

Índice

Índice	2
Resumen	10
Abstract	11
Agradecimientos	12
Capítulo 1: Introducción.....	13
1.1 Motivación.....	13
1.2 Descripción del problema.....	14
1.3 Solución propuesta	14
1.4 Objetivos	15
1.5 Alcances del proyecto	15
1.6 Metodologías y herramientas utilizadas	16
1.7 Resultados esperados	17
1.8 Organización de la memoria escrita.....	18
Capítulo 2 Marco teórico “Revisión bibliográfica y estado del arte”	19
2.1 Discontinuidades.....	19
2.2 Origen de las discontinuidades	20
2.3 Fallas	21
2.4 Estratificación.....	21
2.5 Discrete Fracture Network (DFN).....	22
2.6 Intensidad de fracturas.....	24
2.7 Medidas de intensidad de Fracturas	25
2.8 Tamaño de fracturas	25
2.9 Forma de fracturas.....	26

2.10 Orientación de las fracturas	26
2.11 Distribución espacial de las fracturas.....	27
2.12 Distribuciones de probabilidad y sus aplicaciones	27
2.12.1 Distribución normal.....	27
2.12.2 Distribución Lognormal	28
2.12.3 Distribución Fisher.....	28
2.13 Teoría de Bloques.....	29
2.13.1 Bloque crítico (“Key block”).....	30
2.13.2 Ecuaciones claves.....	31
2.13.3 Volumen de un bloque poliédrico de “n” caras.	34
2.14 Análisis de cuñas en Fracman	41
2.15 Cálculo de la Variable propuesta Circular Variance “C.V.”.....	43
2.16 Terzaghi’s Rock Mass Classification.....	44
2.17 Rock quality designation (RQD)	46
2.18 Rock Structure Rating (RSR)	47
2.19 Clasificación Geomecánica (RMR)	51
2.20 Clasificación Q de Barton para macizos rocosos.....	53
2.21 Clasificación RMi para macizos rocosos.....	55
Capítulo 3 Metodología, Simulación de redes de fracturas y mapeo.....	57
3.1 Simulación de la orientación en el modelo estocástico	58
3.2 Simulación del tamaño en el modelo estocástico	62
3.3 Simulación de la intensidad en el modelo.	63
3.4 Logging simulado	63
3.5 Modelo experimental final.....	66
Capítulo 4 Resultados experimentales y parámetros calculados	68

4.1 Resultados del modelo experimental	68
4.2 Resultados de mapeo o Logging y su efecto en Circular Variance “C.V.”....	72
4.3 Resultados del método propuesto.....	73
4.4 Precauciones en el cálculo de “C.V.”	80
Capítulo 5 Conclusiones y Recomendaciones.	83
5.1 Conclusiones.....	83
5.2 Recomendaciones	84
Capítulo 6 Bibliografía	87
Anexos.....	93
Anexo A.	93
Anexo B	108
Anexo C	119
Anexo D	120
Anexo E	127
Anexo F.....	128
Anexo G	129

Índice de ilustraciones

Ilustración 1 Redes de fracturas en Fracman cada color representa pertenencia a un joint set.	16
Ilustración 2 Cuñas generadas para las redes de fracturas simuladas.	16
Ilustración 3 Esquema explicativo de Trend y Plunge.	20
Ilustración 4 Representación de ideal de un DFN en una excavación ficticia con forma de herradura, Los colores indican Área de fracturas.....	22
Ilustración 5 Medidas de intensidad en una y dos dimensiones	24
Ilustración 6 Esquema de acueducto Romano.	30
Ilustración 7 Bloques críticos en el arco de una excavación.....	31

Ilustración 8 Esquema descriptivo de la ecuación de un plano.	33
Ilustración 9 Vértices reales de un polígono dado.	37
Ilustración 10 Subdivisión de un polígono en triángulos.	39
Ilustración 11 Subdivisión de poliedros en tetraedros.	40
Ilustración 12 Deslizamiento en un plano.	41
Ilustración 13 Deslizamiento en dos planos.	42
Ilustración 14 Procedimiento para el cálculo del RQD.	46
Ilustración 15 Selección de fortificación.	50
Ilustración 16 Diseño de Regiones en Fracman	57
Ilustración 17 Simulación de excavaciones.	58
Ilustración 18 Representación en red estereográfica de los sets estructurales.	59
Ilustración 19 Red estereográfica primera simulación.	60
Ilustración 20 Esquema explicativo de las realizaciones direccionales para el estudio	61
Ilustración 21 DFN en una región cuyo P32 es 1 y su tamaño en base a distribución log normal de media 4.	62
Ilustración 22 Simulación de DFNs generados en base a un set estructural variando el valor de P32.	63
Ilustración 23 Disposición de scanlines en una excavación simulada	64
Ilustración 24 Simulación DFN en una región de 10x10x8m con 5 sets estructurales.	65
Ilustración 25 Esquema explicativo, Logging de fracturas.	66
Ilustración 26 Primera simulación del modelo experimental.	67
Ilustración 27 Registro de fracturas con scanlines en X, Y & Z del modelo simulado.	67
Ilustración 28 Primeros 7 registros de fracturas con scanlines en X, Y & Z.	67
Ilustración 29 Efecto del número de sets en la fragmentación	68
Ilustración 30 Efecto de la intensidad de fracturas en la fragmentación.	69
Ilustración 31 Análisis de Cuñas.	70
Ilustración 32 Efecto del número de sets en la formación de cuñas	70
Ilustración 33 Efecto de la intensidad de fracturas en la formación de cuñas	71

Ilustración 34 Efectos de la dirección de mapeo en el número de fracturas.....	72
Ilustración 35 Gráfico Circular Variance vs Número de cuñas.....	74
Ilustración 36 Gráfico Circular Variance vs Volumen medio.	75
Ilustración 37 Gráfico Circular Variance vs Número de bloques.....	75
Ilustración 38 Gráfico Circular Variance vs Número de cuñas.....	76
Ilustración 39 Gráfico Circular Variance vs Volumen medio.	77
Ilustración 40 Gráfico Circular Variance vs Número de bloques.....	77
Ilustración 44 Circular Variance vs Cuñas, variando P32.....	81
Ilustración 45 Circular Variance vs Volumen medio, variando P32	81
Ilustración 46 Circular Variance vs Número de bloques, variando P32.	82
Ilustración 47 Red estereográfica región 1.	93
Ilustración 48 Red estereográfica región 2.	93
Ilustración 49 Red estereográfica región 3.	94
Ilustración 50 Red estereográfica región 4.	94
Ilustración 51 Red estereográfica región 5.	95
Ilustración 52 Red estereográfica región 6	95
Ilustración 53 Red estereográfica región 7.	96
Ilustración 54 Red estereográfica región 8.	96
Ilustración 55 Red estereográfica región 9.	97
Ilustración 56 Red estereográfica región 10.	97
Ilustración 57 Red estereográfica región 11.	98
Ilustración 58 Red estereográfica región 12.	98
Ilustración 59 Red estereográfica región 13.	99
Ilustración 60 Red estereográfica región 14.	99
Ilustración 61 Red estereográfica región 15.	100
Ilustración 62 Red estereográfica región 16.	100
Ilustración 63 Red estereográfica región 17.	101
Ilustración 64 Red estereográfica región 18.	101
Ilustración 65 Red estereográfica región 19.	102
Ilustración 66 Red estereográfica región 20.	102
Ilustración 67 Red estereográfica región 21.	103

Ilustración 68 Red estereográfica región 22.	103
Ilustración 69 Red estereográfica región 23.	104
Ilustración 70 Red estereográfica región 24.	104
Ilustración 71 Red estereográfica región 25.	105
Ilustración 72 Red estereográfica región 26.	105
Ilustración 73 Red estereográfica región 27.	106
Ilustración 74 Red estereográfica región 28.	106
Ilustración 75 Red estereográfica región 29.	107
Ilustración 76 Red estereográfica región 30.	107
Ilustración 77 Curva de fragmentación región 1.	108
Ilustración 78 Curva de fragmentación región 2.	108
Ilustración 79 Curva de fragmentación región 3.	109
Ilustración 80 Curva de fragmentación región 4.	109
Ilustración 81 Curva de fragmentación región 5.	109
Ilustración 82 Curva de fragmentación región 6.	110
Ilustración 83 Curva de fragmentación región 7.	110
Ilustración 84 Curva de fragmentación región 8.	110
Ilustración 85 Curva de fragmentación región 9.	111
Ilustración 86 Curva de fragmentación región 10.	111
Ilustración 87 Curva de fragmentación región 11.	111
Ilustración 88 Curva de fragmentación región 12.	112
Ilustración 89 Curva de fragmentación región 13.	112
Ilustración 90 Curva de fragmentación región 14.	112
Ilustración 91 Curva de fragmentación región 15.	113
Ilustración 92 Curva de fragmentación región 16.	113
Ilustración 93 Curva de fragmentación región 17.	113
Ilustración 94 Curva de fragmentación región 18.	114
Ilustración 95 Curva de fragmentación región 19.	114
Ilustración 96 Curva de fragmentación región 20.	114
Ilustración 97 Curva de fragmentación región 21.	115
Ilustración 98 Curva de fragmentación región 22.	115

Ilustración 99 Curva de fragmentación región 23.	115
Ilustración 100 Curva de fragmentación región 24.	116
Ilustración 101 Curva de fragmentación región 25.	116
Ilustración 102 Curva de fragmentación región 26.	116
Ilustración 103 Curva de fragmentación región 27.	117
Ilustración 104 Curva de fragmentación región 28.	117
Ilustración 105 Curva de fragmentación región 29.	117
Ilustración 106 Curva de fragmentación región 30.	118
Ilustración 107 Gráfico Circular Variance vs Número de cuñas.....	120
Ilustración 108 Gráfico Circular Variance vs Volumen medio.	121
Ilustración 109 Gráfico Circular Variance vs Número de bloques.....	121
Ilustración 110 Gráfico Circular Variance vs Número de cuñas.....	122
Ilustración 111 Gráfico Circular Variance vs Volumen medio.	122
Ilustración 112 Gráfico Circular Variance vs número de bloques	123
Ilustración 113 Gráfico Circular Variance vs número de cuñas.	124
Ilustración 114 Gráfico Circular Variance vs volumen medio.....	124
Ilustración 115 Gráfico Circular Variance vs Número de bloques.....	125
Ilustración 116 Circular Variance vs Número de cuñas.	125
Ilustración 117 Circular Variance vs Número de bloques.	126
Ilustración 118 Circular Variance vs Volumen medio.	126
Ilustración 120 Gráfico P32 simulado vs estimado.	128
Ilustración 121 Gráfico P32 simulado vs promedio P32 estimado.	128
Ilustración 122 Gráfico Circular Variance vs Volumen medio de bloques.....	129
Ilustración 123 Gráfico Circular Variance vs Número de bloques.....	129
Ilustración 124 Gráfico Circular Variance vs Número de cuñas.....	130

Índice de Tablas

Tabla 1 Parámetros geotécnicos para intensidad de fracturas (Modificada de Golder Associates Ltd, 2008)	25
---	----

Tabla 2 Parámetro "A". Extraído de (Wickham, G.E., Tiedermann, H.R., & Skinner, 1972).	49
Tabla 3 Parámetro "B" Extraído de (Wickham, G.E., Tiedermann, H.R., & Skinner, 1972).	49
Tabla 4 Parámetro "C" Extraído de (Wickham, G.E., Tiedermann, H.R., & Skinner, 1972).	50
Tabla 5 Clasificación geomecánica RMR, Extraído de (Bienawski 1989).....	52
Tabla 6 Pautas para la excavación y fortificación para túneles de 10m de avance de acuerdo con RMR, Extraído de (Bienawski 1989)	53
Tabla 7 Orientaciones de Sets estructurales, Fuente: Elaboración propia.	58
Tabla 8 Sustracción de sets y respectivo P32, Fuente: Elaboración propia	61
Tabla 9 Esquema general del modelo experimental.....	66
Tabla 10 Efecto de la dirección de mapeo, Fuente: Elaboración propia.....	73
Tabla 11 Número de cuñas vs Circular Variance, Fuente: Elaboración propia.....	74
Tabla 12 Número de cuñas, Número de bloques y Volumen medio vs Circular Variance, Fuente: Elaboración propia.....	76
Tabla 13 P32 simulado, Número de cuñas, Volumen medio, Número de bloques y Circular variance para 5 sets simulados, Fuente: Elaboración propia.	80
Tabla 14 Efecto de la Circular Variance en la estabilidad de las cuñas.	119
Tabla 15 Número de cuñas, Número de bloques y Volumen medio vs Circular Variance, Fuente: Elaboración propia.....	120
Tabla 16 Número de cuñas, Número de bloques y Volumen medio vs Circular Variance, Fuente: Elaboración propia.....	122
Tabla 17 Número de cuñas, Número de bloques y Volumen medio vs Circular Variance, Fuente: Elaboración propia.....	123
Tabla 18 Número de cuñas, Número de bloques y Volumen medio vs Circular Variance, Fuente: Elaboración propia.....	125