

Tabla de Contenido

Resumen	i	
Dedicatoria	iii	
Agradecimientos	v	
Índice de Tablas	ix	
Índice de Ilustraciones	xviii	
1	Introducción	1
2	Objetivos y Alcances	5
	2.1 Objetivo General	5
	2.2 Objetivos Específicos	5
	2.3 Alcances	6
3	Antecedentes	7
	3.1 Fundamentos de Materiales Granulares	7
	3.1.1 General	7
	3.1.2 Ejemplos de comportamiento	8
	3.1.3 Regímenes de flujo	10
	3.2 Método de Elementos Discretos (DEM)	13
	3.2.1 General	13
	3.2.2 Software de modelación	15
	3.2.3 Leyes de interacción	16
	3.2.4 Parámetros de interacción o micro-parámetros	24
	3.2.5 Comportamiento macroscópico y macro-parámetros	32
	3.2.6 Calibración de parámetros	39
	3.3 <i>Machine Learning</i> (ML)	46
	3.3.1 General	46
	3.3.2 <i>Artificial Neural Network</i> (ANN)	48
	3.3.3 <i>Support Vector Regression</i> (SVR)	50
	3.3.4 Ventajas y desventajas de ANN y SVR	55
	3.3.5 Validación cruzada y búsqueda de hiper-parámetros	56
4	Definición del Problema	60

5	Metodología	62
	5.1 Metodología general	62
	5.2 Bases de análisis simulaciones DEM	63
	5.3 Meta-modelo basado en SVR	67
	5.4 Esquema de búsqueda de micro-parámetros	68
	5.5 Validación de metodología	70
	5.6 Características de hardware y software	70
6	Resultados y Análisis	72
	6.1 Simulaciones DEM	72
	6.2 Modelo SVR	79
	6.3 Casos adicionales	86
	6.4 Validación de la Metodología	91
	6.4.1 Respuesta de modelo DEM frente a corridas sucesivas	91
	6.4.2 Respuesta de modelo SVR según información disponible	92
	6.5 Extensión de la metodología a otras aplicaciones de interés	94
	6.5.1 Mayor número de macro-parámetros	94
	6.5.2 Material cohesivo	95
	6.5.3 Posibles limitaciones	96
7	Conclusiones	98
	7.1 Trabajo Futuro	100
	Bibliografía	102
	Apéndice A Resultados casos adicionales	107
	A.1 Escenario A1	107
	A.2 Escenario A3	110
	A.3 Escenario B1	113
	A.4 Escenario B2	116
	A.5 Escenario B3	119
	A.6 Escenario C2	122