

# Tabla de Contenido

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Contexto . . . . .	1
1.2. Objetivo general . . . . .	2
1.3. Objetivos específicos . . . . .	2
1.4. Alcances . . . . .	2
<b>2. Estudio del arte</b>	<b>3</b>
2.1. Depósitos de relave convencionales . . . . .	3
2.1.1. Clasificación según el material que compone el muro principal . . . . .	3
2.1.2. Componentes de un depósito de relaves convencional . . . . .	3
2.1.3. Métodos constructivos . . . . .	4
2.2. Balance hídrico en un depósito de relaves convencional . . . . .	6
2.2.1. Entradas de agua . . . . .	6
2.2.2. Salidas de agua . . . . .	7
2.2.3. Agua almacenada en el depósito . . . . .	7
2.2.4. Ecuación general de balance hídrico . . . . .	7
2.3. Mecanismos de pérdida de agua . . . . .	8
2.3.1. Pérdidas por atrapamiento . . . . .	9
2.3.1.1. Índice de vacíos . . . . .	9
2.3.1.2. Estimación de las pérdidas por atrapamiento . . . . .	12
2.3.1.3. Consolidación de medios porosos . . . . .	13
2.3.2. Pérdidas por evaporación . . . . .	22
2.3.2.1. Evaporación potencial . . . . .	22
2.3.2.2. Balance de energía en una superficie . . . . .	23
2.3.2.3. Evaporación relativa . . . . .	25
2.3.3. Pérdidas por resaturación . . . . .	27
2.3.3.1. Concepto de resaturación . . . . .	27
2.3.3.2. Modelo de pérdidas por resaturación . . . . .	27
2.3.4. Pérdidas por infiltración . . . . .	28
2.3.4.1. Ley de Darcy . . . . .	29
2.3.4.2. Diferencias en la medición de la permeabilidad para pequeña y gran escala . . . . .	29
2.3.4.3. Distribución de tamaño de partículas en el sector playa . . . . .	30
<b>3. Metodología</b>	<b>33</b>
3.1. Ecuaciones base del modelo . . . . .	33
3.1.1. Supuestos del modelo . . . . .	33

3.1.2.	Definición de volumen de control y variables de interés . . . . .	34
3.1.3.	Formulación teórica de las ecuaciones de momentum y masa . . . . .	35
3.1.4.	Consideraciones sobre la reología de la mezcla . . . . .	35
3.1.5.	Segregación longitudinal de partículas . . . . .	38
3.1.6.	Hipótesis cuasiestática . . . . .	39
3.2.	Resolución del sistema de ecuaciones diferenciales . . . . .	39
3.2.1.	Sistema de ecuaciones diferenciales acoplado . . . . .	39
3.2.2.	Resolución de la sucesión de regímenes permanentes . . . . .	40
3.3.	Parámetros y condiciones de borde del modelo . . . . .	41
3.3.1.	Parámetros asociados a las condiciones de operación . . . . .	41
3.3.2.	Parámetros asociados a la reología de la mezcla . . . . .	42
3.3.3.	Parámetros asociados a la velocidad crítica de deposición . . . . .	42
3.3.4.	Parámetros asociados a la geometría del canal . . . . .	43
3.3.5.	Condiciones de borde . . . . .	44
3.4.	Validación cualitativa del sistema de EDOs . . . . .	44
3.4.1.	Caso de prueba . . . . .	45
3.4.2.	Estimación de las pérdidas de agua por atrapamiento . . . . .	46
<b>4.</b>	<b>Resultados y análisis</b>	<b>47</b>
4.1.	Sistema de ecuaciones . . . . .	47
4.1.1.	Ecuación de conservación de masa de sólidos en la suspensión . . . . .	47
4.1.2.	Ecuación de conservación de masa de la mezcla . . . . .	48
4.1.3.	Ecuación de sedimentación o criterio de sedimentación . . . . .	50
4.1.4.	Ecuación de distribución de concentraciones volumétricas . . . . .	51
4.1.5.	Ecuación de momentum lineal . . . . .	52
4.1.6.	Sistema de ecuaciones del modelo e hipótesis cuasiestática . . . . .	56
4.1.7.	Sistema de ecuaciones diferenciales acoplado . . . . .	57
4.2.	Caso de prueba: Segregación y pérdidas por atrapamiento . . . . .	60
4.2.1.	Resolución del sistema en el tiempo inicial . . . . .	60
4.2.2.	Análisis en el comportamiento de la altura de escurrimiento . . . . .	63
4.2.3.	Discusión sobre las condiciones de borde . . . . .	64
4.2.4.	Resolución del sistema a tiempo inicial corregida . . . . .	67
4.2.5.	Resolución iterativa en el tiempo (sucesión de regímenes permanentes) . . .	71
4.2.6.	Pérdidas de agua por atrapamiento . . . . .	76
4.2.7.	Discusión sobre clasificación de tamaños en el sector playa . . . . .	78
<b>5.</b>	<b>Conclusión</b>	<b>79</b>
	<b>Bibliografía</b>	<b>80</b>
	<b>Anexos</b>	<b>82</b>
<b>A.</b>	<b>Método de Runge-Kutta de orden 4</b>	<b>83</b>
<b>B.</b>	<b>Código de Python</b>	<b>84</b>
<b>C.</b>	<b>Resolución de método cuasiestático</b>	<b>101</b>
C.1.	Etapa 1: Resolución del sistema en el tiempo inicial . . . . .	101

C.2. Etapa 2: Resolución iterativa en el tiempo . . . . . 101