

# Tabla de Contenido

1	Introducción .....	1
2	Objetivos.....	2
2.1	General.....	2
2.2	Específicos .....	2
3	Alcances .....	3
4	Antecedentes Generales .....	4
4.1	Función Aleatoria e Hipótesis de Estacionaridad .....	4
4.2	Variograma y Covarianza .....	4
4.2.1	Variograma .....	4
4.2.2	Covarianza .....	6
4.3	Simulación v/s Estimación .....	6
4.4	Modelo Multi-Gaussiano .....	6
4.4.1	Algoritmo de Bandas Rotantes .....	7
4.4.2	Condicionamiento.....	8
4.5	Modelo Gaussiano Truncado.....	8
4.5.1	Análisis Variográfico .....	8
4.5.2	Pasos para Obtener los Tipos de Roca en una Región de Interés.....	9
4.6	Modelo Plurigaussiano .....	9
5	Muestreador de Gibbs .....	10
5.1	Principio de las Cadenas de Markov.....	10
5.1.1	Propiedad de Markov.....	10
5.1.2	Homogeneidad .....	10
5.1.3	Convergencia .....	11
5.2	Simulación de un Vector Gaussiano .....	11
5.2.1	Simulación no Condicional.....	12

5.2.2	Simulación Condicional .....	16
6	Caso Sintético .....	20
6.1	Función Aleatoria Sin Efecto Pepita.....	20
6.1.1	Muestreador de Gibbs Tradicional .....	21
6.1.2	Muestreador de Gibbs Dual .....	25
6.2	Función Aleatoria con Efecto Pepita.....	26
6.2.1	Muestreador de Gibbs Tradicional .....	27
6.2.2	Muestreador de Gibbs Dual .....	31
6.3	Análisis Caso Sintético: Tiempo Computacional y Convergencia.....	33
6.3.1	Tiempo Computacional.....	33
6.3.2	Convergencia; Máximos y Mínimos .....	35
6.3.3	Convergencia; Test de Kolmogorov-Smirnov (K-S test).....	40
6.3.4	Convergencia; Valores Propios .....	42
6.3.5	Conclusiones .....	42
7	Caso Real.....	44
7.1	Geología de la Zona .....	44
7.2	Minerales de Hierro .....	45
7.3	Base de Datos .....	45
7.4	Modelamiento y Simulación del Tipo de Roca .....	50
7.4.1	Regla de Truncación.....	50
7.4.2	Umbral de Truncación.....	57
7.4.3	Análisis Variográfico .....	58
7.4.4	Simulación .....	62
7.5	Resultados de la Simulación del Caso Real.....	63
7.5.1	Radio de Búsqueda (300, 300, 50) [m] Muestreador de Gibbs Tradicional .....	64
7.5.2	Radio de Búsqueda (300, 300, 50) [m] Muestreador de Gibbs Dual .....	66

7.6	Análisis de Muestreador de Gibbs Caso Real.....	67
7.6.1	Muestreador de Gibbs Tradicional.....	67
7.6.2	Muestreador de Gibbs Dual.....	75
8	Conclusiones.....	81
9	Bibliografía.....	83
10	Anexos.....	86
10.1	Resultados de la Simulación del Caso Real.....	86
10.1.1	Radio de Búsqueda (300, 300, 100) [m].....	86
10.1.2	Radio de Búsqueda (600, 600, 100) [m] Muestreador de Gibbs Tradicional .....	88
10.1.3	Radio de Búsqueda (300, 300, 50) [m] Muestreador de Gibbs Dual .....	92
10.1.4	Radio de Búsqueda (600, 600, 100) [m] Muestreador de Gibbs Dual .....	95
10.2	Análisis de muestreador de Gibbs Caso Real.....	99
10.2.1	Muestreador de Gibbs Tradicional.....	99
10.2.2	Muestreador de Gibbs Dual.....	115

# Índice de Tablas

Tabla I: Variograma Caso Sintético sin Efecto pepita .....	21
Tabla II: Condiciones de Simulación no Condicional para Muestreador de Gibbs Tradicional sin Efecto Pepita .....	21
Tabla III: Variograma Caso Sintético con Efecto Pepita .....	27
Tabla IV: Estadísticas Computacionales Caso Sintético Gibbs Tradicional.....	33
Tabla V: Estadísticas Computacionales Caso Sintético Gibbs Dual.....	34
Tabla VI: Máximos y Mínimos Muestreador de Gibbs Tradicional sin Efecto Pepita .....	35
Tabla VII: Máximos y Mínimos Muestreador de Gibbs Dual sin Efecto Pepita.....	36
Tabla VIII: Máximos y Mínimos Muestreador de Gibbs Tradicional con Efecto Pepita .....	38
Tabla IX: Máximos y Mínimos Muestreador de Gibbs Dual con Efecto Pepita .....	39
Tabla X: Test de Kolmogorov-Smirnov .....	40
Tabla XI: Valores Propios Caso Sintético Muestreador de Gibbs Tradicional .....	42
Tabla XII: Definición de las Variables de Estudio .....	45
Tabla XIII: Codificación de Tipos de Roca y Valor Variable Categórica .....	48
Tabla XIV: División Primer Vector Aleatorio Gaussiano .....	51
Tabla XV: División Segundo Vector Aleatorio Gaussiano .....	52
Tabla XVI: División Tercer Vector Aleatorio Gaussiano .....	53
Tabla XVII: División Cuarto Vector Aleatorio Gaussiano .....	54
Tabla XVIII: División Quinto Vector Aleatorio Gaussiano .....	55
Tabla XIX: División Sexto Vector Aleatorio Gaussiano.....	56
Tabla XX: Codificación de Tipo de Roca en la Variable Indicador [22].....	58
Tabla XXI: Parámetros de los Variogramas Modelados [22] .....	60
Tabla XXII: Radios de Búsqueda y Cantidad de Datos en la Elipsoide .....	62
Tabla XXIII: Máximos y Mínimos Muestreador de Gibbs Tradicional, 24 Datos, Radio de Búsqueda (300, 300, 50) [m]:.....	68

Tabla XXIV: Estadísticas Básicas Muestreador de Gibbs Tradicional, 24 Datos, Radio de Búsqueda (300, 300, 50) [m].....	70
Tabla XXV: Máximos y Mínimos Muestreador de Gibbs Tradicional, 96 Datos, Radio de Búsqueda (300, 300, 50) [m].....	72
Tabla XXVI: Estadísticas Básicas Muestreador de Gibbs Tradicional, 96 Datos, Radio de Búsqueda (300, 300, 50) [m].....	74
Tabla XXVII: Máximos y Mínimos Muestreador de Gibbs Dual, Radio de Búsqueda (300, 300, 50) [m] .....	76
Tabla XXVIII: Estadísticas Básicas Muestreador de Gibbs Dual, Radio de Búsqueda (300, 300, 50) [m] .....	78
Tabla XXIX: Resumen Estadísticas 1000 Iteraciones Muestreador de Gibbs Tradicional y Dual 1000 Iteraciones Caso Real.....	79
Tabla XXX: Máximos y Mínimos Muestreador de Gibbs Tradicional, 24 Datos, Radio de Búsqueda (600, 600, 100) [m].....	99
Tabla XXXI: Estadísticas Básicas Muestreador de Gibbs Tradicional, 24 Datos, Radio de Búsqueda (600, 600, 100) [m].....	101
Tabla XXXII: Máximos y Mínimos Muestreador de Gibbs Tradicional, 48 Datos, Radio de Búsqueda (300, 300, 50) [m].....	102
Tabla XXXIII: Máximos y Mínimos Muestreador de Gibbs Tradicional, 48 Datos, Radio de Búsqueda (600, 600, 100) [m].....	103
Tabla XXXIV: Estadísticas Básicas Muestreador de Gibbs Tradicional, 48 Datos, Radio de Búsqueda (300, 300, 50) [m].....	105
Tabla XXXV: Estadísticas Básicas Muestreador de Gibbs Tradicional, 48 Datos, Radio de Búsqueda (600, 600, 100) [m].....	106
Tabla XXXVI: Máximos y Mínimos Muestreador de Gibbs Tradicional, 96 Datos, Radio de Búsqueda (600, 600, 100) [m].....	107
Tabla XXXVII: Estadísticas Básicas Muestreador de Gibbs Tradicional, 96 Datos, Radio de Búsqueda (600, 600, 100) [m].....	109
Tabla XXXVIII: Máximos y Mínimos Muestreador de Gibbs Tradicional, 192 Datos, Radio de Búsqueda (300, 300, 50) [m].....	110
Tabla XXXIX: Máximos y Mínimos Muestreador de Gibbs Tradicional, 192 Datos, Radio de Búsqueda (600, 600, 100) [m].....	111
Tabla XL: Estadísticas Básicas Muestreador de Gibbs Tradicional, 192 Datos, Radio de Búsqueda (300, 300, 50) [m].....	113

Tabla XLI: Estadísticas Básicas Muestreador de Gibbs Tradicional, 192 Datos, Radio de Búsqueda (600, 600, 100) [m]..... 114

Tabla XLII: Máximos y Mínimos Muestreador de Gibbs Dual, Radio de Búsqueda (600, 600, 100) [m] ..... 115

Tabla XLIII: Estadísticas Básicas Muestreador de Gibbs Dual, Radio de Búsqueda (600, 600, 100) [m] ..... 117

# Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Modelos Elementales para la Construcción de Variogramas Modelados .....	5
Ilustración 2: Variograma Objetivo de Simulación Caso Sintético sin Efecto Pepita, Dirección E-O y N-S Respectivamente .....	22
Ilustración 3: Simulaciones de Tipo de Roca Caso sin Efecto Pepita a Partir del Variograma Respectivo.....	22
Ilustración 4: Resultado Muestreador de Gibbs Tradicional, 1, 10, 100 ,1000 y 10000 Iteraciones Respectivamente en la Dirección E-O .....	23
Ilustración 5: Resultado Muestreador de Gibbs Tradicional, 1, 10, 100, 1000 y 10000 Iteraciones Respectivamente en la Dirección N-S.....	24
Ilustración 6: Resultado Muestreador de Gibbs Dual, 1, 10, 100, 1000 y 10000 Iteraciones Respectivamente en la Dirección E-O .....	25
Ilustración 7: Resultado Muestreador de Gibbs Dual, 1, 10, 100, 1000 y 10000 Iteraciones Respectivamente en la Dirección N-S.....	26
Ilustración 8: Variograma Objetivo de Simulación Caso Sintético con Efecto Pepita, Dirección E-O y N-S Respectivamente .....	27
Ilustración 9: Simulaciones de Tipo de Roca Caso sin Efecto Pepita a Partir del Variograma Respectivo.....	28
Ilustración 10: Resultado Muestreador de Gibbs Tradicional, 1, 10, 100, 1000 y 10000 Iteraciones Respectivamente en la Dirección E-O .....	29
Ilustración 11: Resultado Muestreador de Gibbs Tradicional, 1, 10, 100, 1000 y 10000 Iteraciones Respectivamente en la Dirección N-S .....	30
Ilustración 12: Resultado Muestreador de Gibbs Dual, 1, 10, 100, 1000 y 10000 Iteraciones Respectivamente en la Dirección E-O .....	31
Ilustración 13: Resultado Muestreador de Gibbs Dual, 1, 10, 100, 1000 y 10000 Iteraciones Respectivamente en la Dirección N-S.....	32
Ilustración 14: Muestreador de Gibbs Tradicional vs Dual Términos Computacionales.....	34
Ilustración 15: Máximos y Mínimos Muestreador de Gibbs Tradicional sin Efecto Pepita.....	36
Ilustración 16: Máximos y Mínimos Muestreador de Gibbs Dual sin Efecto Pepita Dual .....	37
Ilustración 17: Máximos y Mínimos Muestreador de Gibbs Tradicional con Efecto Pepita .....	38
Ilustración 18: Máximos y Mínimos Muestreador de Gibbs Dual con Efecto Pepita .....	39
Ilustración 19: K-S Test Muestreador de Gibbs Sin Efecto Pepita.....	41

Ilustración 20: K-S Test Muestreador de Gibbs Con Efecto Pepita .....	41
Ilustración 21: Caso Real: Campaña de Sondajes. Tipos de Roca [22] .....	47
Ilustración 22: Esquema Regla de Truncación Caso Real [22].....	51
Ilustración 23: Bandera de Truncación Caso Real [22] .....	57
Ilustración 24: Variogramas Experimentales y Modelados Gaussianos [22].....	61
Ilustración 25: Resultado de Simulación Muestreador de Gibbs Tradicional, 24 Datos, (300, 300, 50) [m] Vista en Corte Norte-Elevación, 1, 10, 100 y 1000 iteraciones.....	64
Ilustración 26: Resultado de Simulación Muestreador de Gibbs Tradicional, 96 Datos, (300, 300, 50) [m] Vista en Corte Norte-Elevación, 1, 10, 100 y 1000 iteraciones.....	65
Ilustración 27: Resultado de Simulación Muestreador de Gibbs Dual, 96 Datos, (300, 300, 50) [m] Vista en Corte Norte-Elevación, 1, 10, 100 y 1000 iteraciones.....	66
Ilustración 28: Gráfico Máximos y Mínimos Muestreador de Gibbs Tradicional, 24 Datos, Radio de Búsqueda (300, 300, 50) [m].....	69
Ilustración 29: Gráfico Máximos y Mínimos Muestreador de Gibbs Tradicional, 96 Datos, Radio de Búsqueda (300, 300, 50) [m].....	73
Ilustración 30: Gráfico Máximos y Mínimos Muestreador de Gibbs Dual, Radio de Búsqueda (300, 300, 50) [m] .....	77
Ilustración 31: Resultado de Simulación Muestreador de Gibbs Tradicional, 48 Datos, (300, 300, 50) [m] Vista en Corte Norte-Elevación, 1, 10, 100 y 1000 iteraciones.....	86
Ilustración 32: Resultado de Simulación Muestreador de Gibbs Tradicional, 192 Datos, (300, 300, 50) [m] Vista en Corte Norte-Elevación, 1, 10, 100 y 1000 iteraciones.....	87
Ilustración 33: Resultado de Simulación Muestreador de Gibbs Tradicional, 24 Datos, (600, 600, 100) [m] Vista en Corte Norte-Elevación, 1, 10, 100 y 1000 iteraciones.....	88
Ilustración 34: Resultado de Simulación Muestreador de Gibbs Tradicional, 48 Datos, (600, 600, 100) [m] Vista en Corte Norte-Elevación, 1, 10, 100 y 1000 iteraciones.....	89
Ilustración 35: Resultado de Simulación Muestreador de Gibbs Tradicional, 96 Datos, (600, 600, 100) [m] Vista en Corte Norte-Elevación, 1, 10, 100 y 1000 iteraciones.....	90
Ilustración 36: Resultado de Simulación Muestreador de Gibbs Tradicional, 192 Datos, (600, 600, 100) [m] Vista en Corte Norte-Elevación, 1, 10, 100 y 1000 iteraciones.....	91
Ilustración 37: Resultado de Simulación Muestreador de Gibbs Dual, 24 Datos, (300, 300, 50) [m] Vista en Corte Norte-Elevación, 1, 10, 100 y 1000 iteraciones.....	92
Ilustración 38: Resultado de Simulación Muestreador de Gibbs Dual, 48 Datos, (300, 300, 50) [m] Vista en Corte Norte-Elevación, 1, 10, 100 y 1000 iteraciones.....	93



Ilustración 39: Resultado de Simulación Muestreador de Gibbs Dual, 192 Datos, (300, 300, 50) [m] Vista en Corte Norte-Elevación, 1, 10, 100 y 1000 iteraciones.....	94
Ilustración 40: Resultado de Simulación Muestreador de Gibbs Dual, 24 Datos, (600, 600, 100) [m] Vista en Corte Norte-Elevación, 1, 10, 100 y 1000 iteraciones.....	95
Ilustración 41: Resultado de Simulación Muestreador de Gibbs Dual, 48 Datos, (600, 600, 100) [m] Vista en Corte Norte-Elevación, 1, 10, 100 y 1000 iteraciones.....	96
Ilustración 42: Resultado de Simulación Muestreador de Gibbs Dual, 96 Datos, (600, 600, 100) [m] Vista en Corte Norte-Elevación, 1, 10, 100 y 1000 iteraciones.....	97
Ilustración 43: Resultado de Simulación Muestreador de Gibbs Dual, 192 Datos, (600, 600, 100) [m] Vista en Corte Norte-Elevación, 1, 10, 100 y 1000 iteraciones.....	98
Ilustración 44: Gráfico Máximos y Mínimos Muestreador de Gibbs Tradicional, 24 Datos, Radio de Búsqueda (600, 600, 100) [m].....	100
Ilustración 45: Gráfico Máximos y Mínimos Muestreador de Gibbs Tradicional, 48 Datos, Radio de Búsqueda (300, 300, 50) [m].....	104
Ilustración 46: Gráfico Máximos y Mínimos Muestreador de Gibbs Tradicional, 24 Datos, Radio de Búsqueda (600, 600, 100) [m].....	104
Ilustración 47: Gráfico Máximos y Mínimos Muestreador de Gibbs Tradicional, 96 Datos, Radio de Búsqueda (600, 600, 100) [m].....	108
Ilustración 48: Gráfico Máximos y Mínimos Muestreador de Gibbs Tradicional, 192 Datos, Radio de Búsqueda (300, 300, 50) [m].....	112
Ilustración 49: Gráfico Máximos y Mínimos Muestreador de Gibbs Tradicional, 192 Datos, Radio de Búsqueda (600, 600, 100) [m].....	112
Ilustración 50: Gráfico Máximos y Mínimos Muestreador de Gibbs Dual, Radio de Búsqueda (600, 600, 100) [m] .....	116