	24.121	31.182	36.702	21.413	32.946
Wtara(gr)+Wt(gr)	92.423	95.759	109.082	83.264	98.898
Wtara(gr)+Ws(gr)	69.439	73.988	84.639	62.423	76.646

2.2 CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA DE SÓLIDOS

de Bandeja en el horno: N° 4
Inicio de secado al horno: 01:00 p.m.
Final del secado al horno: 07:00 p.m.
Tiempo total de secado: 6.00 Hr

	RESULTADOS				
TARA	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5
Ws (gr)	45.318	42.806	47.937	41.010	43.700
Wt (gr)	68.302	64.577	72.380	61.851	65.952
Cw(%)	66.349	66.287	66.230	66.305	66.260

Se promedian los valores calculados de los 5 ensayos.

Cw = 66.286 %



ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO

1.0 DATOS GENERALES

Proyecto: Mecánica de flujos de relave minero en canales abiertos

Fecha: 18/07/2017

Muestra: MUESTRA N° BALDE 14

Real por: Alexander Avila de la Cruz

Rev por: Aldo Concepción Ccorahua

2.0 DETERMINACIÓN DEL PESO TOTAL DE MUESTRA PARA EL ENSAYO EN EL CANAL

Wplatillo = 72.95 g

RECIPIENTE	VOL. Recip.	W recip.	Wrecip + Wmt	Wmt	Peso esp.
1	30.2512	60.454	185	51.596	1.706
2	29.9154	58.991	184	52.059	1.740
3	29.9088	61.969	186	51.081	1.708

Se promedian los valores calculados de los 3 ensayos.

Pe = 1.718 gr/cm³



ENSAYO DE CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA DE SÓLIDOS

1.0 DATOS GENERALES

Proyecto: Mecánica de flujos de relave minero en canales abiertos
Fecha: 07/07/2017
Muestra: MUESTRA N° BALDE 8
Real por: Alexander Avila de la Cruz
Rev por: Aldo Concepción Ccorahua

2.0 DETERMINACIÓN DEL PESO TOTAL DE MUESTRA PARA EL ENSAYO EN EL CANAL

Wrec = 0.51 kg
Wrec+Wmt = 20.557 kg
Wmt = 20.047 kg

Wmt = 20.047

2.1 DETERMINACIÓN DE LOS PESOS TOTALES DE LAS MUESTRAS REPRESENTATIVAS

	DATOS				
TARA	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5
Wtara (gr)	24.135	31.188	36.712	21.427	32.952
Wtara(gr)+Wt(gr)	89.781	92.643	100.352	87.326	93.972
Wtara(gr)+Ws(gr)	67.444	71.770	78.758	64.920	73.253

2.2 CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA DE SÓLIDOS

de Bandeja en el horno: N° 16
Inicio de secado al horno: 01:00 p.m.
Final del secado al horno: 07:00 p.m.
Tiempo total de secado: 6.00 Hr

	RESULTADOS				
TARA	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5
Ws (gr)	43.309	40.582	42.046	43.493	40.301
Wt (gr)	65.646	61.455	63.640	65.899	61.020
Cw(%)	65.974	66.035	66.069	65.999	66.046

Se promedian los valores calculados de los 5 ensayos.

Cw = 66.024 %



ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO

1.0 DATOS GENERALES

Proyecto: Mecánica de flujos de relave minero en canales abiertos
Fecha: 15/06/2017
Muestra: MUESTRA N° BALDE 8
Real por: Alexander Avila de la Cruz
Rev por: Aldo Concepción Ccorahua

2.0 DETERMINACIÓN DEL PESO TOTAL DE MUESTRA PARA EL ENSAYO EN EL CANAL

Wplatillo = 72.95 g

RECIPIENTE	VOL. Recip.	W recip.	Wrecip + Wmt	Wmt	Peso esp.
1	30.2512	60.454	183.65	50.246	1.661
2	29.9154	58.991	182.75	50.809	1.698
3	29.9088	61.969	184.05	49.131	1.643

Se promedian los valores calculados de los 5 ensayos.

Pe = 1.667



ENSAYO DE CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA DE SÓLIDOS

1.0 DATOS GENERALES

Proyecto: Mecánica de flujos de relave minero en canales abiertos
Fecha: 02/08/2017
Muestra: MUESTRA N° BALDE 13
Real por: Alexander Avila de la Cruz
Rev por: Aldo Concepción Ccorahua

2.0 DETERMINACIÓN DEL PESO TOTAL DE MUESTRA PARA EL ENSAYO EN EL CANAL

Wrec = 0.844 kg
Wrec+Wmt = 28.284 kg
Wmt = 27.440 kg Wmt = 27.440

2.1 DETERMINACIÓN DE LOS PESOS TOTALES DE LAS MUESTRAS REPRESENTATIVAS

	DATOS				
TARA	O-1	O-2	O-3	O-4	O-5
Wtara (gr)	19.416	33.124	36.266	35.944	19.570
Wtara(gr)+Wt(gr)	81.819	81.562	88.914	91.300	75.928
Wtara(gr)+Ws(gr)	59.950	64.610	70.475	71.897	56.171

2.2 CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA DE SÓLIDOS

de Bandeja en el horno: N° 1
Inicio de secado al horno: 01:00 p.m.
Final del secado al horno: 07:00 p.m.
Tiempo total de secado: 6.00 Hr

	RESULTADOS				
TARA	O-1	O-2	O-3	O-4	O-5
Ws (gr)	40.534	31.486	34.209	35.953	36.601
Wt (gr)	62.403	48.438	52.648	55.356	56.358
Cw(%)	64.955	65.003	64.977	64.949	64.944

Se promedian los valores calculados de los 5 ensayos.

Cw = 64.965 %



ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO

1.0 DATOS GENERALES

Proyecto: Mecánica de flujos de relave minero en canales abiertos
Fecha: 15/06/2017
Muestra: MUESTRA N° BALDE 13
Real por: Alexander Avila de la Cruz
Rev por: Aldo Concepción Ccorahua

2.0 DETERMINACIÓN DEL PESO TOTAL DE MUESTRA PARA EL ENSAYO EN EL CANAL

Wplatillo = 72.95 g

RECIPIENTE	VOL. Recip.	W recip.	Wrecip + Wmt	Wmt	Peso esp.
1	30.2512	60.454	184	50.596	1.673
2	29.9154	58.991	182	50.059	1.673
3	29.9088	61.969	184.5	49.581	1.658

Se promedian los valores calculados de los 5 ensayos.

Pe = 1.668



ENSAYO DE CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA DE SÓLIDOS

1.0 DATOS GENERALES

Proyecto: Mecánica de flujos de relave minero en canales abiertos

Fecha: 02/08/2017

Muestra: MUESTRA N° BALDE 13

Real por: Alexander Avila de la Cruz

Rev por: Aldo Concepción Ccorahua

2.0 DETERMINACIÓN DEL PESO TOTAL DE MUESTRA PARA EL ENSAYO EN EL CANAL

Wrec = 0.844 kg

Wrec+Wmt = 28.284 kg

Wmt = 27.440 kg

Wmt = 27.440

2.1 DETERMINACIÓN DE LOS PESOS TOTALES DE LAS MUESTRAS REPRESENTATIVAS

	DATOS				
TARA	O-1	O-2	O-3	O-4	O-5
Wtara (gr)	19.416	33.124	36.266	35.944	19.570
Wtara(gr)+Wt(gr)	81.819	81.562	88.914	91.300	75.928
Wtara(gr)+Ws(gr)	59.950	64.610	70.475	71.897	56.171

2.2 CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA DE SÓLIDOS

de Bandeja en el horno:

N° 1

Inicio de secado al horno:

01:00 p.m.

Final del secado al horno:

07:00 p.m.

Tiempo total de secado:

6.00 Hr

	RESULTADOS				
TARA	O-1	O-2	O-3	O-4	O-5
Ws (gr)	40.534	31.486	34.209	35.953	36.601
Wt (gr)	62.403	48.438	52.648	55.356	56.358
Cw(%)	64.955	65.003	64.977	64.949	64.944

Se promedian los valores calculados de los 5 ensayos.

Cw = 64.965 %



ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO

1.0 DATOS GENERALES

Proyecto: Mecánica de flujos de relave minero en canales abiertos
Fecha: 15/06/2017
Muestra: MUESTRA N° BALDE 13
Real por: Alexander Avila de la Cruz
Rev por: Aldo Concepción Ccorahua

2.0 DETERMINACIÓN DEL PESO TOTAL DE MUESTRA PARA EL ENSAYO EN EL CANAL

Wplatillo = 72.95 g

RECIPIENTE	VOL. Recip.	W recip.	Wrecip + Wmt	Wmt	Peso esp.
1	30.2512	60.454	184	50.596	1.673
2	29.9154	58.991	182	50.059	1.673
3	29.9088	61.969	184.5	49.581	1.658

Se promedian los valores calculados de los 5 ensayos.

Pe = 1.668



ENSAYO DE CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA DE SÓLIDOS

1.0 DATOS GENERALES

Proyecto: Mecánica de flujos de relave minero en canales abiertos
Fecha: 06/08/2017
Muestra: MUESTRA N° BALDE 12
Real por: Alexander Avila de la Cruz
Rev por: Aldo Concepción Ccorahua

2.0 DETERMINACIÓN DEL PESO TOTAL DE MUESTRA PARA EL ENSAYO EN EL CANAL

Wrec = 0.877 kg
Wrec+Wmt = 21.618 kg
Wmt = 20.741 kg Wmt = 20.741

2.1 DETERMINACIÓN DE LOS PESOS TOTALES DE LAS MUESTRAS REPRESENTATIVAS

	DATOS				
TARA	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5
Wtara (gr)	33.752	35.857	34.920	32.771	33.214
Wtara(gr)+Wt(gr)	79.366	79.289	81.673	73.251	80.754
Wtara(gr)+Ws(gr)	62.933	63.649	64.893	58.719	63.638

2.2 CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA DE SÓLIDOS

de Bandeja en el horno: N° 13
Inicio de secado al horno: 01:00 p.m.
Final del secado al horno: 07:00 p.m.
Tiempo total de secado: 6.00 Hr

	RESULTADOS				
TARA	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5
Ws (gr)	29.181	27.792	29.973	25.948	30.424
Wt (gr)	45.614	43.432	46.753	40.480	47.540
Cw(%)	63.974	63.990	64.109	64.101	63.997

Se promedian los valores calculados de los 5 ensayos.

Cw = 64.034 %



ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO

1.0 DATOS GENERALES

Proyecto: Mecánica de flujos de relave minero en canales abiertos
Fecha: 06/08/2017
Muestra: MUESTRA N° BALDE 8
Real por: Alexander Avila de la Cruz
Rev por: Aldo Concepción Ccorahua

2.0 DETERMINACIÓN DEL PESO TOTAL DE MUESTRA PARA EL ENSAYO EN EL CANAL

Wplatillo = 72.95 g

RECIPIENTE	VOL. Recip.	W recip.	Wrecip + Wmt	Wmt	Peso esp.
1	30.2512	60.454	183	49.596	1.639
2	29.9154	58.991	182	50.059	1.673
3	29.9088	61.969	183.5	48.581	1.624

Se promedian los valores calculados de los 5 ensayos.

Pe = 1.646



ENSAYO DE CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA DE SÓLIDOS

1.0 DATOS GENERALES

Proyecto: Mecánica de flujos de relave minero en canales abiertos
Fecha: 06/08/2017
Muestra: MUESTRA N° BALDE 12
Real por: Alexander Avila de la Cruz
Rev por: Aldo Concepción Ccorahua

2.0 DETERMINACIÓN DEL PESO TOTAL DE MUESTRA PARA EL ENSAYO EN EL CANAL

Wrec = 0.877 kg
Wrec+Wmt = 21.618 kg
Wmt = 20.741 kg

Wmt = 20.741

2.1 DETERMINACIÓN DE LOS PESOS TOTALES DE LAS MUESTRAS REPRESENTATIVAS

	DATOS				
TARA	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5
Wtara (gr)	33.752	35.857	34.920	32.771	33.214
Wtara(gr)+W t(gr)	79.366	79.289	81.673	73.251	80.754
Wtara(gr)+W s(gr)	62.933	63.649	64.893	58.719	63.638

2.2 CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA DE SÓLIDOS

de Bandeja en el horno: N° 13
Inicio de secado al horno: 01:00 p.m.
Final del secado al horno: 07:00 p.m.
Tiempo total de secado: 6.00 Hr

	RESULTADOS				
TARA	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5
Ws (gr)	29.181	27.792	29.973	25.948	30.424
Wt (gr)	45.614	43.432	46.753	40.480	47.540
Cw(%)	63.974	63.990	64.109	64.101	63.997

Se promedian los valores calculados de los 5 ensayos.

Cw = 64.034 %



ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO

1.0 DATOS GENERALES

Proyecto: Mecánica de flujos de relave minero en canales abiertos
Fecha: 06/08/2017
Muestra: MUESTRA N° BALDE 8
Real por: Alexander Avila de la Cruz
Rev por: Aldo Concepción Ccorahua

2.0 DETERMINACIÓN DEL PESO TOTAL DE MUESTRA PARA EL ENSAYO EN EL CANAL

Wplatillo = 72.95 g

RECIPIENTE	VOL. Recip.	W recip.	Wrecip + Wmt	Wmt	Peso esp.
1	30.2512	60.454	183	49.596	1.639
2	29.9154	58.991	182	50.059	1.673
3	29.9088	61.969	183.5	48.581	1.624

Se promedian los valores calculados de los 5 ensayos.

Pe = 1.646



ENSAYO DE CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA DE SÓLIDOS

1.0 DATOS GENERALES

Proyecto: Mecánica de flujos de relave minero en canales abiertos
Fecha: 07/08/2017
Muestra: MUESTRA N° BALDE 1
Real por: Alexander Avila de la Cruz
Rev por: Aldo Concepción Ccorahua

2.0 DETERMINACIÓN DEL PESO TOTAL DE MUESTRA PARA EL ENSAYO EN EL CANAL

Wrec = 0.922 kg
Wrec+Wmt = 26.567 kg
Wmt = 25.645 kg Wmt = 25.645

2.1 DETERMINACIÓN DE LOS PESOS TOTALES DE LAS MUESTRAS REPRESENTATIVAS

TARA	DATOS				
	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5
Wtara (gr)	33.149	32.816	33.821	33.890	34.545
Wtara(gr)+W t(gr)	98.527	78.708	88.478	80.600	85.371
Wtara(gr)+W s(gr)	76.723	63.429	70.313	65.057	68.456

2.2 CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA DE SÓLIDOS

de Bandeja en el horno: N° 4
Inicio de secado al horno: 05:30 p.m.
Final del secado al horno: 11:30 p.m.
Tiempo total de secado: 6.00 Hr

TARA	RESULTADOS				
	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5
Ws (gr)	43.574	30.613	36.492	31.167	33.911
Wt (gr)	65.378	45.892	54.657	46.710	50.826
Cw(%)	66.649	66.707	66.765	66.724	66.720

Se promedian los valores calculados de los 5 ensayos.

Cw = 66.713 %



ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO

1.0 DATOS GENERALES

Proyecto: Mecánica de flujos de relave minero en canales abiertos
Fecha: 15/06/2017
Muestra: MUESTRA N° BALDE 1
Real por: Alexander Avila de la Cruz
Rev por: Aldo Concepción Ccorahua

2.0 DETERMINACIÓN DEL PESO TOTAL DE MUESTRA PARA EL ENSAYO EN EL CANAL

Wplatillo = 72.95 g

RECIPIENTE	VOL. Recip.	W recip.	Wrecip + Wmt	Wmt	Peso esp.
1	30.2512	60.454	190.15	56.746	1.876
2	29.9154	58.991	189.15	57.209	1.912
3	29.9088	61.969	191.65	56.731	1.897

Se promedian los valores calculados de los 5 ensayos.

Pe = 1.895



ENSAYO DE CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA DE SÓLIDOS

1.0 DATOS GENERALES

Proyecto: Mecánica de flujos de relave minero en canales abiertos
Fecha: 14/07/2017
Muestra: MUESTRA N° BALDE 11
Real por: Alexander Avila de la Cruz
Rev por: Aldo Concepción Ccorahua

2.0 DETERMINACIÓN DEL PESO TOTAL DE MUESTRA PARA EL ENSAYO EN EL CANAL

Wrec = 0.865 kg
Wrec+Wmt = 31.468 kg
Wmt = 30.603 kg Wmt = 30.603

2.1 DETERMINACIÓN DE LOS PESOS TOTALES DE LAS MUESTRAS REPRESENTATIVAS

TARA	DATOS				
	L-1	L-2	L-3	L-4	L-5
Wtara (gr)	35.893	19.388	32.269	32.675	36.041
Wtara(gr)+Wt(gr)	97.570	60.664	95.102	93.822	98.153
Wtara(gr)+Ws(gr)	74.693	45.352	71.777	71.229	75.059

2.2 CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA DE SÓLIDOS

de Bandeja en el horno: N° 5
Inicio de secado al horno: 01:00 p.m.
Final del secado al horno: 07:00 p.m.
Tiempo total de secado: 6.00 Hr

TARA	RESULTADOS				
	L-1	L-2	L-3	L-4	L-5
Ws (gr)	38.800	25.964	39.508	38.554	39.018
Wt (gr)	61.677	41.276	62.833	61.147	62.112
Cw(%)	62.908	62.903	62.878	63.051	62.819

Se promedian los valores calculados de los 5 ensayos.

Cw = 62.912 %



ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO

1.0 DATOS GENERALES

Proyecto: Mecánica de flujos de relave minero en canales abiertos
Fecha: 15/06/2017
Muestra: MUESTRA N° BALDE 8
Real por: Alexander Avila de la Cruz
Rev por: Aldo Concepción Ccorahua

2.0 DETERMINACIÓN DEL PESO TOTAL DE MUESTRA PARA EL ENSAYO EN EL CANAL

Wplatillo = 72.95 g

RECIPIENTE	VOL. Recip.	W recip.	Wrecip + Wmt	Wmt	Peso esp.
1	30.2512	60.454	180	46.596	1.540
2	29.9154	58.991	179	47.059	1.573
3	29.9088	61.969	183	48.081	1.608

Se promedian los valores calculados de los 5 ensayos.

Pe = 1.574



ENSAYO DE CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA DE SÓLIDOS

1.0 DATOS GENERALES

Proyecto: Mecánica de flujos de relave minero en canales abiertos
 Fecha: 14/07/2017
 Muestra: MUESTRA N° BALDE 11
 Real por: Alexander Avila de la Cruz
 Rev por: Aldo Concepción Ccorahua

2.0 DETERMINACIÓN DEL PESO TOTAL DE MUESTRA PARA EL ENSAYO EN EL CANAL

Wrec = 0.865 kg
 Wrec+Wmt = 31.468 kg
 Wmt = 30.603 kg Wmt = 30.603

2.1 DETERMINACIÓN DE LOS PESOS TOTALES DE LAS MUESTRAS REPRESENTATIVAS

TARA	DATOS				
	L-1	L-2	L-3	L-4	L-5
Wtara (gr)	35.893	19.388	32.269	32.675	36.041
Wtara(gr)+W t(gr)	97.570	60.664	95.102	93.822	98.153
Wtara(gr)+W s(gr)	74.693	45.352	71.777	71.229	75.059

2.2 CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA DE SÓLIDOS

de Bandeja en el horno: N° 5
 Inicio de secado al horno: 01:00 p.m.
 Final del secado al horno: 07:00 p.m.
 Tiempo total de secado: 6.00 Hr

TARA	RESULTADOS				
	L-1	L-2	L-3	L-4	L-5
Ws (gr)	38.800	25.964	39.508	38.554	39.018
Wt (gr)	61.677	41.276	62.833	61.147	62.112
Cw(%)	62.908	62.903	62.878	63.051	62.819

Se promedian los valores calculados de los 5 ensayos.

Cw = 62.912 %



ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO

1.0 DATOS GENERALES

Proyecto: Mecánica de flujos de relave minero en canales abiertos
Fecha: 15/06/2017
Muestra: MUESTRA N° BALDE 8
Real por: Alexander Avila de la Cruz
Rev por: Aldo Concepción Ccorahua

2.0 DETERMINACIÓN DEL PESO TOTAL DE MUESTRA PARA EL ENSAYO EN EL CANAL

Wplatillo = 72.95 g

RECIPIENTE	VOL. Recip.	W recip.	Wrecip + Wmt	Wmt	Peso esp.
1	30.2512	60.454	180	46.596	1.540
2	29.9154	58.991	179	47.059	1.573
3	29.9088	61.969	183	48.081	1.608

Se promedian los valores calculados de los 5 ensayos.

Pe = 1.574



ENSAYO DE CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA DE SÓLIDOS

1.0 DATOS GENERALES

Proyecto: Mecánica de flujos de relave minero en canales abiertos
 Fecha: 13/07/2017
 Muestra: MUESTRA N° BALDE 6
 Real por: Alexander Avila de la Cruz
 Rev por: Aldo Concepción Ccorahua

2.0 DETERMINACIÓN DEL PESO TOTAL DE MUESTRA PARA EL ENSAYO EN EL CANAL

Wrec = 0.528 kg
 Wrec+Wmt = 32.364 kg
 Wmt = 31.836 kg Wmt = 31.836

2.1 DETERMINACIÓN DE LOS PESOS TOTALES DE LAS MUESTRAS REPRESENTATIVAS

TARA	DATOS				
	L-1	L-2	L-3	L-4	L-5
Wtara (gr)	36.756	32.617	32.794	21.094	30.430
Wtara(gr)+W t(gr)	95.488	86.029	93.075	81.170	84.717
Wtara(gr)+W s(gr)	73.757	66.248	70.764	58.947	64.702

2.2 CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA DE SÓLIDOS

de Bandeja en el horno: N° 10
 Inicio de secado al horno: 09:30 a.m.
 Final del secado al horno: 03:30 p.m.
 Tiempo total de secado: 6.00 Hr

TARA	RESULTADOS				
	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5
Ws (gr)	37.001	33.631	37.970	37.853	34.272
Wt (gr)	58.732	53.412	60.281	60.076	54.287
Cw(%)	63.000	62.965	62.988	63.009	63.131

Se promedian los valores calculados de los 5 ensayos.

Cw = 63.019 %



ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO

1.0 DATOS GENERALES

Proyecto: Mecánica de flujos de relave minero en canales abiertos
Fecha: 15/06/2017
Muestra: MUESTRA N° BALDE 4
Real por: Alexander Avila de la Cruz
Rev por: Aldo Concepción Ccorahua

2.0 DETERMINACIÓN DEL PESO TOTAL DE MUESTRA PARA EL ENSAYO EN EL CANAL

Wplatillo = 72.95 g

RECIPIENTE	VOL. Recip.	W recip.	Wrecip + Wmt	Wmt	Peso esp.
1	30.2512	60.454	180.15	46.746	1.545
2	29.9154	58.991	179.35	47.409	1.585
3	29.9088	61.969	181.25	46.331	1.549

Se promedian los valores calculados de los 5 ensayos.

Pe = 1.560



ENSAYO DE CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA DE SÓLIDOS

1.0 DATOS GENERALES

Proyecto: Mecánica de flujos de relave minero en canales abiertos
 Fecha: 13/07/2017
 Muestra: MUESTRA N° BALDE 6
 Real por: Alexander Avila de la Cruz
 Rev por: Aldo Concepción Ccorahua

2.0 DETERMINACIÓN DEL PESO TOTAL DE MUESTRA PARA EL ENSAYO EN EL CANAL

Wrec = 0.528 kg
 Wrec+Wmt = 32.364 kg
 Wmt = 31.836 kg

Wmt = 31.836

2.1 DETERMINACIÓN DE LOS PESOS TOTALES DE LAS MUESTRAS REPRESENTATIVAS

TARA	DATOS				
	L-1	L-2	L-3	L-4	L-5
Wtara (gr)	36.756	32.617	32.794	21.094	30.430
Wtara(gr)+W t(gr)	95.488	86.029	93.075	81.170	84.717
Wtara(gr)+W s(gr)	73.757	66.248	70.764	58.947	64.702

2.2 CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA DE SÓLIDOS

de Bandeja en el horno: N° 10
 Inicio de secado al horno: 09:30 a.m.
 Final del secado al horno: 03:30 p.m.
 Tiempo total de secado: 6.00 Hr

TARA	RESULTADOS				
	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5
Ws (gr)	37.001	33.631	37.970	37.853	34.272
Wt (gr)	58.732	53.412	60.281	60.076	54.287
Cw(%)	63.000	62.965	62.988	63.009	63.131

Se promedian los valores calculados de los 5 ensayos.

Cw = 63.019 %



ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO

1.0 DATOS GENERALES

Proyecto: Mecánica de flujos de relave minero en canales abiertos
Fecha: 15/06/2017
Muestra: MUESTRA N° BALDE 4
Real por: Alexander Avila de la Cruz
Rev por: Aldo Concepción Ccorahua

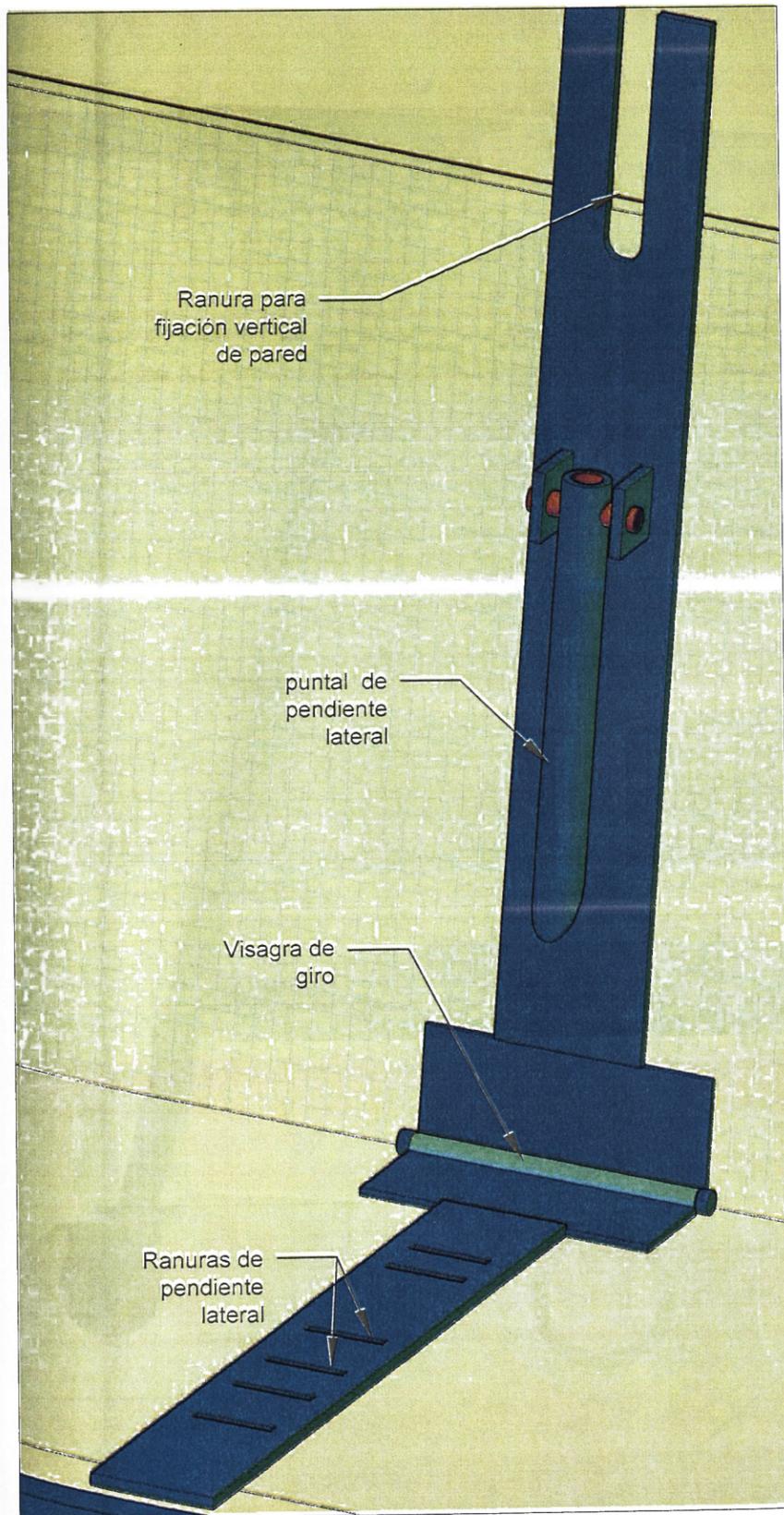
2.0 DETERMINACIÓN DEL PESO TOTAL DE MUESTRA PARA EL ENSAYO EN EL CANAL

Wplatillo = 72.95 g

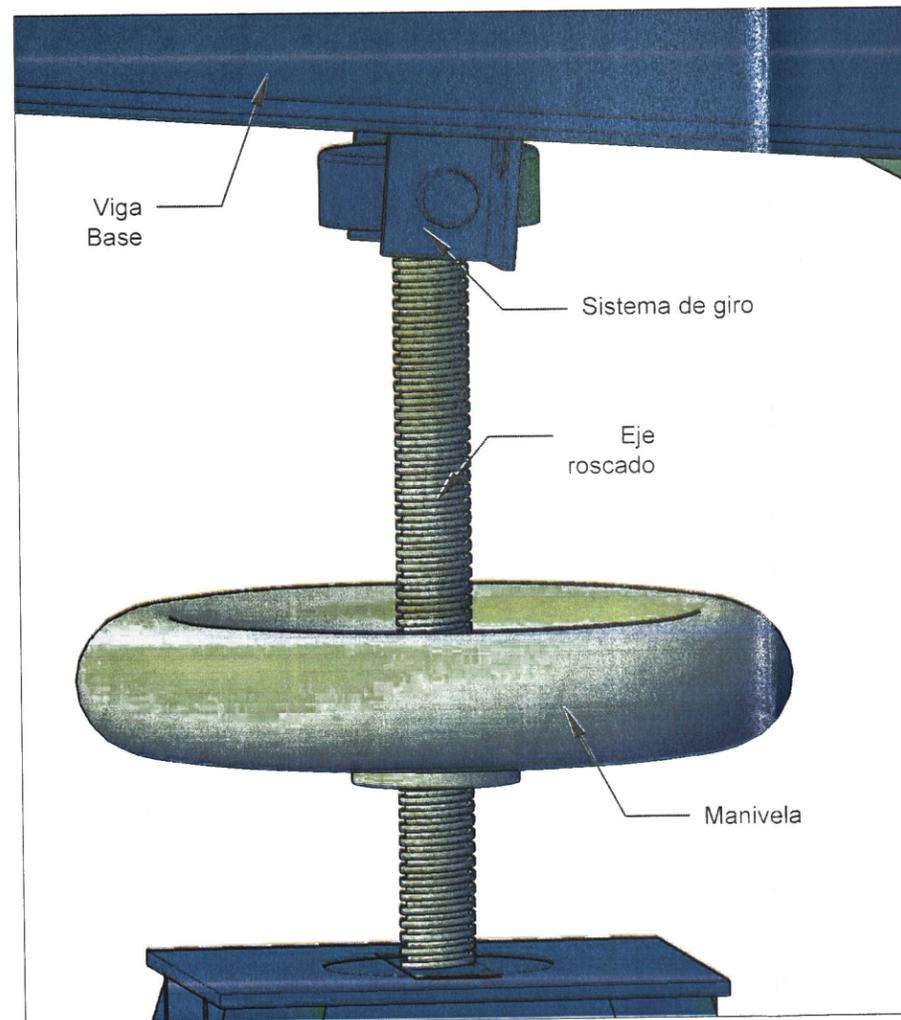
RECIPIENTE	VOL. Recip.	W recip.	Wrecip + Wmt	Wmt	Peso esp.
1	30.2512	60.454	180.15	46.746	1.545
2	29.9154	58.991	179.35	47.409	1.585
3	29.9088	61.969	181.25	46.331	1.549

Se promedian los valores calculados de los 5 ensayos.

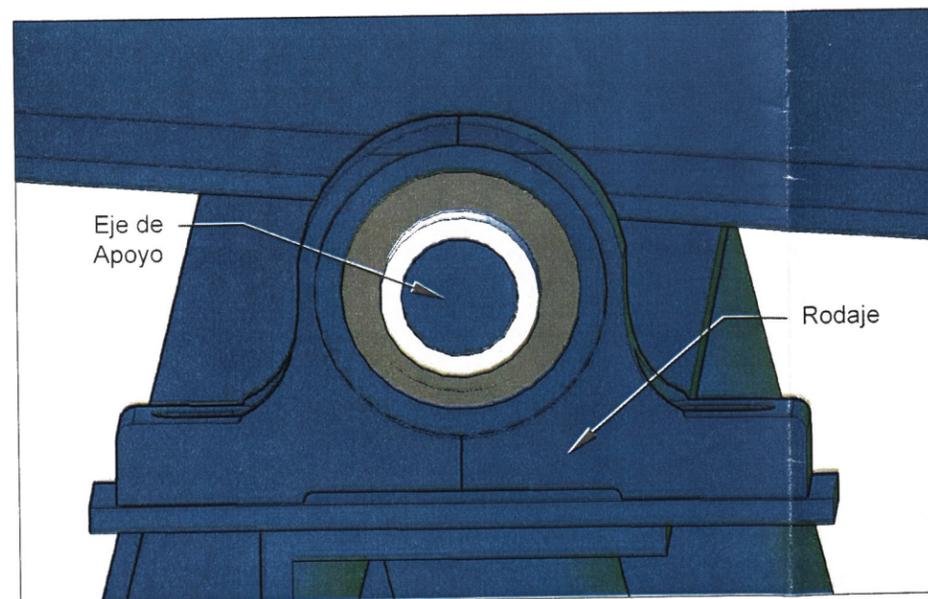
Pe = 1.560



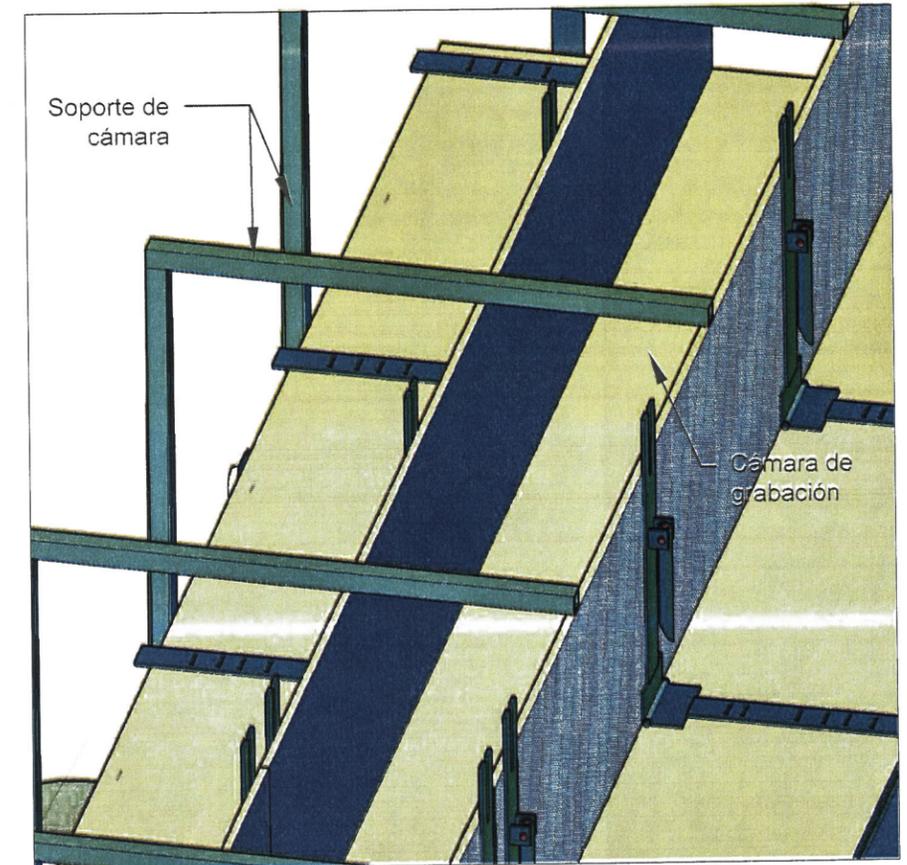
SISTEMA DE VARIACIÓN DE TALUD DE PARED
ESC: 1/4



SISTEMA DE VARIACIÓN DE PENDIENTE LONGITUDINAL
ESC: S/E



SISTEMA DE GIRO CON RODAJES
ESC: S/E

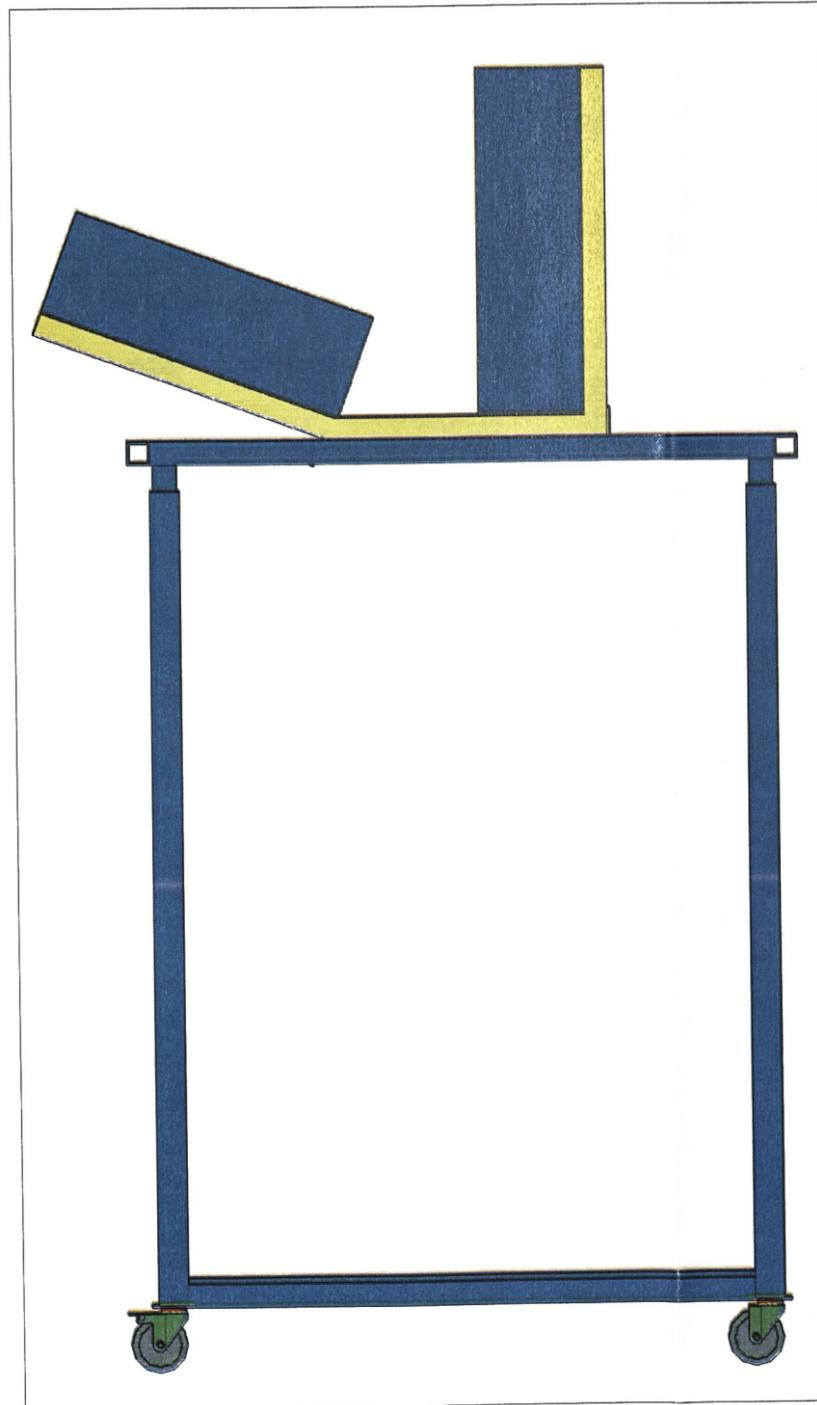


INSTALACION DE CAMARAS DE GRABACIÓN
ESC: 1/16

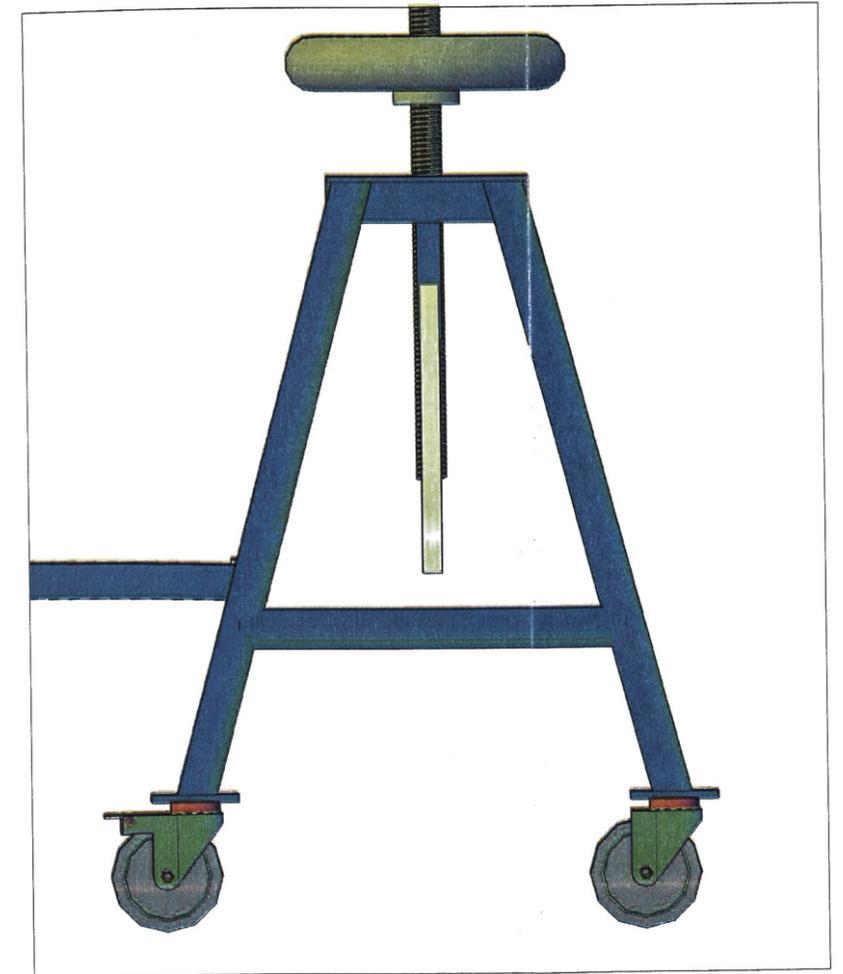
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL INSTITUTO PARA LA MITIGACIÓN DE LOS EFECTOS DEL FENÓMENO EL NIÑO		
PROYECTO MECÁNICA DE FLUJOS DE RELAVES EN CANALES ABIERTOS		
PLANO DETALLES Y PIEZAS ESPECIALES		LÁMINA D-1
ELABORACIÓN ALDO CONCEPCIÓN CC.	REVISIÓN ROGER HIDALGO G.	FECHA 11 DE JULIO 2018
DIBUJANTE 1 ANTHONY RÉQUEZ R.	DIBUJANTE 2 ALEXANDER ÁVILA C.	LUGAR L. N. H.



APOYO AGUAS ARRIBA
ESC: 1/20

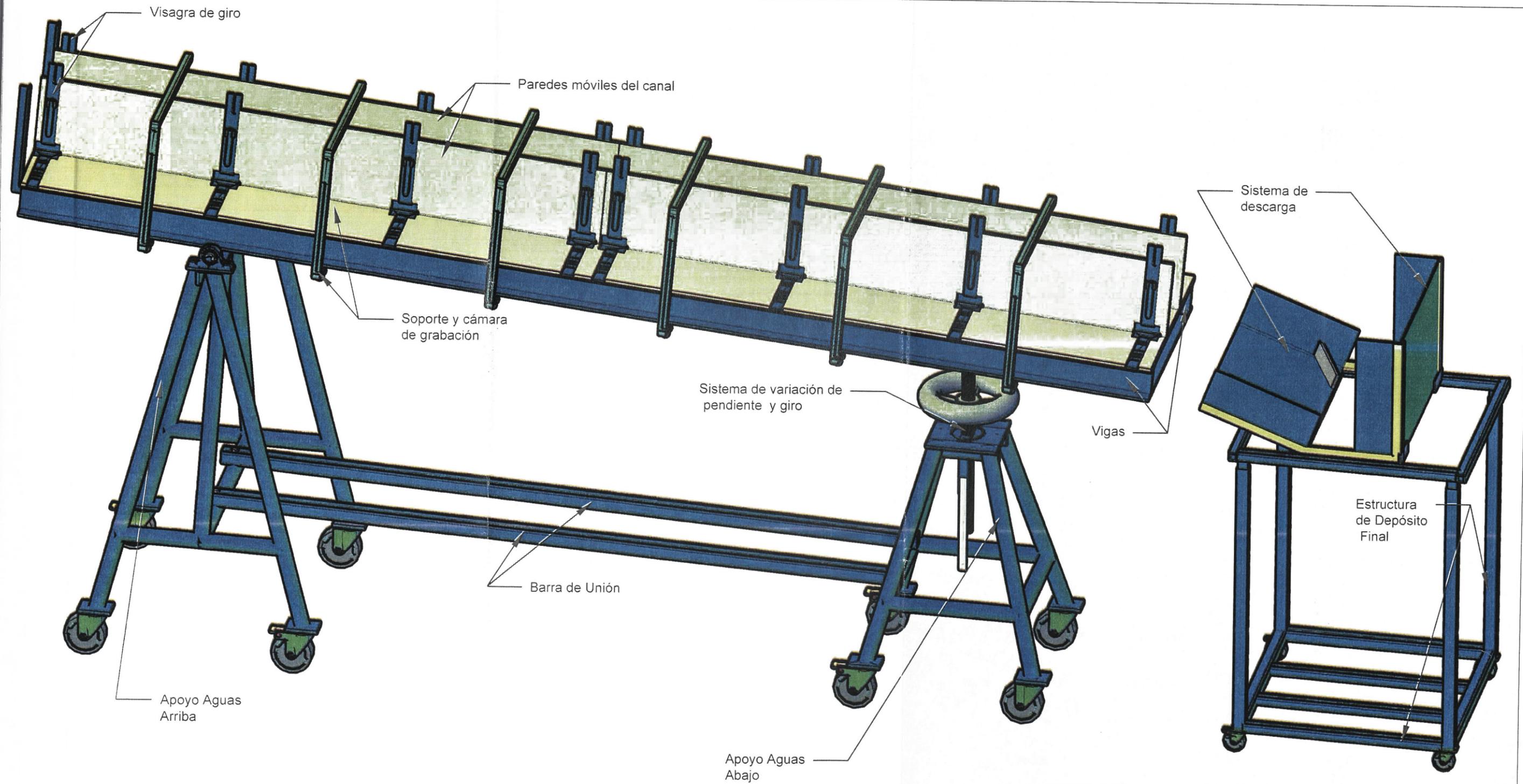


ESTRUCTURA CONTENEDOR
ESC: 1/20

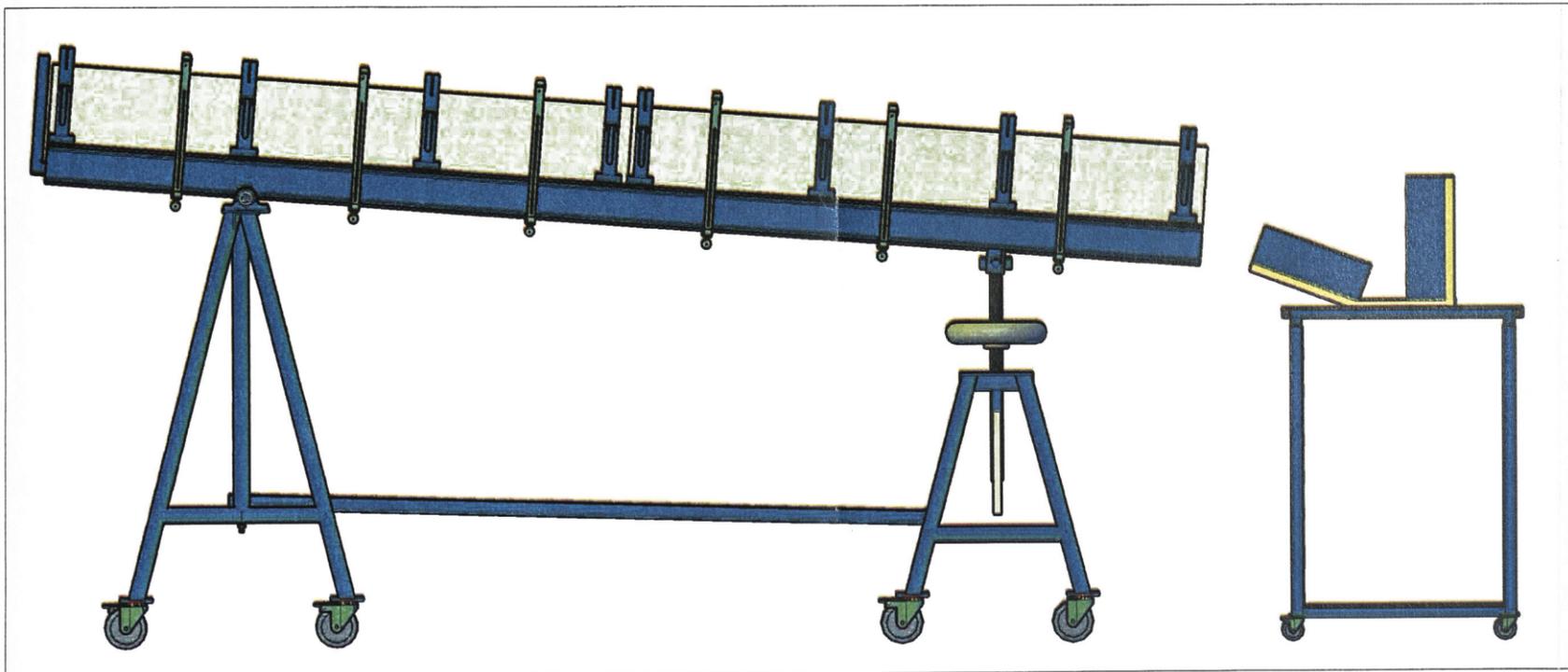


APOYO AGUAS ABAJO
ESC: 1/20

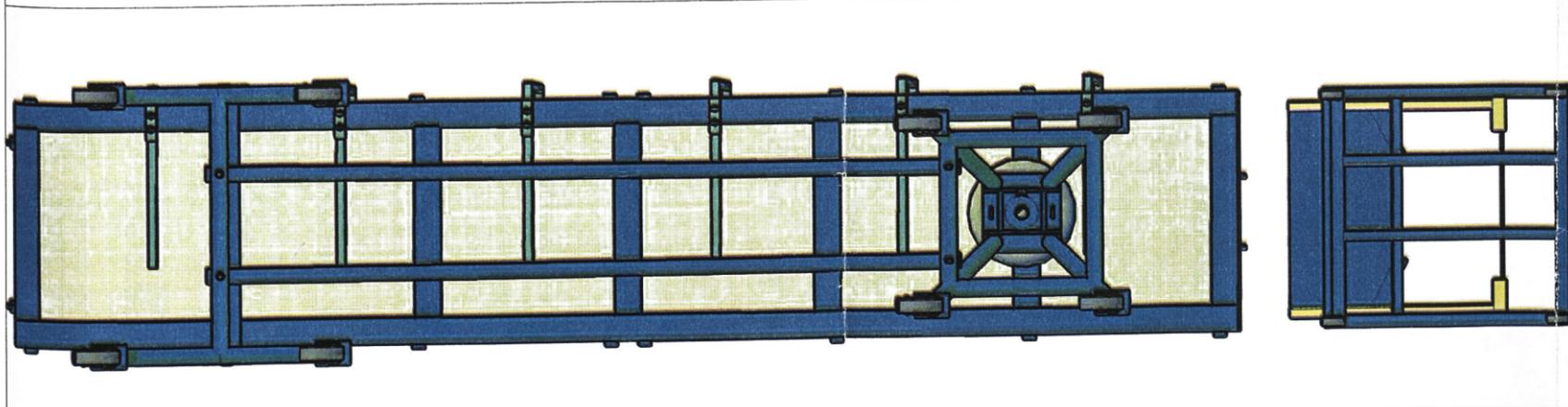
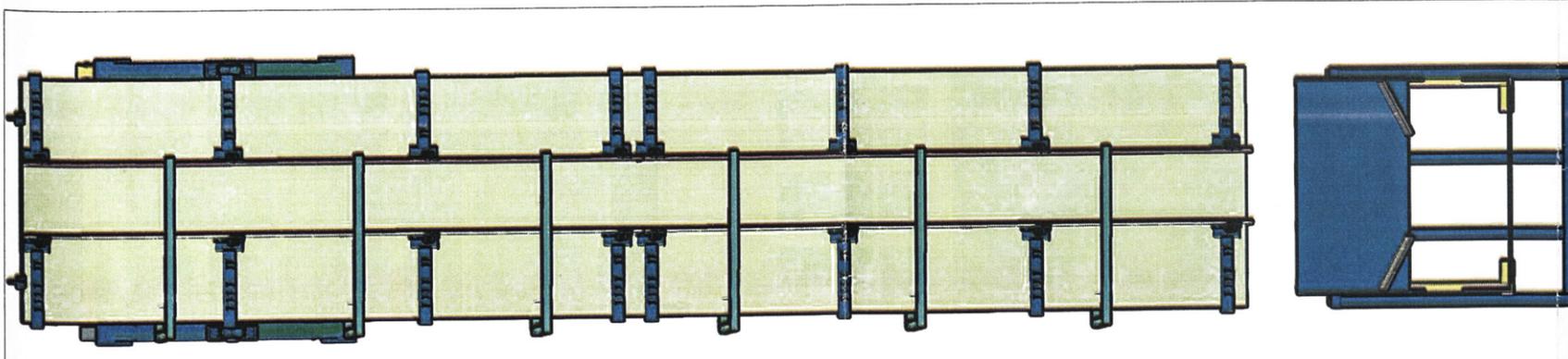
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL INSTITUTO PARA LA MITIGACIÓN DE LOS EFECTOS DEL FENÓMENO EL NIÑO			
PROYECTO MECÁNICA DE FLUJOS DE RELAVES EN CANALES ABIERTOS			
PLANO ESTRUCTURAS DE APOYO Y DEPOSITO FINAL			LÁMINA E-1
ELABORACION ALDO CONCEPCIÓN CC.	REVISIÓN ROGER HIDALGO G.	FECHA 11 DE JULIO 2018	
DIBUJANTE 1 ANTHONY RÉQUEZ R.	DIBUJANTE 2 ALEXANDER ÁVILA C.	LUGAR L. N. H.	



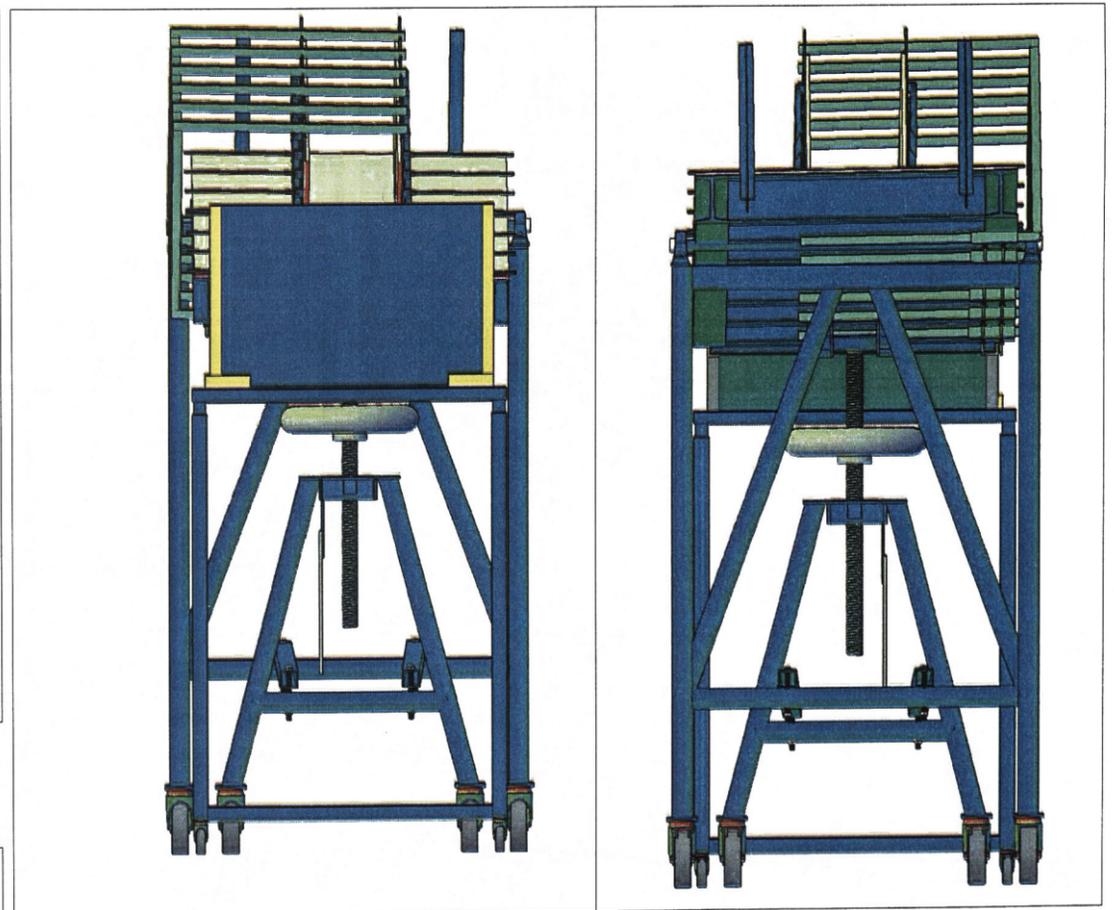
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL INSTITUTO PARA LA MITIGACIÓN DE LOS EFECTOS DEL FENÓMENO EL NIÑO			
PROYECTO: MECÁNICA DE FLUJOS DE RELAVES EN CANALES ABIERTOS			
PLANO: ESQUEMA GENERAL Y VISTA 3D DEL CANAL DE INVESTIGACIÓN			LÁMINA: V-1
ELABORACIÓN: ALDO CONCEPCIÓN C.	REVISIÓN: ROGER HIDALGO G.	FECHA: 11 DE JULIO 2018	
DIBUJANTE 1: ANTHONY RÉQUEZ R.	DIBUJANTE 2: ALEXANDER ÁVILA C.	LUGAR: L. N. H.	



VISTA DE PERFIL
ESC: S/E



VISTA SUPERIOR / VISTA INFERIOR
ESC: S/E



VISTA DE FRONTAL/ VISTA POSTERIOR
ESC: S/E

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL INSTITUTO PARA LA MITIGACIÓN DE LOS EFECTOS DEL FENÓMENO EL NIÑO			
PROYECTO: MECÁNICA DE FLUJOS DE RELAVES EN CANALES ABIERTOS			
PLANO: OTRAS VISTAS DEL CANAL DE INVESTIGACIÓN			LÁMINA V-2
ELABORACIÓN: ALDO CONCEPCIÓN CC.	REVISIÓN: ROGER HIDALGO G.	FECHA: 11 DE JULIO 2018	
DIBUJANTE 1: ANTHONY RÉQUEZ R.	DIBUJANTE 2: ALEXANDER ÁVILA C.	LUGAR: L. N. H.	



ENSAYO DE CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA DE SÓLIDOS

1.0 DATOS GENERALES

Proyecto: Mecánica de flujos de relave minero en canales abiertos

Fecha: 14/07/2017

Muestra: MUESTRA N° BALDE 10

Real por: Alexander Avila de la Cruz

Rev por: Aldo Concepción Ccorahua

2.0 DETERMINACIÓN DEL PESO TOTAL DE MUESTRA PARA EL ENSAYO EN EL CANAL

Wrec = 0.875 kg

Wrec+Wmt = 30.027 kg

Wmt = 29.152 kg

Wmt = 29.152

2.1 DETERMINACIÓN DE LOS PESOS TOTALES DE LAS MUESTRAS REPRESENTATIVAS

TARA	DATOS				
	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5
Wtara (gr)	33.151	32.817	33.821	33.892	34.545
Wtara(gr)+Wt(gr)	81.843	86.273	87.728	92.128	92.125
Wtara(gr)+Ws(gr)	63.267	65.896	67.182	69.898	70.226

2.2 CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA DE SÓLIDOS

de Bandeja en el horno:

N° 5

Inicio de secado al horno:

01:00 p.m.

Final del secado al horno:

07:00 p.m.

Tiempo total de secado:

6.00 Hr

TARA	RESULTADOS				
	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5
Ws (gr)	30.116	33.079	33.361	36.006	35.681
Wt (gr)	48.692	53.456	53.907	58.236	57.580
Cw(%)	61.850	61.881	61.886	61.828	61.968

Se promedian los valores calculados de los 5 ensayos.

Cw = 61.882 %



ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO

1.0 DATOS GENERALES

Proyecto: Mecánica de flujos de relave minero en canales abiertos
Fecha: 15/06/2017
Muestra: MUESTRA N° BALDE 8
Real por: Alexander Avila de la Cruz
Rev por: Aldo Concepción Ccorahua

2.0 DETERMINACIÓN DEL PESO TOTAL DE MUESTRA PARA EL ENSAYO EN EL CANAL

Wplatillo = 72.95 g

RECIPIENTE	VOL. Recip.	W recip.	Wrecip + Wmt	Wmt	Peso esp.
1	30.2512	60.454	181	47.596	1.573
2	29.9154	58.991	180	48.059	1.606
3	29.9088	61.969	183	48.081	1.608

Se promedian los valores calculados de los 5 ensayos.

Pe = 1.596



ENSAYO DE CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA DE SÓLIDOS

1.0 DATOS GENERALES

Proyecto: Mecánica de flujos de relave minero en canales abiertos
 Fecha: 14/07/2017
 Muestra: MUESTRA N° BALDE 10
Alexander Avila de la Cruz
 Revisado por: Aldo Concepción Ccorahua

2.0 DETERMINACIÓN DEL PESO TOTAL DE MUESTRA PARA EL ENSAYO EN EL CANAL

Wrec = 0.875 kg
 Wrec+Wmt = 30.027 kg
 Wmt = 29.152 kg
 Wmt = 29.152

2.1 DETERMINACIÓN DE LOS PESOS TOTALES DE LAS MUESTRAS REPRESENTATIVAS

TARA	DATOS				
	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5
Wtara (gr)	33.151	32.817	33.821	33.892	34.545
Wtara(gr)+Wt(gr)	81.843	86.273	87.728	92.128	92.125
Wtara(gr)+Ws(gr)	63.267	65.896	67.182	69.898	70.226

2.2 CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA DE SÓLIDOS

de Bandeja en el horno: N° 5
 Inicio de secado al horno: 01:00 p.m.
 Final del secado al horno: 07:00 p.m.
 Tiempo total de secado: 6.00 Hr

TARA	RESULTADOS				
	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5
Ws (gr)	30.116	33.079	33.361	36.006	35.681
Wt (gr)	48.692	53.456	53.907	58.236	57.580
Cw(%)	61.850	61.881	61.886	61.828	61.968

Se promedian los valores calculados de los 5 ensayos.

Cw = 61.882 %



ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO

1.0 DATOS GENERALES

Proyecto: Mecánica de flujos de relave minero en canales abiertos

Fecha: 15/06/2017

Muestra: MUESTRA N° BALDE 8

Alexander Avila de la Cruz

Revisado por: Aldo Concepción Ccorahua

2.0 DETERMINACIÓN DEL PESO TOTAL DE MUESTRA PARA EL ENSAYO EN EL CANAL

Wplatillo = 72.95 g

RECIPIENTE	VOL. Recip.	W recip.	Wrecip + Wmt	Wmt	Peso esp.
1	30.2512	60.454	181	47.596	1.573
2	29.9154	58.991	180	48.059	1.606
3	29.9088	61.969	183	48.081	1.608

Se promedian los valores calculados de los 5 ensayos.

Pe = 1.596

ANEXO B

PLANOS DE DISEÑO DEL CANAL DE INVESTIGACIÓN

ANEXO C

ENSAYOS

ANEXO C 1

**ENSAYOS DE CARECTERIZACIÓN FÍSICA DE LA MUESTRA DE RELAVES
MINEROS A UTILIZAR**

MEMORIA DE CÁLCULO

FUERZAS Y MOMENTOS RESISTENTES

A. DATOS GENERALES

PROPIEDADES DEL MATERIAL

E=	2.04E+10 kg/m ²
G=	7.85E+09 kg/m ²
u=	0.3
Fy=	42184178 kg/m ²
Fu=	63276266 kg/m ²

B. ESTRUCTURAS DE APOYO

APOYO AGUAS ABAJO

L=	0.7357
At=	3.72E-04 m ²
I=	7.30E-08 m ⁴
r=	1.40E-02 m
K=	1

1 FUERZAS AXIALES

1.1 AXIAL TENSION

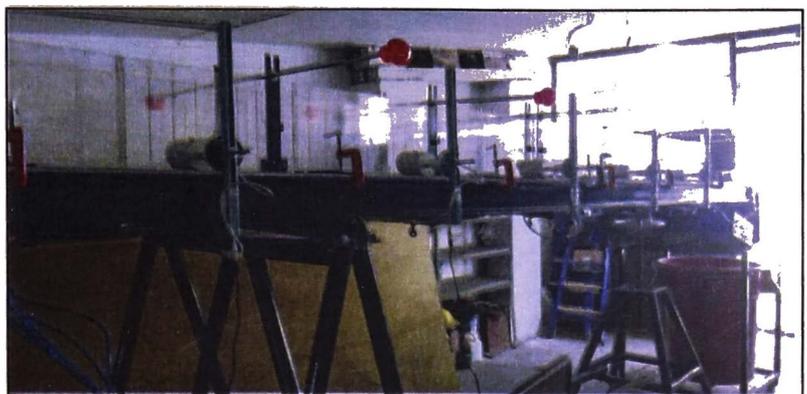
Fn=	25310506.8 kg/m ²
Tnt=	9423.10 kg
φ=	0.9

φTnc=	8480.79 kg
-------	------------

1.2 AXIAL COMPRESION

Fe=	3.80E+07 kg/m ²
Fy/Fe=	1.109
Fy/Fe<	2.25
Fcr =	26513886.73 kg/m ²
Tnc=	9871.12 kg
φ=	0.9

φTnc=	8884.01 kg
-------	------------



ANEXO C 2

ENSAYOS DE VELOCIDAD EN EL CANAL DE INVESTIGACIÓN

MEMORIA DE CÁLCULO

FUERZAS Y MOMENTOS RESISTENTES

APOYO AGUAS ARRIBA

L=	1.0025
At=	3.72E-04 m ²
I=	7.30E-08 m ⁴
r=	1.40E-02 m
K=	1

1 FUERZAS AXIALES

1.1 AXIAL TENSION

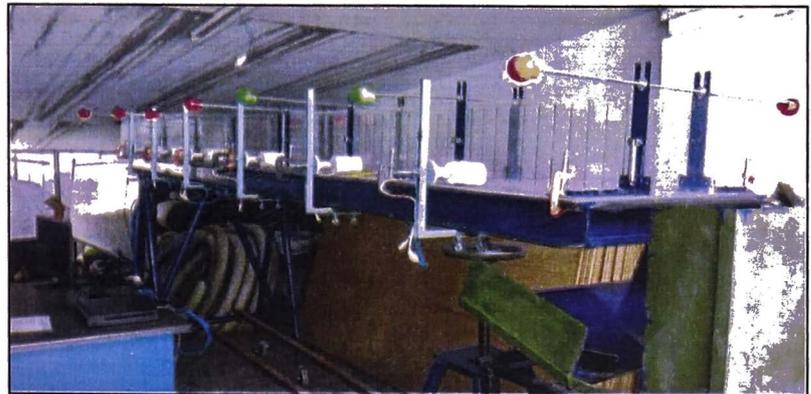
Fn=	25310506.8 kg/m ²
Tnt=	9423.10 kg
ϕ =	0.9

ϕT_{nc} =	8480.79 kg
-----------------	------------

1.2 AXIAL COMPRESION

Fe=	2.05E+07 kg/m ²
Fy/Fe=	2.060 kg
Fy/Fe<	2.25
Fcr =	17810470.92 kg/m ²
Tnc=	6630.84 kg
ϕ =	0.9

ϕT_{nc} =	5967.75 kg
-----------------	------------



ANEXO C 3

**ENSAYOS DE TRAZA DURANTE EL MOVIMIENTO DE LA MUESTRA DE
RELAVE MINERO**

MEMORIA DE CÁLCULO

FUERZAS Y MOMENTOS RESISTENTES

B. ESTRUCTURA DEL CANAL

<u>ESTRUCTURA DE CANAL</u>	
L1=	0.588 m
L2=	0.629 m
Ix=	2.72E-06 m ⁴
rx=	0.0408 m
Iy=	3.60E-07 m ⁴
ry=	0.0149 m
K=	
At=	1.63E-03 m ²
hw=	0.0746 m
bf=	0.071 m
tw=	0.007 m
tf=	0.0046 m
Zx=	6.20E-05 m ³
J=	3.27E-08
h0=	0.0792 m
Sx=	5.28E-05 m ³



1 FUERZAS AXIALES

1.1 AXIAL TENSION

Fn=	25310506.8 kg/m ²
Tnt=	41256.13 kg
φ=	0.9
φTnc=	37130.51 kg

1.2 AXIAL COMPRESION

Fe=	5.89E+07 kg/m ²
Fy/Fe=	0.716
Fy/Fe<	2.25
Fcr =	31260898.43
Tnc=	50955.26 kg
φ=	0.9

φTnc=	45859.74 kg
-------	-------------

2 FUERZAS DE FLEXION

2.1 RELACION ANCHO - ESPESOR DE ELEMENTOS

h/tw=	10.66	
h/tw<	82.66	COMPACTO
h/tw<	125.32	
bf/2tf=	7.72	
bf/2tf <	8.35	COMPACTO
bf/2tf <	21.99	

2.1.2 FLUENCIA

Mp=	2615.84 Kg-m
Mn =	2615.84 Kg-m
φ=	0.9

φMn=	2354.26 Kg-m
------	--------------

ANEXO C 4

**RESUMEN DE LAS PROPIEDADES Y VARIABLES EN LOS ENSAYOS
REALIZADOS EN LA INVESTIGACION**

MEMORIA DE CÁLCULO

FUERZAS Y MOMENTOS RESISTENTES

2.1.3 FALLA POR TORSION LATERAL

$L_p = 0.577$ m
 $L_{b1} = 0.588$ m
 $L_{b2} = 0.629$ m
 $c = 1$
 $C_w = 5.63754E-10$ m⁶
 $r_{ts}^2 = 0.000269676$ m²
 $r_{ts} = 0.018212437$ m
 $L_r = 2.840$ m
 $L_{b >} = L_p$
 $L_{b <} = L_r$

$M_{max} = 11.76$ Kg-m
 $M_{a(25\%)} = 10.95$ Kg-m
 $M_{b(50\%)} = 10.15$ Kg-m
 $M_{c(75\%)} = 8.79$ Kg-m

$C_b = 1.138$
 $\phi = 0.9$
 $M_n = 2969.68$ Kg-m

$\phi M_n = 2672.71$ Kg-m

3 FUERZAS CORTANTES

$h/t_w = 0.07$
 $h/t_w < 49.03821363$
 $F_v = 16873671.20$ kg/m²

$V_n = 27504.08$ kg

