

## TABLA DE CONTENIDO

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 1       | Introducción .....  | 8  |
| 1.1     | <b>OBJETIVOS</b> _____  | 10 |
| 1.1.1   | General: _____  | 10 |
| 1.1.2   | Específicos: _____  | 10 |
| 1.2     | <b>METODOLOGÍA</b> _____  | 10 |
| 1.3     | <b>RESULTADOS ESPERADOS</b> _____   | 10 |
| 1.4     | <b>ORGANIZACIÓN DEL INFORME</b> _____                                     | 11 |
| 2       | Revisión bibliográfica.....   | 12 |
| 2.1     | <b>CLASIFICACIÓN DE LOS FLUIDOS</b> _____                                 | 12 |
| 2.1.1   | Fluidos newtonianos _____   | 12 |
| 2.1.2   | Fluidos no-newtonianos – clasificación según tasa de deformación _____    | 12 |
| 2.1.3   | Fluidos no-newtonianos - clasificación según dependencia del tiempo _____ | 14 |
| 2.1.4   | Alcances del trabajo _____  | 14 |
| 2.2     | <b>EXPRESIONES CARACTERÍSTICAS DE LAS MEZCLAS SÓLIDO-LÍQUIDO</b> _____    | 14 |
| 2.3     | <b>REGÍMENES DE TRANSPORTE (CLASIFICACIÓN DE FLUJOS)</b> _____            | 15 |
| 2.3.1   | Flujo homogéneo _____   | 15 |
| 2.3.2   | Flujo heterogéneo _____   | 16 |
| 2.3.3   | Flujo con lecho móvil _____   | 16 |
| 2.3.4   | Flujo con lecho fijo _____  | 17 |
| 2.4     | <b>MODELOS DE PÉRDIDA DE CARGA</b> _____                                  | 18 |
| 2.4.1   | Modelos para flujo homogéneo _____  | 18 |
| 2.4.1.1 | Plástico de Bingham _____   | 19 |
| 2.4.2   | Modelos para flujo heterogéneo _____                                      | 20 |
| 3       | Observaciones al método de Wasp .....                                     | 33 |
| 3.1     | <b>ESQUEMA DEL MODELO</b> _____   | 33 |
| 3.1.1   | Modelos de velocidad de sedimentación _____                               | 34 |
| 3.2     | <b>VELOCIDAD DE DEPÓSITO COMO VARIABLE COMPLEMENTARIA</b> _____           | 35 |
| 3.3     | <b>MODIFICACIONES AL MODELO DE WASP</b> _____                             | 38 |
| 4       | Presentación de datos operacionales y estimación bandas de error .....    | 40 |
| 4.1     | <b>GENERALIDADES</b> _____  | 40 |
| 4.2     | <b>PROCEDIMIENTO ESTÁNDAR DE EJECUCIÓN DE PRUEBAS</b> _____               | 41 |
| 4.3     | <b>ESTIMACIÓN DEL ERROR DE LAS MEDICIONES</b> _____                       | 42 |
| 4.4     | <b>PRESENTACIÓN RESULTADOS DE LAS CAMPAÑAS DE MEDICIONES</b> _____        | 46 |
| 4.4.1   | Caracterización Concentrado de Bauxita _____                              | 46 |
| 4.4.1.1 | Granulometría _____   | 46 |
| 4.4.1.2 | Gravedad específica de los sólidos y del líquido _____                    | 47 |

|         |   |           |
|---------|---|-----------|
| 4.4.1.3 | Reología  | 48        |
| 4.4.2   | Pruebas con agua  | 53        |
| 4.4.3   | Resultados pruebas con concentrado Cp = 48%                         | 54        |
| 5       | Predicciones método de Wasp original, semi-ajustado y ajustado      | 58        |
| 5.1     | <b>PREDICCIÓN MÉTODO DE WASP</b>                                    | <b>58</b> |
| 5.2     | <b>PREDICCIÓN MÉTODO DE WASP SEMI-AJUSTADO (REGRESIÓN LINEAL B)</b> | <b>60</b> |
| 5.3     | <b>PREDICCIÓN MÉTODO DE WASP AJUSTADO</b>                           | <b>61</b> |
| 6       | Análisis resultados obtenidos y conclusiones                        | 64        |
| 7       | Bibliografía  | 66        |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1.- Etapas de producción típica de grandes mineras en Chile.....   | 8  |
| Figura 2.- Tipos de fluidos sin dependencia del tiempo .....  | 14 |
| Figura 3.- Tipos de fluidos cuyas propiedades físicas dependen del tiempo.....  | 14 |
| Figura 4.- Esquema flujo homogéneo.....   | 15 |
| Figura 5.- Esquema flujo heterogéneo .....  | 16 |
| Figura 6.- Esquema flujo lecho móvil .....  | 17 |
| Figura 7.- Esquema flujo lecho fijo.....  | 17 |
| Figura 8.- Esquema general tipos de flujo.....  | 18 |
| Figura 9.- Curva de pérdida de carga unitaria v/s velocidad fluido homogéneo.....   | 19 |
| Figura 10.- Curva de datos operacionales presentada en Blatch (1906).....   | 21 |
| Figura 11.- Curva de pérdida de carga unitaria v/s velocidad mezclas heterogéneas .....   | 22 |
| Figura 12.- Gráfico obtención Sk, método de Führböter .....   | 24 |
| Figura 13.- Comparación expresiones de Durand & Condolios y Zandi & Govatos (extraída de Zandi & Govatos 1967).....                               | 25 |
| Figura 14.- Esquema propuesto por Wasp.....   | 26 |
| Figura 15.- Representación esquemática y definición de variables método dos capas .....   | 29 |
| Figura 16.- Casos particulares flujo completamente estratificado v/s parcialmente estratificado (Extraído de Matousek 1997). .....                | 30 |
| Figura 17.- Esquema método de Wasp .....  | 33 |
| Figura 18.- Velocidad de depósito en curva J v/s V.....   | 36 |
| Figura 19.- Variación del parámetro <b>FL</b> en función de tamaño de partículas y concentración de sólidos (extraído de Durand 1953).....        | 37 |
| Figura 20.- Esquema general instalación experimental (circuito de prueba) .....   | 40 |
| Figura 21.- Vista en planta zona estanques pruebas en terreno.....  | 41 |
| Figura 22.- Puntos de medición de espesor de tubería .....  | 45 |
| Figura 23.- Distribución granulométrica pulpa transportada – Cp = 48% .....   | 47 |
| Figura 24.- Pruebas de reología – estimación viscosidad .....   | 49 |
| Figura 25.- Pruebas de reología – estimación viscosidad datos filtrados .....   | 49 |
| Figura 26.- Dependencia de viscosidad dinámica del agua con la temperatura.....   | 50 |
| Figura 27.- Regresión a partir expresión de Thomas (1965) utilizando mediciones de reología.....  | 51 |
| Figura 28.- Estimación parámetro B' método utilizado comúnmente en oficinas de ingeniería...  | 52 |
| Figura 29.- Comparación de estimaciones reología .....  | 53 |
| Figura 30.- Predicción pérdida de carga unitaria según Darcy-Weisbach con mediciones para una rugosidad de 3,26 mm.....                           | 54 |
| Figura 31.- Pérdida de carga unitaria v/s velocidad media – Cp = 48% .....  | 56 |
| Figura 32.- Pérdida de carga unitaria v/s velocidad media – 48% log-log .....   | 57 |
| Figura 33.- Pérdida de carga unitaria v/s velocidad media – 48% log-log .....   | 59 |
| Figura 34.- Comparación Wasp con método Wasp semi-ajustado .....  | 60 |
| Figura 35.- Comparación estimación pérdida de carga método de Wasp clásico, Wasp semi-ajustado y Wasp ajustado según Kaushal & Tomita (2002)..... | 61 |
| Figura 36.- Banda de curva granulométrica según tratamiento método de Wasp .....  | 62 |
| Figura 37.- Banda de error método de Wasp ajustado y mediciones. ....   | 63 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1: Ejemplos de ductos que transportan otros tipos de minerales (Zandi y Govatos, 1967) ..... | 9  |
| Tabla 2: Otros autores para estimación de pérdida de carga entre 1950 y 1970 (Yu 1986) .....       | 26 |
| Tabla 3: Principales características circuitos de prueba considerado.....                          | 41 |
| Tabla 4: Campaña mediciones espesores tubería circuito de prueba .....                             | 44 |
| Tabla 5: Granulometría pruebas $C_p = 48\%$ .....  | 46 |
| Tabla 6: Gravedad específica sólidos prueba 48% .....  | 47 |
| Tabla 7: Viscosidad de Bingham para diferentes concentraciones $C_p = 48\%$ .....                  | 48 |
| Tabla 8: Viscosidad de del agua en función de la temperatura .....                                 | 50 |
| Tabla 9: Construcción ajuste modelo Thomas (1965) para viscosidad de Bingham medida.....           | 50 |
| Tabla 10: Mediciones con agua .....  | 53 |
| Tabla 11: Estimación error registro velocidad .....  | 55 |
| Tabla 12: Estimación error registro pérdida de carga unitaria .....                                | 55 |
| Tabla 13: Mediciones circuitos de prueba – $C_p = 48\%$ .....                                      | 56 |
| Tabla 14: Parámetros de entrada Wasp el al (1977).....   | 58 |
| Tabla 15: Tabla comparativa de mediciones y Wasp .....   | 59 |
| Tabla 16: Parámetros de entrada Wasp semi-ajustado .....   | 60 |
| Tabla 17: Parámetros de entrada Wasp, ajustes Kaushal y Tomita .....                               | 61 |