

Índice general

1. Introducción	1
1.1. Motivación	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1. General	2
1.2.2. Específicos	2
1.3. Metodología	3
1.3.1. Revisión bibliográfica	3
1.3.2. Comprender el funcionamiento de los software y revisión de los métodos de resolución que utilizan	3
1.3.3. Construcción del modelo	3
1.3.4. Análisis de Resultados	4
1.4. Organización del informe	4
2. Revisión bibliográfica	6
2.1. Introducción	6
2.2. Método de elementos discretos (DEM)	8
2.3. Método de lattice boltzman (LBM)	10
2.4. Método de volúmenes finitos a escala de poros (PFV)	10
2.5. <i>YADE</i>	11
2.6. Acople DEM-PFV y ciclo de cálculo	13
2.7. Distribución de esfuerzos en suelos granulares	15
2.8. Comentarios y consideraciones	16
3. Validación del modelo	18
3.1. Introducción	18
3.2. Modelos de prueba	19
3.3. Modelos acoplados	20
3.4. Validación del modelo	21
3.4.1. Resultados	22
3.4.2. Ajuste a la teoría	24
4. Conductividad hidráulica, tamaño del grano, porosidad y confinamiento	27
4.1. Introducción	27
4.2. Modelos de mayor tamaño	28

4.3.	Resultados de los modelos	28
4.3.1.	Conductividad hidráulica y tamaños característicos	28
4.3.2.	Modelos numéricos y resultados empíricos	30
4.3.3.	Porosidad y confinamiento	31
4.4.	Expresión propuesta	33
5.	Esfuerzos del esqueleto de suelo y efectos del flujo	37
5.1.	Introducción	37
5.2.	Modelos bimodales estratificados	39
5.3.	Modelos uniformemente distribuidos	41
5.4.	Modelos PSD (<i>Particle size distribution</i>)	43
5.4.1.	Granulometrias bimodales	44
5.4.2.	Granulometrias reales	45
6.	Relación entre distribución de tensiones y el gradiente hidráulico crítico	46
6.1.	Introducción	46
6.2.	Distribución de tensiones	48
6.3.	Aspectos computacionales	53
7.	Conclusiones	54
7.1.	Construcción del modelo	54
7.2.	Validación del modelo y conductividad hidráulica	55
7.3.	Distribución de esfuerzo	56
	Bibliografía	58
	Anexo I	60
	Anexo II	63
	Anexo III	66
	Anexo IV	69
	Anexo V	70

Índice de cuadros

2.1. Comparación de los grados de libertad (gdl) y el tiempo de CPU entre FEM y PFV, para una iteración (Catalano, 2013).	17
3.1. Parametros de los modelos de validación.	22
3.2. Ecuaciones del tipo $K = \frac{\rho g}{\mu} N \varphi(n) d_e^2$, para el calculo de la conductividad hidráulica.	24
3.3. Ecuaciones del tipo $K = a \cdot d^b$, para el calculo de la conductividad hidráulica.	25
4.1. Parametros de los modelos de polidispersos.	28
5.1. Descripción modelo bimodal 6 capas R1=4.6 Sd=0.17.	41
6.1. Resumen de los resultados de análisis de tensiones.	49
6.2. Resumen de los resultados de ajuste lineal.	52
6.3. Resumen de las modelaciones.	53

Índice de figuras

2.1.	Distribución del agua en el planeta.	6
2.2.	Esquema de medio permeable al cual se le induce un flujo debido a la extracción de gas natural, agua o petróleo.	7
2.3.	Esquema de interacción entre partículas y algoritmo de detección de contacto (YADE formulation 2010).	9
2.4.	Ciclo de cálculo, esquema de actualización de información del modelo.	14
2.5.	Radjai et al, (1996). (a) Distribución probabilística de esfuerzos normales normalizada (b) Distribución probabilística de esfuerzos tangenciales normalizada.	15
2.6.	(a) Distribución esfuerzo muestra 3D (b) zoom a la malla de esfuerzos.	16
3.1.	Modelos de Prueba de tamaño pequeño, poca cantidad de esferas y sin fluido.	19
3.2.	Distribución de presión en el flujo y líneas de corriente, todos los valores se encuentran en MKS.	21
3.3.	En el gráfico superior se aprecia el ajuste lineal del logaritmo del diámetro vs logaritmo de la conductividad hidráulica, cada punto de color rojo corresponde al resultado de una simulación. En el gráfico de abajo se muestra el residuo entre los valores obtenidos y la curva propuesta.	24
3.4.	Resumen de permeabilidades obtenidas mediante el acople DEM-PFV comparadas con ambos set de ecuaciones mencionados y con ensayos de laboratorios realizados con microesferas de vidrio.	26
4.1.	Conductividad hidráulica vs S_d , para distintos tamaños de radio promedio, los diámetros se muestran en la parte superior en [m]. Presión de confinamiento 2.7 [KPa].	29
4.2.	d_{20} vs S_d , para distintos valores de la presión de confinamiento [Pa].	29
4.3.	Curva granulométrica para distintos valores de S_d	30
4.4.	Conductividad hidráulica vs S_d , Tensión de confinamiento de 2.7 [KPa].	30
4.5.	Conductividad hidráulica vs S_d , Tensión de confinamiento de 27.4 [KPa]	31
4.6.	Porosidad vs S_d , para distintos valores de la presión de confinamiento, tal como lo muestra la leyenda en la parte superior.	32
4.7.	Conductividad hidráulica vs S_d , para distintas tensiones de confinamiento [Pa].	32
4.8.	Conductividad hidráulica vs S_d , para distintas tensiones de confinamiento [Pa].	34
4.9.	Conductividad hidráulica vs S_d , para distintas tensiones de confinamiento [Pa].	35

5.1.	(a) Modelo Bimodal estratificado de 6 capas y $R=4.6$ (con cada capa uniformemente distribuida $Sd=0.17$), (b) Modelo uniformemente distribuido para un $R_{mean} = 3$ [mm], $R = 5,15$, $R_1 = 1,57$ $Sd=0.68$ y (c) Modelo Bimodal PSD $Sd=0.51$ y un $R=5$	38
5.2.	Porcentaje de esfuerzo promedio de los granos finos (G_{fm}) y de los granos gruesos (G_{gm}) en función del tiempo expresado en número de iteraciones. . .	40
5.3.	Porcentaje de transmisión de Fuerzas promedios en función de R	40
5.4.	Modelos uniformemente distribuidos (a) $Sd=0.17$ (b) $Sd=0.85$	42
5.5.	Porcentaje de transmisión de Fuerzas promedios en función de R y R_1	43
5.6.	Criterio de estabilidad de Kenney and Lou para las granulometrías bimodales modeladas.	44
5.7.	Porcentaje de transmisión de Fuerzas promedios en función de R	44
5.8.	Granulometrias Bimodales.	45
6.1.	Granulometrías realizadas.	47
6.2.	Granulometrías reales simuladas computacionalmente.	48
6.3.	Gráfico Tensión normalizada por el promedio versus tamaño de grano normalizado por D15.	50
6.4.	Pendientes de las envolventes de la zona inferior de dispersión de datos.	52
1.	Distribución de fuerzas promedio de granos finos y gruesos para $Sd=0.17$. . .	63
2.	Distribución de fuerzas promedio de granos finos y gruesos para $Sd=0.34$. . .	64
3.	Distribución de fuerzas promedio de granos finos y gruesos para $Sd=0.51$. . .	64
4.	Distribución de fuerzas promedio de granos finos y gruesos para $Sd=0.68$. . .	65
5.	Distribución de fuerzas promedio de granos finos y gruesos para $Sd=0.75$. . .	65
6.	Distribución de fuerzas promedio de granos finos y gruesos para $R=1$ y $Sd=0.0$	66
7.	Distribución de fuerzas promedio de granos finos y gruesos para $R=1.5$ y $Sd=0.05$	67
8.	Distribución de fuerzas promedio de granos finos y gruesos para $R=2$ y $Sd=0.17$	67
9.	Distribución de fuerzas promedio de granos finos y gruesos para $R=4.6$ y $Sd=0.51$	68
10.	Distribución de fuerzas promedio de granos finos y gruesos para $R=5.4$ y $Sd=0.68$	68
11.	Criterio de estabilidad de Kenney and Lou (1985), para granulometrías de Skempton y Brogan (1994).	69
12.	Motor de la simulación.	70
13.	Código para crear una granulometría PSD.	71