

Tabla de contenido

1. Introducción	1
1.1. Antecedentes	1
1.1.1. Referencias de costos	1
1.1.2. Importancia del agua	3
1.1.3. Estanques espesadores y/o clarificadores	3
1.1.4. Tipos de Estanques	5
1.1.5. Funcionamiento	6
1.1.6. Problemas típicos	6
1.1.7. Aportes al diseño de estanques	7
1.2. Objetivos	9
1.2.1. Objetivo principal	9
1.2.2. Objetivos específicos	9
1.3. Metodología	10
1.4. Alcance	11
2. Marco Teórico	12
2.1. Cargas sísmicas en fluidos con densidad homogénea	12
2.1.1. Presiones impulsivas	12
2.1.2. Presiones convectivas	14
2.1.3. Ecuaciones utilizadas norma ACI	16
2.2. Cargas sísmicas en fluidos con densidad variable	18
2.2.1. Metodología	19
2.2.2. Masa líquido de estanque	22
2.2.3. Caso impulsivo	23
2.2.4. Caso convectivo	23
2.3. Estadística en base a memorias de cálculos existentes	25
2.4. Resultados obtenidos	34
2.5. Simplificaciones para ecuaciones	41
2.5.1. Valores de altura de centro de gravedad masa impulsiva	41
2.5.2. Valores de altura de centro de gravedad masa convectiva	41
2.5.3. Masa impulsiva	41
2.5.4. Masa convectiva	42
2.5.5. Análisis cambios propuestos	42
3. Condiciones de diseño	44
3.1. Bases de diseño	44
3.1.1. Materiales	44
3.1.2. Cargas a considerar	45
3.1.3. Factores de seguridad	45
3.1.4. Parámetros geotécnicos	45
3.1.5. Parámetros sísmicos	46
3.1.6. Factor de importancia	47
3.1.7. Espectro de diseño	50
3.1.8. Coeficientes sísmicos	50

3.1.8.1.	Impulsivo	50
3.1.8.2.	Convectivo	52
3.1.8.3.	Vertical	53
3.2.	Combinaciones de cargas	55
3.2.1.	Estanques superficiales	55
3.2.2.	Estanques enterrados	55
4.	Metodología de diseño	57
4.1.	Cálculo de cargas	57
4.1.1.	Peso propio	57
4.1.1.1.	Cálculo de masas	59
4.1.2.	Cargas de operación	60
4.1.3.	Carga inercial	60
4.1.4.	Presión hidrostática del líquido almacenado	60
4.1.5.	Cargas sísmicas	62
4.1.6.	Presiones hidrodinámicas del líquido almacenado	62
4.2.	Cálculo de cortes y momentos basales	64
4.2.1.	Corte basal	64
4.2.2.	Momento basal	64
4.3.	Diseño revancha por ola sísmica	65
4.4.	Diseño de hormigón armado	67
4.4.1.	Determinación de esfuerzos	67
4.4.1.1.	Tracción	67
4.4.2.	Armaduras	69
4.4.2.1.	Distanciamiento mínimo de refuerzos	69
4.4.2.2.	Armadura mínima	70
4.4.3.	Control de ancho de grietas	70
4.4.3.1.	Flexión	70
4.4.3.2.	Tracción pura	71
4.4.4.	Hormigón postensado	72
4.5.	Estimaciones iniciales	74
4.5.1.	Cubicación hormigón	74
4.5.2.	Corte y momento basal	74
4.5.3.	Armadura anular a requerir	75
5.	Guía de diseño	77
5.1.	Tablas resumen	77
5.1.1.	Modificaciones a alturas y masas convectivas/impulsivas	77
5.1.2.	Parámetros sísmicos	77
5.1.3.	Estimaciones iniciales	78
5.2.	Pasos a seguir	79
5.3.	Ejemplo simple de diseño	80
5.3.1.	Estimaciones iniciales	80
6.	Conclusiones y recomendaciones	82
7.	Glosario	86

Bibliografía	90
8. Anexos	91

Índice de Tablas

1.	Tabla datos espesadores-clarificadores.	26
2.	Cálculo de valores según norma ACI	27
3.	Cálculo de valores según memoria	28
4.	Diferencia de valores obtenidos ACI-memoria	28
5.	Peso específico de relave y a utilizar.	29
6.	Factores de seguridad	45
7.	Factores de durabilidad ambiental.	45
8.	Zonas sísmicas asignadas CODELCO.	46
9.	Aceleración efectiva, Nch 2369.	46
10.	Parámetros sísmicos según tipo suelo, Nch 2369.	46
11.	Clasificación complementaria a Nch3171, para estructuras.	48
12.	Coeficiente de importancia.	50
13.	Tablas coeficiente sísmico por división de Codelco.	51
14.	Combinaciones de cargas según método ASD estanques superficiales, tensiones terreno.	55
15.	Combinaciones de carga según método LRFD, estanques superficiales, Muros.	55
16.	Combinaciones de cargas estanques enterrados, tensiones terreno.	56
17.	Combinaciones de cargas estanques enterrados, Muros.	56
18.	Valores a utilizar estimaciones iniciales	75
19.	Tabla Resumen fórmulas simplificadas	77
20.	Parámetros Sísmicos	77
21.	Parámetros Sísmicos 2	77
22.	Tabla resumen estimaciones iniciales	78
23.	Resultados ejemplo estimaciones iniciales	81

Índice de Figuras

1.	Consumo de agua, industria minera, Chile 2018-2019. Fuente: Cochilco.[16][17]	3
2.	Espesador tipo, vista perfil	5
3.	Tipos de espesadores	6
4.	Ejemplo de espesador	6
5.	Espesador de Relaves de CODELCO MMH.	11
6.	Representación comportamiento de líquido en estanque.	13
7.	Volumen estanque considerado	18
8.	Comportamiento de la densidad dentro de estanque (ejemplo para densidad relave 2 [ton/m3])	19
9.	Método G.W. Housner caso impulsivo estanque rectangular	20
10.	Método G.W. Housner caso convectivo estanque rectangular	21
11.	Perfil típico muro estanque	25

12.	Ejemplo tracción anular	30
13.	Gráfico espesor de muros en estanques.	32
14.	Gráfico espesor de zapata en estanques.	32
15.	Gráfico ancho de zapata en estanques.	33
16.	Gráfico comparativo para valores de h_c , para distintos γ_r , se incluye valor obtenido en ACI.	35
17.	Gráfico comparativo para valores de h_i , para distintos γ_r , se incluye valor obtenido en ACI.	35
18.	Gráfico comparativo para valores de W_c , para distintos γ_r , se incluye valor obtenido en ACI.	36
19.	Gráfico comparativo para valores de W_i , para distintos γ_r , se incluye valor obtenido en ACI.	36
20.	Gráfico comparativo para valores de ω^2 , para distintos γ_r , se incluye valor obtenido en ACI.	37
21.	Gráfico comparativo para valores de T_c , para distintos γ_r , se incluye valor obtenido en ACI.	38
22.	Comparación porcentual resultados - corte y momento	39
23.	Clasificación de estructuras según importancia, Nch2369.	49
24.	Coefficiente de importancia según Nch2369.	49
25.	Tabla 5.7, Nch 2369.	51
26.	Coefficiente C_w para estanques circulares.	52
27.	Comportamiento de coeficiente convectivo adoptado para distintos periodos	53
28.	Cálculo masa sísmica.	57
29.	Sección típica espesador.	58
30.	Presión hidrostática.	61
31.	Ejemplo representación diferencia de carga hidrostática para densidad variable, $\rho_L = 1.67[\text{ton}/\text{m}^3]$, $H_L = 3.65[\text{m}]$	61
32.	Distribución de presiones muro para presiones hidrodinámicas.	62
33.	Distribución de presiones en el manto.	63
34.	Movimiento del fluido e estanque.	65
35.	Tracción	67
36.	Efecto presión hidrostática en muros con unión muro-losa rígidos	68
37.	Anchos admisibles de grietas en hormigón armado bajo cargas de servicio. .	71
38.	Muro perimetral hormigón para postensado.	73
39.	Fierros hormigón postensado	73
40.	Gráficos estadísticos de diseños actuales para estimaciones iniciales de espesores de hormigón	84
41.	Gráfico comparativo para valores de h_i , para distintos γ_r , se incluye valor obtenido en ACI.	92
42.	Gráfico comparativo entre valor de h_i de densidad homogénea memoria y ACI.	93
43.	Gráfico comparativo para valores de h_c , para distintos γ_r , se incluye valor obtenido en ACI.	94
44.	Gráfico comparativo entre valor de h_c de densidad homogénea memoria y ACI.	95
45.	Gráfico comparativo para valores de W_i , para distintos γ_r , se incluye valor obtenido en ACI.	96
46.	Gráfico comparativo entre valor de W_i de densidad homogénea memoria y ACI.	97

47.	Gráfico comparativo para valores de W_c , para distintos γ_r , se incluye valor obtenido en ACI.	98
48.	Gráfico comparativo entre valor de W_c de densidad homogénea memoria y ACI.	99
49.	Gráfico comparativo para valores de ω^2 , para distintos γ_r , se incluye valor obtenido en ACI.	100
50.	Gráfico comparativo entre valor de ω^2 de densidad homogénea memoria y ACI.	101
51.	Gráfico comparativo para valores de T_c , para distintos γ_r , se incluye valor obtenido en ACI.	102
52.	Gráfico comparativo entre valor de T_c de densidad homogénea memoria y ACI.	103