



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

**ANÁLISIS DEL GRADO Y PATRÓN DE FRACTURAMIENTO DE MACIZOS  
ROCOSOS. CASO DE ESTUDIO: PARED SURESTE DEL YACIMIENTO TIPO  
PÓRFIDO CUPRÍFERO CUAJONE, DEPARTAMENTO DE MOQUEGUA, PERÚ**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGO

**BASILIO ALEJANDRO SAN JUAN VERGARA**

PROFESOR GUÍA:  
SOFÍA REBOLLEDO LEMUS

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
SERGIO SEPÚLVEDA VALENZUELA  
MARISOL LARA CASTILLO

SANTIAGO DE CHILE  
2014

## **RESUMEN DE LA MEMORIA PARA**

**OPTAR AL TÍTULO DE:** Geólogo

**POR:** Basilio Alejandro San Juan Vergara

**FECHA:** 20/11/2014

**PROFESOR GUÍA:** Sofía Rebolledo Lemus

### **ANÁLISIS DEL GRADO Y PATRÓN DE FRACTURAMIENTO DE MACIZOS ROCOSOS. CASO DE ESTUDIO: PARED SURESTE DEL YACIMIENTO TIPO PÓRFIDO CUPRÍFERO CUAJONE, DEPARTAMENTO DE MOQUEGUA, PERÚ**

Cuajone es un yacimiento de tipo pórfido cuprífero en explotación a rajo abierto, ubicado en el sur del Perú, a 32 km al noroeste de Moquegua, a 3.500 m s.n.m.

La necesidad de ampliar el conocimiento respecto al grado y patrón de fracturamiento como ayuda en la evaluación de la calidad geotécnica del macizo rocoso, sumado a antecedentes históricos de grandes deslizamientos en Mina Cuajone, motivaron este estudio, realizado en un sector en específico localizado en la pared sureste del rajo.

El grado y patrón de fracturamiento fue determinado a partir de funciones de densidad de probabilidad (FDP) para los parámetros de fracturamiento: persistencia, espaciamiento y volumen del bloque ( $V_b$ ). Para esto se desarrolló una metodología idónea que permitió su obtención y análisis. El patrón está dado por el tipo y forma de la FDP, y el grado por los valores numéricos dentro de los cuales ella se mueve; esto último expresado típicamente por los valores medios.

Se identificaron 8 familias de fracturas, que reflejan la información estructural del sector de estudio. Dentro de estas familias destaca la Familia 2, la cual concentra más del 33% de los datos recolectados, de orientación NNW y subvertical. Orientación similar a la de los sistemas de fallas que ejercen control estructural a escalas distrital y regional.

Para la persistencia y espaciamiento se obtuvieron FDP para cada familia, mientras que para el  $V_b$  fue para 4 casos específicos de combinaciones de 3 familias en particular. También se analizaron  $V_b$  vía medición directa de bloques en terreno y  $V_b$  en función de sus valores medios considerando todos los casos teóricos posibles. Para todos estos parámetros, la FDP determinada, salvo pocas excepciones, sigue una distribución de tipo Log-normal. Las medias de la persistencia para las distintas familias se encuentran en un rango que va de ~2 a ~6 m, mientras que para el espaciamientos en uno que va de 0,3 a 1,2 m. Las medias de los  $V_b$  para los 4 casos específicos presentan valores que pueden representarse como cubos de lados ~37 a ~64 cm; para los  $V_b$  vía medición directa de bloques como cubos de lados ~19 cm; y para los  $V_b$  en función de sus valores medios como cubos de lados ~45 a ~80 cm.

*A mi madre y mis hermanos*

*Levántate!*

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco infinitamente al perfecto y venerado ser que es mi madre. No me bastará esta vida para retribuirle por todo su sudor, lágrimas y sangre.

A mis amados hermanos.

A Esteban Hormazábal y Gabriel Zúñiga por la oportunidad dada y confianza depositada en mi persona, como también al resto del equipo de Geomecánica de SRK por su constante apoyo.

A Raúl Veramendi, Jorge Barrios, Gina Pachao y resto de muchachos de Geotecnia de Mina Cuajone. Su disposición y buena voluntad fueron invaluableles.

A Sofía Rebolledo por toda su ayuda en la realización de mi memoria y constantes buenas vibras. También a Marisol y Sergio quienes me encaminaron a darle un rumbo final.

A todos en Ingeniería y Geología de la Universidad de Chile: a todos los profesores, a María Rosa, Blanca, el Quilo, mis estimados compañeros y demás.

Al equipo de Bienestar Estudiantil, especialmente a Carmen Silva y Paola Rozas.

Al profesor Roberto Cominetti, quien en un momento en que estuve en gran dificultad, no miró hacia el lado.

A Mitjans F.C.!

Y en definitiva a todos quienes, a pesar de todo, me mostraron su buena voluntad y desearon bien.

A todos y todas les deseo bonanza y una hermosa vida.

# TABLA DE CONTENIDO

	Página
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 GENERALIDADES .....	1
1.2 OBJETIVOS .....	2
1.2.1 Objetivo General.....	2
1.2.2 Objetivos Específicos .....	2
1.3 UBICACIÓN Y ACCESOS .....	3
1.4 CLIMA, FISIOGRAFÍA E HIDROGRAFÍA .....	4
1.5 METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	5
CAPÍTULO 2. MARCO GEOLÓGICO .....	7
2.1 GEOLOGÍA DISTRITAL.....	7
2.1.1 Rocas Estratificadas .....	9
2.1.2 Rocas intrusivas .....	15
2.1.3 Estructuras .....	16
2.2 GEOLOGÍA LOCAL.....	17
2.2.1 Basamento premineral.....	19
2.2.2 Intrusivos etapa mineralizadora y estructuras asociadas .....	21
2.2.3 Rocas postminerales .....	23
2.2.4 Estructuras .....	25
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA GENERAL .....	27
3.1 MÉTODO DE MAPEO .....	27
3.1.1 Mapeo por línea de detalle .....	27
3.1.2 Equipos .....	31
3.2 REGISTRO FOTOGRÁFICO.....	33
3.3 DESCRIPCIÓN DEL MACIZO ROCOSO .....	33
3.4 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS Y GEOMECÁNICAS DE LAS DISCONTINUIDADES.....	36
3.4.1 Definiciones.....	36
3.4.2 Características generales de las discontinuidades. ....	43
3.5 CORRECCIÓN POR DECLINACIÓN MAGNÉTICA .....	44
3.6 ANÁLISIS ESTRUCTURAL .....	44
3.6.1 Correcciones geométricas .....	45
3.6.2 Determinación de familias de fracturas.....	46
3.7 FDP: CONCEPTO TEÓRICO Y METODOLOGÍA PARA SU OBTENCIÓN .....	47
3.7.1 Conceptos básicos de probabilidad y estadística.....	47
3.7.2 Herramienta para la obtención de FDP: Nociones de uso y aplicación del programa Crystal Ball .....	49

CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE PARÁMETROS DE FRACTURAMIENTO .....	53
4.1 INTRODUCCIÓN: CONSIDERACIONES GENERALES.....	53
4.2 PERSISTENCIA .....	53
4.2.1 Persistencia en función de componentes verticales y horizontales .....	53
4.2.2 Análisis de sensibilidad gráfico/numérico.....	57
4.3 ESPACIAMIENTO .....	61
4.3.1 Correcciones de muestreo: discontinuidad en la información .....	61
4.3.2 Correcciones geométricas .....	63
4.4 VOLUMEN DEL BLOQUE .....	68
4.4.1 Obtención de la constante $\omega$ .....	70
4.4.2 Metodología para la obtención de $V_b$ en función de sus valores medios .....	74
CAPÍTULO 5. RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	76
5.1 FAMILIAS DE FRACTURAS PRESENTES .....	76
5.2 PERSISTENCIA .....	82
5.2.1 Ajuste y clasificación de FDP para la persistencia .....	82
5.3 ESPACIAMIENTO .....	86
5.3.1 Ajuste y clasificación de FDP para el espaciamiento .....	86
5.4 VOLUMEN DEL BLOQUE .....	89
5.4.1 $V_b$ para las combinaciones de familias: 1-2-8, 1-2-5, 2-4-8 y 1-3-8 .....	89
5.4.2 $V_b$ vía medición directa de bloques en terreno .....	96
5.4.3 $V_b$ en función de sus valores medios .....	99
CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....	106
6.1 DISCUSIÓN.....	106
6.2 CONCLUSIONES.....	107
BIBLIOGRAFÍA.....	112
ANEXO 1. Glosario.....	120
ANEXO 2. Geological Strength Index (GSI) .....	124
ANEXO 3. Cartillas de mapeo.....	125
ANEXO 4. Bases de datos.....	126
ANEXO 5. Manteo aparente .....	145
ANEXO 6. Estereogramas por intervalos de mapeo .....	146
ANEXO 7. Distribuciones de probabilidad continua .....	153
ANEXO 8. Representaciones gráficas de las distribuciones de los parámetros de fracturamiento y FDP asociadas.....	158

## ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 3. 1: Ubicación, extensión y orientación de las líneas de detalle horizontales. ....	27
Tabla 3. 2: Ubicación, extensión y orientación de las líneas de detalle verticales.....	28
Tabla 3. 3: Descripción cualitativa del macizo rocoso y orientaciones de las caras de los bancos, por intervalo. ....	34
Tabla 3. 4: Representación gráfica de las orientaciones de las familias de discontinuidades estructurales observadas en terreno. ....	35
Tabla 3. 5: Estimación aproximada del UCS en terreno (ISRM, 1978). ....	37
Tabla 3. 6: Estimación de la meteorización del macizo rocoso (ISRM, 1978). ....	38
Tabla 3. 7: Estimación de la meteorización de las paredes de las discontinuidades (ASCE, 1972; en Bieniawski, 1990). ....	39
Tabla 3. 8: Categorización para la abertura (Bieniawski, 1989). ....	39
Tabla 3. 9: Perfil, escalado para rugosidad a escala media (ISRM, 1978).....	42
Tabla 3. 10: Rugosidad a escala pequeña (Palmström, 1995).....	43
Tabla 3. 11: Ejemplo para variable aleatoria. Lanzamiento de monedas. ....	47
Tabla 3. 12: Distribuciones típicas y sus parámetros, utilizadas por Crystal Ball (Oracle, 2010). ....	50
Tabla 4. 1: Subintervalos que fuerzan interrupción en la línea de detalle. ....	63
Tabla A3. 1: Cartilla de mapeo enfocada a la información relativa a las discontinuidades. ....	125
Tabla A3. 2: Cartilla de mapeo enfocada a la información relativa a la condición general del macizo rocoso. ....	125
Tabla A4. 1: Discontinuidades mapeadas: ID asignada, intervalo de pertenencia, metraje en línea de detalle, tipo de fractura (F: falla, j: diaclasa), orientación, abertura y persistencia. Datos ID 238 y 685 nulos. ....	126

Tabla A4. 2: Persistencias subdivididas por familia y banco de pertenencia. Valores en metros. ....	134
Tabla A4. 3: Espaciamentos subdivididos por familia y banco de pertenencia. Valores en metros. ....	135
Tabla A4. 4: Vb para la combinación de familias 1-2-8, en función del espaciamento de la Familia 1. Se incluye: espaciamento de la Familia 1, media de la FDP asociada al espaciamento de las Familias 2 y 8 y la constante geométrica $\omega$ de las familias 1-2-8. Por banco.....	136
Tabla A4. 5: Vb para la combinación de familias 1-2-8, en función del espaciamento de la Familia 2. Se incluye: espaciamento de la Familia 2, media de la FDP asociada al espaciamento de las Familias 1 y 8 y la constante geométrica $\omega$ de las familias 1-2-8. Por banco.....	136
Tabla A4. 6: Vb para la combinación de familias 1-2-8, en función del espaciamento de la Familia 8. Se incluye: espaciamento de la Familia 8, media de la FDP asociada al espaciamento de las Familias 1 y 2 y la constante geométrica $\omega$ de las familias 1-2-8. Por banco.....	138
Tabla A4. 7: Vb para la combinación de familias 1-2-5, en función del espaciamento de la Familia 1. Se incluye: espaciamento de la Familia 1, media de la FDP asociada al espaciamento de las Familias 2 y 5 y la constante geométrica $\omega$ de las familias 1-2-5. Por banco.....	138
Tabla A4. 8: Vb para la combinación de familias 1-2-5, en función del espaciamento de la Familia 2. Se incluye: espaciamento de la Familia 2, media de la FDP asociada al espaciamento de las Familias 1 y 5 y la constante geométrica $\omega$ de las familias 1-2-5. Por banco.....	139
Tabla A4. 9: Vb para la combinación de familias 1-2-5, en función del espaciamento de la Familia 5. Se incluye: espaciamento de la Familia 5, media de la FDP asociada al espaciamento de las Familias 1 y 2 y la constante geométrica $\omega$ de las familias 1-2-5. Por banco.....	140
Tabla A4. 10: Vb para la combinación de familias 2-4-8, en función del espaciamento de la Familia 2. Se incluye: espaciamento de la Familia 2, media de la FDP asociada al espaciamento de las Familias 4 y 8 y la constante geométrica $\omega$ de las familias 2-4-8. Por banco.....	140
Tabla A4. 11: Vb para la combinación de familias 2-4-8, en función del espaciamento de la Familia 4. Se incluye: espaciamento de la Familia 4, media de la FDP asociada al espaciamento de las Familias 2 y 8 y la constante geométrica $\omega$ de las familias 2-4-8. Por banco.....	141
Tabla A4. 12: Vb para la combinación de familias 2-4-8, en función del espaciamento de la Familia 8. Se incluye: espaciamento de la Familia 8, media de la FDP asociada al espaciamento de las Familias 2 y 4 y la constante geométrica $\omega$ de las familias 2-4-8. Por banco.....	142



Tabla A4. 13: $V_b$ para la combinación de familias 1-3-8, en función del espaciamiento de la Familia 1. Se incluye: espaciamiento de la Familia 1, media de la FDP asociada al espaciamiento de las Familias 3 y 8 y la constante geométrica $\omega$ de las familias 1-3-8. Por banco.....	142
Tabla A4. 14: $V_b$ para la combinación de familias 1-3-8, en función del espaciamiento de la Familia 3. Se incluye: espaciamiento de la Familia 3, media de la FDP asociada al espaciamiento de las Familias 1 y 8 y la constante geométrica $\omega$ de las familias 1-3-8. Por banco.....	143
Tabla A4. 15: $V_b$ para la combinación de familias 1-3-8, en función del espaciamiento de la Familia 8. Se incluye: espaciamiento de la Familia 8, media de la FDP asociada al espaciamiento de las Familias 1 y 3 y la constante geométrica $\omega$ de las familias 1-3-8. Por banco.....	143
Tabla A4. 16: $V_b$ obtenido vía medición de bloques en terreno, para los casos en que $\omega = 0$ , $\omega = 1,1$ y $\omega = 1,8$ .....	144

# ÍNDICE DE FIGURAS

Página

Figura 1. 1: Ubicación y accesos a Mina Cuajone. Modificadas de Wikimedia Commons y Bing Maps [en línea, marzo de 2014].	3
Figura 1. 2: A la izquierda: Rajo del yacimiento Cuajone en vista aérea, señalando el sector de estudio (elipse en rojo). A la derecha: Sector de estudio del presente trabajo, delimitado por las coordenadas locales 540.570-540.700 Este y 84.820-84.950 Norte (cuadrángulo en verde), en las cercanías a los deslizamientos 30 (D30) y 42 (D42). Modificadas de Bing Maps [en línea, marzo de 2014].	4
Figura 2. 1: Ubicación Sector III Moquegua-Tacna. Simbología y leyenda de Geología distrital del yacimiento Cuajone (Figura 2. 2).	7
Figura 2. 2: Geología distrital del yacimiento Cuajone. Se incluyen las denominaciones para las trazas de fallas: Incapuquio (F.I.), Micalaco (F.M), Quellaveco (F.Q.), Viña Blanca (F.V.B.) y Botiflaca (F.B.); según antecedentes aportados por Concha y Valle (1999), y Acosta et al. (2010). Leyenda en Figura 2. 1. Modificado de Mapa Geológico del Sector III Moquegua-Tacna (INGEMMET, 2008).	8
Figura 2. 3: A la izquierda: Columna geológica indicando los 23 tipos de rocas en el yacimiento Cuajone (Concha y Valle, 1999). A la derecha: Columna estratigráfica del yacimiento Cuajone con la geocronometría (en Ma) y unidad litoestratigráfica correspondiente a los distintos tipo de roca. Extracto de: Presentación interna “El Arco”, SPCC (actualizada a Octubre-2012).	18
Figura 2. 4: Geología local al año 2003, con sistema de coordenadas locales. El rectángulo en rojo indica la zona de estudio del presente trabajo (actualmente sobre Riolita Porfírica (RP), según progresión del rajo). Modificada de: Presentación interna “El Arco”, SPCC (actualizada a Octubre-2012).	18
Figura 2. 5: Geología simplificada del yacimiento Cuajone. En sistema de coordenadas peruano PSAD56, zona 19S (Simmons, 2013).	21
Figura 2. 6: Estructuras locales del yacimiento Cuajone y dominios estructurales 5 y 10. En sistema de coordenadas locales. Topografía pata-cresta para el rajo. El rectángulo en rojo indica la zona de estudio del presente trabajo, delimitado por las coordenadas locales 540.570-540.700 Este y 84.820-84.950 Norte. Modificado de memorando interno SRK, 2014: M_01-1086-04_SRK_SPCC_20141006_RevA.	26

Figura 3. 1: Línea de detalle en la cara del banco 3, entre los metrajes 36-40. Los marcadores verticales están espaciados cada 2 m. La altura del banco es de 15 m (imagen con distorsión angular debido a la cercanía con la cara del banco). .....	28
Figura 3. 2: Saltos en la línea de detalle. Banco 2, entre los metrajes 8-14.....	30
Figura 3. 3: Línea de detalle discreta —con salto— (arriba), considerada como continua (abajo). Marcadores verticales cada 2 metros.....	31
Figura 3. 4: Brújula estructural Brunton, modelo 5010. ....	32
Figura 3. 5: Huincha de acero inoxidable 30 m, BMI Ergoline.....	32
Figura 3. 6: a) (Izquierda) Vista general de la pared del banco 3, en el metraje 32. b) (Derecha) Detalle sobre la línea en el mismo metraje.....	33
Figura 3. 7: Persistencias de fracturas reflejadas en la cara del banco, donde d3 se ha descompuesto en sus componentes horizontal y vertical. ....	41
Figura 3. 8: a) (Izquierda) Sesgo en registro de orientaciones a través de un eje. b) (Derecha) Relaciones geométricas entre el espaciamiento de las orientaciones y su medida en un eje. Modificadas de Rocscience Inc. [en línea, julio de 2014].....	45
Figura 4. 1: Plano P cortando un plano inclinado (rectángulo abcd) en $\alpha$ -grados respecto a la vertical. Figura creada utilizando el programa Autodesk AutoCAD. ....	54
Figura 4. 2: Análisis gráfico/numérico de $LH(\theta, \mu, \beta)$ , para la fractura 217. ....	58
Figura 4. 3: Análisis gráfico/numérico de $LH(\theta, \mu - 5^\circ, \beta)$ (Izq.) y $LH(\theta, \mu + 5^\circ, \beta)$ (Der.), para la fractura 217. ....	58
Figura 4. 4: Análisis gráfico/numérico de $LD(\theta, \mu, \beta)$ , para la fractura 247. ....	59
Figura 4. 5: Análisis gráfico/numérico de $LD(\theta, \mu - 5^\circ, \beta)$ (Izq.) y $LD(\theta, \mu + 5^\circ, \beta)$ (Der.), para la fractura 247. ....	59
Figura 4. 6: Análisis gráfico/numérico de $LH(\theta, \mu, \beta)$ , para la fractura 835. ....	60
Figura 4. 7: Análisis gráfico/numérico de $LD(\theta, \mu, \beta)$ , para la fractura 835. ....	60
Figura 4. 8: Subintervalo cubierto, con interrupción en la línea de detalle. Banco 2, entre los metrajes 25-31.....	62
Figura 4. 9: Vista en planta. Relación angular del espaciamiento en la línea de detalle (Esp_ld) con el espaciamiento proyectado en la horizontal (Esp_h). Las rectas simulan ser líneas de rumbo de planos, mientras que las flechas indican la dirección de mapeo de ellos (en negro: cara de un banco, en naranja: dos discontinuidades paralelas entre sí). ....	64

Figura 4. 10: Vista de perfil en el plano de las discontinuidades. Relación angular del espaciado proyectado en la horizontal (Esp_h) con el espaciado real de las discontinuidades (Esp_r).....	65
Figura 4. 11: Dos discontinuidades paralelas entre sí, representadas por planos (rectángulos color verde) conectados por una línea de largo S. ....	66
Figura 4. 12: a) (Izquierda) Triángulo ABC. b) (Centro) Triángulo BEF. c) (Derecha) Triángulo CEF. ....	67
Figura 4. 13: Poliedro hexaedral con caras opuestas paralelas.....	70
Figura 4. 14: Dos líneas en el espacio unidas por un origen en común (punto C). ....	71
Figura 4. 15: a) (Izquierda) Vista en planta de la Figura 4. 14, donde se aprecia el ángulo $\phi$ contenido en el triángulo ABD. b) (Derecha) Triángulo BCD contenido en el plano definido por las rectas BC y CD.....	72
Figura 4. 16: Intersección de los planos representativos de las Familias 2 y 8 del banco 1, indicado por el punto G. La orientación de la línea que nace de esta intersección es 335/13 (azimut/manteo). ....	74
Figura A1. 1: Idealización de una fractura en un macizo rocoso, ilustrando dos superficies planares unidas al frente de fractura (Pollard y Aydin, 1988). El Modo IV se representaría por flechas opuestas a la dirección de las del Modo I.....	121
Figura A2. 1: Cuantificación de GSI por condición de las diaclasas y RQD (Hoek et al., 2013). ....	124
Figura A5. 1: Plano P inclinado $\mu$ -grados respecto a la horizontal. Rectas AB y AD contenidas en el plano, donde la primera es la de máxima pendiente. En la figura $\mu=34^\circ$ , $\mu'=29^\circ$ , $\phi=34^\circ$ . ....	145
Figura A6. 1: Representación estereográfica de las fracturas presentes en el banco 1, intervalo 1.....	146
Figura A6. 2: Representación estereográfica de las fracturas presentes en el banco 1, intervalo 2.....	147
Figura A6. 3: Representación estereográfica de las fracturas presentes en el banco 1, intervalo 3.....	147

Figura A6. 4: Representación estereográfica de las fracturas presentes en el banco 2, intervalo 1.....	148
Figura A6. 5 Representación estereográfica de las fracturas presentes en el banco 2, intervalo 2.....	148
Figura A6. 6: Representación estereográfica de las fracturas presentes en el banco 2, intervalo 3.....	149
Figura A6. 7: Representación estereográfica de las fracturas presentes en el banco 2, intervalo 4.....	149
Figura A6. 8: Representación estereográfica de las fracturas presentes en el banco 3, intervalo 1.....	150
Figura A6. 9: Representación estereográfica de las fracturas presentes en el banco 3, intervalo 2.....	150
Figura A6. 10: Representación estereográfica de las fracturas presentes en el banco 3, intervalo 3.....	151
Figura A6. 11: Representación estereográfica de las fracturas presentes en el banco 3, intervalo 4.....	151
Figura A6. 12: Representación estereográfica de las fracturas presentes en el banco 3, intervalo 5.....	152
Figura A7. 1: Curvas de FDP exponencial. ....	153
Figura A7. 2: Curvas de FDP gamma. ....	154
Figura A7. 3: Curvas de FDP Weibull.....	155
Figura A7. 4: Curvas de FDP log-normal. ....	156
Figura A7. 5: Curvas de FDP beta estándar. ....	157

# CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 GENERALIDADES

Cuajone es un yacimiento de tipo pórfido cuprífero en explotación a rajo abierto, ubicado en el sur del Perú, a 32 km al noroeste de Moquegua, en el departamento del mismo nombre, a una altitud aproximada de 3.500 m s.n.m. El yacimiento posee mineralización diseminada, asociada principalmente a la intrusión de Latita Porfírica —denominación local— de edad ca. 52 Ma, cuyo emplazamiento se encuentra controlado por el Sistema de Fallas Incapuquio, de carácter regional y rumbo NW (Manrique y Plazolles, 1975; Clark et al., 1990; Concha y Valle, 1999; Clark, 2003).

La orientación de las fallas distritales reflejan una tendencia NW, destacando entre ellas las fallas Botiflaca por el suroeste y Viña Blanca por el noreste del yacimiento. Éstas forman un corredor donde se ha emplazado y tiene una forma elongada en la misma dirección. El predominio de las discontinuidades dentro del rajo también mantiene una tendencia NW (Concha y Valle, 1999); no obstante, hay otras discontinuidades que no están representadas por esas orientaciones y que igualmente reflejan ser de notoria importancia en cuanto al control estructural que ejercen. Es así que se tiene el caso de un deslizamiento ocurrido en febrero de 1999 en el sector noreste del rajo, que involucró aproximadamente 12 millones de toneladas de material, el cual fue provocado por una falla subparalela al talud de rumbo NNE (Itasca S.A., 2008).

El caso anterior es ejemplificador que un acabado conocimiento del grado y patrón de fracturamiento del macizo rocoso es de indudable importancia y una necesidad de primer orden en la minería. Particularmente en la de superficie, donde es de utilidad en la evaluación de la calidad geotécnica del macizo, los parámetros de diseño, los índices de tronabilidad y los parámetros operacionales, tales como: ángulo y altura de banco, ángulo y altura interrampa, diseño de tronadura, selección de equipos, indicadores de producción, entre otros. Además, debido a la estrecha relación entre el fracturamiento y los sistemas de clasificación geomecánica de macizos rocosos, los parámetros de fracturamiento son parte integral de las herramientas para la caracterización y clasificación geotécnica del macizo, y para el diseño minero optimizado.

Este trabajo es financiado por SRK Consulting (Chile) y se enmarca en el desarrollo del “Proyecto Estudio Geotécnico Cuajone Plan 15 años de Mina Cuajone” que esta consultora se encuentra realizando para Southern Peru Copper Corporation (SPCC). El trabajo consiste en determinar el grado y patrón de fracturamiento en la mina Cuajone —específicamente en la pared sureste del rajo— de manera que pueda utilizarse en los estudios que actualmente realiza SRK Consulting (Chile), como para otros futuros.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo General**

Determinar el grado y patrón de fracturamiento del macizo rocoso, en la pared sureste del yacimiento Cuajone, específicamente en el sector delimitado por las coordenadas locales 540.570-540.700 Este y 84.820-84.950 Norte.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

Para lograr lo anterior, se establecen los siguientes objetivos específicos:

- Caracterizar geológicamente el macizo rocoso del sector de estudio y las discontinuidades que le afectan.
- Caracterizar los parámetros de fracturamiento: persistencia, espaciamiento y volumen del bloque.
- Desarrollar una metodología para la obtención y análisis de los parámetros del punto anterior.
- Determinar funciones de densidad de probabilidad (FDP) a las que están subordinados los parámetros señalados.

### 1.3 UBICACIÓN Y ACCESOS

El yacimiento tipo pórfido cuprífero Cuajone se encuentra ubicado en el sur del Perú, en el Departamento de Moquegua, Provincia de Mariscal Nieto, Distrito Torata, a 32 km al NE de la ciudad de Moquegua, a los 17°02' latitud Sur y 70°42' longitud Oeste, y a una altitud aproximada de 3.500 m s.n.m.

El acceso al yacimiento se realiza desde Moquegua por la Carretera Interoceánica Sur en dirección a Torata, hasta el cruce con la Carretera Cuajone, donde se debe proseguir el viaje por esa carretera hasta llegar al yacimiento.

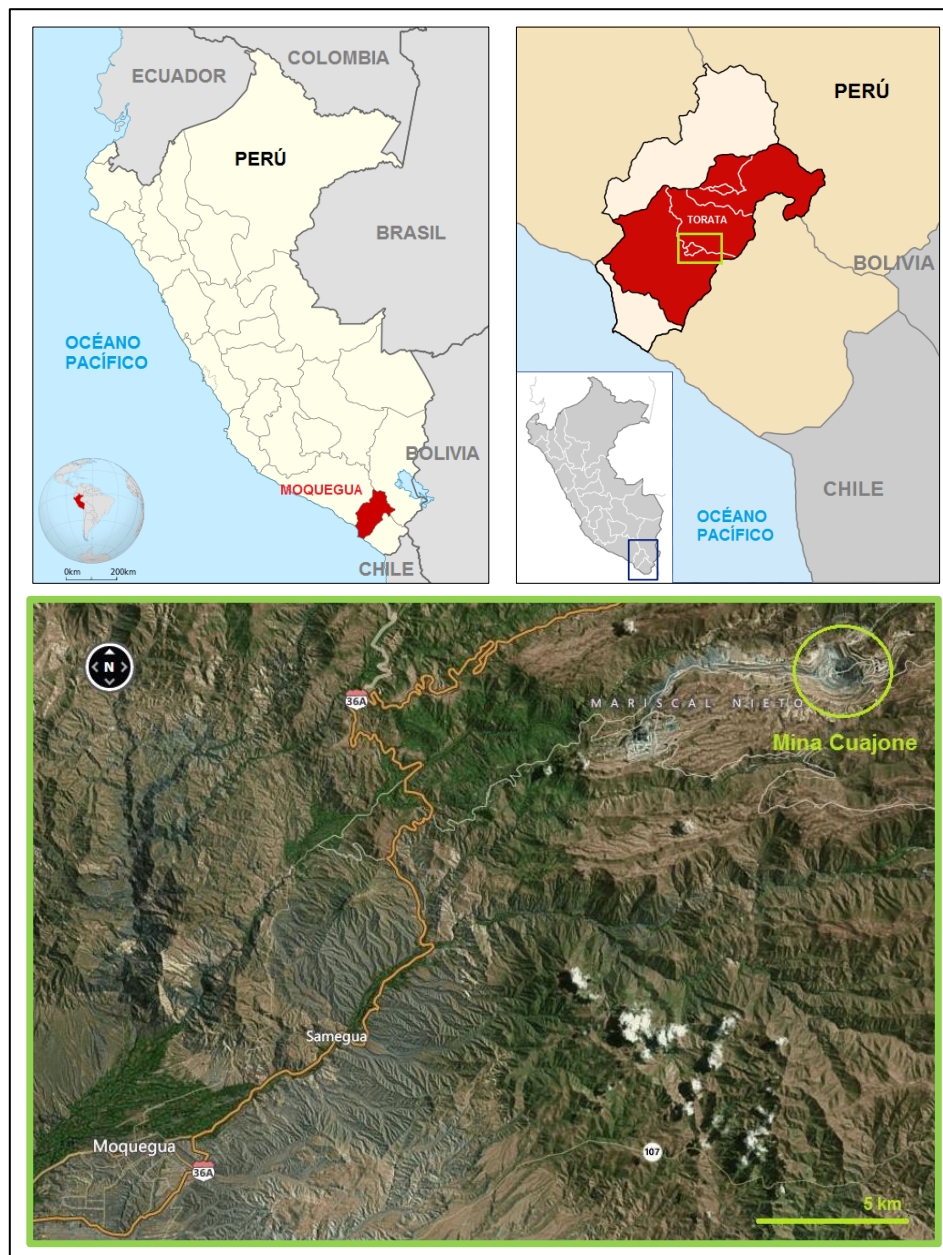


Figura 1. 1: Ubicación y accesos a Mina Cuajone. Modificadas de Wikimedia Commons y Bing Maps [en línea, marzo de 2014].



El estudio se realiza en el sector delimitado por las coordenadas locales 540.570-540.700 Este y 84.820-84.950 Norte. En las proximidades inmediatas a los deslizamientos 30 y 42, existentes a la fecha.



Figura 1. 2: A la izquierda: Rajo del yacimiento Cuajone en vista aérea, señalando el sector de estudio (elipse en rojo). A la derecha: Sector de estudio del presente trabajo, delimitado por las coordenadas locales 540.570-540.700 Este y 84.820-84.950 Norte (cuadrángulo en verde), en las cercanías a los deslizamientos 30 (D30) y 42 (D42). Modificadas de Bing Maps [en línea, marzo de 2014].

#### 1.4 CLIMA, FISIOGRAFÍA E HIDROGRAFÍA

El clima de la zona corresponde al tipo semiárido frío, caracterizado por una temperatura media anual constante de  $10^{\circ}$  C, alcanzándose valores extremos en el mes de julio con temperaturas que van desde los  $-7^{\circ}$  C por la noche y  $29^{\circ}$  C durante el día. La precipitación media anual —basado en registros de datos que comprenden el período 1956-2010 según la estación meteorológica de Mina Cuajone— es de 128,6 mm, donde años lluviosos pueden doblar este valor, mientras que secos pueden ser la cuarta o quinta parte de él. Respecto a las velocidades del viento, se tienen medias mensuales que varían de 1,6 a 2,4 m/s, con vientos predominantes provenientes del oeste. La humedad relativa posee un carácter estacional, muy relacionado a la precipitación, siendo la humedad mayor durante los meses de verano y menor en los meses de invierno, encontrándose valores extremos que van de 0% a 100%. La evaporación es varias veces mayor que la precipitación durante la mayor parte del año, siendo el comportamiento de este parámetro inverso al de la precipitación, por lo cual,

la evaporación es máxima en los meses invernales secos, más soleados y de menor humedad relativa (Walsh Perú S.A., 2008).

El yacimiento se encuentra en la Cordillera Occidental de los Andes en el Flanco Andino, el cual es una entidad topográfica que se presenta como una faja longitudinal que se extiende al norte y noroeste de las pampas costaneras, que se desarrolla entre los 2.000 y 4.000 m s.n.m. En la zona del yacimiento, las formas de relieve predominantes que se presentan son planicies, colinas y montañas, representadas por: fondos de valles aluviales, altiplanicies onduladas, colinas disectadas, montañas moderadamente empinadas y montañas empinadas. De modo general, el modelado de la zona se caracteriza por presentar valles encajonados paralelos flanqueados por laderas muy empinadas que terminan en cimas más o menos llanas que constituyen restos de altiplanicies (Walsh Perú S.A., 2008; Bellido, 1979).

Esta zona se encuentra dentro de la subcuenca Ilo-Moquegua (en la cuenca del río Moquegua), la cual limita al norte con la cuenca del río Tambo, subcuenca del río Vizcachas; al este y al sur con la cuenca del río Locumba, al oeste con el Océano Pacífico y la intercuenca entre Moquegua y Tambo, conformado por una serie de quebradas de corto y mediano recorrido que drenan sus aguas temporales al océano. El yacimiento está cruzado principalmente por el río Torata —uno de sus principales afluentes— y la quebrada Cocotea, que discurren de Este a Oeste. El río Torata, si bien es un río pequeño, tiene un escurrimiento permanente; la quebrada Cocotea en cambio, es una quebrada seca, que sólo tiene un escurrimiento mínimo en sus cabeceras. A la altura de la mina Cuajone el cauce se seca debido a filtraciones y falta de aportes laterales, al descender a zonas climáticamente más secas. La red hidrográfica ha sido modificada por la derivación Suches-Cuajone que traslada recursos hídricos desde la laguna Suches hasta las operaciones minero-metalúrgicas de la mina Cuajone, mientras que el río Torata ha sido represado 4 km aguas arriba de la mina para luego ser derivado por un túnel y tuberías de 8 km de extensión, luego de lo cual el caudal es devuelto al curso normal del río Torata (Walsh Perú S.A., 2008).

## **1.5 METODOLOGÍA DE TRABAJO**

La metodología de trabajo se dividió en 3 etapas:

- Previa visita a Mina Cuajone: trabajo de gabinete que consistió en la recopilación de bibliografía técnica, compilación de antecedentes del yacimiento Cuajone, delimitación del sector de estudio, determinación del método de captura de datos y planificación para la captura de éstos.

- En Mina Cuajone: principalmente trabajo en terreno durante 4 semanas, subdividido en 3 procesos:
  - Planificación: inspección de sector a mapear, definición de bancos objetivos, coordinación con equipo de la mina del plan de trabajo en terreno.
  - Mapeo de bancos: definición de intervalos en base a propiedades y características geológicas/geomecánicas comunes, tales como litología, meteorización, resistencia de la roca intacta y familias de fracturas; tomando nota de cada una de ellas. Captura de la información relativa a las fracturas mediante mapeo por línea de detalle: tipo de fractura, orientación, persistencia, abertura, relleno mineral, rugosidad, meteorización y resistencia de las paredes.
  - Documentación fotográfica, a ser utilizada como material de apoyo al trabajo posterior de gabinete.
  
- Posterior visita a Mina Cuajone: esta etapa incluyó, no necesariamente en orden:
  - Almacenamiento de la información recopilada a bases de datos para su posterior procesamiento.
  - Correcciones por declinación magnética.
  - Identificación de familias de fracturas.
  - Cálculo de parámetros de obtención indirecta, tales como espaciamiento y volumen del bloque.
  - Correcciones geométricas producto de problemas por orientación de discontinuidades.
  - Determinación de funciones de densidad de probabilidad asociadas a parámetros de fracturamiento.
  - Análisis e interpretación de resultados.

El detalle de la metodología general se indica en el CAPÍTULO 3, mientras que la metodología para la caracterización de los parámetros de fracturamiento en el CAPÍTULO 4 del presente documento.

## CAPÍTULO 2. MARCO GEOLÓGICO

### 2.1 GEOLOGÍA DISTRITAL

La geología del área de Moquegua, dentro de la cual se localiza el yacimiento Cuajone, se encuentra conformada principalmente por flujos volcánicos riolíticos y andesíticos, intrusivos dioríticos y monzodioríticos, depósitos clásticos continentales e ignimbritas que en su conjunto abarcan desde el Cretácico superior al Mioceno inferior. Donde además se presentan grandes fallas de carácter regional, que reflejan de buena manera la tendencia estructural del sur de Perú, de orientación predominante NW-SE (Figura 2. 2).

La geología distrital presentada a continuación, se sustenta principalmente en los trabajos de Bellido (1979) y Martínez & Zuloaga (2000) que describen la geología del Cuadrángulo de Moquegua. Como también en los trabajos de Clark et al. (1990), Alejandro et al. (2006) y Díaz et al. (2011).

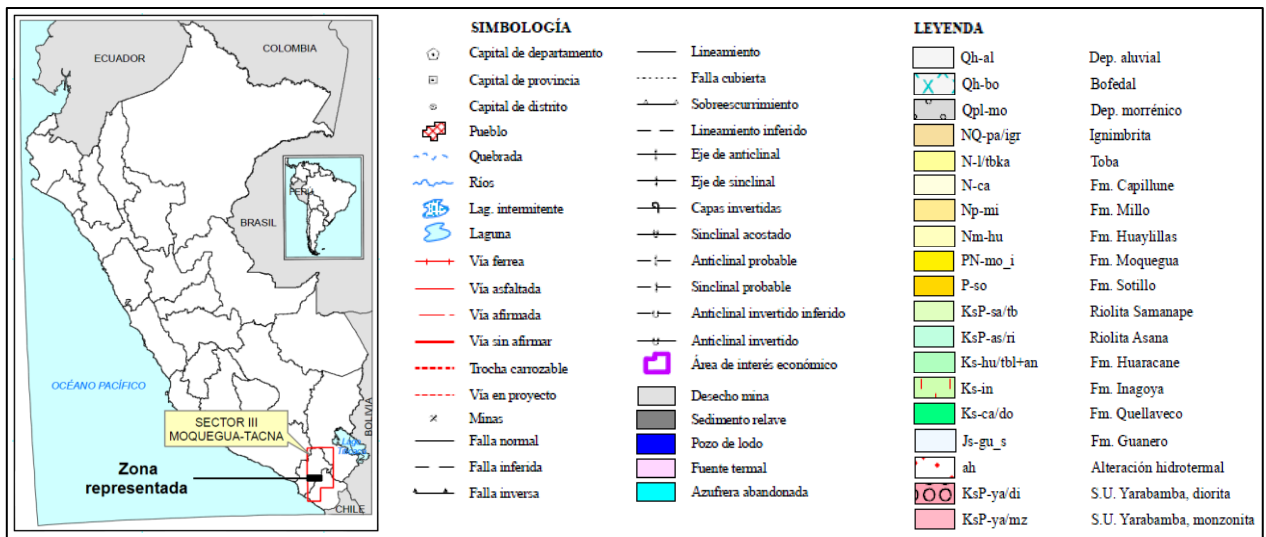


Figura 2. 1: Ubicación Sector III Moquegua-Tacna. Simbología y leyenda de Geología distrital del yacimiento Cuajone (Figura 2. 2).

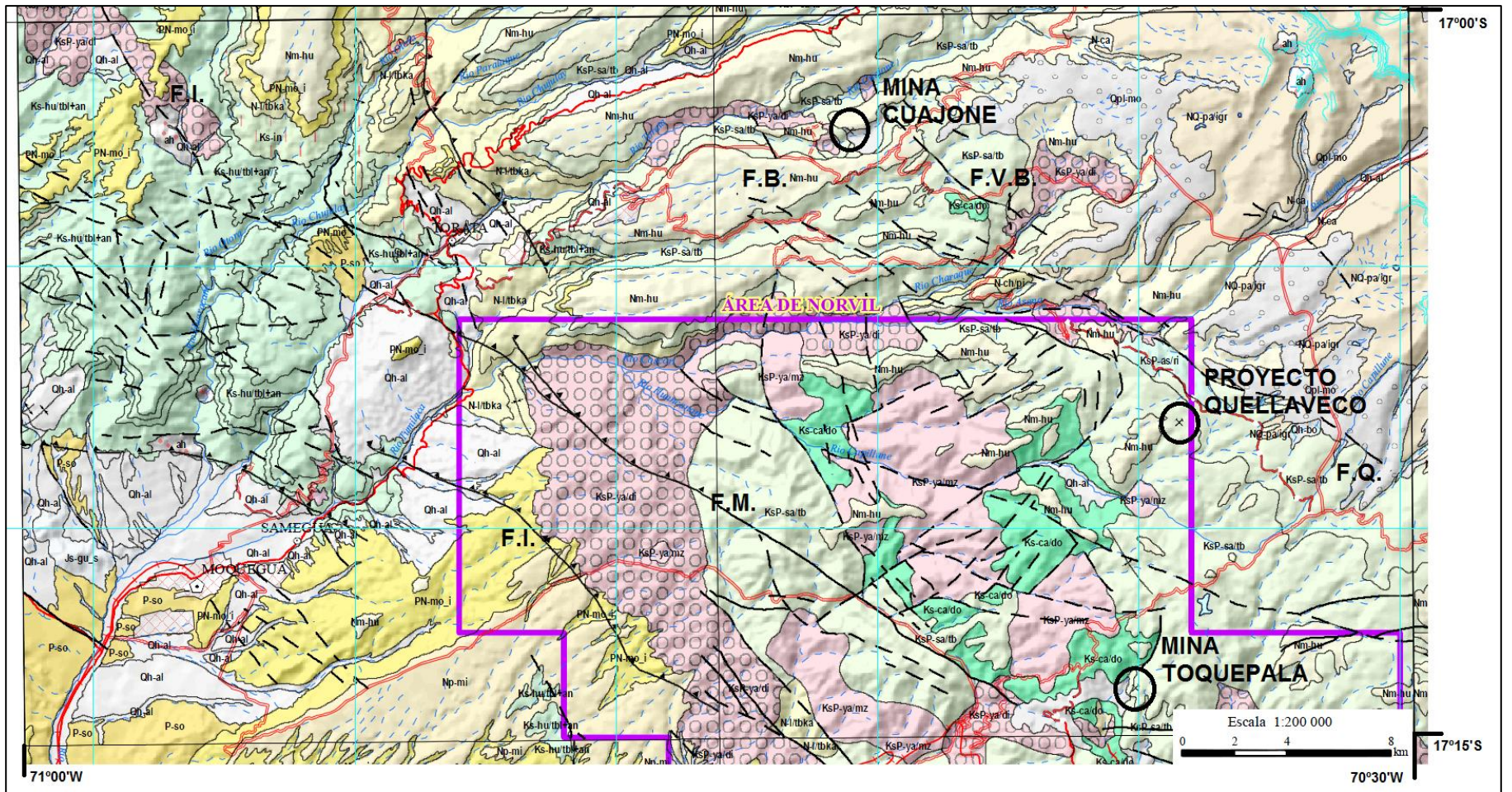


Figura 2. 2: Geología distrital del yacimiento Cuajone. Se incluyen las denominaciones para las trazas de fallas: Incapuquio (F.I.), Micalaco (F.M), Quellaveco (F.Q.), Viña Blanca (F.V.B) y Botiflaca (F.B.); según antecedentes aportados por Concha y Valle (1999), y Acosta et al. (2010). Leyenda en Figura 1. Modificado de Mapa Geológico del Sector III Moquegua-Tacna (INGEMMET, 2008).

## 2.1.1 Rocas Estratificadas

### 2.1.1.1 Grupo Toquepala (Cretácico Superior-Paleoceno superior)

Unidad litoestratigráfica descrita en el cuadrángulo de Punta Bombón y Clemesí<sup>1</sup> (Bellido y Guevara, 1963), que se presenta como un conjunto de rocas volcánicas con algunas intercalaciones de sedimentos clásticos que afloran a lo largo del Flanco Andino. El grupo Toquepala está dividido en 4 formaciones:

#### Formación Huaracane

La Formación Huaracane (Martínez y Zuloaga, 2000), conocida anteriormente como Formación Toquepala (Bellido y Landa, 1965), aflora en la parte norte del cuadrángulo de Clemesí (sobreyaciendo a la Formación Guaneros<sup>2</sup>) y en la parte noreste del cuadrángulo de Moquegua<sup>3</sup>, en los cerros Los Ángeles, Estuquiña, Huaracane y en los cañones de los cursos inferiores de los ríos Huaracane y Torata.

La parte inferior se compone de tobas y lapilli bien soldadas, con presencia de líticos volcánicos grises porfiríticos e intrusiones de cuerpos subvolcánicos oscuros de composición geoquímica riolítica, sin estratificación notoria. La parte media incluye lentes de areniscas volcánicas, conglomerados y brechas sedimentarias de color marrón-violáceo compuestas por clastos volcánicos. La parte superior tiene tobas grises con fragmentos de cristales, líticos volcánicos, pumita y vidrio; brechas piroclásticas grises-rojizas de bloques angulosos, y lavas andesíticas afáníticas restringidas a las cabeceras de la quebrada Chilcal al oeste de Otorá. Esta unidad tiene un espesor mayor a 1.000 m (Martínez y Zuloaga, 2000).

#### Formación Inogoya

Su localidad tipo se encuentra en las inmediaciones de la Hacienda Inogoya, situada en la quebrada Otorá, a unos 6 km al oeste de Torata.

Es una secuencia sedimentaria (Bellido y Landa, 1965) compuesta de conglomerados, areniscas y gravas consolidadas, bien estratificadas, de coloración gris a tonalidades claras. Está diferenciada en varias litofacies que van desde conglomerados gruesos en

---

<sup>1</sup> Cuadrángulos que comprenden parte de la región costanera de los Departamentos de Arequipa y Moquegua, al Oeste del sector de estudio de este trabajo.

<sup>2</sup> Secuencia litológica de sedimentos clásticos marinos (Bellido y Guevara, 1963) que afloran típicamente en los flancos y fondo de la Quebrada Guaneros. Correspondiente al Jurásico Medio-Superior (Bellido y Guevara, 1963; Jaen y Ortiz, 1963; Romeuf et al., 1993, 1995)

<sup>3</sup> Cuadrángulo comprendido entre las coordenadas 17°-17°30' latitud Sur y 70°30'-71° longitud Oeste.

el sector oriental (Cerro Vizcachane) a sistemas de areniscas y limolitas claras (Hacienda Inogoya), con intercalaciones de flujos piroclásticos porfiríticos grises de poco grosor (0,1 m) y tabulares (Cerro Alegoma). La parte inferior se compone de conglomerados muy gruesos de naturaleza volcánica y una matriz areno-tobácea, con coloraciones que varían desde marrón claro a gris verdoso. La parte superior se compone de material areno-tobáceo de color pardo con bandas y lentes de conglomerados de elementos medianos a pequeños.

Tiene un espesor de 215 a 430 m. Sobreyace con discordancia a la Formación Huaracane e infrayace en igual relación a tobas soldadas macizas de la Formación Paralaque (Martínez y Zuloaga, 2000). La litología y las características de las rocas de la Formación Inogoya indican un ambiente de deposición continental, probablemente en cuencas pequeñas y aisladas bajo condiciones de intensa erosión de terrenos montañosos y acción de fuertes corrientes (Díaz et al., 2011).

### Formación Paralaque

Aflora en la localidad tipo a la que debe su nombre, ubicada en las quebradas del río Quele, a unos 5 km al noroeste de Torata.

Corresponde a una secuencia de tobas (Bellido y Landa, 1965) altamente soldadas, de composiciones geoquímicas dacítica, riolítica y andesítica; texturas porfirítica y eutaxítica, color gris rojizo, cuyo contenido consta principalmente de vidrios, plagioclasas y cuarzos; y secundariamente biotitas y fragmentos líticos. Conforman farallones abruptos y extensas plataformas. Los estratos tienen rumbo general noroeste y buzamientos que varían desde pocos grados hasta 35° al norte y noreste. En el sector de Otorá afloran secuencias sedimentarias compuestas por lodolitas y areniscas finas rojizas a grises, bien estratificadas, que se definen como un miembro para esta formación.

El espesor de la formación es superior a 2.000 m (Díaz et al., 2011). Sobreyace con discordancia a los conglomerados y areniscas de la Formación Inogoya e infrayace en igual relación a la Formación Quellaveco. Esta unidad es asignada al Cretácico Superior (Martínez y Zuloaga, 2000).

### Formación Quellaveco

Secuencia volcánica de composición geoquímica principalmente riolítica, que aflora en la parte nororiental del cuadrángulo de Moquegua, dividida en cinco miembros.

- Miembro Asana (Martínez y Zuloaga, 2000)

Conocido anteriormente como Pórfido Quellaveco (Bellido y Landa, 1965). Es una secuencia de lavas coherentes, de composición geoquímica riolítica, color gris claro, porfíricas, con cuarzo libre y feldespatos mayormente alterados. El cuarzo hialino es flotante en matriz media compuesta por cuarzo-feldespato. Su estratotipo se encuentra en las inmediaciones de los poblados Asana, La Cimarrona y Villa Toquepala. El espesor de la unidad es de 300 m.

- Miembro Carpanito (Martínez y Zuloaga, 2000)

Conocido anteriormente como Serie Toquepala (Bellido y Landa, 1965). Es una secuencia de lavas coherentes, de composición geoquímica andesítica, de grano fino, color gris oscuro, estratificadas, de textura porfírica seriada, con plagioclasas y ortopiroxenos esencialmente. Afloran en los valles del río Capillune, cerros Carpanito y Pedregal. El espesor de la unidad es de 300 m.

- Miembro Samanape (Martínez y Zuloaga, 2000)

Conocida anteriormente como Serie Alta (Bellido y Landa, 1965). El espesor de este miembro es de 1.000 m y se divide en dos unidades: La inferior corresponde a una secuencia de lavas coherentes de composición geoquímica andesítica, porfíricas, bien estratificadas, color gris, con intercalaciones de tobas grises violáceas con fragmentos de plagioclasas y cuarzo, la mayoría silicificados y sericitizados. Se inclinan ligeramente (~15°) en dirección SW. Sobreyace disconforme sobre el Miembro Asana.

La unidad superior es una secuencia de tobas-lapilli, blanquecinas, bien estratificadas, compuestas de fragmentos líticos y pómez en matriz tobácea bastante alterada, en algunos sectores presentan textura eutaxítica y reomórfica. Se intercalan con secuencias de lahares gris-marrones. Sobreyace disconforme sobre la unidad inferior e infrayace a la Formación Huaylillas.

- Miembro Yarito (Bellido y Landa, 1965)

Secuencia de lavas porfíricas, color gris rosadas, matriz fina, silicificadas y muy resistentes, que presentan buena estratificación. De composición geoquímica riolítica, alteradas a arcilla-sericita, parcialmente afaníticas, con matriz holocristalina. Aflora extensamente al noroeste de la mina Toquepala entre los



cerros Yarito y Cruz Laca. Regionalmente tiene forma dómica e intruye a las secuencias volcánicas Samanape y Paralaque, presentando contacto fallado (Falla Micalaco) con la Superunidad Yarabamba y las andesitas del Miembro Carpanito. El espesor de la unidad es mayor a 700 m.

- Miembro Tinajones (Bellido y Landa, 1965)

Secuencia de lavas coherentes, de composición geoquímica riolítica, color blanco amarillento, estratificadas, porfiríticas, con cuarzo flotante en matriz afanítica. Se inclinan en dirección SW (15°-20°) y afloran entre la mina Cuajone y la quebrada Charaque. El espesor de la unidad es mayor a 300 m.

Correlación cronoestratigráfica: El Grupo Toquepala ha sido datado en 70 Ma por Bellon y Lefèvre (1976). En 59,3±2 Ma por Vatin et al. (1982), para las secuencias basales. Por el método Rb-Sr se registraron edades de 63 a 74-100 Ma entre Moquegua y Torata, bajando hasta el Cretácico Inferior (Boyle et al., 1990 en: Alejandro et al., 2006). En el Miembro Samanape se registraron edades de 53,6±3 a 56,2±2,1 Ma (Zimmermann y Kihien, 1983) en el Yacimiento Quellaveco, mientras que en Mina Cuajone de 52,3±1,6 a 52,43±1,7 Ma (Clark et al., 1990).

#### 2.1.1.2 Formación Moquegua (¿Eoceno superior?-Mioceno inferior)

Secuencia de capas continentales compuestas mayormente por arcillas, areniscas, conglomerados, areniscas tobáceas y tobas de color rojizo a blanco amarillento, que afloran típicamente en el valle de Moquegua (Adams, 1906) y que vienen a constituir en gran parte lo que geomorfológicamente se denomina la Llanura Costanera, de un relieve topográfico suavizado (Concha y Valle, 1999).

Esta formación fue dividida de acuerdo a su litología en dos miembros<sup>4</sup>, separados por una discordancia paralela (Díaz et al., 2011). El miembro inferior consiste de capas de areniscas arcósicas a tobáceas grises, que se intercalan de forma regular con areniscas arcillosas y arcillas rojizas que contienen venillas de yeso. El miembro superior está constituido por sedimentos clásticos de composición variada, principalmente de arena conglomerádica y secundariamente de intercalaciones de tobas, areniscas tobáceas y arcillas. Tiene un espesor variable entre unos pocos metros hasta 300 m y sobreyace de manera discordante sobre el miembro inferior, y en ciertos lugares sobre el Grupo Toquepala (Díaz et al., 2011). En este miembro superior, la sucesión de depósitos detríticos muestran una nítida estrato granocrecencia. En su parte más alta aparecen clastos tanto de rocas volcánicas como de intrusivas pre-Moquegua, asimismo se

---

<sup>4</sup> División referida por Concha y Valle (1999), y Díaz et al. (2011).

denotan la presencia de pómez e ignimbritas coetáneas de la sedimentación. Tal aumento de la influencia volcánica explosiva hacia arriba demuestra que existe una transición con la Formación Huaylillas (Flores y Sempere, 2002).

La Formación Moquegua sobreyace en fuerte discordancia sobre el Grupo Toquepala, tal como se observa en el Valle de Moquegua y en las partes bajas de la mina Toquepala (Bellido, 1979). El espesor de esta unidad es mayor a 1.500 m (Martínez y Zuloaga, 2000).

Correlación cronoestratigráfica: Sempere et al. (2004a) confirman una edad de  $30,7\pm 0,5$  Ma estimada con el método Ar-Ar sobre biotita de un nivel ubicado a dos metros por debajo del contacto de los dos miembros de la Formación Moquegua, lo cual supondría un rango de edad desde Eoceno superior hasta Mioceno inferior<sup>5</sup>. Las tobas de las secuencias superiores de la Formación Moquegua que han sido datadas cerca al cerro Baúl tienen una edad de  $25,3\pm 0,8$ , en Cerro Blanco de  $22,7\pm 0,8$  y en Cerro Purgatorio de  $23,25\pm 0,8$  Ma (Tosdal et al., 1981).

#### 2.1.1.3 Formación Huaylillas/Formación Chuntacala (Mioceno inferior)

Martínez y Zuloaga (2000) incluyen a la Formación Chuntacala dentro de la Formación Huaylillas, de acuerdo a las relaciones de campo y composiciones petrográficas similares observadas en los cuadrángulos de Locumba, Pachia, La Yarada, Huaylillas y Tacna<sup>6</sup>. No obstante, dadas las extensas y bien diferenciadas descripciones existentes para cada una de estas unidades, se procederán a describir de manera independiente y detallada en la Geología local (Sección 2.2).

#### 2.1.1.4 Formación Capillune (Plioceno superior)

Secuencia de conglomerados, areniscas, arcillas y tobas redepositadas; de origen lacustre, que afloran típicamente en la localidad de Capillune (Mendivil, 1965), sobreyaciendo discordantemente a la Formación Huaylillas y a la Formación Chuntacala (Concha y Valle, 1999).

La arenisca es de grano fino a grueso, con coloraciones grises y amarillentas, poco compactas, de composición y matriz variable, encontrándose normalmente en capas

---

<sup>5</sup> Esto no establece con claridad la edad base de la Formación Moquegua. Puede ser de data anterior al Eoceno superior.

<sup>6</sup> Cuadrángulos comprendidos entre las coordenadas:  $17^{\circ}30'$ - $18^{\circ}$  lat. Sur y  $70^{\circ}30'$ - $71^{\circ}$  long. Oeste (Locumba),  $17^{\circ}30'$ - $18^{\circ}$  lat. Sur y  $70^{\circ}$ - $70^{\circ}30'$  long. Oeste (Pachia),  $18^{\circ}$ - $18^{\circ}30'$  lat. Sur y  $70^{\circ}30'$ - $71^{\circ}$  long. Oeste (La Yarada),  $18^{\circ}$ - $18^{\circ}30'$  lat. Sur y  $69^{\circ}30'$ - $70^{\circ}$  long. Oeste (Huaylillas) y  $18^{\circ}$ - $18^{\circ}30'$  lat. Sur y  $70^{\circ}$ - $70^{\circ}30'$  long. Oeste (Tacna).

gruesas y medianas. Las arcillas se encuentran en capas delgadas hasta laminares. Las limolitas en capas medianas a gruesas, generalmente de colores claros. Los conglomerados tiene una coloración gris amarillenta o gris verdosa, y están compuestos por elementos volcánicos redondeados, subredondeados y esporádicamente angulosos, de tamaño muy variable y que se hallan en una matriz areniscosa o ignimbrítica, con grado de compactación moderado; se muestran en estratos y bancos gruesos con algunos casos de lenticularidad, pero en general la estratificación no siempre es definida. Entre los materiales piroclásticos existen algunos horizontes delgados de ignimbritas, principalmente de composición geoquímica riolítica-dacítica, bancos de tobas retrabajadas de coloración blanquecina o rojiza, poco compactados, con abundantes inclusiones líticas que son generalmente angulosas y subangulosas (Díaz et al., 2011).

La Formación Capillune tiene un espesor variable de unos pocos metros hasta 195 m. Sobreyace a la Formación Sencca<sup>7</sup>, considerada del Plioceno medio a superior, y subyace al Grupo Barroso de época Plioceno-Pleistoceno, por lo que se le asigna una edad del Plioceno superior (Díaz et al., 2011).

#### 2.1.1.5 Grupo Barroso (Plioceno-Pleistoceno)

Secuencia de rocas volcánicas de composición geoquímica andesítica, traquítica y latítica; intercaladas con brechas de flujo, piroclásticos y aglomerados (Wilson, 1962), que forman la Cordillera del Barroso, donde es característica la presencia de conos volcánicos erosionados por acción glacial pleistocénica (Díaz et al., 2011). Comprende al estratovolcán Chuquiananta con dos unidades diferenciadas: 1) Aglomerados grises de composición geoquímica andesítica, monomícticos, con grosores mayores a 20 m, que afloran en los alrededores de Quellaveco y el poblado de Tola. 2) Secuencia de coladas de lava coherentes y flujos piroclásticos, en bancos mayores a 10 m de grosor, de textura porfirítica de acusada orientación y matriz afírica, con leve inclinación (5°-10°) en dirección SW (Martínez y Zuloaga, 2000).

El Grupo Barroso tiene un espesor mayor a 800 m (Martínez y Zuloaga, 2000). Sobreyace con discordancia paralela a la Formación Capillune del Plioceno y se encuentra cubierta en forma parcial por acumulaciones morrénicas del Pleistoceno. Por otro lado, los conos volcánicos que integran esta formación se presentan fuertemente destruidos por la glaciación pleistocénica, indicando su origen prepleistocénico. En base a estas consideraciones generales, se considera al Grupo Barroso dentro del Plioceno-Pleistoceno (Díaz et al., 2011). La edad más antigua atribuida a este grupo es de

---

<sup>7</sup> Definida por Mendivil (1965) como una secuencia piroclástica que no pasa los 100 m de espesor, en la frontera de Perú-Chile. Tosdal et al. (1981) reporta una edad de  $6,5 \pm 0,3$  Ma (K/Ar) en el área del cerro Huailiao (Moquegua).

5,5±0,3 Ma y la más reciente es 0,1±0,03 Ma (Díaz, G. et al., 2000), las cuales cubren desde fines del Mioceno al Pleistoceno.

### 2.1.1.6 Depósitos del Neógeno-Cuaternario

#### Depósitos morrénicos y fluvio-glaciares

Los depósitos morrénicos son una mezcla heterogénea de gravas angulosas de naturaleza volcánica soportadas por una matriz areno-arcillosa, en cuyos flancos conservan bloques erráticos. Estos sedimentos se encuentran consolidados y topográficamente forman lenguas morrénicas de suave superficie. Se distribuyen en el flanco sur del aparato volcánico Chiquiananta, en las nacientes del río Asana y en Pampa del Calvario (Martínez y Zuloaga, 2000). El material fluvio-glacial se encuentra relleno de depresiones intermontañas, prolongándose hacia los flancos de los conos volcánicos adyacentes; litológicamente se compone de conglomerados y gravas de rocas volcánicas que se intercalan con arenas y arcillas, presentando estratificación en bancos gruesos (Díaz et al., 2011).

#### Depósitos fluvio-aluviales

Están compuestos de gravas y arenas en canales activos, polimícticos, con clastos subredondeados a subangulares, soporte de matriz areno-limoso, asociados a flujos de barro y conos aluviales semiconsolidados; y conglomerados en depósitos de pie de monte. Estos depósitos aluviales se encuentran como depósitos de pie de monte sobreescorridos por la Formación Paralaque, repartidos en las faldas de los cerros Baúl y Trebolar, y distribuidos en las pampas de Trapiche; canales activos distribuidos ampliamente en las pampas de San Antonio y Quebrada Seca, y sistemas fluvio-aluviales distribuidos ampliamente en el valle del río Moquegua, Torata, Río Cinto e Ilabaya (Martínez y Zuloaga, 2000).

## **2.1.2 Rocas intrusivas**

### 2.1.2.1 Superunidad Ilo (Cretácico Inferior)

La Superunidad Ilo forma parte del llamado Batolito de Ilo del área de Moquegua, donde las rocas que predominan son de composición geoquímica tonalítica y granodiorítica. Esta superunidad está datada sobre hornblenda y biotita por el método K-Ar, con edades entre 113±2,5 Ma y 99,9±2,2 Ma, rango correspondiente al Cretácico Inferior (Sanchez, 1983; Mc Bride, 1977).

### 2.1.2.2 Superunidad Yarabamba (Cretácico Superior-Eoceno)

Comprende gabros, dioritas, monzodioritas y cuarzomonzonitas que afloran a lo largo de una franja limitada por los sistemas de fallas Incapuquio y Quellaveco, que han jugado un rol importante en la mineralización de los yacimientos cupríferos de Cuajone, Quellaveco y Toquepala (Martínez y Zuloaga, 2000).

La principal exposición de dioritas y granodioritas se encuentra entre los pueblos de Moquegua e Ilabaya. Son rocas color gris claro, de grano grueso y textura holocristalina e inequigranular. Estos cuerpos intrusivos, que ocupan el mayor volumen en la región, se emplazaron atravesando rocas del Grupo Toquepala y tienen edades estimadas por K/Ar comprendidas entre  $45,9 \pm 0,3$  y  $66,3 \pm 7,5$  Ma, obtenidas entre las localidades de Quellaveco y Toquepala (Zimmermann y Kihien, 1983).

### 2.1.2.3 Intrusivos indeterminados

Consiste en afloramientos de rocas plutónicas en forma de stocks y apófisis, probablemente pertenecientes al batolito andino, que intruyen a los volcánicos del Grupo Toquepala. Se diferencian en dioritas, granodioritas, granitos y diques pórfido graníticos, andesitas y dacitas [SIC]. De acuerdo a sus relaciones con las rocas encajonantes, se les considera como emplazadas en el intervalo Cretácico Superior-Terciario inferior<sup>8</sup>, pero dada la dispersión de los afloramientos, es difícil establecer la sucesión relativa de sus emplazamientos (Díaz et al., 2011).

### **2.1.3 Estructuras**

Los rasgos estructurales presentes en el cuadrángulo de Moquegua: orientación de las fallas, elongación de los cuerpos intrusivos, alineamientos de los conos volcánicos, entre otros; tienen una clara dirección NW-SE (Bellido, 1979). Donde destaca principalmente el Sistema de Fallas Incapuquio (SFI), que tiene un carácter regional con más de 200 km de longitud, reconociéndose su traza desde Chile en el Sistema de Fallas Domeyko (Martínez y Zuloaga, 2000). El SFI fue clasificado por Wilson y García (1962) de tipo transcurrente, pero actualmente se reconoce más bien de tipo transpresivo sinistral subvertical y rumbo NNW-SSE (Jacay et al., 2002; Sempere et al., 2004b). Distritalmente se reconocen otras fallas que coinciden en rumbo al SFI, de gran longitud: Micalaco y Quellaveco; y otras de longitud intermedia que forman un corredor donde se emplaza el yacimiento Cuajone: Viña Blanca y Botiflaca (Figura 2. 2).

---

<sup>8</sup> Período de tiempo actualmente no reconocido por la Comisión Internacional de Estratigrafía (ICS). Comprendería a la Era Cenozoica, pero con límite superior el Cuaternario.

La falla Micalaco aflora en las inmediaciones de la mina Toquepala entre el pueblo de Micalaco y la quebrada Cortadera, prolongándose por 21 km, con potencias de hasta 500 m y buzamiento subvertical; la falla Viña Blanca aflora prolongándose por 5,5 km, en la Riolita Porfírica a 3 km al este-sureste de la mina Cuajone, con potencias de hasta 20 m y buzamiento subvertical; y la falla Botiflaca aflora prolongándose por 20 km cruzando las quebradas de Cocotea y Torata, a 2,5 km al suroeste de la mina Cuajone, con potencias de hasta 40 m y buzamiento subvertical. Todas estas fallas tienen rumbo general ~N70°W (Concha y Valle, 1999).

## **2.2 GEOLOGÍA LOCAL**

Litología comprendida mayormente por rocas volcánicas depositadas desde fines del Cretácico a la actualidad, sin afloramientos de rocas de mayor antigüedad; divididas en 23 tipos bien diferenciados<sup>9</sup> (Concha y Valle, 1999) (Figuras 2. 3 y 2. 4).

Estos cuerpos volcánicos pertenecientes al Grupo Toquepala, fueron intruidos por grandes batolitos de composición geoquímica diorítica y granodiorítica, anteriores al sistema hidrotermal asociado a la mineralización Cu-Mo. Esta mineralización ocurrió inmediatamente después del emplazamiento del primer pulso de Latita Porfírica (LP1). Un segundo pulso de Latita Porfírica (BLP) es asociado a un evento de menor mineralización, mientras que un tercero de composición geoquímica similar (LP3) destruye grado. Dataciones actuales a estas rocas fueron realizadas por Simmons (2013) (Figura 2. 5).

---

<sup>9</sup> Si bien a la fecha actual hay cambios en esa división, no es de manera crítica. Se mantiene esencialmente la misma categorización litológica.

GROUP	MEMBER	UNIT
CHUNTACALA	CONGLOMERATE OF THE SOUTH AND SOUTHEAST SIDE OF THE MINE	DUMP TL TALUS AL ALLUVIUM
	PYROCLASTICS OF THE NORTH SIDE OF THE MINE	PA ANDESITE PORPHYRY
		AS UPPER AGGLOMERATE
TS UPPER TUFF		
AI LOWER AGGLOMERATE		
TI LOWER TUFF		
TC CRYSTAL TUFF		
HUAYLILLAS	CONGLOMERATE OF THE SOUTHWEST SIDE OF THE MINE	CB BASAL CONGLOMERATE
	POST MINERALIZATION STRUCTURES TIME	AT TUFFACEOUS AGGLOMERATE
		AG GREY AGGLOMERATE
	ALTERATION AND MINERALIZATION TIME	CACV YELLOW/GREEN CONGLOMERATE
		CTR TRACHYTE CONGLOMERATE
	INTRUSIVES	TR WHITE TUFF
		TR TRACHYTE
		VITR/S VITROPHYRE/SALMON TUFF
		CR RHYOLITE CONGLOMERATE
		LP LATTITE PORPHYRY
CUAJONE PREMINERAL BASEMENT	DK DIKE	
	BX BARREN BRECCIA (< 0.1%Cu)	
	BXMG MARGINAL BRECCIA (0.10-0.39%Cu)	
	BXM ORE BRECCIA(>0.39% Cu)	
	BLP BARREN LATTITE PORPHYRY	Second Pulse
	LP LATTITE PORPHYRY	First Pulse
	DI DIORITE	
	DO DOLERITE	
	RP RHYOLITE PORPHYRY	
	BA BASALTIC ANDESITE	

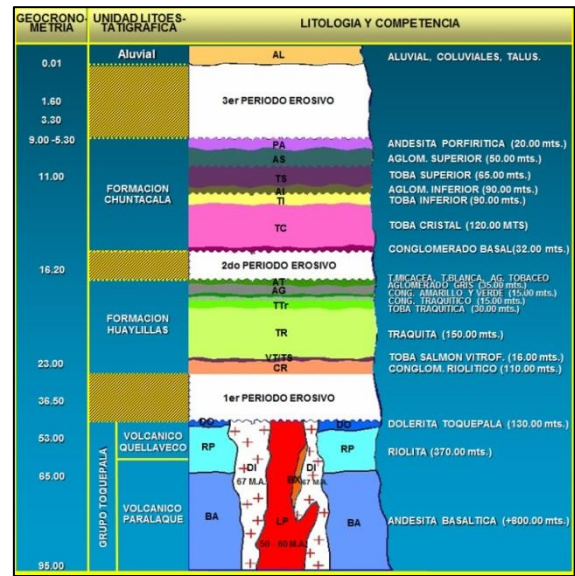


Figura 2. 3: A la izquierda: Columna geológica indicando los 23 tipos de rocas en el yacimiento Cuajone (Concha y Valle, 1999). A la derecha: Columna estratigráfica del yacimiento Cuajone con la geocronometría (en Ma) y unidad litoestratigráfica correspondiente a los distintos tipo de roca. Extracto de: Presentación interna "El Arco", SPCC (actualizada a Octubre-2012).

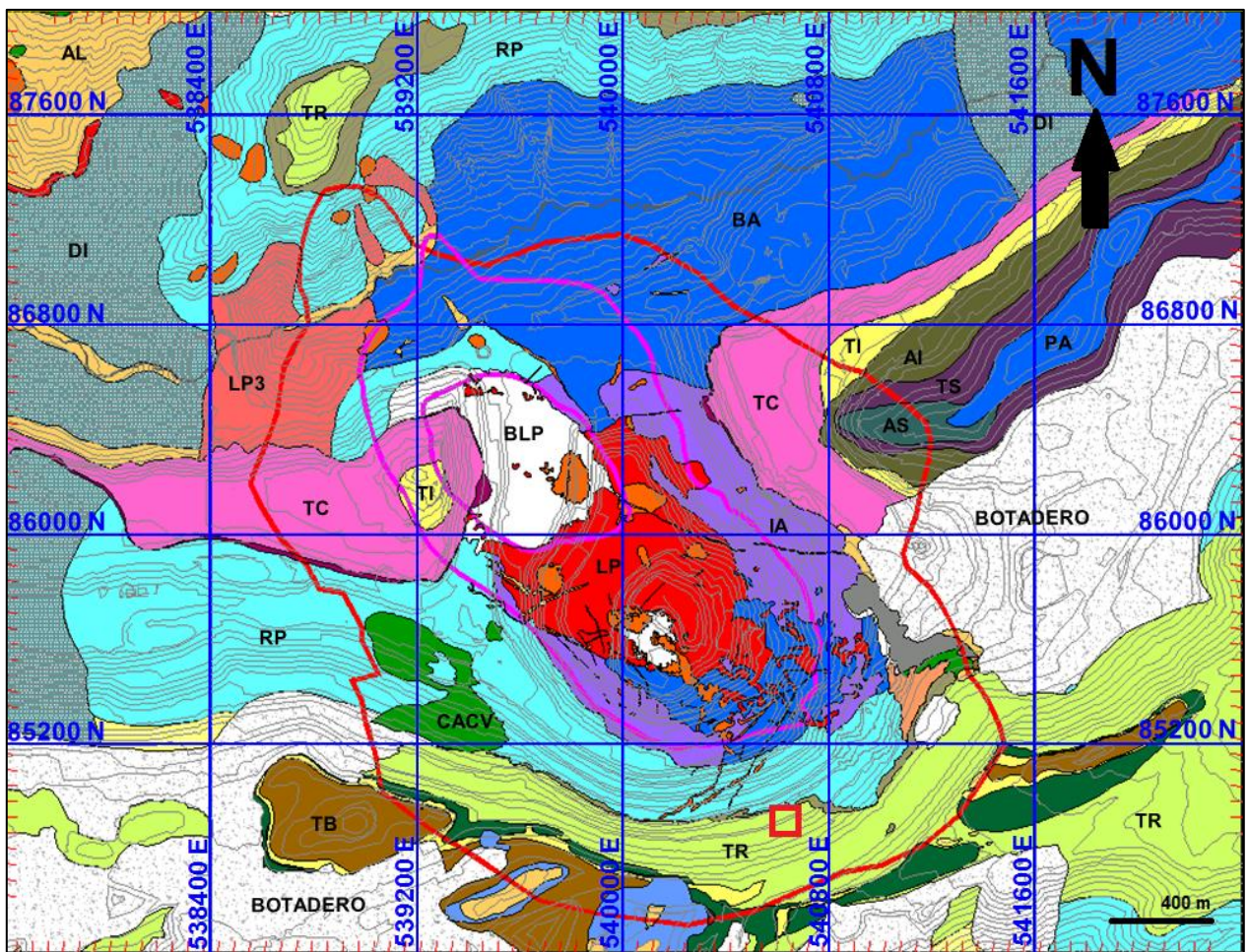


Figura 2. 4: Geología local al año 2003, con sistema de coordenadas locales. El rectángulo en rojo indica la zona de estudio del presente trabajo (actualmente sobre Riolita Porfírica (RP), según progresión del rajo). Modificada de: Presentación interna "El Arco", SPCC (actualizada a Octubre-2012).

## **2.2.1 Basamento premineral**

Lo constituyen rocas pertenecientes al Grupo Toquepala e intrusiones pertenecientes a la Superunidad Yarabamba.

### **2.2.1.1 Andesita Basáltica (BA)**

Constituye la roca basal de la secuencia volcánica en las inmediaciones del yacimiento Cuajone, con una potencia estimada en más de 800 m. De textura fanerítica holocristalina de grano fino a porfirítica, color gris verdoso a negro. Los fenocristales son subhedrales, constituidos mayormente por plagioclasas y en menor cantidad por hornblendas, las cuales se alteran a biotitas secundarias, incrementándose el grado a mayor cercanía al cuerpo mineralizado. La matriz es de grano fino compuesta mayormente por biotita y en muchos afloramientos se manifiesta un débil magnetismo. (Concha y Valle, 1999).

Considerada como una serie de flujos volcánicos de composición geoquímica andesítica pertenecientes a la Formación Paralaque. No obstante, también se considera la posibilidad que sea un intrusivo somero perteneciente al Batolito Andino del Sur, conocido en la zona de Arequipa por Batolito de La Caldera (Concha y Valle, 1999).

### **2.2.1.2 Riolita Porfirítica (RP)**

Aflora principalmente en ladera sur de la quebrada Chuntacala y en la ladera norte de la quebrada Torata; con potencias de hasta 370 m en las cercanías al rajo del yacimiento Cuajone. Correlacionada al Grupo Toquepala (¿Formación Quellaveco?), sobreyace discordantemente a la Andesita Basáltica, con un leve buzamiento hacia el oeste-suroeste. De textura porfírica con granos de hasta 2 mm de diámetro, generalmente subredondeados; color gris claro a blanquecino (Concha y Valle, 1999).

### **2.2.1.3 Dolerita Toquepala (Do)**

Completamente erosionada en el área del rajo, pero en afloramientos cercanos hacia el oeste con potencia de hasta 2,5 km (Concha y Valle, 1999). Existen referencias de potencias de hasta 230 m en las cercanías al rajo, determinadas vía taladros diamantinos (Manrique y Plazolles, 1975).



Sobreyace a la Riolítica Porfírica. De colores negro, gris verdoso y marrón; textura porfírica, con presencia de abundante calcita y en ciertos horizontes conglomerádica y/o brechoide (Concha y Valle, 1999).

#### 2.2.1.4 Granodiorita Regional

Posterior a los depósitos pertenecientes al Grupo Toquepala, se tienen intrusiones correlacionadas al emplazamiento de los batolitos de la Superunidad Yarabamba. Simmons (2013) dató la edad de un cuerpo intrusivo de composición geoquímica granodiorítica, a ~2 km en dirección noroeste del centro del rajo; sobre circones por el método U-Pb, obteniéndose una edad de  $65,1 \pm 0,8$  Ma (Qu701 en Figura 2. 5). La granodiorita datada es de textura equigranular (3 mm), con presencia de biotita y hornblenda, cuarzo intersticial con cristales anhedrales y feldespatos euhedrales; con alteración hipógena de los minerales máficos a clorita y epidota; y alteración supérgena de los feldespatos a mica blanca.

#### 2.2.1.5 Diorita (DI)

Stock ubicado entre 1 y 2 km al oeste del cuerpo mineralizado; de forma irregular y elongada, cuyo eje mayor tiene una dirección predominante norte-sur. Atraviesa a toda la secuencia de rocas pertenecientes al Grupo Toquepala. Mayoritariamente de textura holocristalina y equigranulares de grano medio a grueso y ocasionalmente porfíricas, color gris-gris verdoso (Concha y Valle, 1999). Dataciones radiométricas en la Quebrada Chuntacala y Quebrada Torata le asignan una edad de  $66,7 \pm 1,7$  Ma (Park, 1998). Simmons (2013) dató mediante U-Pb sobre circones, una muestra tomada a ~3 km del centro del rajo, obteniendo una edad de  $64,2 \pm 0,9$  Ma (Qu700 en Figura 2. 5). La diorita datada es de textura equigranular (5-10 mm), con 10-15% de biotita y hornblenda; cuarzo poco común, intersticial a los feldespatos; con alteración hipógena de los minerales máficos a clorita y epidota; y alteración supérgena de los feldespatos a mica blanca.

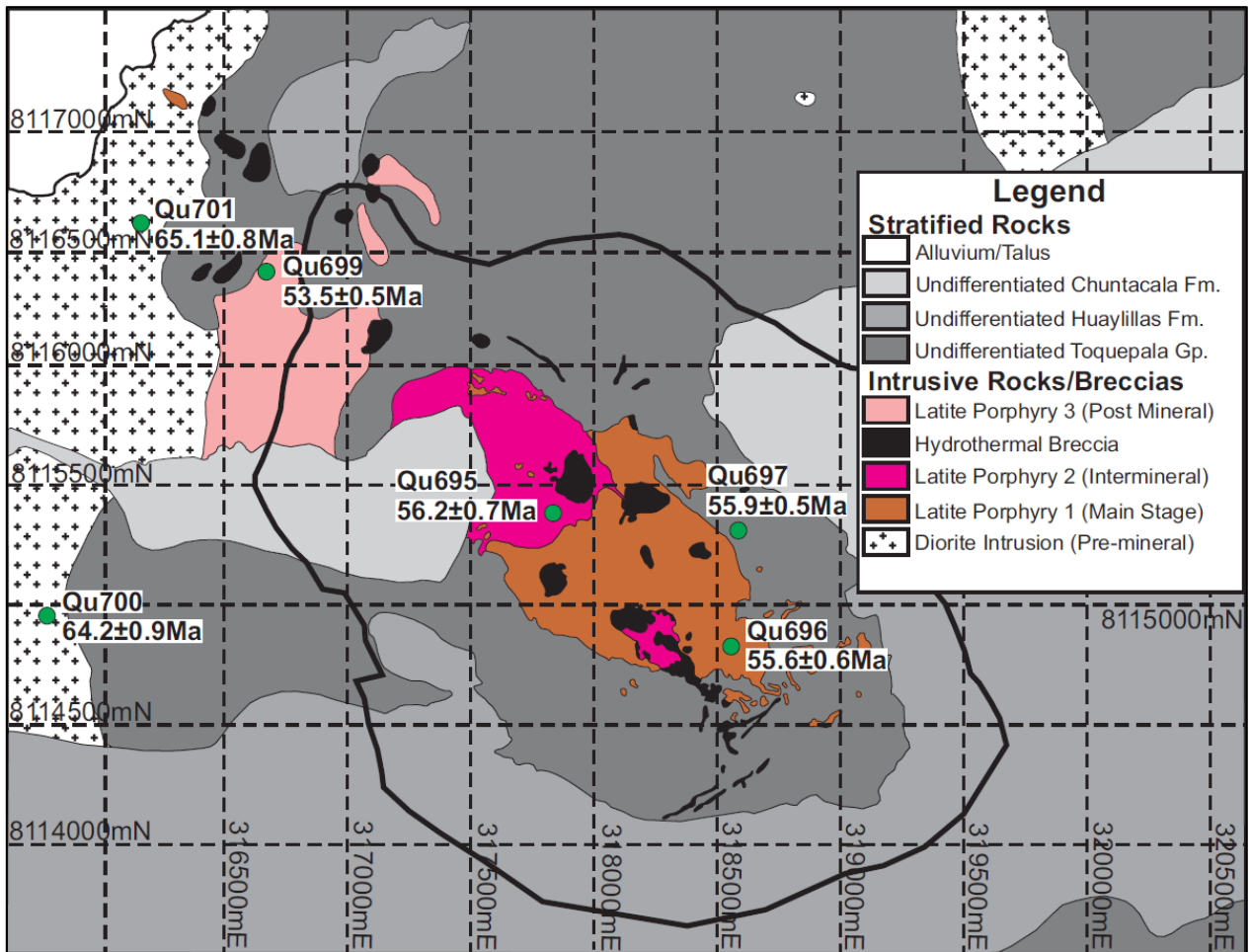


Figura 2. 5: Geología simplificada del yacimiento Cuajone. En sistema de coordenadas peruano PSAD56, zona 19S (Simmons, 2013).

## 2.2.2 Intrusivos etapa mineralizadora y estructuras asociadas

### 2.2.2.1 Latita Porfirítica

Cuerpo intrusivo —no obstante el nombre que recibe en la mina: latita— elongado de 2,5 km de largo por 0,7 km de ancho, con dirección predominante NW-SE; de composición geoquímica que va de cuarzomonzonita a monzogranito-granodiorita. Formado a partir de tres pulsos bien distinguibles de edad Paleoceno superior-Eoceno inferior según dataciones realizadas por Estrada (1975), Mc Bride (1977), Zweng (1984), Beckinsale (1985), Clark et al. (1990, sobre sericita mediante Ar/Ar:  $\sim 52,8 \pm 1$  Ma), Tosdal (1990 en: Concha y Valle, 1999), Park (1998) y más recientemente por Simmons (2013).

- Primer pulso, *Latite Porphyry 1* (LP1): Responsable de la mineralización en el yacimiento Cuajone. De textura porfírica, con cristales de cuarzo subredondeados de hasta 4 mm de diámetro y feldespatos rectangulares dentro

de una masa fundamental criptocristalina. En contacto litológico gradacional con la Andesita Basáltica (Concha y Valle, 1999). Simmons (2013) dató una muestra obtenida en el sector sureste de la Latita Porfirítica, obteniendo una edad de  $55,6 \pm 0,6$  Ma (Qu696 en Figura 2. 5); presentando intensa alteración hipógena a temprana alteración potásica-feldespática con imposición de sericita e illita.

- Segundo pulso, *Barren Latite Porphyry* (BLP): Localizado en dos sectores posiblemente conectados en profundidad. En el primer sector aflora intruyendo a LP1 en su parte central en dirección noroeste; de forma elongada con una longitud de ~300 m por ~200 m. En el segundo sector aflora al noreste de LP1, intruyéndolo también en su parte central; de forma ovoide con dimensiones ~850 m por ~550 m. Estas rocas poseen menores leyes de Cu y Mo que LP1 (Concha y Valle, 1999). Simmons (2013) dató una muestra en el sector sureste de BLP, obteniendo una edad de  $56,2 \pm 0,7$  Ma (Qu695 en Figura 2. 5). Presentando ésta alteración hipógena, consistiendo en feldespatos parcialmente alterados a sericita/illita y biotita alterada a clorita. Simmons además observa que la razón de fenocristales respecto a la masa fundamental, de las rocas pertenecientes a este pulso, es menor que en LP1.
- Tercer pulso, *Latite Porphyry 3* (LP3): Ubicado en el sector noroeste del rajo, en el valle del río Torata, con un diámetro de ~800 m. Con cristales de cuarzo subredondeados a redondeados de hasta 2 cm de diámetro, en una masa fundamental microcristalina a criptocristalina (Concha y Valle, 1999). Simmons (2013) obtuvo una edad de  $53,5 \pm 0,5$  Ma en una muestra tomada fuera de la zona del rajo (Qu699 en Figura 2. 5). El autor además observa que las rocas de LP3 presentan menor cantidad de cuarzo, como también menor razón de fenocristales/masa fundamental que las de LP1 y BLP. Además de minerales máficos ausentes y alteración restringida a feldespatos alterados a mica blanca, producto de procesos hipógenos y supérgenos.

#### 2.2.2.2 Brechas postminerales

Originadas por la intrusión del BLP, bordeándola en las zonas de contacto con otras rocas y también ubicadas, en menor medida, en zonas de debilidades estructurales (fallas, diaclasas). Estos cuerpos de brechas están constituidos mayormente por clastos de Latita Porfirítica y andesitas de diferentes tamaños: redondeados, subredondeados, angulares y subangulares, dependiendo de la profundidad de su arrastre a zonas más someras. Clasificadas como Brechas Mineralizadas, Brechas Marginales y Brechas Estériles, dependiendo de sus leyes: mayor a 0,4% de Cu; 0,1% a 0,4% de Cu; y menor a 0,1% de Cu respectivamente (Concha y Valle, 1999).

### 2.2.2.3 Diques

Con composición geoquímica similar a la Latita Porfirítica y ocasional mineralización diseminada, con aparente relación al segundo pulso de Latita Porfirítica (BLP). Alcanzan longitudes de hasta 800 m y espesores variables de hasta 3 m. Emplazados en fallas con direcciones de rumbo variadas, pero con predominancia hacia el noroeste-oeste y buzamientos subverticales hacia el suroeste-sur (Concha y Valle, 1999).

## 2.2.3 Rocas postminerales

### 2.2.3.1 Formación Huaylillas

Tobas-lapilli de composición geoquímica riolítica a dacítica, que sobreyacen de manera disconforme a la Formación Moquegua (Wilson y García, 1962). En las cercanías al yacimiento Cuajone es una secuencia de conglomerados, tobas, vitrófidos, traquitas y aglomerados (Manrique y Plazolles, 1975), que aflora principalmente en la ladera sureste de la quebrada Chuntacala y en la ladera norte del río Torata, sobreyaciendo de manera disconforme a las rocas del grupo Toquepala y los intrusivos de la etapa mineralizadora; cuya depositación ocurrió posterior a una etapa erosiva desarrollada hace 50 y 23 Ma que erosionó parte de estas rocas e intrusivos. A esta formación se le asigna una edad entre 23 y 17 Ma y presenta potencias de hasta 230 m en los alrededores del yacimiento Cuajone (Concha y Valle, 1999).

La parte basal de la formación, en discordancia erosional sobre la Riolita Porfirítica, corresponde a un conglomerado riolítico (CR) consistente de clastos subangulares a subredondeados de tamaños de hasta 0,4 m de diámetro, donde los clastos de riolitas están soportados en una matriz areno-arcillosa tufácea. Se tienen registros, obtenidos vía perforación diamantina, de espesores de hasta 110 m de potencia (reporte interno SPCC, mayo de 1981 en: Concha y Valle, 1999).

Sobre CR se encuentra la Toba Salmón (TS). En la ladera sur de la quebrada Chuntacala su potencia llega hasta 16 m y se presenta en discordancia erosional sobre CR, el basamento premineral y la Latita Porfirítica. De color rosáceo a blanquecino cambiando gradualmente de base a tope, de grano fino y fracturamiento concoidal. En la ladera norte del río Torata aflora con una potencia de hasta 100 m, presentando cristales finos de sanidina, flogopita y biotita. Sobre la TS hay presencia de vitrófidos (VT) con potencias variables de hasta 20 m (Concha y Valle, 1999).

Sobreyaciendo gradacionalmente a TS y VT, se encuentran traquitas (TR) de color marrón parduzco rosáceo y violáceo, con cristales anhedrales de flogopita, fenocristales

anhedrales y subhedrales de sanidina y ocasionales biotitas y matriz silicificada. Las traquitas presentan bandeamiento de flujo y ocurrencia variada de vesículas de diámetro variado (Satchwell, 1983).

Sobreyaciendo concordantemente a TR, se encuentra la Toba Blanca (TB) que aflora en las partes altas del rajo en el sector sur-sureste, con potencias de hasta 30 m. Luego de la depositación de TB se tiene una nueva etapa erosiva que provocó que entre las quebradas Chuntacala y Torata, la Formación Huaylillas prácticamente desapareciera. Por sobre el paleorelieve producto de la erosión, se tiene al Conglomerado Traquítico (CTR) compuesto mayormente por clastos de traquitas y tobas subangulares de tamaños hasta 0,3 m en una matriz tufácea-arenosa. Sobre éstas se encuentra el Conglomerado Verde (CV) y el Conglomerado Amarillo (CA) compuestos mayormente por clastos redondeados, angulares y subangulares de andesitas, riolitas, latitas, brechas y tobas de diferentes tamaños de hasta 0,8 m en una matriz areno-arcillosa tufácea; con potencias de hasta 30 m (Concha y Valle, 1999).

Discordantemente sobre las rocas anteriores, emplazado en el paleovalle de la quebrada Chuntacala, está el Aglomerado Gris (AG). El cual es un flujo compuesto de clastos angulares y redondeados de andesitas de diferentes tamaños (¿?), colores variables negro, gris y rojizo; y tobas en una matriz arenotufácea de color gris. Emplazado en las cumbres de la ladera sur de la quebrada Chuntacala, se presenta el Aglomerado Tobáceo (AT), constituido por clastos angulares de traquitas y tobas en una matriz tufácea (Concha y Valle, 1999).

### 2.2.3.2 Formación Chuntacala

Compuesta por una sucesión de conglomerados, flujos de lava, tobas y aglomerados (Manrique y Plazolles, 1975), de edad entre 14 y 19 Ma (Tosdal, 1990). Depositada, en el sector del yacimiento Cuajone, sobre una tercera etapa erosiva<sup>10</sup> desarrollada hace 17 y 14 Ma, posterior a la depositación de AT (Concha y Valle, 1999).

En su parte basal, en discordancia erosional, está el Conglomerado Basal (CB). Constituido por clastos de andesitas, riolitas, traquitas, latitas y tobas mayormente subredondeados a redondeados y en menor medida subangulares de hasta 1,2 m de diámetro, en una matriz areno-arcillosa. Con potencia de hasta 32 m. Discordantemente sobre CB está la Toba Cristal (TC), que tiene una potencia de hasta 120 m, de color marrón claro, textura porfírica y cristales de sanidina y micas en una matriz de grano medio a grueso que en algunos casos presenta vesículas rellenas por material vítreo. Aflorando en el sector norte del rajo, sobre TC en contacto subhorizontal gradacional,

---

<sup>10</sup> Esta tercera etapa erosiva, aparece como "2do PERIODO EROSIVO" en la columna estratigráfica de la Figura 2. 3 (derecha).

está la Toba Inferior (TI); de color blanco a blanco amarillento, textura porfírica, cristales de sanidina, biotita, lepidolita y flogopita; y potencia de hasta 90 m. Sobre TC y TI, en discordancia erosional, está el Aglomerado Inferior (AI), el cual es un flujo aglomerádico de color marrón oscuro, compuesto mayormente por clastos subangulares a subredondeados de andesitas, con tamaños variados de hasta 0,4 m en una matriz mayormente tobácea y consolidada, con potencias de hasta 90 m. En los niveles superiores y con discordancias erosionales están: la Toba Superior (TS) con potencia de hasta 65 m, el Aglomerado Superior (AS) con potencia de hasta 50 m y la Andesita Porfírica (PA) (Concha y Valle, 1999).

#### **2.2.4 Estructuras**

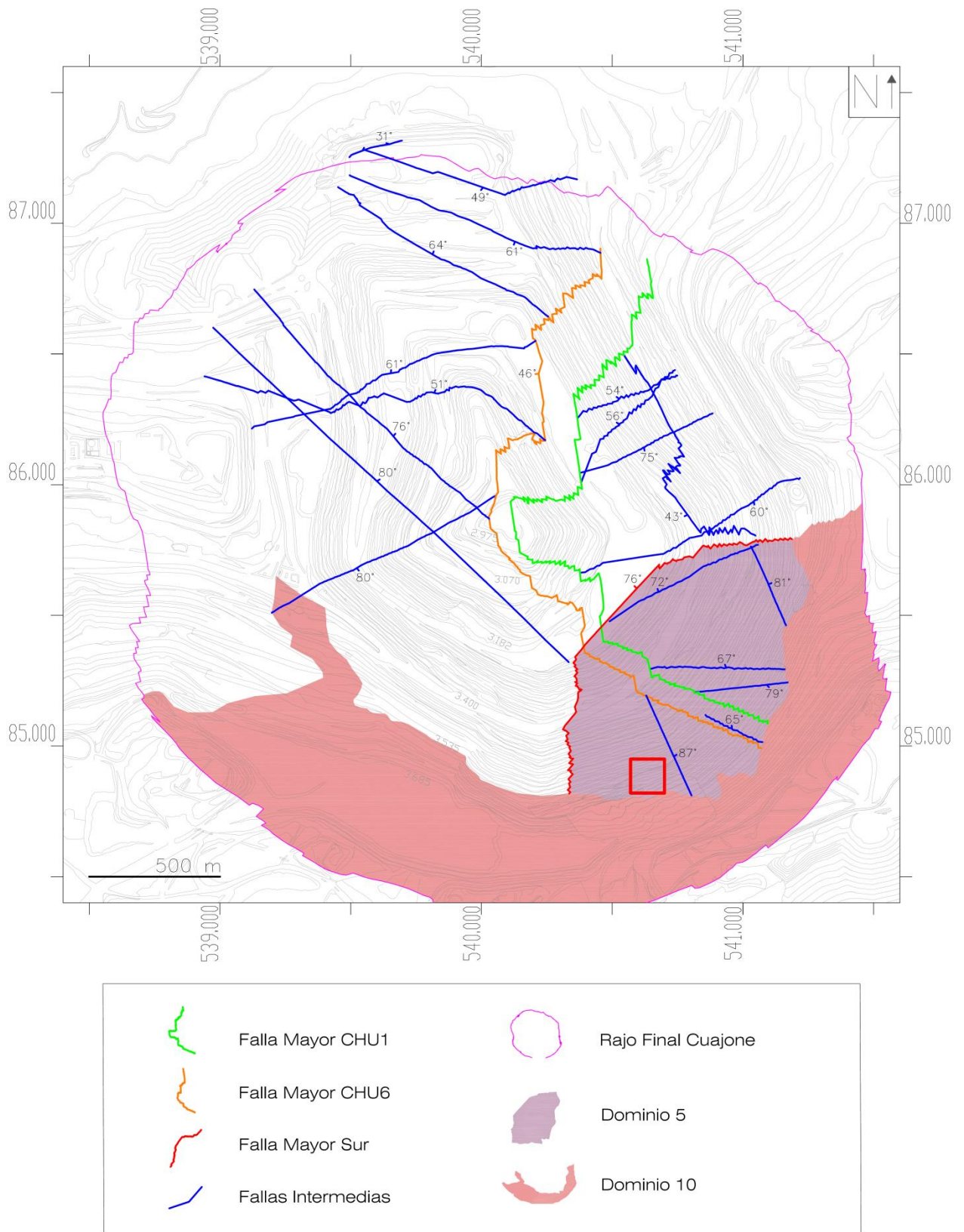
En la Figura 2. 6 se presentan las discontinuidades estructurales de mayor relevancia en el yacimiento Cuajone, levantadas por el equipo de Geotecnia de Mina Cuajone. Estas discontinuidades comprenden: las fallas mayores Sur, Chuntacala 1 y Chuntacala 6; y fallas intermedias. También se presentan los dominios estructurales 5 y 10, encontrándose la zona de estudio dentro del primero, casi en el límite con el segundo.

Las fallas mayores Chuntacala 1 y Chuntacala 6 tienen orientación similar con rumbo N-S y NW, y manteo  $46^{\circ}W$ . Estas fallas presentan evidencias de fallamiento de rumbo dextral y acortamiento.

La falla mayor Sur corresponde a una falla normal con caída del bloque norte; de orientación NE-SW y manteo  $76^{\circ}$ . Las fallas intermedias, de menor envergadura a las anteriores, tienen orientaciones preferentes NW (inversas) y NE (normales).

El Dominio 5 se encuentra principalmente sobre riolita porfírica al sur y andesita basáltica al norte. Este dominio está limitado por el norte y oeste con la falla mayor Sur y por el sur, mediante contacto litológico, con el Dominio 10. Para el Dominio 5 se reconocen los sistemas estructurales 1: WNW/subvertical, 2: NW/subvertical, 6: ENE/ $35^{\circ}$ - $55^{\circ}N$ , 8: NE/subvertical, 12: WNW/ $40^{\circ}$ - $50^{\circ}S$  y 14: NNW/ $60^{\circ}W$ .

El Dominio 10 se encuentra en una secuencia volcanoclástica que incluye traquitas, tobas, conglomerado riolítico y aglomerado traquítico. Limitado por el norte con los dominios 5 y 7 (dominio ubicado inmediatamente al oeste del Dominio 5), encontrándose abierto en otras direcciones. Para el Dominio 10, se reconocen los sistemas estructurales: 1, 2, 6, 8, 9: N-S/subvertical y 10: NNW/ $35^{\circ}$ - $50^{\circ}S$  (Memorando interno SRK, 2014: M\_01-1086-04\_SRK\_SPCC\_20141006\_RevA).



**Figura 2. 6: Estructuras locales del yacimiento Cuajone y dominios estructurales 5 y 10. En sistema de coordenadas locales. Topografía pata-cresta para el rajo. El rectángulo en rojo indica la zona de estudio del presente trabajo, delimitado por las coordenadas locales 540.570-540.700 Este y 84.820-84.950 Norte. Modificado de memorando interno SRK, 2014: M\_01-1086-04\_SRK\_SPCC\_20141006\_RevA.**

## CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA GENERAL

Como se indicó en la Sección 1.5, aquí se detalla la metodología general utilizada en el presente trabajo.

Se recogió información de 3 bancos consecutivos dentro del cuadrángulo de estudio (ver Figura 1. 2), los cuales fueron investigados a fines de 2013 en un periodo de 3 semanas, más una semana previa de inducción y coordinación logística. Cada banco fue subdividido en intervalos y la captura de datos se realizó principalmente gracias a mapeo por línea de detalle.

### 3.1 MÉTODO DE MAPEO

#### 3.1.1 Mapeo por línea de detalle

La información correspondiente a las discontinuidades (ver ANEXO 1: Glosario) existentes en el macizo rocoso fue obtenida gracias a la técnica *scanline mapping*: mapeo por línea de detalle (Priest y Hudson, 1981). Este método consiste en un muestreo geológico utilizando una línea extendida a lo largo de la cara del banco, donde a lo largo de ella, se toma lectura de la información propia de cada una de estas discontinuidades; entendiéndose por esto su orientación, persistencia, abertura, relleno mineral, rugosidad, etc.

Las líneas generadas fueron 1 horizontal y 2 verticales por banco. El detalle de su localización, extensión y orientación media se muestra en las siguientes tablas:

Tabla 3. 1: Ubicación, extensión y orientación de las líneas de detalle horizontales.

Banco	Coordenada local inicial (Este; Norte; Altitud)	Coordenada local final (Este; Norte; Altitud)	Extensión (m)	Orientación azimutal	Manteo
1	540666,233; 84868,445; 3610,063	540618,784; 84852,923; 3609,45	50	67°	0°
2	540661,634; 84888,994; 3595,102	540613,484; 84876,144; 3595,48	50	71°	0°
3	Sin Información	Sin Información	40	67°	0°



**Tabla 3. 2: Ubicación, extensión y orientación de las líneas de detalle verticales.**

Banco	ID línea vertical	Metraje de intersección con la línea de detalle horizontal	Extensión (m)	Orientación azimutal	Manteo
1	BCO1_V1	1,78	1,85	345°	66°
1	BCO1_V2	34,4	2,3	343°	54°
2	BCO2_V1	2,8	2,15	349°	60°
2	BCO2_V2a (superior)	17	1,14	350°	70°
2	BCO2_V2b (inferior)	17	0,91	350°	84°
3	BCO3_V1	6,22	1,8	0°	75°
3	BCO3_V2a (inferior)	24,81	1,2	0°	77°
3	BCO3_V2b (superior)	24,81	1,1	0°	68°



**Figura 3. 1: Línea de detalle en la cara del banco 3, entre los metrajes 36-40. Los marcadores verticales están espaciados cada 2 m. La altura del banco es de 15 m (imagen con distorsión angular debido a la cercanía con la cara del banco).**

De la información presentada en las Tablas 3. 1 y 3. 2, se debe tener presente que: 1) los bancos 1, 2 y 3 están situados uno sobre otro, siendo 1 el superior, 2 el central y 3 el inferior; 2) si bien no se tienen las coordenadas de la línea de detalle del banco 3, ésta se sitúa bajo el banco 2, con un desplazamiento aproximado de 20 m en dirección SW; 3) las orientaciones azimutales, como así también las presentadas más adelante en este trabajo, incluyen la corrección por declinación magnética correspondiente (ver Sección 3.5).

Las líneas de detalle horizontales fueron trazadas agregando marcadores verticales cada 2 metros y manteniendo nula variación angular respecto a la horizontal; lo cual fue logrado gracias a la ayuda de las burbujas de nivelación de la brújula tipo Brunton utilizada. Las líneas no son continuas, sino discretas debido a “saltos” forzados en su extensión (Figura 3. 2), producto del deslizamiento de material disgregado en las partes superiores del banco o del cese del piso en las capas inferiores y/o inmediatas; lo cual, además de los saltos —de hasta 1,2 m en la vertical—, generó subintervalos donde no fue posible el mapeo (ver Tabla 4. 1, en Sección 4.3.1).



Figura 3. 2: Saltos en la línea de detalle. Banco 2, entre los metrajes 8-14.

Con objeto de lidiar con los problemas derivados a los saltos en la línea de detalle, se asume cierto grado de homogeneidad de las discontinuidades del macizo, al menos dentro de los intervalos previamente definidos. Luego, nodos no conectados se consideran unidos, evitando así el problema de corregir constantemente (vía correcciones geométricas y de proyección de las discontinuidades) el metraje de pertenencia de datos mapeados. No obstante, cuidando no repetir el registro de datos y teniendo presente que puede haber pérdida de información<sup>11</sup>.

---

<sup>11</sup> Casos en que discontinuidades caen entre nodos de la línea de detalle desconectada, se asignan pertenecientes al metraje donde estos nodos se unen virtualmente.

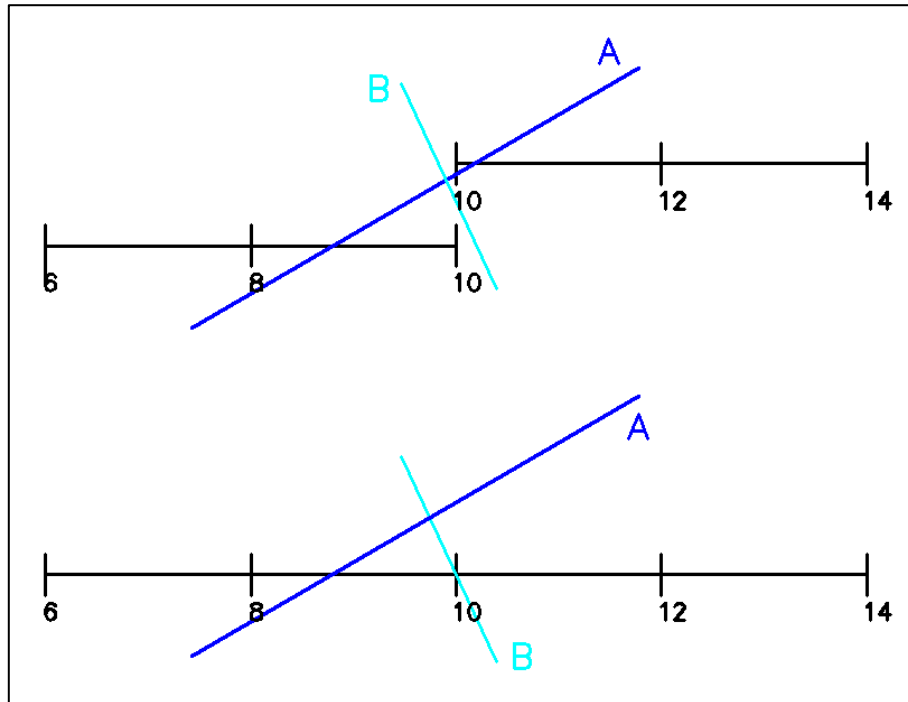


Figura 3. 3: Línea de detalle discreta —con salto— (arriba), considerada como continua (abajo). Marcadores verticales cada 2 metros.

En la Figura 3. 3 se muestra una línea de detalle discretizada, donde en el metraje 10 se produce un salto. Esta línea se puede considerar continua, al unir esos nodos. Las discontinuidades A y B grafican problemas en el registro de discontinuidades para el caso discreto: a) La discontinuidad A aparece dos veces (en el metraje  $\sim 8,8$  y  $\sim 10,2$ ), por lo que al mapearla se ha de tener cuidado, anotándola una sola vez (se registra la primera vez que aparece). b) La discontinuidad B no aparece sobre ninguna de las dos partes de la línea, pudiendo provocar la pérdida del dato. Para evitar esto, se asigna al metraje donde los nodos se unen virtualmente (en este caso al 10). El caso continuo no cuenta con estos inconvenientes.

### 3.1.2 Equipos

Para la medición de las orientaciones de las discontinuidades se utilizó una brújula estructural tipo Brunton, marca del mismo nombre, modelo 5010 “GEO Pocket Transit” (Figura 3. 4). Para el trazado de la línea de detalle y registro de marcadores verticales se sirvió del uso de una huincha metálica de acero inoxidable de 50 m, marca BMI Ergoline, modelo 1473-N (Figura 3. 5: imagen referencial huincha 30 m). Resto del equipo constó de cámara fotográfica, huincha de mano, aerosol marcador, mapera, geoflex a distintas escalas y artículos básicos de oficina.



Figura 3. 4: Brújula estructural Brunton, modelo 5010.



Figura 3. 5: Huincha de acero inoxidable 30 m, BMI Ergoline.

### 3.2 REGISTRO FOTOGRÁFICO

Se requiere de una acabada documentación fotográfica como respaldo histórico visual de la condición del macizo rocoso en el momento en que fue realizado el mapeo y también como material de apoyo a ser utilizado en el posterior trabajo de gabinete.

Se realizó un registro fotográfico de toda la pared del macizo para los tres bancos. Para esto se efectuaron toma de fotografías cada 2 metros —utilizando como guía los marcadores verticales en la línea de detalle—, de la vista general de la pared y del detalle en la línea a esa altura (ejemplos en Figuras 3. 6a y 3. 6b).

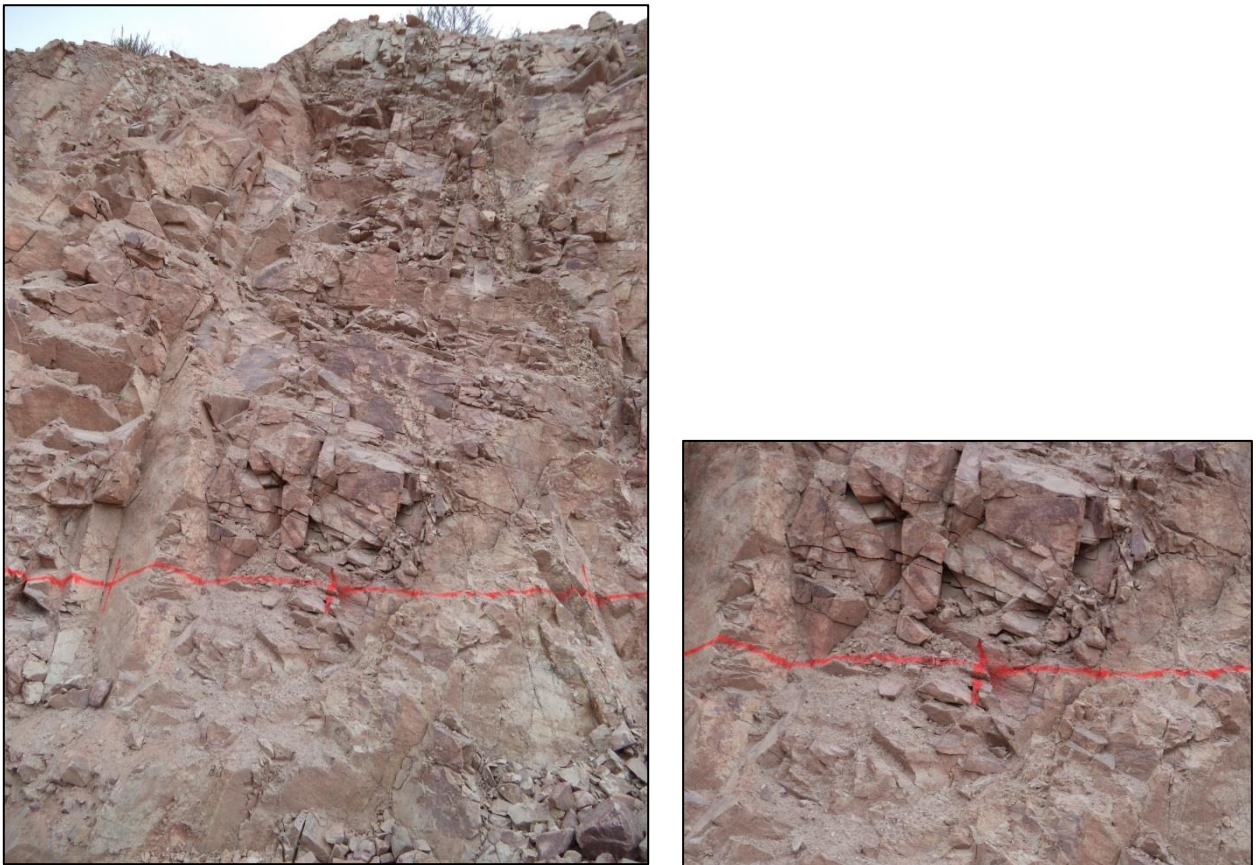


Figura 3. 6: a) (Izquierda) Vista general de la pared del banco 3, en el metraje 32. b) (Derecha) Detalle sobre la línea en el mismo metraje.

### 3.3 DESCRIPCIÓN DEL MACIZO ROCOSO

Los bancos, de altura 15 m cada uno, son caracterizados individualmente y subdivididos en intervalos diferenciados entre sí por sus características geológicas y estructurales particulares, vía inspección visual. Esto permite generar entradas suficientes para un cálculo de GSI (Hoek, 1994; Marinos y Hoek, 2000; Hoek et al.,

2013), sistema de clasificación geomecánica de gran utilidad en la descripción cualitativa del macizo rocoso (ANEXO 2).

Adicionalmente, se efectúa un registro a mano alzada según lo observado en terreno, de las familias de discontinuidades presentes en cada intervalo, de modo que sirva como herramienta de comparación, verificación y calibración de los datos mapeados y posteriormente procesados en gabinete.

**Tabla 3. 3: Descripción cualitativa del macizo rocoso y orientaciones de las caras de los bancos, por intervalo.**






































































	ID intervalo	Metraje inicial	Metraje final	Manteo de la cara del banco	Dirección de manteo de la cara del banco	Litología
<b>Banco 1</b>	A1	1,1	14,36	65°-75°	328°	Riolita
	A2	14,36	32,58	65°-75°	351°	Riolita
	A3	32,58	49,53	65°-75°	355°	Riolita
<b>Banco 2</b>	B1	0	6	65°-75°	332°	Riolita
	B2	6	25,21	65°-75°	350°	Riolita
	B3	25,21	46	65°-75°	342°	Riolita
	B4	46	49,95	65°-75°	342°	Riolita
<b>Banco 3</b>	C1	0	6	65°-75°	0°	Riolita
	C2	6	12	65°-75°	345°	Riolita
	C3	12	20	65°-75°	340°	Riolita
	C4	20	28	65°-75°	340°	Riolita
	C5	28	40	65°-75°	355°	Riolita

	ID intervalo	IRS	Grado de meteorización	GSI		Forma de los bloques
				Estructuras	Cond. Superficies	
<b>Banco 1</b>	A1	R4-R5	II	Very Blocky +	Good	Romboidal
	A2	R4-R5	II	Very Blocky -	Good	Romboidal
	A3	R4-R5	II	Very Blocky -	Good-Very Good	Romboidal
<b>Banco 2</b>	B1	R4-R5	II	Very Blocky -	Good	Romboidal
	B2	R4-R5	II	Very Blocky +	Good	Romboidal
	B3	R3-R5	II	Very Blocky +	Good-Fair	Romboidal
	B4	R4-R5	II	Very Blocky +	Good	Romboidal
<b>Banco 3</b>	C1	R4-R5	II	Very Blocky -	Good	Romboidal
	C2	R4-R5	II	Very Blocky -	Good	Romboidal
	C3	R4-R5	II	Very Blocky +	Good	Romboidal
	C4	R4-R5	II	Very Blocky -	Good	Romboidal
	C5	R4-R5	II	Very Blocky +	Good	Romboidal

De la información que se desprende de la Tabla 3. 3, se tiene que la pared del macizo se inclina típicamente 70° respecto a la horizontal, con dirección de manteo N y NNW; consistiendo en una riolita de resistencia fuerte a muy fuerte (Tabla 3. 5), levemente meteorizada (Tabla 3. 6), cuyos bloques que se generan producto del fracturamiento tienen una forma típicamente romboidal (Dearman, 1991). La clasificación GSI indica

que estructuralmente es muy blocosa<sup>12</sup>, mientras que la condición de la superficie de las discontinuidades es buena. Las definiciones y categorías de IRS (Intact Rock Strength) y Grado de meteorización, se exponen más adelante en las secciones 3.4.1.1 y 3.4.1.2, respectivamente.

Tabla 3. 4: Representación gráfica de las orientaciones de las familias de discontinuidades estructurales observadas en terreno.

	ID intervalo	Orientaciones de las familias de discontinuidades observadas en terreno														
Banco 1	A1						40		40		35					
	A2								40							
	A3						60			40						
Banco 2	B1					60			40							
	B2					60			40							
	B3					60			40							
	B4					60										
Banco 3	C1					70		60		40						
	C2					70		60		40						
	C3					70		60		40		40				
	C4					70		60		40		60		70		60
	C5					60			40		60		70			

<sup>12</sup> GSI no subdivide la categoría Very Blocky; no obstante, en el presente estudio se usa la condición (+) para expresar una mayor blocosidad que la condición (-), para incrementar el detalle en la caracterización.



En la Tabla 3. 4 se muestra gráficamente las orientaciones principales que se observaron en terreno, para cada intervalo en sus respectivos bancos. Es importante tener claro que éstas fueron tomadas a mano alzada por inspección visual del banco y por ende carecen de la precisión que sí poseen los datos duros tomados gracias a la instrumentación utilizada. No obstante, son un importante elemento para validar y encontrar sentido a interpretaciones posteriores realizadas en gabinete.

### **3.4 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS Y GEOMECÁNICAS DE LAS DISCONTINUIDADES**

Las distintas características geológicas y geomecánicas propias a las discontinuidades, y al macizo rocoso en general, se registran a medida que se va recorriendo la línea de detalle. Dos cartillas de mapeo fueron creadas para este propósito: una abocada a registrar las características inherentes a las discontinuidades y otra al fracturamiento y condición geológica general del macizo rocoso (ANEXO 3).

A continuación se presentan definiciones utilizadas en este trabajo, para distintas características registradas.

#### **3.4.1 Definiciones**

##### **3.4.1.1 Resistencia de las paredes de las fracturas**

Resistencia a la compresión de las paredes de la discontinuidad, que puede ser menor que el bloque rocoso circundante (ISRM, 1978). Esta resistencia es determinada por la condición de las paredes en fracturas limpias; y del tipo, forma y espesor del relleno mineral para fracturas que cuenten con él (Palmström, 2001). De ahí que la resistencia de las paredes esté directamente ligada a su meteorización.

La medición de la resistencia a la compresión se realiza mediante diversos ensayos, como por ejemplo: de carga puntual, de compresión no confinada (UCS) y de martillo de Schmidt. En este trabajo se utilizó la estimación en campo del UCS aportada por el ISRM (1978) (Tabla 3. 5), para la resistencia de las paredes de las fracturas y para el macizo rocoso (IRS).

**Tabla 3. 5: Estimación aproximada del UCS en terreno (ISRM, 1978)<sup>13</sup>.**

Grado	Descripción	Identificación en terreno	Rango aproximado de UCS (MPa)
S1	Arcilla muy blanda	Penetrada fácilmente varias pulgadas por el puño.	<0,025
S2	Arcilla blanda	Penetrada fácilmente varias pulgadas por el pulgar.	0,025-0,05
S3	Arcilla firme	Puede ser penetrada fácilmente varias pulgadas por el pulgar, con moderado esfuerzo.	0,05-0,1
S4	Arcilla rígida	Fácilmente endentado por el pulgar, pero penetrado sólo con gran esfuerzo.	0,1-0,25
S5	Arcilla muy rígida	Fácilmente endentado por el pulgar.	0,25-0,5
S6	Arcilla dura	Endentado con dificultad por el pulgar.	>0,5
R0	Roca extremadamente débil	Endentado por el pulgar.	0,25-1
R1	Roca muy débil	Se disgrega al ser golpeada firmemente con la punta del martillo geológico. Puede ser escarbado por una navaja.	1-5
R2	Roca débil	Difícilmente escarbada por una navaja. Endentada superficialmente por firmes golpes con la punta del martillo geológico.	5-25
R3	Roca medianamente fuerte	No puede ser raspada o escarbada con una navaja. Puede ser fracturada por un fuerte golpe con el martillo geológico.	25-50
R4	Roca fuerte	La muestra requiere más de un golpe con el martillo geológico para ser fracturada.	50-100
R5	Roca muy fuerte	La muestra requiere muchos golpes con el martillo geológico para ser fracturada.	100-250
R6	Roca extremadamente fuerte	La muestra puede solamente ser astillada con el martillo geológico.	>250

### 3.4.1.2 Meteorización

Según The Geological Society<sup>14</sup>, corresponde a la descomposición de rocas en la superficie de la Tierra por acción de lluvias, temperaturas extremas y actividad biológica; sin involucrar remoción de material.

Algunas veces las rocas sufren alteración por procesos hidrotermales, los cuales conjunto a la meteorización, afectan generalmente más a las paredes de las discontinuidades que al interior de los bloques de roca (ISRM, 1978). La alteración hidrotermal está muy unida a la meteorización, en cuanto al proceso de degradación del

<sup>13</sup> Esta tabla fue posteriormente ampliada por Marinos y Hoek (2000) para incluir equivalencia al ensayo de carga puntual, manteniendo las equivalencias de MPa para el UCS. No sucede así en EN ISO 14689-1 (en Norbury, 2010), donde para "Roca extremadamente débil" la equivalencia a MPa varió a 0,6-1.

<sup>14</sup> Sociedad geológica del Reino Unido fundada en 1807.

macizo rocoso se refiere —ver Ulusay, 2013—, y en cuanto al efecto en la mineralogía es dificultoso diferenciar cuál proceso es el que principalmente provoca los cambios —ver May, 1994; Augustithis, 1995—. Es difícil dibujar la línea que deslinda entre meteorización y alteración dado que ésta incluye a la mayoría de los procesos de meteorización (en particular los químicos); y por otra parte, si meteorización es definida como proceso de alteración de la superficie, es difícil definir la profundidad a la cual estos procesos toman lugar puesto que la percolación de aguas superficiales y los efectos de su alteración son complicados de delimitar (Augustithis, 1995). Luego, hay que tener presente que no obstante se utiliza el término meteorización, las evidencias geológicas que permiten caracterizar y dar valor a este índice pueden tener una génesis distinta.

La descripción para el macizo rocoso y para las paredes de las discontinuidades se realiza de manera independiente (Tablas 3. 6 y 3. 7, respectivamente).

**Tabla 3. 6: Estimación de la meteorización del macizo rocoso (ISRM, 1978).**

<b>Término</b>	<b>Descripción</b>	<b>Grado</b>
Fresca	Sin signos visibles de meteorización. Quizás leve decoloración en las superficies de discontinuidades mayores.	I
Levemente meteorizada	Decoloración indica meteorización de la roca y de las superficies de las discontinuidades. Toda la roca puede estar decolorada por meteorización y puede estar más débil externamente que en su condición fresca.	II
Moderadamente meteorizada	Menos de la mitad de la roca está descompuesta y/o desintegrada a suelo. Roca fresca o decolorada está presente como un marco continuo.	III
Altamente meteorizada	Más de la mitad de la roca está descompuesta y/o desintegrada a suelo. Roca fresca o decolorada está presente como un marco discontinuo.	IV
Completamente meteorizada	Toda la roca está descompuesta y/o desintegrada a suelo. La estructura original del macizo está aún en gran parte intacta.	V
Suelo residual	Toda la roca está convertida a suelo. La estructura del macizo y la fábrica está destruida. Hay un gran cambio en el volumen, pero el suelo no ha sido transportado significativamente.	VI

**Tabla 3. 7: Estimación de la meteorización de las paredes de las discontinuidades (ASCE, 1972; en Bieniawski, 1990).**

<b>Término</b>	<b>Descripción</b>
No meteorizada	No se notan signos visibles de meteorización. La roca está fresca y los cristales brillan.
Levemente meteorizada	Las discontinuidades están manchadas o decoloradas y pueden contener un relleno delgado de material alterado. La decoloración puede extenderse dentro de la roca desde las superficies de las discontinuidades, a una distancia de hasta un 20% del espaciamiento de las discontinuidades.
Moderadamente meteorizada	Leve decoloración se extiende desde los planos de la discontinuidad por una distancia mayor que un 20% del espaciamiento de las discontinuidades. Éstas pueden contener relleno de material alterado. Se puede observar abertura parcial de los límites de los granos.
Altamente meteorizada	La decoloración se extiende a través de la roca, y el material rocoso es parcialmente friable. La textura original de la roca se ha mantenido principalmente preservada, pero ha ocurrido separación de los granos.
Completamente meteorizada	La roca está totalmente decolorada, descompuesta y en una condición friable. La apariencia externa es la de un suelo. Internamente, la textura de la roca está parcialmente preservada, pero los granos han sido totalmente separados.

### 3.4.1.3 Abertura

Distancia perpendicular separando la roca adyacente de una discontinuidad abierta, donde este espacio es intervenido por aire o agua (ISRM, 1978). En este trabajo se consideran las dimensiones de la abertura como rangos de valores (Tabla 3. 8), según se categorizan en el sistema de clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989), por ser este sistema de conocimiento y uso en Mina Cuajone y por practicidad en la aplicación de la categorización misma.

**Tabla 3. 8: Categorización para la abertura (Bieniawski, 1989).**

<b>Abertura (mm)</b>
Sin separación
< 0,1
< 1
1-5
> 5

#### 3.4.1.4 Persistencia

Idealmente se desea conocer el plano que contiene una discontinuidad; ya sea su forma, como su extensión areal. Lamentablemente el adquirir este dato, es en la práctica, imposible. Lo que se puede observar de las discontinuidades, es su proyección sobre otro plano: en este estudio, sobre la cara del banco. Esta proyección puede ser un plano (parte del original) como bien simplemente una línea, lo que en la literatura se conoce por *trace length*. Esta proyección, simplificada como un elemento bidimensional (línea) es lo denominado en este trabajo como Persistencia.

Otra dificultad adicional, es la precisión y exactitud en la medición de esta proyección en un mapeo tradicional por inspección visual. La Figura 3. 7 muestra un ejemplo práctico de esta situación. Ahí se exponen explícitamente 3 fracturas: d1, d2 y d3 como elementos bidimensionales sobre el banco y se desea saber su persistencia, o sea la extensión de esta línea. Distintas mediciones o mejor dicho “estimaciones” respecto a esta extensión, gracias a un mero cálculo visual realizado por distintas personas, dará inequívocamente valores diferentes. Si extendemos estas mediciones a un gran número, se tendrá precisión debido a que se convergerá a un cierto valor en específico, pero hay que tener presente la nula practicidad de la situación anterior. Suponiendo que se lograra cumplir tener precisión, no necesariamente pasaría lo mismo con la exactitud. Utilizando como ejemplo la fractura d1, se puede asumir que no es difícil calcular visualmente su persistencia, ayudado con los marcadores verticales de la línea de detalle (se ubican cada 2 metros) y a que la fractura es prácticamente vertical —con fracturas horizontales sería más fácil aun—. Pero hay que considerar además que el banco no es un plano completamente vertical, sino que está inclinado, lo que implica que la persistencia es posiblemente mayor a lo que uno supondría. Claramente persistencias más difíciles de deducir son las pertenecientes a d2 y d3, donde no es de extrañar cometer errores cercanos a un 20-30% de exactitud.

Con la intención de mejorar en lo posible la precisión y exactitud de las mediciones, se ha creado una metodología para adquirir el parámetro persistencia. En la Figura 3. 7 se puede observar que la fractura d3 se ha descompuesto en una componente horizontal (d3\_h) y otra vertical (d3\_v), paralela y perpendicular a la línea de detalle respectivamente, las cuales son las anotadas en la cartilla de mapeo. La componente horizontal es fácil de medir gracias a los marcadores verticales de la línea de detalle, mientras que la vertical se obtiene comparando mediante uso de razones de proporcionalidad con la altura H del banco (conocida)<sup>15</sup>. Luego, gracias a relaciones

---

<sup>15</sup> En este punto uno podría suponer que para la componente vertical, es mejor obtener razones con respecto a la línea de detalle, lo cual en la práctica es más difícil a lo propuesto aquí: respecto a una altura H conocida. Considerar que la fotografía de la Figura 3. 7, al igual que otras similares que muestran la cara del banco, poseen distorsión angular con la vertical debido a la cercanía al banco conque fueron capturadas las imágenes. La altura de los bancos son típicamente 15 m.

geométricas y análisis numéricos-gráficos, se obtiene el valor buscado de la persistencia. Esto es tratado en la Sección 4.2.

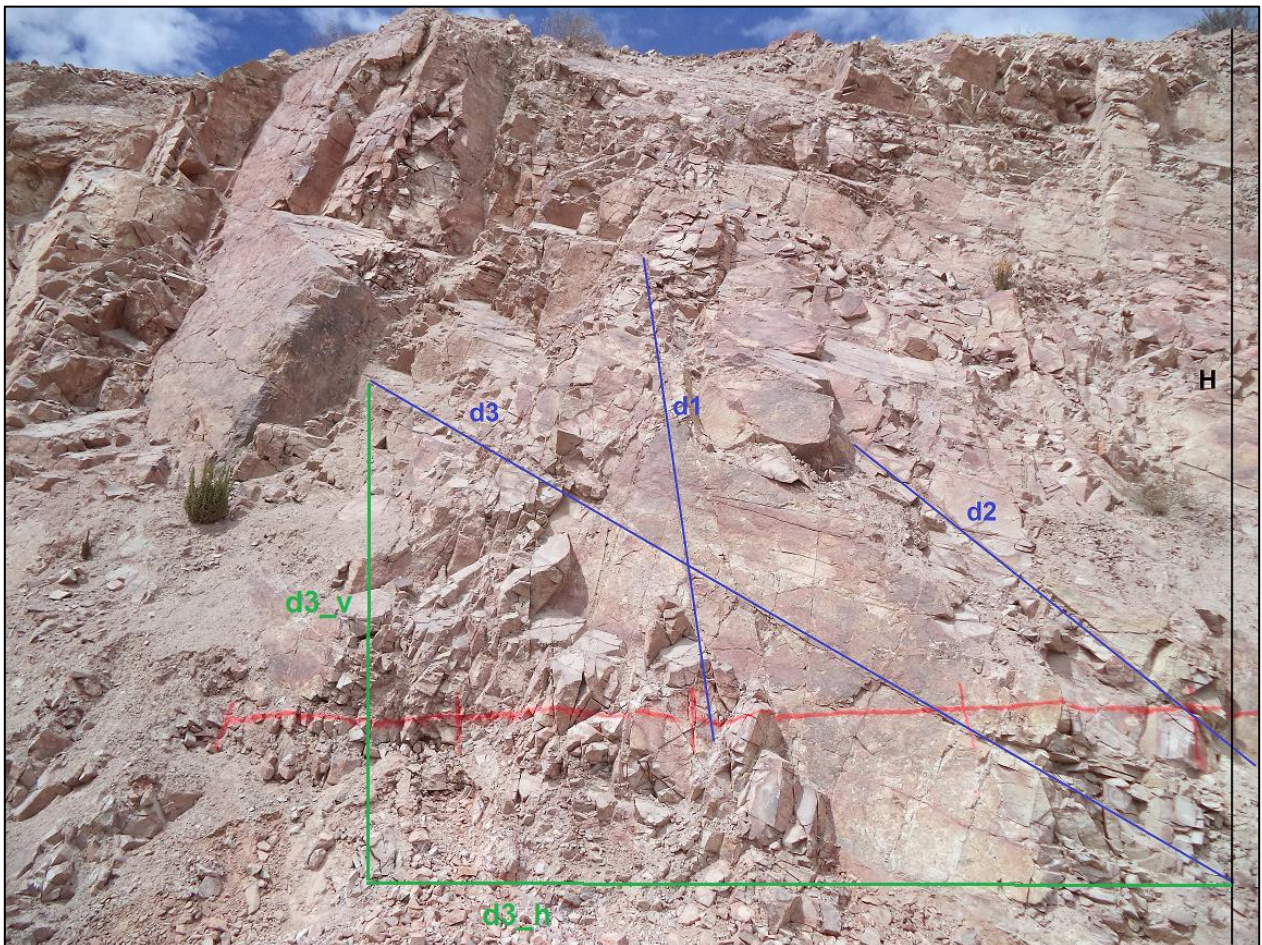


Figura 3. 7: Persistencias de fracturas reflejadas en la cara del banco, donde d3 se ha descompuesto en sus componentes horizontal y vertical.

#### 3.4.1.5 Rugosidad

La rugosidad de una discontinuidad puede ser caracterizada por su ondulación a gran escala y por su suavidad o irregularidad a escala pequeña (ISRM, 1978). En este trabajo se caracteriza a escalas pequeña, media y grande. Para la primera, se procede a examinar la superficie de la discontinuidad con las yemas de los dedos y comparar con los criterios de la Tabla 3. 10. Para la escala media, se procede a comparar la superficie de la discontinuidad con la tabla de perfiles escalados a 10 cm (Tabla 3. 9), buscando el perfil que más se asemeje. Para la escala grande, se usa el mismo procedimiento que para la media, pero utilizando los perfiles de la Tabla 3. 9 escalados a 1 m.



**Tabla 3. 10: Rugosidad a escala pequeña (Palmström, 1995).**

<b>Término</b>	<b>Descripción</b>
Muy rugosa	Escalonamientos verticales y crestas con un efecto de enclavamiento en la superficie de la discontinuidad.
Rugosa	Son evidentes algunas crestas y escalonamientos semi verticales. Asperezas son claramente visibles. La superficie de la discontinuidad se siente muy abrasiva (más rugosa que "papel de lija" grado 30 ).
Ligeramente rugosa	Son distinguibles asperezas en la superficie de la discontinuidad y pueden ser sentidas al tacto (como "papel de lija" grado 30-300).
Lisa	Superficie aparece suave y así mismo puede sentirse al tacto (más suave que "papel de lija" grado 300).
Pulida	Existe evidencia visual de pulimento. Esto es frecuentemente visto en recubrimientos de clorita y especialmente de talco.
Espejo de falla	Superficie pulida y estríada producto de la fricción a lo largo de la superficie de una falla u otro movimiento superficial.

### **3.4.2 Características generales de las discontinuidades.**

Las fallas presentes se identifican a escala de banco, cruzándolo completamente, sin apreciarse cotas superiores para su persistencia. Se distinguen por su estriamiento y zona de daño asociada, sin observarse movimiento relativo. Tienen relleno de arcilla, espesores desde 5 hasta 20 cm y resistencia de sus paredes débil. De rumbo preferencial NW y NNW, con manto variable.

Las diaclasas tienen orientación, persistencia y abertura muy variables. Rellenas prácticamente todas por pátinas de óxidos de hierro y eventualmente por arcillas. Estas últimas se presentan típicamente en diaclasas de gran persistencia y abertura, o en zonas en que interaccionan numerosas discontinuidades —ya sean sólo diaclasas o también con fallas—. Las paredes de las diaclasas están por lo general levemente meteorizadas (Tabla 3. 7) y con resistencia fuerte (Tabla 3. 5), salvo los casos en que presentan rellenos de arcillas, donde sus paredes tienen resistencias que van de débil a medianamente fuerte. En cuanto a la rugosidad: a escala pequeña son rugosas (Tabla 3. 10), a escala media se ajustan por lo general al perfil 5 (Tabla 3. 9) y en menor



medida al 3 y 4, y para la escala grande se dispersan equitativamente entre los perfiles 3 a 5 (Tabla 3. 9).

Detalle de la orientación, abertura y persistencia para cada discontinuidad en específico, posterior correcciones y cálculos geométricos pertinentes —teoría y desarrollo a ver—, como así también otros datos de relevancia, se presenta en la Tabla A4. 1 (ANEXO 4).

### **3.5 CORRECCIÓN POR DECLINACIÓN MAGNÉTICA**

La corrección por declinación magnética se realiza con el International Geomagnetic Reference Field, modelo 11 (IGRF-11) (Finlay et al., 2010); el cual es una descripción matemática estándar del campo magnético de la Tierra. Según el cual a la fecha de 05 de Diciembre de 2013 y con coordenadas geográficas 17,052° Latitud Sur y 70,700° Longitud Oeste, se tiene una declinación de 4,83° Oeste con una tasa de cambio anual de 0,18°.

Como

$$\text{Norte Geográfico} = \text{Norte Magnético} \pm \text{Declinación Magnética}$$

$$\text{Norte Geográfico} = \text{Norte Magnético} - \text{Declinación Oeste}$$

Entonces para el yacimiento Cuajone, según IGRF-11 al 05 de Diciembre de 2013:

$$\text{Norte Geográfico} = \text{Norte Magnético} - 4,83^\circ$$

Esta corrección ha de realizarse a todos los elementos (líneas y planos) cuyas orientaciones en el espacio fueron obtenidas con ayuda de la brújula, afecta a este error.

### **3.6 ANÁLISIS ESTRUCTURAL**

Se realiza el análisis estructural con objeto de identificar las familias de discontinuidades presentes en el macizo rocoso: la orientación general de cada una de ellas y sus posibles equivalencias para los 3 bancos mapeados. Además, este análisis es fundamental para asignar una firma característica de pertenencia a cada discontinuidad, y así poder agruparlas en conjuntos únicos para el estudio de sus parámetros de fracturamiento a examinar.

Para el análisis se hace uso de estereogramas, donde se plotean las orientaciones de las discontinuidades. Para esto se utiliza el programa Dips<sup>16</sup>, el cual dentro de sus capacidades genera contornos que permiten representar estadísticamente concentraciones de polos mediante el método de distribución de Fisher (Fisher, 1953), cuya función de densidad de probabilidad utiliza como parámetros de entrada la desviación angular del vector de orientación medio y el factor de dispersión (también conocido como constante K de Fisher).

Los resultados son presentados en la Sección 5.1. Previamente, hay que tener presente consideraciones de errores producto de la geometría y definir criterios base para la determinación de familias de fracturas:

### 3.6.1 Correcciones geométricas

Al medir orientaciones de discontinuidades hay un sesgo a favor de aquellas que son perpendiculares al eje de mapeo (o plano, según sea el caso). Esto se ilustra en la Figura 3. 8a, donde se aprecia que claramente habrá un mayor registro de las orientaciones asociadas a la familia A, en desmedro de las asociadas a C, por la disposición del eje de mapeo; no importando en esto, que las familias se encuentren equidistantemente distribuidas.

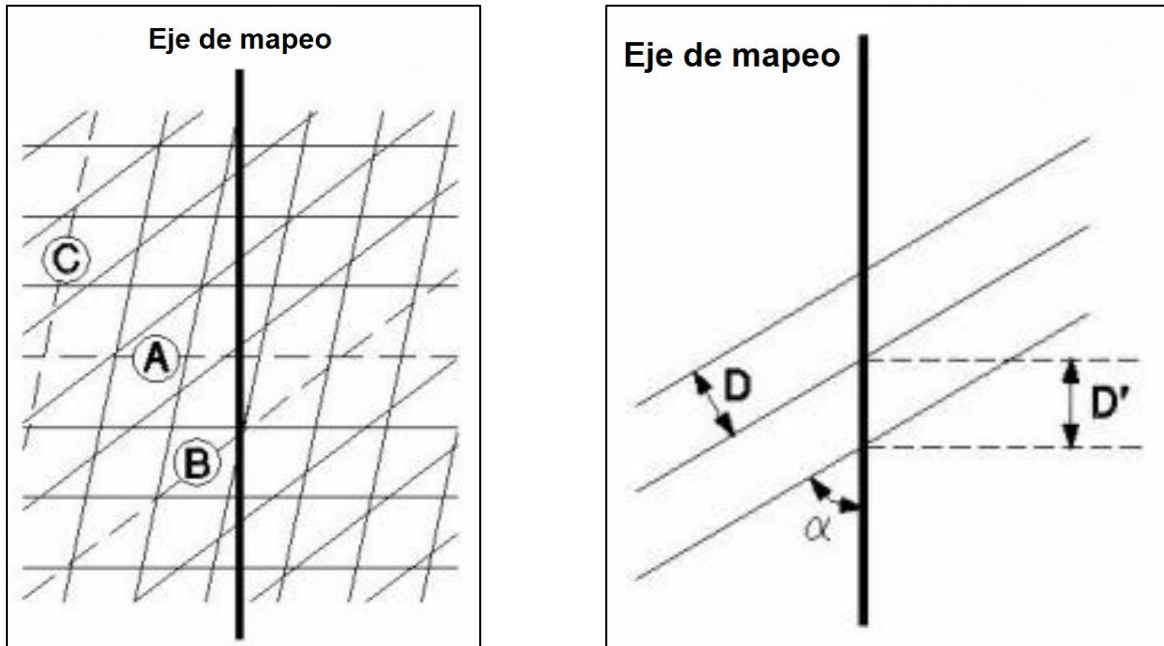


Figura 3. 8: a) (Izquierda) Sesgo en registro de orientaciones a través de un eje. b) (Derecha) Relaciones geométricas entre el espaciamiento de las orientaciones y su medida en un eje. Modificadas de Rocscience Inc. [en línea, julio de 2014].

<sup>16</sup> Dips, versión 6. Programa desarrollado por Rocscience Inc., para el análisis y visualización de información estructural, emulando una red estereográfica.

Es importante considerar este problema al realizar el análisis estructural. Por tal motivo es que al estudiar cómo se distribuyen las discontinuidades mediante el uso de redes estereográficas esféricas, se aplica un factor de ponderación geométrico a cada una de las orientaciones, para así compensar este sesgo. De la Figura 3. 8b se tiene que:

$$D = D' \times \sin \alpha$$

, donde

- $\alpha$  = mínimo ángulo entre la discontinuidad y el eje
- $D'$  = espaciamiento aparente de las discontinuidades por el eje
- $D$  = espaciamiento real de las discontinuidades

La frecuencia está determinada por el inverso de este espaciamiento  $D$ , siendo el factor de ponderación geométrico  $1/\sin \alpha$ , el cual puede ser aplicado a cada discontinuidad. Esta es la llamada corrección de Terzaghi (Terzaghi, 1965). Notar que a bajos valores de  $\alpha$ , el valor del factor se hace muy grande; por tal motivo se utiliza típicamente un mínimo de  $15^\circ$ .

### 3.6.2 Determinación de familias de fracturas

Se utilizan los siguientes criterios para la determinación de las familias de fracturas:

- La determinación de las familias de fracturas es realizada por banco, de manera independiente uno de otro.
- No se pretende encontrar familias principales, sino existentes. Para poder determinar a cual pertenece cada fractura.
- Se consideran todas las fracturas presentes: diaclasas y fallas, analizándolas en conjunto. La inspección en terreno y posteriormente la revisión de los resultados entregados por los estereogramas permite establecer que ambos tipos de fractura están intrínsecamente ligados, como elementos de un mismo grupo.
- La corrección de Terzaghi, si bien es un factor importante a considerar, se utiliza como mera herramienta de calibración de la distribución de concentraciones de polos, más que como definidor de límites de familias. Se tiene muy presente el efecto enmascarador que puede tener.
- Se usan como guía los estereogramas obtenidos individualmente por intervalo de mapeo, para definir casos en que haya duda respecto a la pertenencia de determinada fractura a una u otra familia. Las fracturas tienden a agruparse de manera diferente a medida que se progresa en la línea de detalle, luego para

intervalos con mayor distancia entre sí, se pueden generar conflictos de pertenencia para fracturas con orientaciones semejantes.

- Se consideran las orientaciones principales tomadas en terreno a mano alzada (Tabla 3. 4, en Sección 3.3), para validar las familias determinadas en gabinete. Esto es clave en el caso de dudas en la existencia de alguna de ellas.

### 3.7 FDP: CONCEPTO TEÓRICO Y METODOLOGÍA PARA SU OBTENCIÓN

Los parámetros de fracturamiento, entendidos como características observables y medibles propias del macizo rocoso, se pueden considerar como elementos cuantificables de valor impredecible: variables aleatorias; que además no están restringidas a valores determinados, sino que pueden tomar cualquiera dentro de un rango establecido; o sea, de naturaleza continua. Estas variables aleatorias continuas, pueden ser descritas por funciones de densidad de probabilidad.

#### 3.7.1 Conceptos básicos de probabilidad y estadística

##### 3.7.1.1 Espacio muestral

Se le denomina así al conjunto de todos los resultados posibles de un experimento aleatorio, y punto muestral a cada uno de estos resultados.

##### 3.7.1.2 Variable aleatoria

Una variable aleatoria es una función que asocia un número real con cada elemento del espacio muestral.

Viéndolo en un ejemplo: Supóngase que se lanza una moneda dos veces de tal forma que el espacio muestral es {CC, CS, SC, SS}, siendo C: cara y S: sello. Se representa por  $X$  el número de sellos que pueden resultar. Con cada punto muestral se puede asociar un número para  $X$  como se muestra en la Tabla 3. 11. Para el caso SS se tiene  $X=2$ , mientras que para CS  $X=1$ . Como se observa,  $X$  cumple con la definición de variable aleatoria.

Tabla 3. 11: Ejemplo para variable aleatoria. Lanzamiento de monedas.

<i>Punto muestral</i>	CC	CS	SC	SS
$X$	0	1	1	2

Una variable aleatoria que toma un número finito o infinito contable de valores se denomina variable aleatoria discreta, mientras que una que toma un número infinito no contable de valores se llama variable aleatoria no discreta o continua.

### 3.7.1.3 Distribución de probabilidad continua

Sea  $X$  una variable aleatoria discreta, con valores posibles que puede tomar dados por  $x_1, x_2, x_3, \dots$ , ordenados en orden creciente de magnitud. Suponiéndose que los valores se asumen con probabilidades dadas por

$$P(X = x_k) = f(x_k) \quad k = 1, 2, \dots$$

La función de probabilidad se define:

$$P(X = x) = f(x)$$

, dada la probabilidad de que  $X$  tome el valor  $x$ . Y cumple:

1.  $f(x) \geq 0$
2.  $\sum_x f(x) = 1$

Si  $X$  es una variable aleatoria continua, la probabilidad de que  $X$  tome un valor determinado generalmente es cero. Por lo tanto no se puede definir una función de probabilidad en la misma forma que para una variable aleatoria discreta. En el caso continuo, es válido considerar una probabilidad de que  $X$  se encuentre entre dos valores diferentes.

Para una variable aleatoria continua, en analogía al caso discreto, se define la probabilidad de que  $X$  se encuentre entre los valores  $a$  y  $b$  como

$$P(a < X < b) = \int_a^b f(x) dx$$

y cumple:

1.  $f(x) \geq 0$

$$2. \int_{-\infty}^{\infty} f(x)dx = 1$$

Esta función  $f(x)$  es llamada función de densidad de probabilidad (FDP).

### **3.7.2 Herramienta para la obtención de FDP: Nociones de uso y aplicación del programa Crystal Ball**

Para encontrar las funciones de densidad de probabilidad que permiten modelar probabilísticamente los diversos parámetros de fracturamiento obtenidos, se utiliza el programa Crystal Ball<sup>17</sup>, el cual es una herramienta analítica inserta en Microsoft Excel<sup>18</sup> que permite utilizar técnicas de simulación en modelos de hoja de cálculo, para describir valores inciertos como un rango de valores con una distribución de probabilidades asociados. Esto lo logra gracias a simulaciones de Monte Carlo<sup>19</sup>, observando rangos de resultados posibles y la probabilidad de alcanzar cada uno de ellos.

Crystal Ball contrapone el set de datos entregados con distribuciones típicas (Tabla 3. 12), mediante un ajuste matemático, con objeto de determinar el conjunto de parámetros para cada distribución que mejor describa las características de estos datos. Luego genera un ranking en base a pruebas de bondad de ajuste, para encontrar la distribución que mejor los representa.



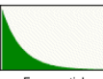
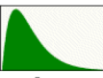
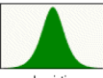
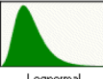
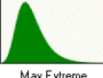
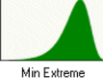

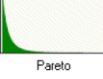
---

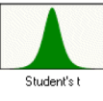





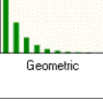
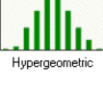
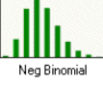
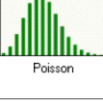


<sup>17</sup> Versión 11.1.2 (64 bits). Programa para modelamiento predictivo, desarrollado por Oracle Corporation.

<sup>18</sup> Aplicación de Microsoft Office para Hojas de Cálculo.

<sup>19</sup> Método estadístico numérico utilizado para aproximar expresiones matemáticas, que se basa en la realización de múltiples pruebas para encontrar los valores más probables.

**Tabla 3. 12: Distribuciones típicas y sus parámetros, utilizadas por Crystal Ball (Oracle, 2010).**

Distribution		Type	Parameter 1	Parameter 2	Parameter 3	Parameter 4
Beta		continuous	alpha (greater than 0.3, alpha + beta must be less than 1000)	beta (greater than 0.3, alpha + beta must be less than 1000)	maximum value	minimum value
BetaPERT		continuous	minimum value	likeliest value	maximum value	N/A
Exponential		continuous	rate (greater than 0)	N/A	N/A	N/A
Gamma		continuous	location	scale (greater than 0)	shape (greater than 0.05 and less than 1000)	N/A
Logistic		continuous	mean value	scale (greater than 0)	N/A	N/A
Lognormal		continuous	location	mean value	standard deviation value	N/A
Maximum extreme		continuous	likeliest	scale (greater than 0)	N/A	N/A
Minimum extreme		continuous	likeliest	scale (greater than 0)	N/A	N/A
Normal		continuous	mean value	standard deviation value	N/A	N/A
Pareto		continuous	location (greater than 0)	shape (greater than 0.05)	N/A	N/A

Student's t		continuous	midpoint	scale (greater than 0)	degrees of freedom (integer between 1 and 30, inclusive)	N/A
Triangular		continuous	minimum value	likeliest value	maximum value	N/A
Uniform		continuous	minimum value	maximum value	N/A	N/A
Weibull		continuous	location	scale (greater than 0)	shape (greater than 0.05)	N/A
Binomial		discrete	probability (between 0 and 1)	trials (a whole number greater than 0 and less than 1000)	N/A	N/A
Discrete Uniform		discrete	minimum (integer)	maximum (integer)	N/A	N/A
Geometric		discrete	probability (between 0 and 1)	N/A	N/A	N/A
Hyper-geometric		discrete	success	trials (whole number less than population)	population (whole number greater than 0 and less than 1000)	N/A
Negative binomial		discrete	probability (between 0 and 1)	shape (whole number greater than 0 and less than 1000)	N/A	N/A
Poisson		discrete	rate value (between 0 and 1000)	N/A	N/A	N/A
Yes-No		discrete	probability (between 0 and 1)	N/A	N/A	N/A
Custom		custom	See Appendix A of the current <i>Oracle Crystal Ball User's Guide</i> .	N/A	N/A	N/A

Las pruebas de bondad de ajuste describen que tan bien se ajusta un conjunto de observaciones, resumiendo valores observados con otros esperados en el modelo de estudio. En Crystal Ball se emplean para comparar distribuciones observadas con otras utilizadas de referencia, con objeto de averiguar si existen diferencias estadísticamente



significativas entre ellas. El procedimiento de la prueba incluye el cálculo de la medida de resumen, que permite establecer si se acepta o rechaza la hipótesis de semejanza de las distribuciones. El rechazo ocurre cuando el valor de la medida resumen es mayor que cierto valor crítico, previamente tabulado; caso contrario, se asume que dichas distribuciones se ajustan bien.

Las pruebas de bondad de ajuste utilizadas por Crystal Ball son: Anderson-Darling (*A-D*) (Stephens, 1974), Ji cuadrado ( $\chi^2$ ) (Snedecor y Cochran, 1989) y Kolmogorov-Smirnov (*K-S*) (Chakravart, Laha y Roy, 1967). El primero es una versión optimizada de *K-S*, más sensible al comportamiento de las colas de una distribución que a su región central.  $\chi^2$  es la más antigua y común de las pruebas: mide la exactitud general del ajuste, dividiendo la distribución en áreas de igual probabilidad para comparar los datos dentro de cada una con los datos esperados. Las pruebas *A-D* y *K-S* son idóneas para las distribuciones continuas, mientras que  $\chi^2$  lo es para las discretas.

Para *K-S* el valor de la medida de resumen crítico (*K-S* value) es 0,03; por lo que *K-S* value < 0,03 indica buen ajuste. Para *A-D* es 1,5; luego un buen ajuste está dado por *A-D* value < 1,5. Para  $\chi^2$  un buen ajuste está dado por un p-value<sup>20</sup> > 0,5 (Sargent y Wainwright, 1998). A menor valor de la medida de resumen obtenida se tiene un mejor posicionamiento en el ranking para la prueba de bondad de ajuste utilizada, y por otro lado, un p-value más alto también es idóneo.

En este trabajo, dada la naturaleza continua de las variables aleatorias estudiadas (*i.e.* los parámetros de fracturamiento), se utiliza la prueba *A-D*.

---

<sup>20</sup> El p-value se puede interpretar en términos simples, como la probabilidad de obtener resultados ya obtenidos, dada una hipótesis nula cierta. A mayores valores de p-value, menor evidencia contra la hipótesis nula en contraparte a una hipótesis alternativa.

## **CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE PARÁMETROS DE FRACTURAMIENTO**

### **4.1 INTRODUCCIÓN: CONSIDERACIONES GENERALES**

La obtención de parámetros de fracturamiento no es símil para todos los casos. Para la persistencia es de manera directa desde el mapeo, mientras que para el espaciamiento y volumen del bloque es por operatoria de datos obtenidos del mapeo o desde otros parámetros. De esto último, la interrelación que hay entre parámetros, es que derivan consideraciones importantes a tener en cuenta: los parámetros pueden tener comportamientos probabilísticos similares y existe un riesgo constante de que haya arrastre de errores.

Diversos estudios demuestran que los parámetros de fracturamiento pueden y suelen tener comportamientos probabilísticos modelables (compendios de estudios en Palmström, 1995; Bonnet, 2001). Si se encuentran funciones que permiten definir estos modelos, se pueden encontrar así mismo otras funciones que definan modelos probabilísticos de parámetros derivados de ellos, en consideración que se trataría simplemente de operaciones matemáticas de/entre funciones.

Respecto a la importancia en el control de errores, es evidente que se vuelve de mayor importancia en el caso de parámetros con origen en otros anteriores, pues parámetros con data inválida reproducirán inequívocamente sus falencias en otros nuevos, llevando a análisis e interpretaciones inexactas.

### **4.2 PERSISTENCIA**

La persistencia de una discontinuidad fue definida en la Sección 3.4.1.4, donde se planteó una metodología para determinarla en base a componentes horizontales y verticales. Aquí se expone el desarrollo teórico, que utilizando relaciones geométricas lleva a obtener las ecuaciones que valida lo anterior; como así también las justificaciones y procedimientos de un análisis numérico/gráfico necesario para aplicar correctamente la metodología, conjunto a ejemplos pertinentes.

#### **4.2.1 Persistencia en función de componentes verticales y horizontales**

Sea un plano  $abcd$  inclinado  $\alpha$ -grados respecto a la vertical, como se muestra la Figura 4. 1, intersectado por un plano  $P$  de manera transversal, generando así una recta  $hj$ . Se

define además un plano vertical  $cdef$ , cuya intersección con el plano  $P$  es la recta  $hi$ . Se definen además las siguientes relaciones longitudinales y angulares:

$\gamma$ : ángulo que forma la recta  $hi$  con la horizontal

$\beta$ : mínima diferencia angular entre las rectas  $ij$  e  $ie$

$H$ : longitud de las rectas  $de$  y  $cf$

$T$ : longitud de las rectas  $bc$  y  $ad$

$U$ : longitud de la recta  $aj$

$V$ : longitud de las rectas  $ag$  y  $dh$

$X$ : longitud de las rectas  $cd$ ,  $ab$  y  $ef$

Planos  $abcd$  y  $cdef$ , rectos en sus vértices  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$ ,  $e$  y  $f$

Vértices  $bfc$  y  $hgj$ , de ángulos rectos

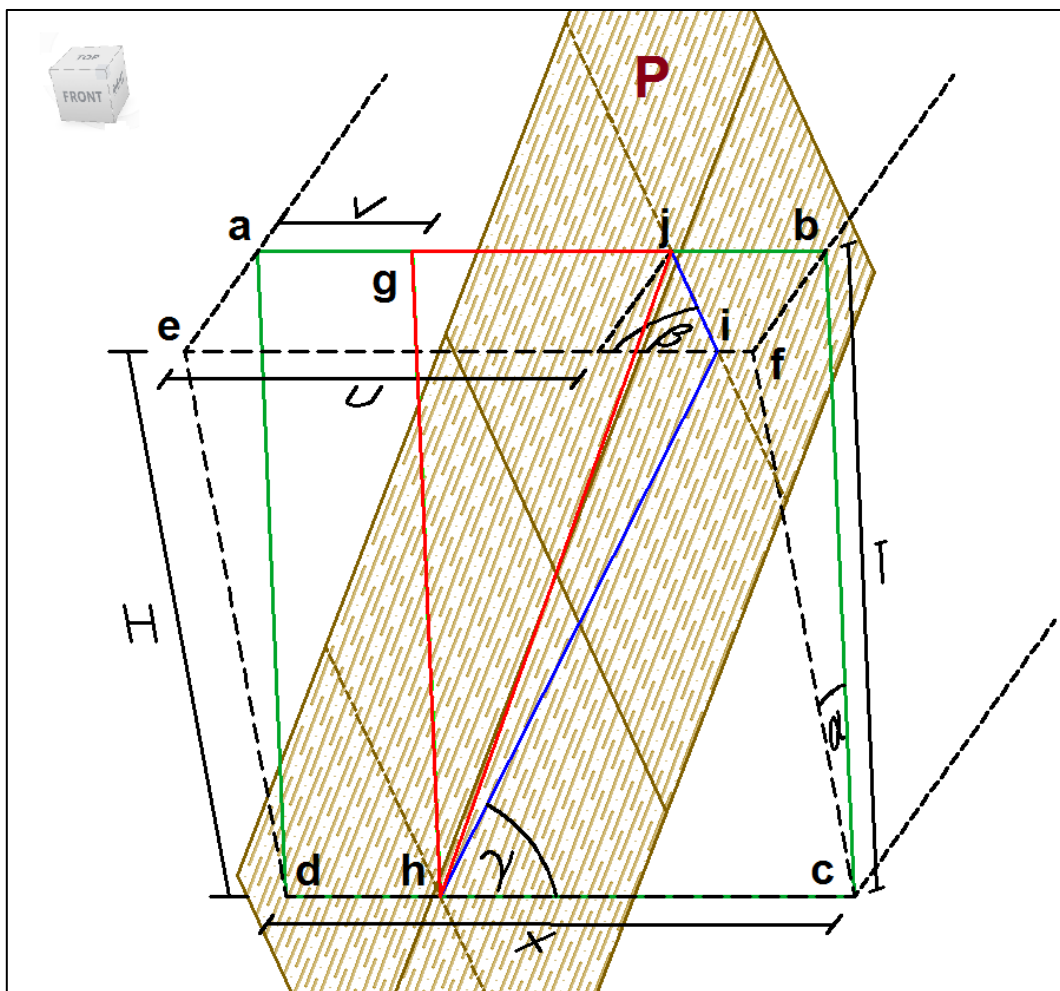


Figura 4. 1: Plano P cortando un plano inclinado (rectángulo  $abcd$ ) en  $\alpha$ -grados respecto a la vertical. Figura creada utilizando el programa Autodesk AutoCAD<sup>21</sup>.

De lo observado en la Figura 4. 1, se obtienen diversas relaciones geométricas:

<sup>21</sup> Programa de diseño asistido por computadora para dibujo en 2D y 3D.

De la recta  $bf$ , se desprende que

$$H \times \tan \alpha = (X - U - \overline{if}) \times (\tan \beta)$$

, equivalente a

$$U = X - \overline{if} - H \times \frac{\tan \alpha}{\tan \beta} \quad (1)$$

También se cumple que

$$V = X - \overline{if} - H / \tan \gamma \quad (2)$$

Luego, de ( 1) y ( 2) se tiene

$$U - V = H \times \left( \frac{1}{\tan \gamma} - \frac{\tan \alpha}{\tan \beta} \right) \quad (3)$$

Por otra parte, del triángulo rectángulo (en el punto  $g$ )  $ghj$  y definiendo  $L$  como la longitud de la recta  $hj$ :

$$L^2 = \left( \frac{H}{\cos \alpha} \right)^2 + (U - V)^2 \quad (4)$$

Por ( 3):

$$L^2 = H^2 \times \left( \left( \frac{1}{\cos \alpha} \right)^2 + \left( \frac{1}{\tan \gamma} - \frac{\tan \alpha}{\tan \beta} \right)^2 \right) \quad (5)$$

Se definen las relaciones  $\gamma = \mu'$ ,  $\alpha = 90^\circ - \theta$ ,  $\beta = 90^\circ - \phi$ ; notando que se cumple la conocida relación geométrica de manteo aparente (ANEXO 5), con  $\mu$ : ángulo que forma el plano P con la horizontal:

$$\tan \mu' = \tan \mu \times \cos \phi \quad (6)$$

( 6) en ( 5):

$$L = H \times \sqrt{\left( \frac{1}{\cos \alpha} \right)^2 + \left( \frac{1}{\tan \mu \times \cos \phi} - \frac{\tan \alpha}{\tan \beta} \right)^2}$$

y utilizando las relaciones recién definidas entre  $\alpha$ ,  $\theta$ ,  $\beta$  y  $\phi$  se llega finalmente a

$$L = H \times \sqrt{\left(\frac{1}{\sin \theta}\right)^2 + \left(\frac{1}{\tan \mu \times \sin \beta} - \frac{1}{\tan \theta \times \tan \beta}\right)^2} \quad (7)$$

La ecuación (7) relaciona a la persistencia  $L$  de una discontinuidad con su componente vertical  $H$ —proyección de la persistencia de la discontinuidad sobre un plano vertical o más sencillamente su “altura”—, en función de relaciones angulares conocidas. Basta correlacionar el plano  $abcd$  con la cara del banco y el plano  $P$  con el plano de la discontinuidad. Se identifican además las relaciones angulares:

- $\theta$  = Manteo de la cara del banco
- $\mu$  = Manteo de la discontinuidad
- $\beta$  = Diferencia angular entre la dirección de manteo de la discontinuidad y la dirección de manteo de la cara del banco

Con un desarrollo similar, se llega a la relación de la persistencia  $L$  de una discontinuidad con su componente horizontal  $D$ —proyección de la persistencia de la discontinuidad sobre un plano horizontal o más sencillamente su “ancho”—, en función de las mismas relaciones angulares ya expresadas:

$$L = D \times \sqrt{\left(\frac{\tan \mu \times \sin \beta}{\sin \theta - \cos \theta \times \tan \mu \times \cos \beta}\right)^2 + 1} \quad (8)$$

Las ecuaciones (7) y (8) definen a las funciones  $L_H(\theta, \mu, \beta)$  y  $L_D(\theta, \mu, \beta)$  respectivamente; donde el uso de la primera es idóneo para discontinuidades con alto ángulo de manteo, mientras que la segunda para las con bajo. Siendo necesario no obstante, un análisis de sensibilidad gráfico/numérico para los casos en que se observe alta variabilidad entre los resultados de las funciones  $L_H$  y  $L_D$  con respecto a sus valores de entrada  $H$  y  $D$  (ver Sección 4.2.2).

Nota: Es fácil comprobar que si  $\alpha = 0^\circ \Rightarrow \theta = 90^\circ$ , las ecuaciones (7) y (8) se reducen a la expresión del manteo aparente. Luego, ésta es una solución —y caso particular— de las ecuaciones mencionadas.

## 4.2.2 Análisis de sensibilidad gráfico/numérico

La aplicación de las ecuaciones ( 7) y ( 8) debe realizarse cuidadosamente. Al tener las componentes horizontal y vertical de la persistencia, se puede elegir libremente cual ecuación utilizar, pero teniendo en consideración un elemento clave: la complejidad de las relaciones angulares de las funciones definidas por cada una de estas ecuaciones.

Una rápida inspección en la ecuación ( 7) permite confirmar este hecho. Si la discontinuidad es subhorizontal ( $\mu \sim 0^\circ$ ) o la cara del banco y la discontinuidad mantean en direcciones símiles ( $\beta \sim 0^\circ$ ), la persistencia  $L$  tiende a valores altísimos, lo cual no es válido en vista de que una discontinuidad se modela como un plano finito<sup>22</sup> y por ende, su persistencia debe estar acotada. También está el problema de la elasticidad de las funciones, donde a pequeñas variaciones de alguno de sus parámetros que la conforman ( $\theta, \mu, \beta$ ),  $L$  sufre altos cambios.

Un análisis utilizando cálculo diferencial con objeto de encontrar valores máximos y mínimos, como también revisar el comportamiento elástico de las funciones es lo idóneo, pero de gran complejidad dada la naturaleza multivariable de ellas y a que las variables involucradas son relaciones angulares. Dado lo anterior, es que se realiza en cambio un análisis de sensibilidad gráfico/numérico, en que se hace variar el valor de la dirección de manto de la discontinuidad, para las vecindades en que su manto fluctúa en  $\pm 5^\circ$  ( $\mu \pm 5^\circ$ ). El manto y dirección de manto de la cara del banco se fijan a los valores correspondientes a la localidad de la discontinuidad; dado esto, el ángulo  $\beta$  queda solamente en función de la dirección de manto de la discontinuidad.

Este análisis no es necesario realizarlo a todas las discontinuidades, sino que a los casos donde los resultados de las funciones  $L_H$  y  $L_D$  con respecto a sus valores de entrada  $H$  y  $D$  presentan alta variabilidad. A continuación se presentan algunos ejemplos.

Ejemplo 1)

Fractura ID: 217

Ubicación fractura: Banco 1, tramo E, metraje 32,87

Dip/DipDir fractura:  $38^\circ/286^\circ$

Componente vertical de la persistencia (H): 2 m

Dip/DipDir cara banco:  $70^\circ/355^\circ$

---

<sup>22</sup> El modelamiento de las geometrías de estos planos no entra en consideración de este estudio. No obstante, sí se asume validez de otros trabajos anteriores respecto a este tema; en que por ejemplo, consideran las discontinuidades como planos circulares (ver Baecher et al., 1977; Warburton, 1980).

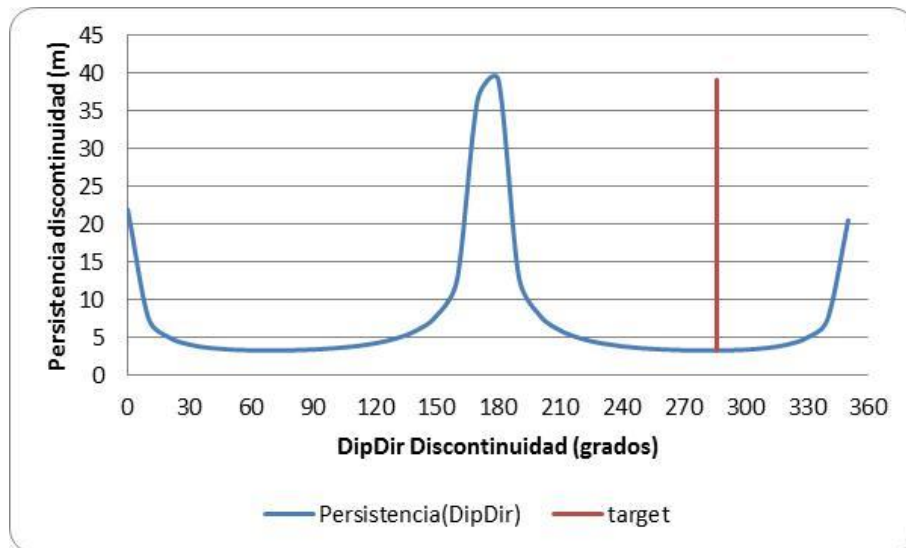


Figura 4. 2: Análisis gráfico/numérico de  $LH(\theta, \mu, \beta)$ , para la fractura 217.

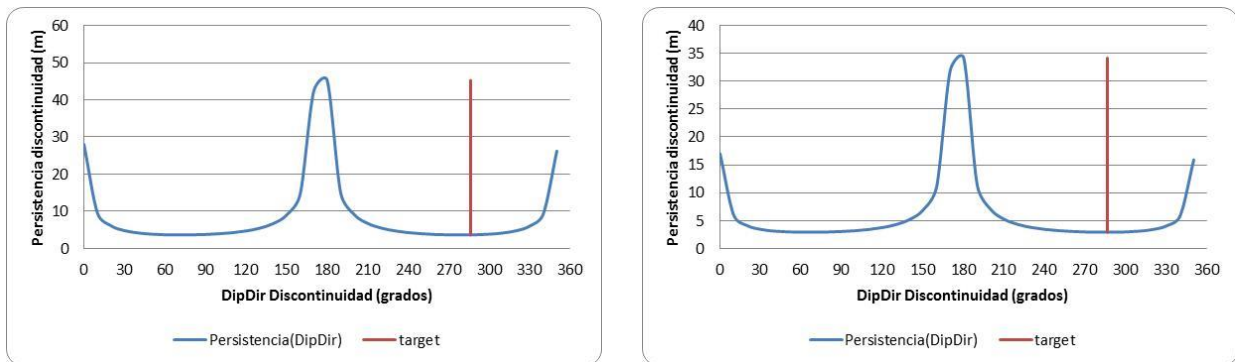


Figura 4. 3: Análisis gráfico/numérico de  $LH(\theta, \mu - 5^\circ, \beta)$  (Izq.) y  $LH(\theta, \mu + 5^\circ, \beta)$  (Der.), para la fractura 217.

La Figura 4. 2 muestra el comportamiento de la función  $LH(70^\circ, 38^\circ, \beta)$  para todo el Dominio posible de la variable  $\beta$ , dependiente de la dirección de manto de la discontinuidad. La Figura 4. 3 lo hace en las vecindades, para  $\mu \pm 5^\circ$ . Se observa que la función crece bruscamente en los intervalos  $\sim(150^\circ, 200^\circ)$  y  $\sim(340^\circ, 10^\circ)$ , pero no así para el resto del Dominio. Como la dirección de manto de la fractura 217 se encuentra en parte del Dominio no perteneciente a los intervalos anteriores, no hay problema en utilizar la función para encontrar el valor de la persistencia, dadas las variables utilizadas. Se obtiene de esta manera  $LH=2(70^\circ, 38^\circ, 69^\circ) = 3,25$  m.

Ejemplo 2)

Fractura ID: 247

Ubicación fractura: Banco 1, tramo E, metraje 40,28

Dip/DipDir fractura:  $58^\circ/244^\circ$

Componente horizontal de la persistencia (D): 1,5 m  
 Dip/DipDir cara banco: 70°/355°

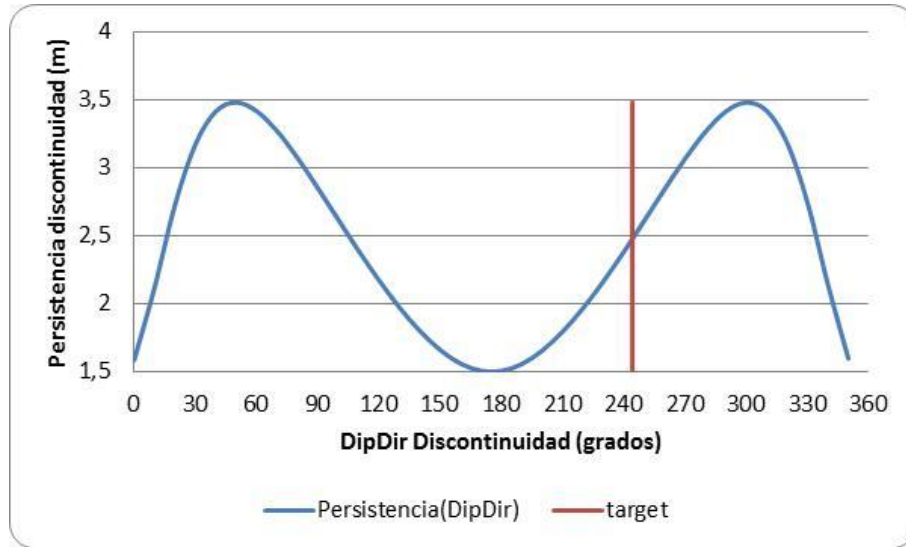


Figura 4. 4: Análisis gráfico/numérico de  $L_D(\theta, \mu, \beta)$ , para la fractura 247.

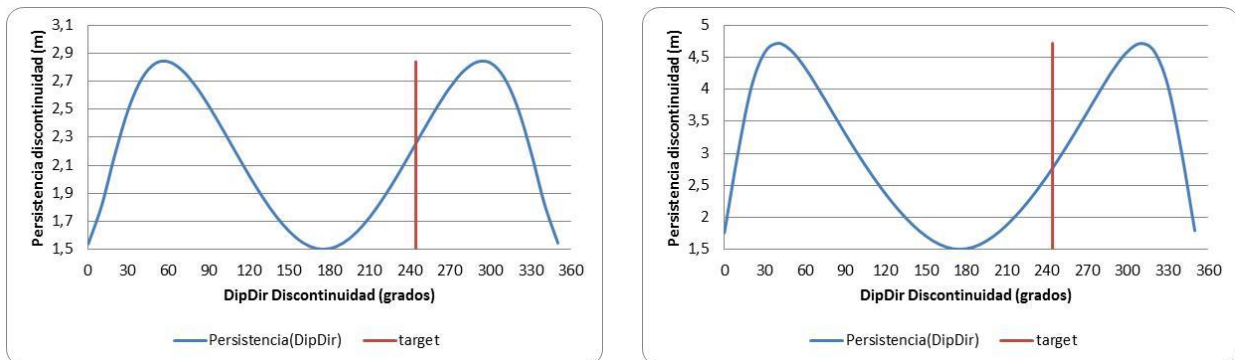


Figura 4. 5: Análisis gráfico/numérico de  $L_D(\theta, \mu - 5^\circ, \beta)$  (Izq.) y  $L_D(\theta, \mu + 5^\circ, \beta)$  (Der.), para la fractura 247.

La Figura 4. 4 muestra el comportamiento de la función  $L_D(70^\circ, 58^\circ, \beta)$  para todo el Dominio posible de la variable  $\beta$ , dependiente de la dirección de manto de la discontinuidad. La Figura 4. 5 lo hace en las vecindades, para  $\mu \pm 5^\circ$ . Se observa que la función tiene un comportamiento sensible en el intervalo  $\sim(310^\circ, 40^\circ)$ , donde a leves variaciones en la dirección de manto de la discontinuidad, la función crece o decrece bruscamente. Esto no ocurre así para el resto del Dominio. La dirección de manto de la fractura 247 se encuentra en la parte no sensible, luego se puede utilizar la función para encontrar el valor de la persistencia, dadas las variables utilizadas. Se obtiene de esta manera  $L_{D=1,5}(70^\circ, 58^\circ, 111^\circ) = 2,48$  m.



Ejemplo 3)

Fractura ID: 835

Ubicación fractura: Banco 3, tramo F, metraje 35,65

Dip/DipDir fractura: 65°/125°

Componente vertical de la persistencia (H): 13 m

Componente horizontal de la persistencia (D): 14 m

Dip/DipDir cara banco: 70°/355°

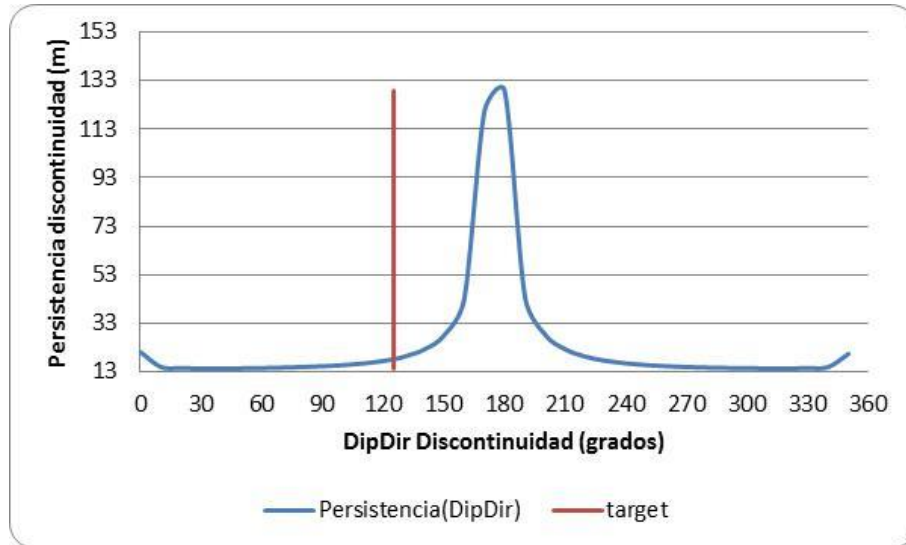


Figura 4. 6: Análisis gráfico/numérico de  $LH(\theta, \mu, \beta)$ , para la fractura 835.

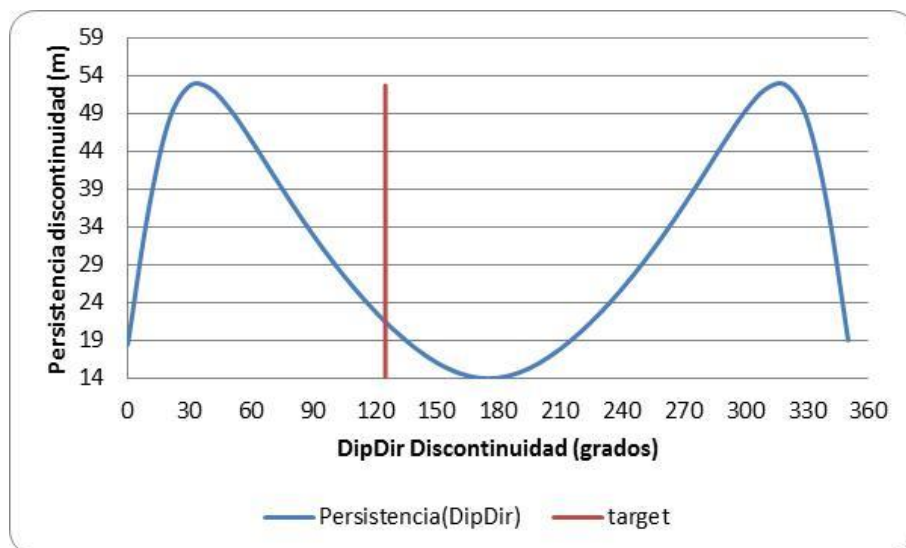


Figura 4. 7: Análisis gráfico/numérico de  $LD(\theta, \mu, \beta)$ , para la fractura 835.

Las Figuras 4. 6 y 4. 7 muestran el comportamiento de la función  $L_H(70^\circ, 65^\circ, \beta)$  y  $L_D(70^\circ, 65^\circ, \beta)$  respectivamente, para todo el Dominio posible de la variable  $\beta$ , dependiente de la dirección de mapeo de la discontinuidad.

Observaciones similares a las de los Ejemplos 1 y 2 se pueden realizar aquí, llevando a concluir que ambas funciones son válidas para encontrar el valor de la persistencia de la discontinuidad. No obstante, la función  $L_H(70^\circ, 65^\circ, \beta)$  está en mayor cercanía a un intervalo de invalidez que  $L_D(70^\circ, 65^\circ, \beta)$ , para la dirección de mapeo de la fractura 835. Luego, esta última es la finalmente utilizada:  $L_{D=14}(70^\circ, 65^\circ, 230^\circ) = 21,49$  m.

### 4.3 ESPACIAMIENTO

El espaciamiento es la distancia perpendicular entre discontinuidades adyacentes, referida normalmente como la media de una familia de diaclasas (ISRM, 1978). En este trabajo, aplicado a las fracturas<sup>23</sup>.

Su cálculo se realiza gracias a la información obtenida directamente del mapeo, donde para cada discontinuidad se tiene su posición en la línea de detalle (horizontal o vertical, según sea el caso), y por defecto, la distancia de una a otra sobre esa línea. Dado que está identificado a cuál familia pertenece cada una de las fracturas mapeadas, es factible conocer esta distancia para fracturas pertenecientes a una misma familia. Luego, su espaciamiento se obtiene al realizar correcciones geométricas que permitan convertir a esta distancia sobre la línea de detalle, a una perpendicular entre las discontinuidades.

El desarrollo teórico de estas correcciones geométricas, como así también de otras correcciones producto de problemas en el muestreo, se exponen a continuación.

#### 4.3.1 Correcciones de muestreo: discontinuidad en la información

Como se expuso en la Sección 3.1.1, existen subintervalos en la línea de detalle donde no es posible mapear (ver Tabla 4. 1 y ejemplo en Figura 4. 8, en la presente sección). Éstos generan vacíos en la continuidad de los datos capturados en la línea de detalle, afectando directamente al parámetro espaciamiento.

La distancia de un punto mapeado a otro, para una misma familia, estará afecto por uno o más subintervalos sin información, puesto que pueden existir o no otros puntos dentro de ellos que hagan variar dicha distancia. Llámese esta distancia entre dos puntos

---

<sup>23</sup> En el presente trabajo no se evalúa las diaclasas distintamente de las fallas, luego se aplica la misma definición del espaciamiento, pero aplicado a las fracturas (diaclasas + fallas).

consecutivos definidos por discontinuidades de una misma familia: espaciamento en la línea de detalle ( $Esp_{ld}$ ). Si existen uno o más puntos dentro de estos subintervalos, se generará esa misma cantidad de nuevos espaciamentos, y de menor extensión al del caso en que no existiesen estos puntos. Luego, el asumir o no la existencia de datos lleva a la sobre o subestimación de valores. En consecuencia, se opta por suprimir estos subintervalos<sup>24</sup> al realizar el cálculo para la obtención de los espaciamentos.



Figura 4. 8: Subintervalo cubierto, con interrupción en la línea de detalle. Banco 2, entre los metrajes 25-31.

---

<sup>24</sup> Esto produce un sesgo de información, al considerar datos erróneos por un motivo arbitrario (intervalo a suprimir). No obstante, la erradicación de ellos supone una mejora por sobre su utilización.

Tabla 4. 1: Subintervalos que fuerzan interrupción en la línea de detalle.

Banco	metraje en línea de detalle	
	desde	hasta
1	17,5	19,75
	34,9	36,2
	42	43,5
2	3,6	6
	26	31,62
	40,98	47,4
3	NA	NA

### 4.3.2 Correcciones geométricas

El espaciamiento entre dos discontinuidades está dado por la distancia entre sus planos, que se asumen paralelos. Esta distancia puede calcularse para cada línea de detalle (horizontal o inclinada) en base a valores conocidos, como se muestra a continuación.

#### 4.3.2.1 Espaciamiento de discontinuidades para línea de detalle horizontal

Sea una línea de detalle horizontal (inclinación con la horizontal = 0°) con orientación E-W, trazada sobre un banco de manto indefinido en dirección Sur, intersectada por dos discontinuidades paralelas entre sí, con rumbo NW y manto en dirección SW; tal se muestra en la vista en planta (Figura 4. 9).

Se puede relacionar angularmente los segmentos definidos por el espaciamiento de las discontinuidades en la línea de detalle ( $Esp_{ld}$ ) con su espaciamiento proyectado en la horizontal ( $Esp_h$ ). Dicha relación angular es:

$$Esp_h = Esp_{ld} \times \sin \beta \quad (9)$$

No es difícil ver que este ángulo  $\beta$  es la diferencia angular entre la dirección de manto del banco y la dirección de manto de las discontinuidades.

El espaciamiento real de las discontinuidades, o sea la distancia perpendicular entre sus planos, se relaciona angularmente con el  $Esp_h$  gracias al manto de las discontinuidades (Figura 4. 10):

$$Esp_r = Esp_h \times \sin \mu \quad (10)$$

Finalmente se obtiene el espaciamiento real ( $Esp_r$ ) en función de: el espaciamiento en la línea de detalle ( $Esp_{ld}$ ), el manteo de las discontinuidades ( $\mu$ ), y la diferencia angular entre la dirección de manteo del banco y la dirección de manteo de las discontinuidades ( $\beta^{25}$ ):

$$Esp_r = Esp_{ld} \times \sin \beta \times \sin \mu \quad (11)$$

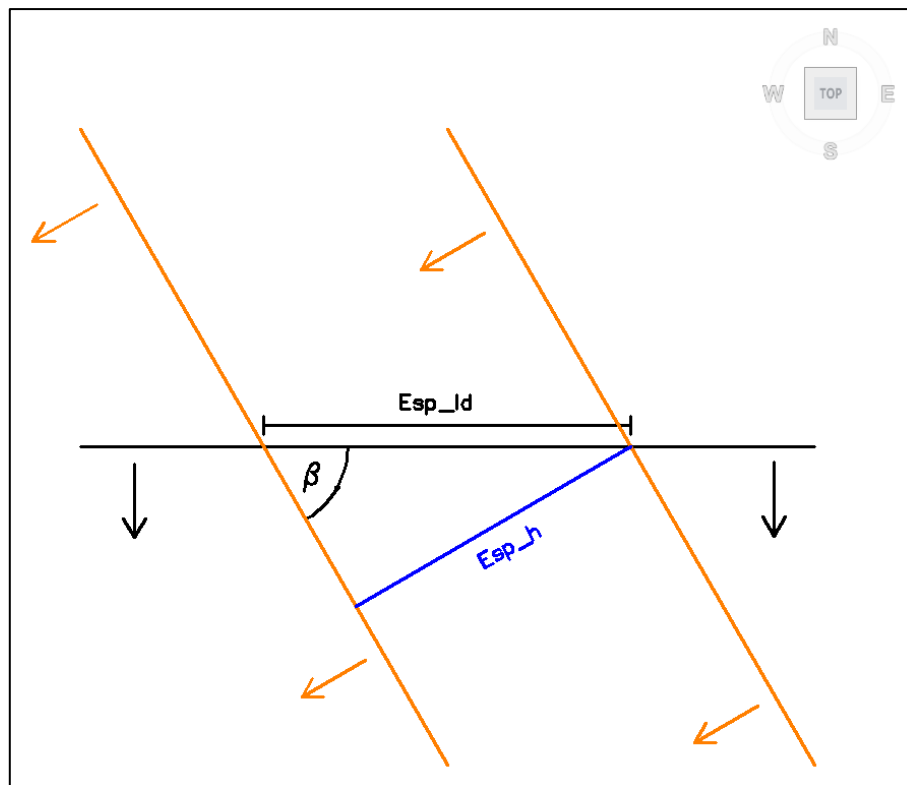


Figura 4. 9: Vista en planta. Relación angular del espaciamiento en la línea de detalle ( $Esp_{ld}$ ) con el espaciamiento proyectado en la horizontal ( $Esp_h$ ). Las rectas simulan ser líneas de rumbo de planos, mientras que las flechas indican la dirección de manteo de ellos (en negro: cara de un banco, en naranja: dos discontinuidades paralelas entre sí).

<sup>25</sup> Notar que  $\beta$  puede definirse también como la diferencia angular entre el azimut de las discontinuidades y el azimut de la línea de detalle horizontal.

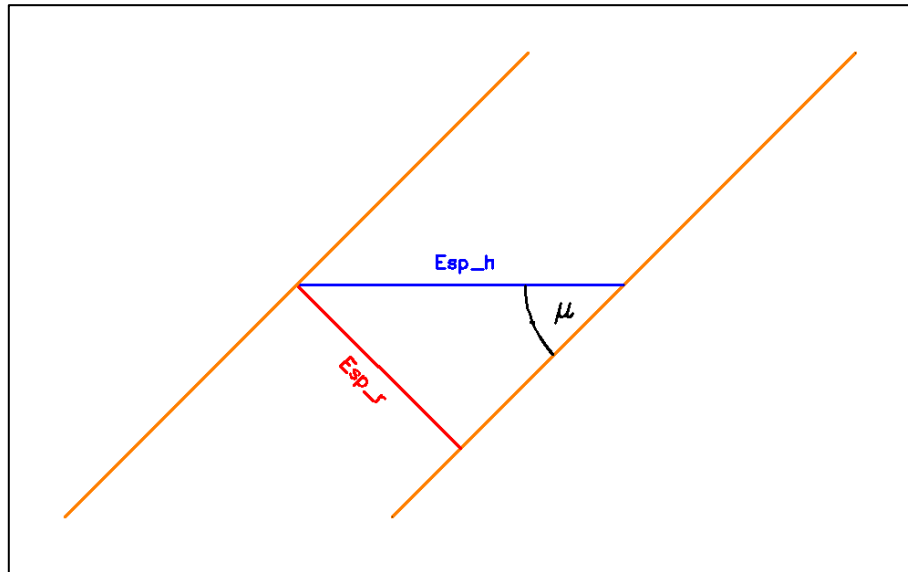


Figura 4. 10: Vista de perfil en el plano de las discontinuidades. Relación angular del espaciamiento proyectado en la horizontal ( $Esp_h$ ) con el espaciamiento real de las discontinuidades ( $Esp_r$ ).

#### 4.3.2.2 Espaciamiento de discontinuidades para línea de detalle inclinada

El espaciamiento de discontinuidades en función de una línea de detalle inclinada, es más complejo de visualizar y resolver que los casos en que se cuenta con una horizontal (caso anterior) o vertical. Dado esto, el planteamiento y resolución del problema se realiza con la ayuda de diversas figuras para facilitar su comprensión.

La Figura 4. 11 permite una visualización general del problema: Se tienen dos discontinuidades paralelas entre sí, representadas por planos (rectángulos de color verde) que se conectan por una recta de largo  $S$ , definida por los puntos A (intersección con el plano superior) y B (intersección con el plano inferior). Visualícese esta recta como un segmento de una línea de detalle inclinada que es cortada por las dos discontinuidades (en los puntos A y B). Sean además conocidos el manto y dirección de manto de las discontinuidades, como así también el manto y azimut de la línea de detalle.

La recta AC corresponde a una línea completamente vertical que conecta a las discontinuidades por los puntos A y C, estando este último contenido en el plano inferior. El ángulo  $\alpha$  es la diferencia angular entre las rectas AC y AB unidas por el punto A.

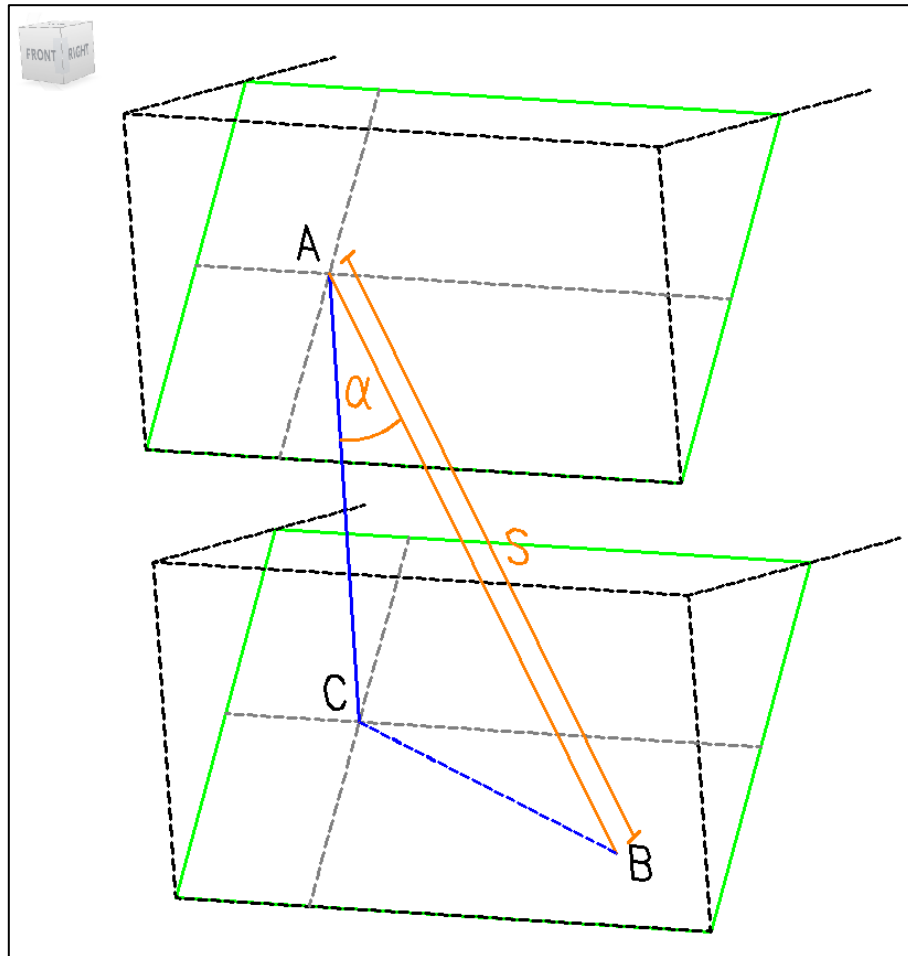


Figura 4. 11: Dos discontinuidades paralelas entre sí, representadas por planos (rectángulos color verde) conectados por una línea de largo S.

En la Figura 4. 12a se presenta el triángulo ABC y se muestran dos relaciones adicionales: 1) Existe un punto en el espacio (E) que es la intersección de una línea horizontal proyectada a partir del punto C con una línea vertical proyectada a partir del punto B, contenido en el mismo plano que el triángulo ABC. 2) El ángulo  $\gamma$  es formado por las rectas AC y BC, unidas por el punto C.

Notar que existe un plano perpendicular al plano que define la discontinuidad inferior, que contiene al triángulo BEF (recto en E) mostrado en la Figura 4. 12b. La recta EF es una proyección horizontal a partir del punto E que se conecta al punto F, el cual está contenido en el mencionado plano inferior. La recta BF está contenida en este plano y el ángulo  $\mu$  es el manteo de la discontinuidad.

La Figura 4. 12c es una vista en planta, que muestra al triángulo CEF (recto en F). El ángulo  $\delta$  es la diferencia angular entre las rectas CF y CE, unidas por el punto C.

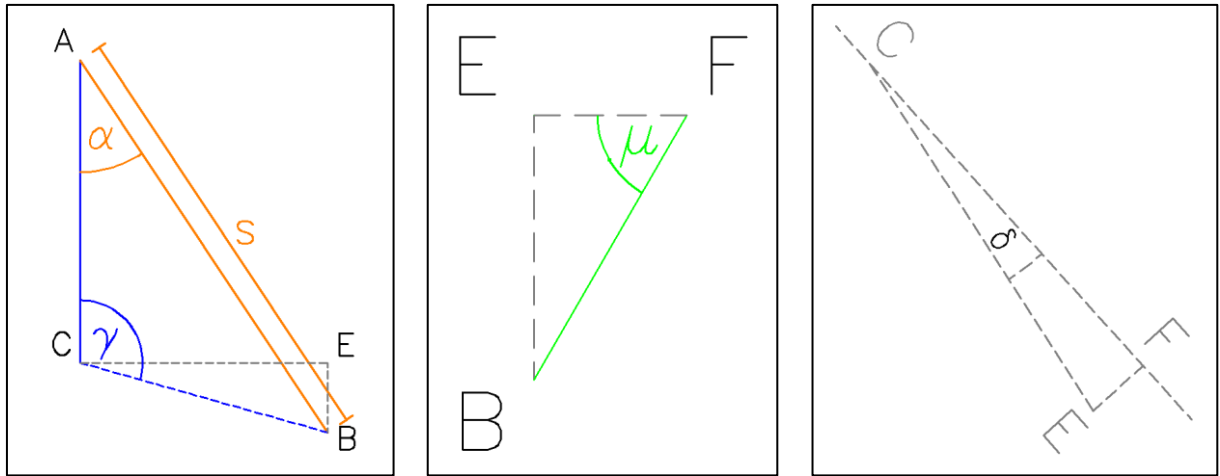


Figura 4. 12: a) (Izquierda) Triángulo ABC. b) (Centro) Triángulo BEF. c) (Derecha) Triángulo CEF.

Gracias a las diferentes relaciones establecidas, mostradas en las figuras anteriores, se procede a desarrollar las relaciones geométricas que permitan obtener el espaciamiento real de dos discontinuidades que cortan una línea de detalle inclinada.

De la Figura 4. 12b:

$$\tan \mu = \overline{BE} / \overline{EF} \quad (12)$$

De la Figura 4. 12c:

$$\sin \delta = \overline{EF} / \overline{CE} \quad (13)$$

(12) en (13):

$$\overline{CE} = \overline{BE} / (\tan \mu \times \sin \delta) \quad (14)$$

De la Figura 4. 12a:

$$\tan(\gamma - 90^\circ) = -\frac{1}{\tan \gamma} = \overline{BE} / \overline{CE} \quad (15)$$

(14) en (15):

$$\gamma = \tan^{-1} \left( -\frac{1}{\tan \mu \times \sin \delta} \right) \quad (16)$$



En la Figura 4. 12a se observa además que se cumple el Teorema del Seno, y como la longitud de  $\overline{AB} = S$ :

$$\overline{AC} = S \times \frac{\sin(180^\circ - \alpha - \gamma)}{\sin \gamma} = S \times \frac{\sin(\alpha + \gamma)}{\sin \gamma} \quad (17)$$

(16) en (17):

$$\overline{AC} = S \times \frac{\sin\left(\alpha + \tan^{-1}\left(-\frac{1}{\tan \mu \times \sin \delta}\right)\right)}{\sin\left(\tan^{-1}\left(-\frac{1}{\tan \mu \times \sin \delta}\right)\right)} \quad (18)$$

Si la recta AC es la distancia vertical que hay entre las discontinuidades, es fácil notar que se cumple:

$$Esp_r = \overline{AC} \times \cos \mu \quad (19)$$

Relacionando los ángulos con datos conocidos, se tiene que: 1)  $\alpha$  es el complemento del manto de la línea de detalle inclinada (sea este manto:  $\varphi$ ) y 2)  $\delta$  es la diferencia angular entre el azimut de la línea de detalle inclinada con la dirección de manto de las discontinuidades  $-90^\circ$ <sup>26</sup>. Considerando esto y (18) en (19), se obtiene finalmente:

$$Esp_r = \left| S \times \frac{\cos\left(\varphi + \tan^{-1}\left(-\frac{1}{\tan \mu \times \sin \delta}\right)\right)}{\sin\left(\tan^{-1}\left(-\frac{1}{\tan \mu \times \sin \delta}\right)\right)} \times \cos \mu \right| \quad (20)$$

#### 4.4 VOLUMEN DEL BLOQUE

Un bloque se forma por la intersección de planos de discontinuidades. Por lo tanto, su dimensión y forma está intrínsecamente ligada a la cantidad de planos participantes y la interacción entre ellos, entendiéndose por esto a sus relaciones de corte y la distancia que los separa. A mayor cantidad de planos involucrados, más complejo el modelo necesario para representarlos.

Lo anterior da cuenta del gran problema que implica el modelamiento de los bloques. Por este motivo es que se simplifica representándolos como poliedros hexaedrales y

<sup>26</sup> No es trivial el signo de este operando. Un examen en detalle puede dar cuenta de ello.

asumiendo que los planos pertenecientes a una misma familia son típicamente paralelos<sup>27</sup>. Luego, planos de 3 familias son suficientes (6 planos: 2 por familia).

El volumen del bloque (Palmström, 1982) para 3 familias de discontinuidades es:

$$Vb = \frac{S1 \times S2 \times S3}{\sin \alpha \times \sin \beta \times \sin \gamma} = V_0 \times \omega \quad (21)$$

, con  $V_0 = S1 \times S2 \times S3$  y  $\omega = 1/(\sin \alpha \times \sin \beta \times \sin \gamma)$ . Donde S1, S2, S3 son los espaciamientos de las 3 familias de discontinuidades;  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  son los ángulos entre ellas.

De la ecuación anterior, se desprende que el volumen del bloque es dependiente del parámetro espaciamiento, luego no es difícil deducir que hereda gran cantidad de propiedades y problemas de él. Entiéndase esto por FDP similares —esto en caso de haber una relación entre los distintos espaciamientos o una relación uno a uno entre Vb y un espaciamiento en particular, a plantear—, errores por arrastre producto de sesgos muestrales, datos erróneos o nulos, incongruencias geométricas, etc. Y es más, pues como no es dependiente del espaciamiento de una familia en particular, sino de la combinatoria de 3 ó más de ellas, todo lo anterior se magnifica.

Si los espaciamientos que permiten definir el volumen del bloque pueden ser modelados probabilísticamente mediante funciones de densidad de probabilidad, éste puede ser modelado de la misma manera. Como es definido en función de los espaciamientos de 3 familias en particular —S1, S2 y S3; ver ecuación (21)—, se tiene que Vb es una función de la forma  $f(x, y, z; \omega)$  y en consecuencia su FDP de la forma  $(g \circ f)(x, y, z; \omega)$

, donde  $x$  son los valores que puede tomar la variable aleatoria X, representativa de S1, con FDP  $p(x)$ ;  $y$  los valores que puede tomar la variable aleatoria Y, representativa de S2, con FDP  $q(y)$ ;  $z$  los valores que puede tomar la variable aleatoria Z, representativa de S3, con FDP  $r(z)$ ; y  $\omega$  la constante geométrica de la relación angular entre los espaciamientos S1, S2 y S3.

Obtener y analizar la FDP para Vb, donde éste es dependiente de 3 incógnitas, es de elevada complejidad<sup>28</sup>. Para simplificar el problema, se estudian los casos en que Vb se define en función de sólo una incógnita: los valores que puede tomar una variable aleatoria en particular, fijando las otras dos a su valor medio. Luego se tienen 3 FDP

<sup>27</sup> De ahí que sea un hexaedro (poliedro de 6 caras). Un bloque podría representarse con un mínimo de 4 planos, pero no serían paralelos.

<sup>28</sup> Funciones de varias variables son difíciles de ver incluso gráficamente. Una de dos variables implica el análisis de un plano en un espacio tridimensional. Con mayor número de variables ni siquiera es posible el análisis gráfico.

para el volumen del bloque (en vez de sólo 1):  $(g \circ f)(x; \overline{S2}, \overline{S3}, \omega)$ ,  $(g \circ f)(y; \overline{S1}, \overline{S3}, \omega)$  y  $(g \circ f)(z; \overline{S1}, \overline{S2}, \omega)$

, donde  $\overline{S1}$ ,  $\overline{S2}$  y  $\overline{S3}$  son los valores medios de las FDP asociadas a S1, S2 y S3 respectivamente.

También se estudia el caso teórico de volúmenes de bloque definidos exclusivamente por los valores medios de los espaciamientos de los que dependen. O sea, fijando S1, S2 y S3.

A continuación se expone la formulación teórica y metodología para la obtención de la constante geométrica  $\omega$ ; y también el procedimiento para el cálculo de Vb en función únicamente de sus valores medios.

#### 4.4.1 Obtención de la constante $\omega$

##### 4.4.1.1 Formulación teórica

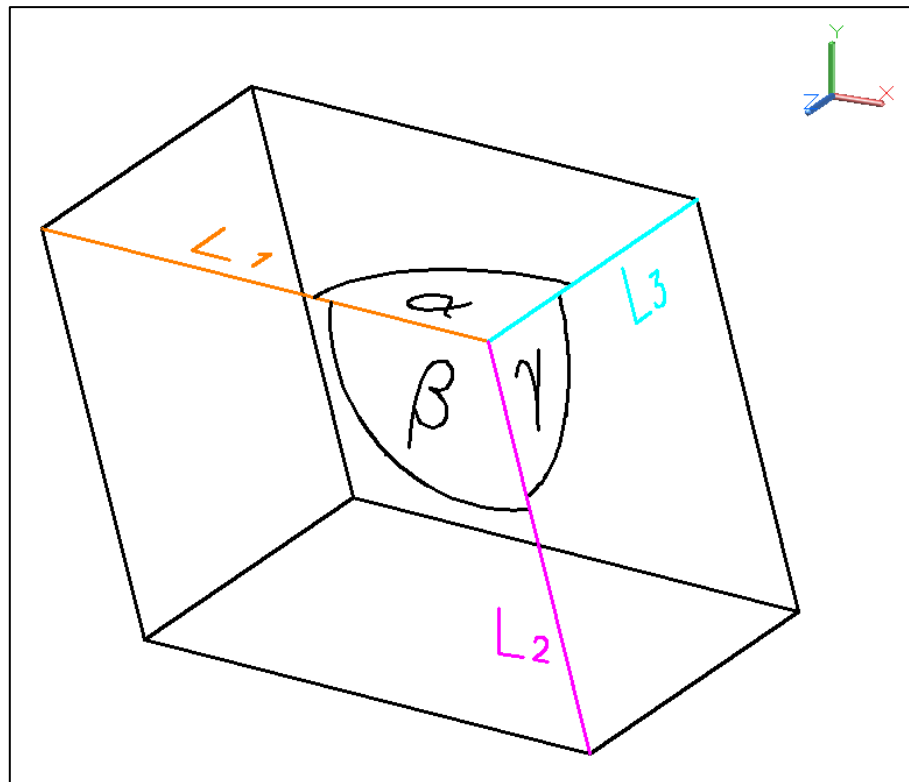


Figura 4. 13: Poliedro hexaedral con caras opuestas paralelas.

Se desea conocer los ángulos interiores de un bloque para resolver  $\omega = \frac{1}{\sin \alpha} \times \frac{1}{\sin \beta} \times \frac{1}{\sin \gamma}$ . Si este bloque se modela como un poliedro hexaedral, cuyas caras opuestas entre sí son paralelas (Figura 4. 13), la ecuación anterior se cumple en cada uno de sus vértices<sup>29</sup>. Sus ángulos interiores pueden obtenerse en función de sus aristas, definidas como líneas en el espacio con orientación conocida.

Sean dos líneas en el espacio con un origen en común (punto C), definidas por las rectas BC y CD (Figura 4. 14). Se proyecta desde C una línea vertical generando los triángulos rectángulos (en A) ABC y ACD, con ángulos en sus vértices por el punto C:  $\gamma_1$  e  $\gamma_2$ , respectivamente. Sea  $\phi$  la diferencia angular de las proyecciones horizontales de estas líneas (Figura 4. 15a), definidas por las rectas AB y AD; y  $\theta$  la diferencia angular en el plano que definen, dada a notar por el vértice en C del triángulo BCD, contenido en este plano (Figura 4. 15b).

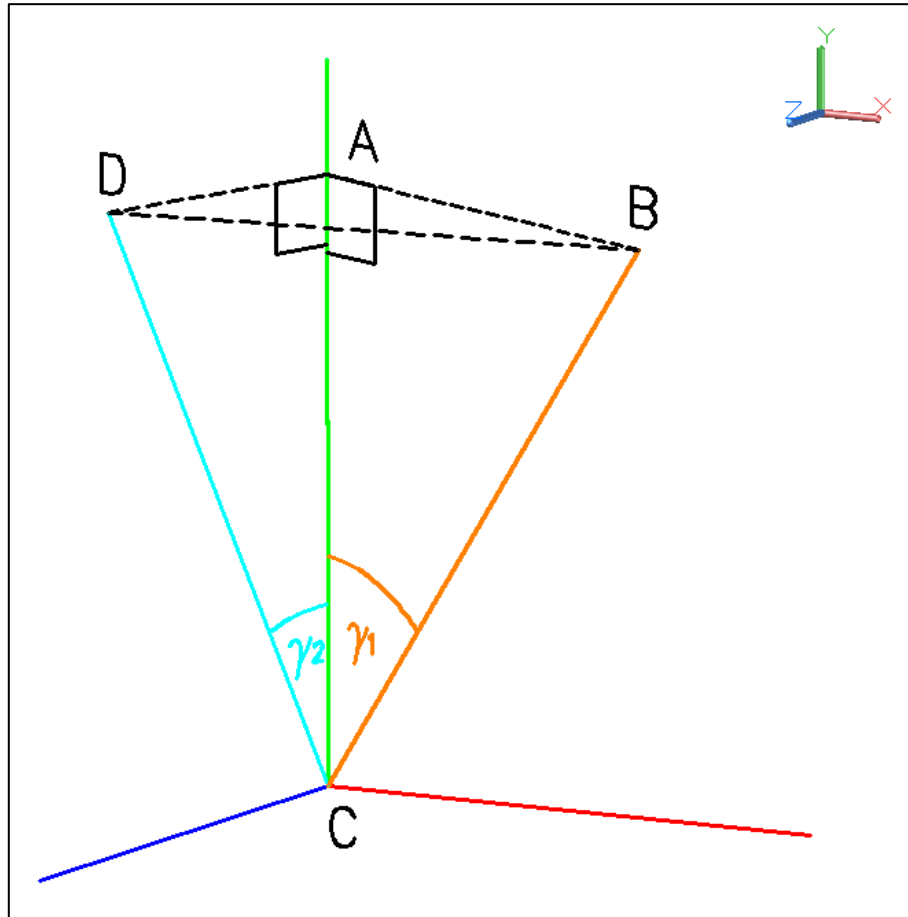


Figura 4. 14: Dos líneas en el espacio unidas por un origen en común (punto C).

<sup>29</sup> Si bien los ángulos interiores en cada vértice no son necesariamente los mismos, sí se mantiene el valor de  $\omega$ .

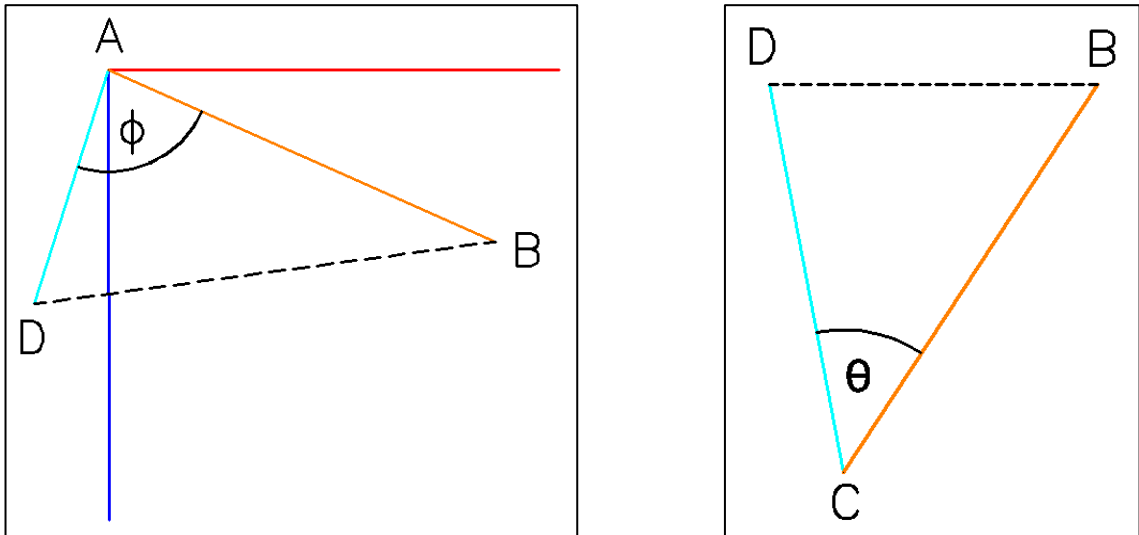


Figura 4. 15: a) (Izquierda) Vista en planta de la Figura 4. 14, donde se aprecia el ángulo  $\phi$  contenido en el triángulo ABD. b) (Derecha) Triángulo CBD contenido en el plano definido por las rectas BC y CD.

Por Teorema del Coseno, en triángulo ABD (Figura 4. 15a):

$$\overline{BD}^2 = \overline{AB}^2 + \overline{AD}^2 - 2 \times \overline{AB} \times \overline{AD} \times \cos \phi \quad (22)$$

Mismo teorema en el triángulo CBD (Figura 4. 15b):

$$\overline{BD}^2 = \overline{BC}^2 + \overline{CD}^2 - 2 \times \overline{BC} \times \overline{CD} \times \cos \theta \quad (23)$$

De la Figura 4. 14 se desprenden las siguientes relaciones geométricas:

$$\begin{aligned} \sin \gamma_1 &= \overline{AB}/\overline{BC}; \cos \gamma_1 = \overline{AC}/\overline{BC} \\ \sin \gamma_2 &= \overline{AD}/\overline{CD}, \cos \gamma_2 = \overline{AC}/\overline{CD} \end{aligned}$$

, las cuales aplicadas a las ecuaciones ( 22) y ( 23) entregan respectivamente:

$$\overline{BD}^2 = \overline{AC}^2 \times (\tan \gamma_1^2 + \tan \gamma_2^2 - 2 \times \tan \gamma_1 \times \tan \gamma_2 \times \cos \phi) \quad (24)$$

$$\overline{BD}^2 = \overline{AC}^2 \times \left( \frac{1}{\cos \gamma_1^2} + \frac{1}{\cos \gamma_2^2} - 2 \times \frac{\cos \theta}{\cos \gamma_1 \times \cos \gamma_2} \right) \quad (25)$$

( 24) en ( 25) y notando que se cumple la relación  $1/\cos \sigma^2 - \tan \sigma^2 = 1$  (con  $\sigma \neq \pi/2 + k\pi$ ;  $k=1,2,3\dots$ ):

$$\theta = \cos^{-1}(\cos \gamma_1 \times \cos \gamma_2 + \sin \gamma_1 \times \sin \gamma_2 \times \cos \varphi) \quad ( 26)$$

Como  $\gamma_1 = \mu_1 - 90^\circ$ , donde  $\mu_1$  es el manto de la línea definida por la recta BC; y  $\gamma_2 = \mu_2 - 90^\circ$ ,  $\mu_2$  manto de la línea definida por la recta CD, se obtiene finalmente:

$$\theta = \cos^{-1}(\sin \mu_1 \times \sin \mu_2 + \cos \mu_1 \times \cos \mu_2 \times \cos \varphi) \quad ( 27)$$

, donde  $\varphi$  se obtiene de la diferencia angular de los azimut de las líneas y  $\theta$  el ángulo buscado que da la relación angular entre dos líneas en el espacio, con orientación conocida. Priest (1993) llega a este mismo resultado utilizando métodos vectoriales.

#### 4.4.1.2 Metodología

Cada ángulo ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ) necesario para el cálculo de  $\omega$  se obtiene de la relación de 2 líneas en el espacio. Estas líneas no son otra cosa que la intersección de 2 planos, representativos de ciertas familias de discontinuidades en específico. Luego, para cada combinación de 3 familias, se necesita la relación que existe entre pares de ellas. Por ejemplo, para la combinación de familias 1-2-8, los pares asociados son 1-2, 2-8 y 1-8: cada uno genera una línea.

La orientación de cada una de estas líneas se extrae directamente de los estereogramas que muestran las familias de discontinuidades presentes por banco, al ver el punto de intersección de dos planos representativos de dos familias en particular. Siguiendo el ejemplo de la combinación 1-2-8: la Figura 4. 16 muestra el punto G (que indica la orientación de una línea), intersección de los planos de las Familias 2 y 8, en el banco 1.

Luego de obtener las orientaciones de las 3 líneas, representativas de las aristas del vértice de un poliedro hexaedral, se procede a aplicar la ecuación ( 27).

Notar que como se tiene la información de las familias de discontinuidades por banco, se obtendrá para cada combinación, 3 valores de  $\omega$ : 1 por banco (banco 1, 2 y 3).

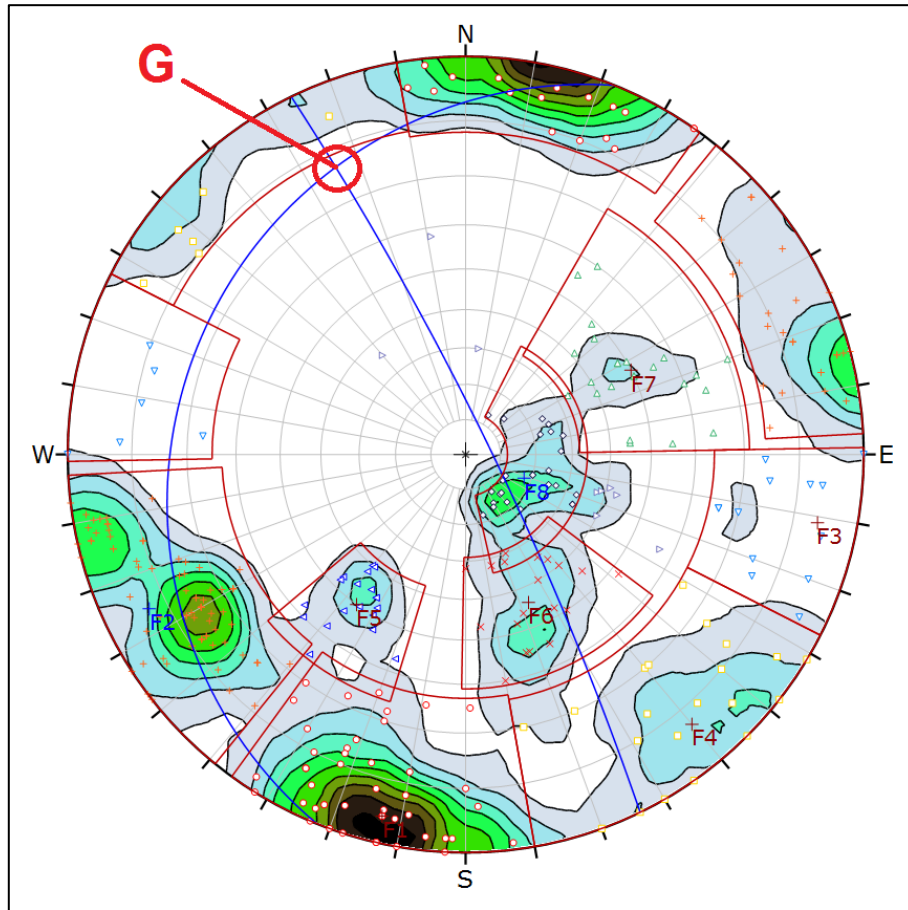


Figura 4. 16: Intersección de los planos representativos de las Familias 2 y 8 del banco 1, indicado por el punto G. La orientación de la línea que nace de esta intersección es 335/13 (azimut/manteo)<sup>30</sup>.

#### 4.4.2 Metodología para la obtención de $V_b$ en función de sus valores medios

El volumen del bloque para cierta combinación de tres familias, puede obtenerse en función de los valores medios de los espaciamientos de estas familias participantes. Como se mencionó anteriormente, se puede definir  $V_b$  como una función de la forma  $f(x, y, z; \omega)$ . Si se evalúa la función  $f$  fijando las incógnitas  $x, y, z$  a sus valores medios, se puede llevar al volumen del bloque a un valor único denotado como  $\overline{V_b}$  —la media del volumen del bloque—. Luego se tiene que  $\overline{V_b}$  se define por:  $f(\overline{S_1}; \overline{S_1}, \overline{S_2}, \omega)$ .

Para obtener todos los  $\overline{V_b}$  posibles, generados por la intersección de los planos de 3 familias, considerando todas las existentes, se siguen los siguientes pasos:

<sup>30</sup> En Dips, para la orientación de una línea, debe revisarse la notación trend/plunge y no dip/dip-direction.

- 1) Se obtienen todas las combinaciones posibles de tres familias involucradas, para todas las familias de discontinuidades presentes en el macizo rocoso (obviando discontinuidades aleatorias): 1-2-3, 1-2-4, 1-2-5,..., 2-4-7, etc. (Para 8 familias, se tienen 56 casos).
- 2) Se obtienen las orientaciones de las líneas que nacen de las intersecciones de los planos representativos de las familias, por banco.
- 3) Utilizando las orientaciones de las líneas recién mencionadas y la ecuación ( 27), se calculan los ángulos  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ; con objeto de obtener la constante  $\omega$ , para todas las combinaciones posibles de tres familias, por banco.
- 4) Se calcula  $\overline{Vb}$  de cada una de las combinaciones, por banco; utilizando los valores medios de las FDP asociadas a los espaciamientos de cada familia y los valores de la constante  $\omega$ .

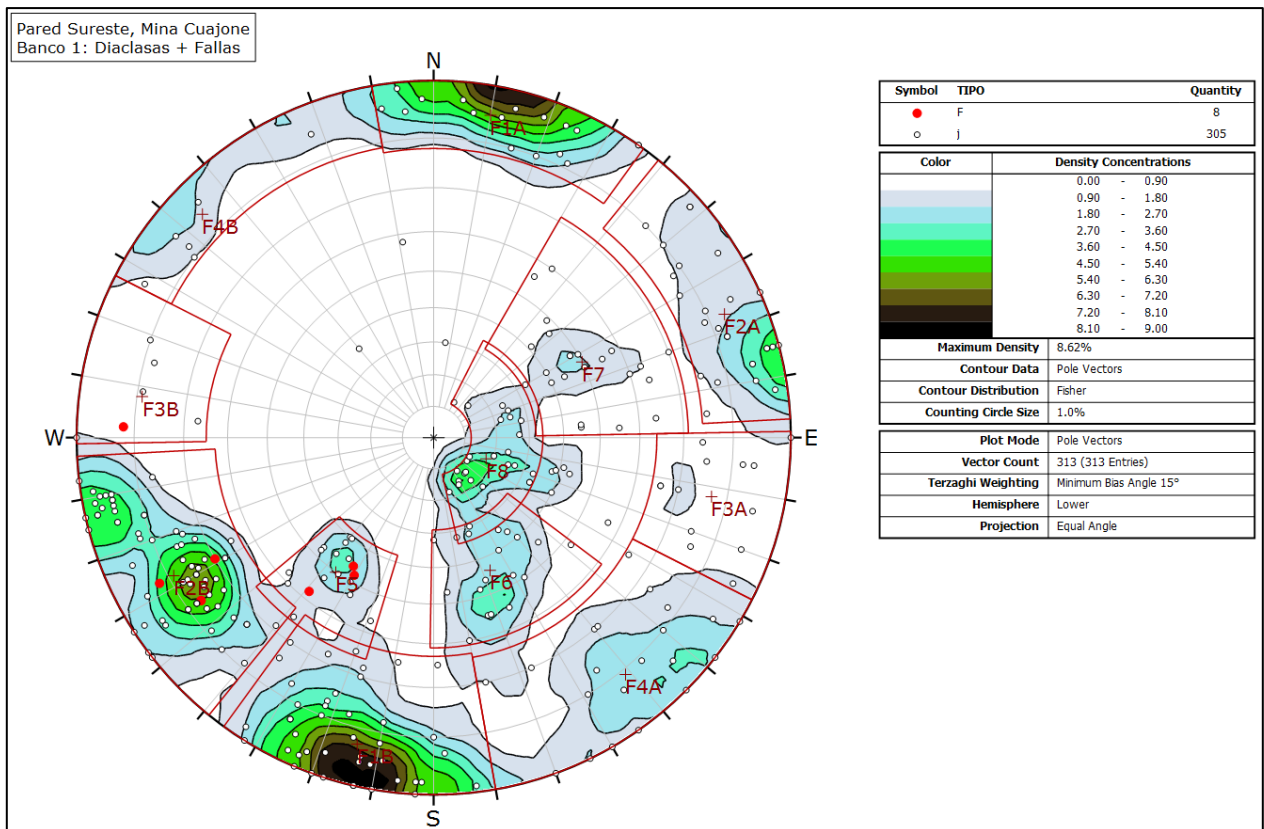


## CAPÍTULO 5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 5.1 FAMILIAS DE FRACTURAS PRESENTES

A continuación se presentan los estereogramas (generados con el programa Dips v.6) identificando a las familias presentes, por banco. Los datos cuentan con corrección de Terzaghi (utilizando Minimum Bias Angle = 15°), se distinguen las fallas de las diaclasas, y las ventanas para las familias subverticales se presentan divididas por el punto en que el manto tiene distinto sentido —por ejemplo, la ventana que contiene la información representativa de la Familia 4, se encuentra compuesta por las ventanas F4A y F4B—.

Los estereogramas generados por intervalos de mapeo, se presentan en el ANEXO 6.



**Figura 5. 1:** Estereograma mostrando las familias de fracturas para el Banco 1, e identificando las fallas (F: en rojo) de las diaclasas (j). Datos afectos a corrección de Terzaghi. Ventanas de las familias subverticales divididas por el punto en que el manto tiene distinto sentido.

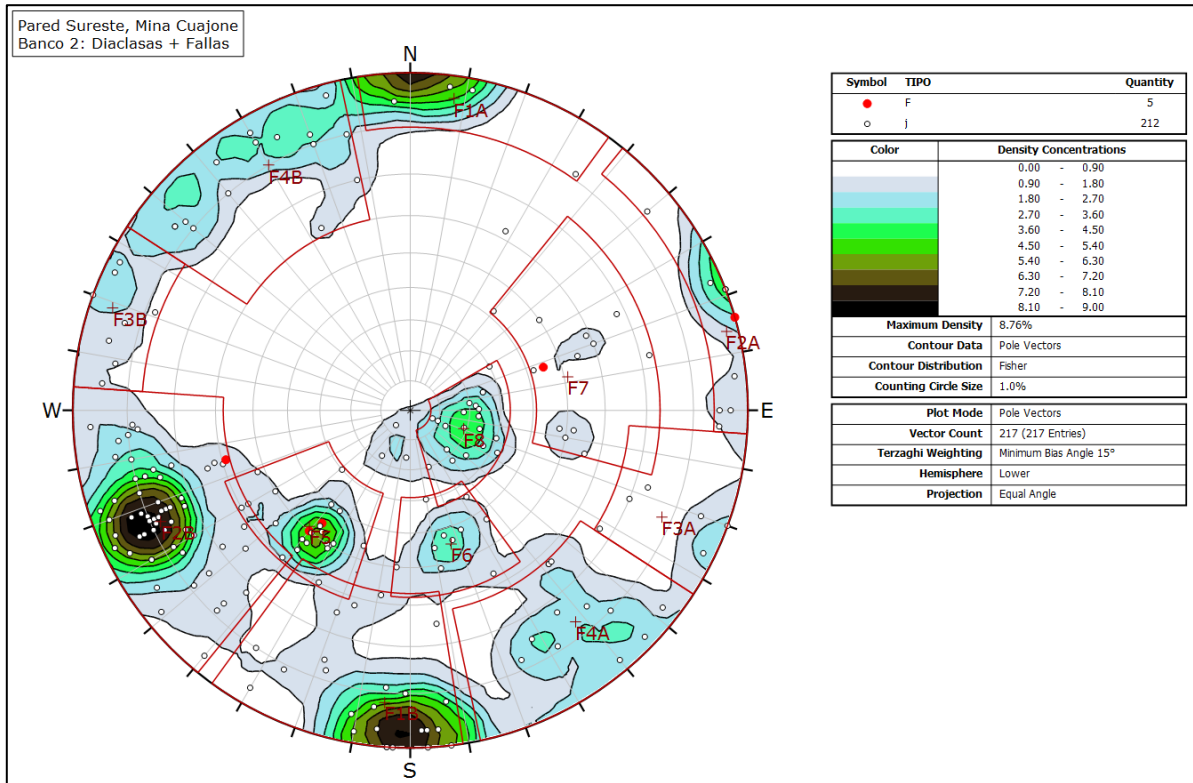


Figura 5. 2: Estereograma mostrando las familias de fracturas para el Banco 2, e identificando las fallas (F: en rojo) de las diaclasas (j). Datos afectos a corrección de Terzaghi. Ventanas de las familias subverticales divididas por el punto en que el manto tiene distinto sentido.

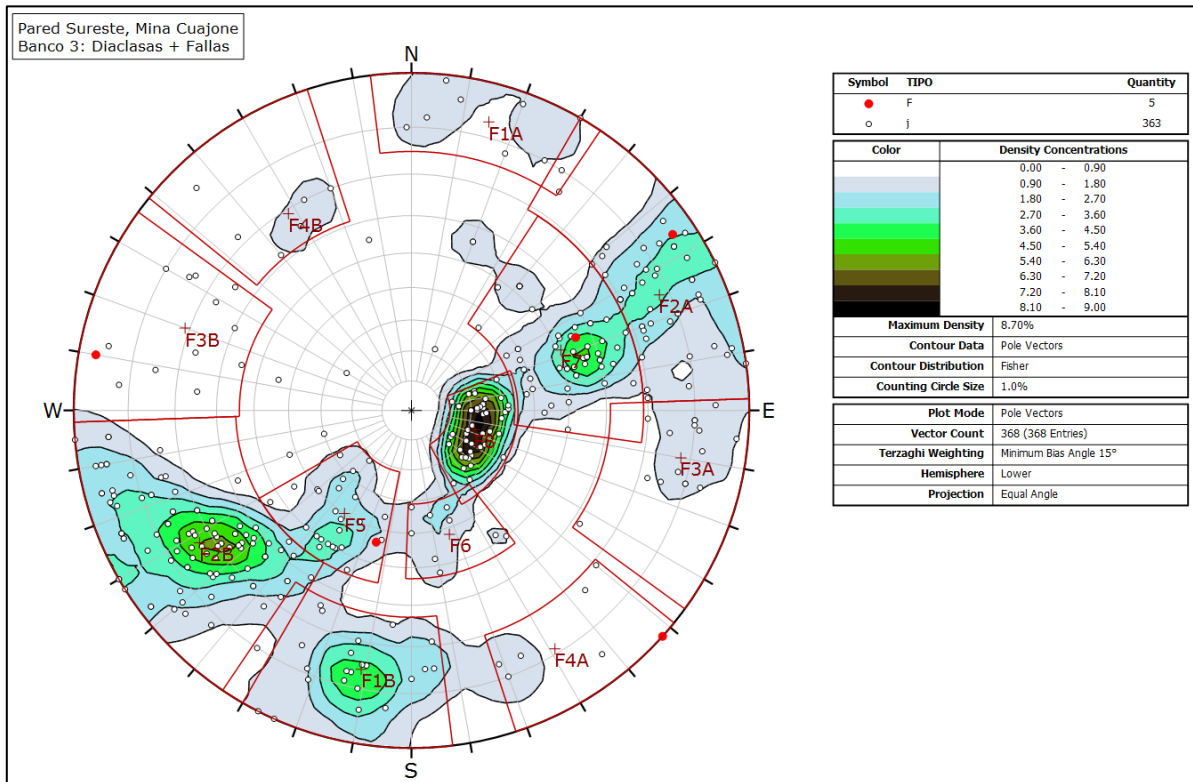


Figura 5. 3: Estereograma mostrando las familias de fracturas para el Banco 3, e identificando las fallas (F: en rojo) de las diaclasas (j). Datos afectos a corrección de Terzaghi. Ventanas de las familias subverticales divididas por el punto en que el manto tiene distinto sentido.

En las Tablas 5. 1, 5. 2 y 5. 3 se presenta el resumen de la información entregada por los estereogramas anteriores, indicándose además los rangos de las ventanas que identifican a cada familia de fracturas. En la Tabla 5. 4 se presenta la distribución de las cantidades y porcentajes de datos para cada familia, por banco. En la Tabla 5. 5 se presentan las orientaciones medias de las familias de fracturas por banco, de manera gráfica.

**Tabla 5. 1: Resumen de la información entregada por los estereogramas generados para el Banco 1.**

Familia	Integrado		Rangos				Conjugado		N° Polos	N° Entradas	% Ocurrencia relativa	% Ocurrencia	K de Fisher	Desv. angular	Total polos	Total entradas
	Media		Dip		Dip dir		Media									
	Dip	Dip dir	Dip	Dip dir	Dip	Dip dir	Dip	Dip dir								
F1A	86	13	78	90	170	216	85	190	17	17	5,6	5,4	36,19	13,46	313	304
F1B			63	90	350	36	83	14	49	49	16,1	15,7	43,54	12,27		
F2A	83	64	74	90	219	267	83	247	27	27	8,9	8,6	43,19	12,33		
F2B			63	90	39	87	79	62	77	77	25,3	24,6	41,22	12,62		
F3A	84	281	64	90	269	297	77	282	13	13	4,3	4,2	51,26	11,31		
F3B			65	90	89	117	79	98	6	6	2,0	1,9	63,05	10,20		
F4A	83	320	64	90	297	350	81	321	21	21	6,9	6,7	27,47	15,46		
F4B			79	90	117	170	84	134	6	6	2,0	1,9	29,71	14,86		
F5	50	36	38	66	17	50	----	----	19	19	6,3	6,1	77,85	9,18		
F6	44	337	29	61	307	1	----	----	19	19	6,3	6,1	40,68	12,70		
F7	50	243	32	71	210	269	----	----	24	24	7,9	7,7	29,69	14,87		
F8	18	292	12	34	207	347	----	----	26	26	8,6	8,3	45,71	11,98		

**Tabla 5. 2: Resumen de la información entregada por los estereogramas generados para el Banco 2.**

Familia	Integrado		Rangos				Conjugado		N° Polos	N° Entradas	% Ocurrencia relativa	% Ocurrencia	K de Fisher	Desv. angular	Total polos	Total entradas
	Media		Dip		Dip dir		Media									
	Dip	Dip dir	Dip	Dip dir	Dip	Dip dir	Dip	Dip dir								
F1A	83	5	80	90	171	216	86	188	4	4	1,9	1,8	38,70	13,02	217	213
F1B			57	90	351	36	82	5	24	24	11,3	11,1	33,87	13,92		
F2A	80	67	84	90	219	274	88	256	10	10	4,7	4,6	34,23	13,85		
F2B			58	90	39	94	78	66	68	68	31,9	31,3	42,88	12,37		
F3A	88	291	66	90	274	303	78	293	6	6	2,8	2,8	51,56	11,28		
F3B			77	90	94	123	86	109	8	8	3,8	3,7	88,26	8,62		
F4A	89	327	62	90	303	348	77	322	12	12	5,6	5,5	47,62	11,74		
F4B			60	90	123	168	80	150	15	15	7,0	6,9	27,53	15,44		
F5	49	41	29	61	18	69	----	----	23	23	10,8	10,6	51,91	11,24		
F6	45	343	29	58	324	6	----	----	10	10	4,7	4,6	57,58	10,67		
F7	51	258	41	73	219	285	----	----	13	13	6,1	6,0	23,06	16,87		
F8	19	289	7	33	240	344	----	----	20	20	9,4	9,2	65,40	10,02		

Tabla 5. 3: Resumen de la información entregada por los estereogramas generados para el Banco 3.

Familia	Integrado		Rangos				Conjugado		N° Polos	N° Entradas	% Ocu-rrencia relativa	% Ocu-rrencia	K de Fisher	Desv. angular	Total polos	Total entra-das
	Media		Dip		Dip dir		Media									
	Dip	Dip dir	Dip	Dip dir	Dip	Dip dir	Dip	Dip dir								
F1A	81	12	75	90	173	214	83	195	10	10	2,8	2,7	36,46	13,41	368	360
F1B			63	90	353	34	76	11	23	23	6,4	6,3	46,21	11,92		
F2A	82	60	69	90	210	268	78	245	48	48	13,3	13,0	49,63	11,50		
F2B			55	90	30	88	73	58	97	97	26,9	26,4	29,35	14,95		
F3A	88	105	61	90	268	306	78	280	16	16	4,4	4,3	53,32	11,09		
F3B			54	90	88	126	71	110	13	13	3,6	3,5	32,41	14,23		
F4A	86	148	70	90	309	342	79	329	7	7	1,9	1,9	33,54	13,99		
F4B			61	90	129	162	69	148	6	6	1,7	1,6	50,15	11,44		
F5	40	33	21	55	11	60	----	----	26	26	7,2	7,1	44,62	12,13		
F6	42	343	31	53	322	2	----	----	9	9	2,5	2,4	52,99	11,13		
F7	51	248	34	69	213	278	----	----	54	54	15,0	14,7	35,90	13,52		
F8	22	287	13	35	248	332	----	----	51	51	14,2	13,9	71,93	9,55		

Tabla 5. 4: Cantidad de datos y porcentaje del total para cada familia de discontinuidades, por banco.

Familia	Banco 1		Banco 2		Banco 3	
	N° datos	% del total	N° datos	% del total	N° datos	% del total
1	66	21,1	28	12,9	33	9,0
2	104	33,2	78	35,9	145	39,4
3	19	6,1	14	6,5	29	7,9
4	27	8,6	27	12,4	13	3,5
5	19	6,1	23	10,6	26	7,1
6	19	6,1	10	4,6	9	2,4
7	24	7,7	13	6,0	54	14,7
8	26	8,3	20	9,2	51	13,9
aleatorias	9	2,9	4	1,8	8	2,2
<b>total</b>	<b>313</b>	<b>100</b>	<b>217</b>	<b>100</b>	<b>368</b>	<b>100</b>

Tabla 5. 5: Representación gráfica de las orientaciones medias de las familias de fracturas<sup>31</sup>.

Banco Familia	Banco 1	Banco 2	Banco 3	Orientación General
F1	86 	83 	81 	WNW/sV
F2	83 	80 	82 	NNW/sV
F3	84 	88 	88 	NNE/sV
F4	83 	89 	86 	ENE/sV
F5	50 	49 	40 	NW/NE
F6	44 	45 	42 	ENE/NW
F7	50 	51 	51 	NNW/SW
F8	18 	19 	22 	NNE/sH

De la información expuesta en la presente sección, se desprende lo siguiente:

- Se identifican 8 familias de fracturas por banco.
- Según se observa en los estereogramas (Figuras 5. 1 a 5. 3) y aún más en la representación gráfica de las orientaciones medias de las fracturas en la Tabla 5. 5, hay prácticamente completa correspondencia entre las familias de orientación media similar identificadas en cada banco —por ejemplo, para la Familia 8 se tiene que en los 3 bancos su rumbo es NNE y su manteo está bien

<sup>31</sup> Para las orientaciones generales, el primer componente de la expresión indica el rumbo, mientras que el segundo la dirección de manteo o su tendencia. Para este último (la tendencia), “sV” significa subvertical, mientras que “sH” subhorizontal.

acotado en un rango que va de 18° (banco 1) a 22° (banco 3)—. Luego, se puede establecer una relación de equivalencia entre ellas: las familias identificadas se replican en cada banco.

- En consideración al punto anterior, se puede realizar un estudio estadístico considerando mínimo sesgo de selección<sup>32</sup> en las operatorias de parámetros pertenecientes a una misma familia, de bancos distintos.
- Las familias identificadas están bien representadas por los sistemas estructurales del Dominio 5 y en menor medida por el Dominio 10 (ver Sección 2.2.4). Destacando las familias 1, 2, 3 y 7 de orientación media muy similar a las de los sistemas 1, 2, 8 y 14 respectivamente.
- Las fallas se concentran de preferencia en las familias de rumbo NW y NNW. Mismo rumbo que tienen las fallas de escala distrital (Micalaco, Quellaveco, Viña Blanca y Botiflaca) y regional (Incapuquio).
- En la Tabla 5. 4 se observa que la mayor cantidad de datos (diaclasas y fallas incluidas) la tiene la Familia 2, con 33,2%, 35,9% y 39,4% del total, para los bancos 1, 2 y 3 respectivamente; mientras que para el resto de las familias ronda del ~4% al ~15% dependiendo del banco de pertenencia, con casos críticos excepcionales —fuera de este rango—: la Familia 1 en el banco 1 (21,1%) y la Familia 6 en el banco 3 (2,4%). En base a estos datos, es claro el predominio de las fracturas subverticales de orientación NNW, representadas por la Familia 2.
- De la Tabla 5. 4 se desprende que las familias con manto subvertical (Familias 1, 2, 3 y 4) concentran 216 datos del total de 313 para el banco 1 (69%), 147 datos del total de 217 para el banco 2 (67,7%) y 220 datos del total de 368 para el banco 3 (59,8%); las familias de manto intermedio (Familias 5, 6 y 7) concentran 62 datos para el banco 1 (19,8%), 46 para el banco 2 (21,2%) y 89 para el banco 3 (24,2%); y la Familia 8, de manto subhorizontal tiene 26 datos para el banco 1 (8,3%), 20 para el banco 2 (9,2%) y 51 para el banco 3 (13,9%).
- Es notoria la diferencia en la cantidad del total de datos para cada banco, donde la mayor cantidad la tiene el banco 3 (casi un 70% más de lo que tiene el banco 2), aun cuando la longitud de la línea de detalle por la cual fueron capturados es menor a la de los bancos 1 y 2 (40 m versus 50 m que tienen el banco 1 y 2, respectivamente). Esto tiene directa relación a la pérdida de información producto de la interrupción en la línea de detalle (Tabla 4. 1), donde se perdieron 5.05 m para el banco 1 y 14.4 m para el banco 2.

---

<sup>32</sup> Sesgo producto de un error en la selección de elementos participantes en un estudio. Existe extensa literatura en el área médica respecto a este sesgo estadístico (ver Sica, 2006).

- Los datos presentados, que reflejan la información estructural del sector de estudio, establecen un patrón de fracturamiento en cuanto a las orientaciones características encontradas, agrupadas dentro de familias; y grado, en cuanto a la cantidad de datos que concentran cada una de ellas.

## **5.2 PERSISTENCIA**

Parámetro obtenido directamente del mapeo, en función de sus componentes horizontales y verticales. El análisis de su comportamiento probabilístico es realizado por familia, de manera independiente, pero considerando todos los datos involucrados para cada una; o sea, la información concerniente a los 3 bancos mapeados. Estos datos (los valores de las distintas persistencias) se presentan en la Tabla A4. 2 (ANEXO 4).

### **5.2.1 Ajuste y clasificación de FDP para la persistencia**

Mediante el uso de Crystal Ball, utilizando los datos vinculados al parámetro persistencia —por familia—, se buscan las FDP que modelen su distribución de manera más precisa, para luego clasificarlas según la prueba *A-D*. Finalmente se entregan las ecuaciones que definen las FDP principales.

El resumen de los resultados de la prueba Anderson-Darling se muestra en la Tabla 5. 6. Se exponen junto a su valor *A-D*, las 4 distribuciones que mejor se ajustan para los datos dados, por familia. También se presentan los parámetros que permiten definir la distribución principal de cada una.

**Tabla 5. 6: Distribuciones que siguen las FDP para el parámetro persistencia, por familia. Su valor A-D, media, desviación estándar y parámetros que permiten definir la distribución, según sea el caso. Destacadas en amarillo las distribuciones principales de cada familia.**

Familia	# Datos	Distribución	Valor A-D	ubicación	media	desviación estándar	media LOG	desv. est. LOG	alfa	beta	tasa
F1	127	Log-normal	0,86	0,03	3,29	4,16	0,70	0,98	NA	NA	NA
		Gamma	2,69								
		Weibull	2,74								
		Exponencial	3,00								
F2	327	Log-normal	1,94	-0,05	4,97	6,17	1,15	0,96	NA	NA	NA
		Gamma	2,88								
		Weibull	2,89								
		Exponencial	4,56								
F3	62	Log-normal	0,66	0,34	4,95	9,51	0,70	1,29	NA	NA	NA
		Weibull	1,17								
		Gamma	1,45								
		Exponencial	1,80								
F4	67	Log-normal	0,42	0,03	2,14	3,12	0,16	1,08	NA	NA	NA
		Gamma	1,99								
		Exponencial	2,00								
		Weibull	2,17								
F5	68	Log-normal	0,36	0,18	5,88	16,70	0,61	1,50	NA	NA	NA
		Weibull	1,22								
		Gamma	1,42								
		Exponencial	4,60								
F6	38	Log-normal	0,64	0,00	2,27	2,70	0,38	0,94	NA	NA	NA
		Exponencial	1,57								
		Pareto	2,24								
		Gamma	2,31								
F7	91	Weibull	0,76	0,18	4,04	4,15	NA	NA	0,93	3,73	NA
		Exponencial	0,81	0,00	4,00	4,00	NA	NA	NA	NA	0,25
		Log-normal	0,91								
		Gamma	1,20								
F8	97	Gamma	0,67	0,09	3,04	2,68	NA	NA	1,20	2,45	NA
		Log-normal	0,78	-0,14	3,17	3,57	0,81	0,88	NA	NA	NA
		Weibull	0,88								
		Exponencial	1,31								

A excepción de la Familia 2, todas las distribuciones principales —destacadas en amarillo— presentan un buen ajuste (valor A-D < 1,5). Lo anterior no deja de llamar la atención, pues esta familia es la que presenta la mayor cantidad de datos, luego se esperaría que esto permitiese ajustar de mejor la manera las distribuciones con que puede ser modelada probabilísticamente.

De la Familia 1 a la Familia 6, se tiene que sus distribuciones principales pertenecen al tipo Log-normal, mientras que la 7 a Weibull y la 8 a Gamma. Para estas dos últimas se entregan los parámetros que permiten modelar las distribuciones que le siguen en ranking (Exponencial y Log-normal respectivamente, las cuales también poseen un



buen ajuste), por ser distribuciones bien conocidas en la literatura y de amplio uso en variados programas<sup>33</sup>.

A continuación se muestra gráficamente, para la Familia 1, como se distribuye la persistencia en función de agrupaciones cada 0,5 metros y la FDP que permite modelar esta distribución:

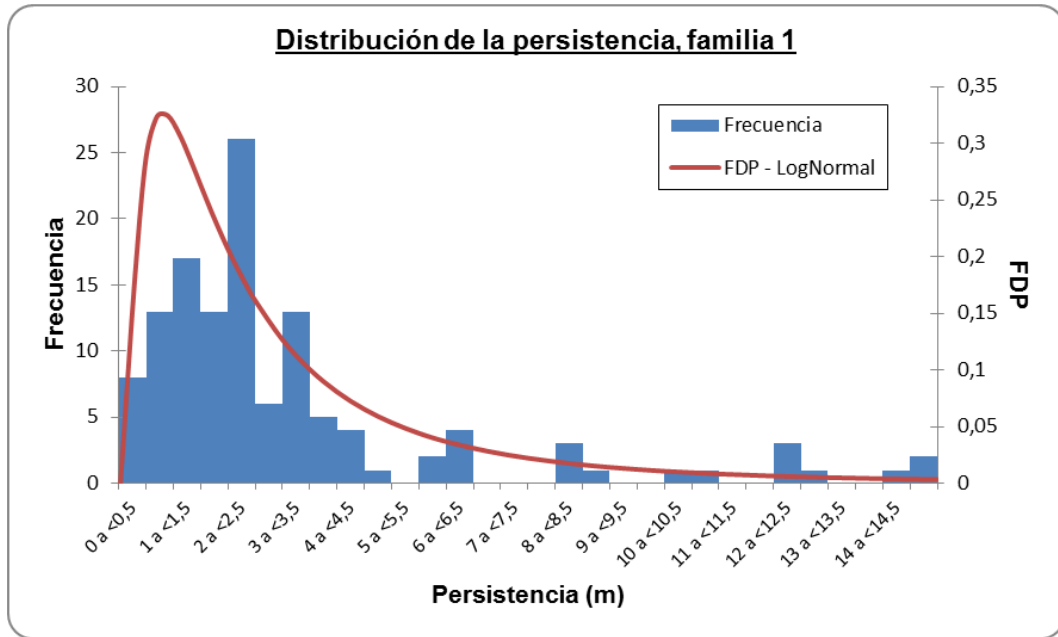


Figura 5. 4: Distribución de la persistencia de la Familia 1. Las agrupaciones de persistencias son cada 0,5 m y el eje de las abscisas está truncado a los 15 m. El truncamiento permite mostrar un total de 125 datos de un universo de 127. La FDP asociada sigue una distribución Log-normal con una media de 3,29.

La FDP asociada sigue una distribución Log-normal (ver ANEXO 7). La cual se define:

$$f(x; \mu, \sigma) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma x} e^{-[\ln(x)-\mu]^2/(2\sigma^2)}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$$

, donde  $\mu$  y  $\sigma$  son la media y desviación estándar de  $\ln(X)$ , siendo  $X$  la variable aleatoria. Entonces la FDP asociada a la persistencia de la Familia 1, utilizando los parámetros expuestos en la Tabla 5. 6:

$$f(x; 0,7; 0,98) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \times 0,98 \times (x - 0,03)} e^{-\frac{[\ln(x-0,03)-0,7]^2}{(2 \times 0,98^2)}}, x \geq 0,03$$

<sup>33</sup> Esto a modo de apoyo y con intención de entregar información adicional y valiosa. No se pretende reemplazar ni quitar valía a las distribuciones principales obtenidas para las Familias 7 y 8.

Un desarrollo similar, según la distribución de probabilidad que mejor se ajusta para cada caso, lleva a obtener las ecuaciones que definen las FDP asociadas a las persistencias de las otras familias; como así también las representaciones gráficas de su distribución. Estas últimas se presentan en ANEXO 8.

En la siguiente tabla se presenta el resumen de las FDP más representativas para la persistencia, asociadas a cada familia. Para las Familias 7 y 8 se incluye una adicional (\*), por motivos ya mencionados previamente:

**Tabla 5. 7: Resumen de FDP para la persistencia (en metros), para cada familia. Para las Familias 7 y 8 se incluyen FDP alternativas (\*) a las principales. Valores mínimos de x=0 a menos que se indique lo contrario<sup>34</sup>.**

Familia	Tipo de FDP	FDP
1	Log-normal	$\frac{1}{\sqrt{2\pi} \times 0,98 \times (x - 0,03)} e^{-\frac{[\ln(x-0,03)-0,7]^2}{(2 \times 0,98^2)}}, x \geq 0,03$
2	Log-normal	$\frac{1}{\sqrt{2\pi} \times 0,96 \times (x + 0,05)} e^{-\frac{[\ln(x+0,05)-1,15]^2}{(2 \times 0,96^2)}}$
3	Log-normal	$\frac{1}{\sqrt{2\pi} \times 1,29 \times (x - 0,34)} e^{-\frac{[\ln(x-0,34)-0,7]^2}{(2 \times 1,29^2)}}, x \geq 0,34$
4	Log-normal	$\frac{1}{\sqrt{2\pi} \times 1,08 \times (x - 0,03)} e^{-\frac{[\ln(x-0,03)-0,16]^2}{(2 \times 1,08^2)}}, x \geq 0,03$
5	Log-normal	$\frac{1}{\sqrt{2\pi} \times 1,5 \times (x - 0,18)} e^{-\frac{[\ln(x-0,18)-0,61]^2}{(2 \times 1,5^2)}}, x \geq 0,18$
6	Log-normal	$\frac{1}{\sqrt{2\pi} \times 0,94x} e^{-\frac{[\ln(x)-0,38]^2}{(2 \times 0,94^2)}}$
7	Weibull	$0,273 \times (x - 0,18)^{-0,07} e^{-\left(\frac{x-0,18}{3,73}\right)^{0,93}}, x \geq 0,18$
	*Exponencial	$0,25 \times e^{-0,25x}$
8	Gamma	$\frac{1}{2,931 \times \Gamma(1,2)} (x - 0,09)^{0,2} e^{-\frac{(x-0,09)}{2,45}}, x \geq 0,09$
	*Log-normal	$\frac{1}{\sqrt{2\pi} \times 0,88 \times (x + 0,14)} e^{-\frac{[\ln(x+0,14)-0,81]^2}{(2 \times 0,88^2)}}$

<sup>34</sup> Si bien el valor de mínimo de x puede teóricamente, en las ecuaciones que definen cada FDP, tomar valores negativos —por ejemplo para la FDP de la persistencia de la Familia 2, la ecuación admite x<0 (hasta -0,05)—, en la práctica no es válido pues la variable aleatoria es positiva para todo el Dominio (no hay persistencias negativas). Esto se cumple para el parámetro persistencia, como también para el espaciamiento y volumen del bloque, a ver.

De lo expuesto, se desprenden las siguientes observaciones para la persistencia:

- Las distribuciones que mejor se ajustan para las persistencias de todas las familias, exceptuando la 7 y 8, son de tipo Log-normal. Haciendo notar que para la Familia 8, la segunda que mejor lo hace es también de ese tipo.
- Las medias de la persistencia para las distintas familias, se encuentran en un rango bien acotado que va de ~2 a ~6 metros.
- Las persistencias de familias con azimut paralelo a la línea de detalle —y por ende, a la cara del banco— tienen típicamente media menor a las persistencias de las familias con azimut perpendicular (ver Familias 1, 4 y 6 versus Familias 2, 3 y 7).
- La persistencia de la Familia 5 es un caso especial, estadísticamente: presenta la mayor persistencia media y es a la vez la que tiene mayor variabilidad, con una desviación estándar que es un orden de magnitud mayor a la de las otras familias. Notar además que su orientación es intermedia al compararla con elementos geométricos extremos: Su azimut no es paralelo ni perpendicular a la línea de detalle, y su manteo no es subvertical ni subhorizontal.
- Para las persistencias de todas las familias, a excepción de la 2 y 7 (que tienen a la vez línea de rumbo similar entre sí, pero variación en su manteo), es clara la alta concentración de datos para persistencias menores a 3 m, donde las de mayor magnitud se presentan a saltos (ver Figuras A8. 1 a A8. 8, en ANEXO 8). Para las Familias 2 y 7, en cambio, la concentración de datos de valores de persistencia de menor magnitud a mayor, decae de manera más continua.

### **5.3 ESPACIAMIENTO**

El análisis del comportamiento probabilístico del espaciamiento, al igual que para la persistencia, es realizado de manera independiente por familia, pero considerando todos los datos involucrados para cada una: incluyendo la información concerniente a los 3 bancos mapeados. Estos datos (los valores de los distintos espaciamientos), que se desprenden del cálculo del espaciamiento real post correcciones geométricas y las derivadas de errores en el muestro, se presentan en la Tabla A4. 3 (ANEXO 4).

#### **5.3.1 Ajuste y clasificación de FDP para el espaciamiento**

Del mismo modo que en la Sección 5.2.1, se obtienen y clasifican las FDP y se entregan las ecuaciones que definen a las principales. El resumen de los resultados de

la prueba Anderson-Darling se muestra en la Tabla 5. 8. Se exponen junto a su valor *A-D*, las 4 distribuciones que mejor se ajustan para los datos dados, por familia. También se presentan los parámetros que permiten definir la distribución principal de cada una.

**Tabla 5. 8: Distribuciones que siguen las FDP para el parámetro espaciamento, por familia. Su valor *A-D*, media, desviación estándar y parámetros que permiten definir la distribución, según sea el caso. Destacadas en amarillo las distribuciones principales de cada familia.**

Familia	# Datos	Distribución	Valor A-D	ubicación	media	desviación estándar	media LOG	desv. est. LOG	mínimo	máximo	alfa	beta	tasa
F1	109	Log-normal	0,24	-0,06	0,53	0,59	-0,88	0,83					
		Weibull	0,69										
		Beta PERT	1,16										
		Extremo máximo	2,05										
F2	314	Log-normal	0,55	-0,03	0,36	0,44	-1,35	0,91					
		Extremo máximo	8,97										
		Logística	15,52										
		Exponencial	16,41										
F3	54	Beta	0,44	-0,03	1,20	1,04			-0,03	5,58	0,86	3,07	
		Exponencial	0,51	0,00	1,20	1,20							0,84
		Log-normal	0,98										
		Weibull	1,21										
F4	49	Log-normal	0,32	0,00	0,43	0,74	-1,53	1,17					
		Exponencial	0,49										
		Weibull	0,87										
		Gamma	1,01										
F5	55	Log-normal	0,38	-0,07	0,91	1,04	-0,40	0,87					
		Gamma	0,85										
		Exponencial	1,46										
		Weibull	1,56										
F6	26	Log-normal	0,89	0,00	0,42	3,94	-3,13	2,12					
		Gamma	1,29										
		Logística	1,88										
		Extremo máximo	2,01										
F7	77	Log-normal	0,32	-0,01	0,84	1,66	-0,95	1,25					
		Weibull	1,32										
		Exponencial	3,04										
		Extremo máximo	4,14										
F8	84	Log-normal	0,27	-0,02	0,30	0,33	-1,51	0,85					
		Gamma	0,68										
		Exponencial	1,40										
		Weibull	1,63										

Todas las distribuciones principales, para cada familia, presentan un buen ajuste (valor *A-D* < 1,5). También se observa que éstas son de tipo Log-normal, a excepción de la Familia 3, cuya distribución es de tipo Beta, que se define sólo para un intervalo de longitud finita. Luego, para esta familia, se entrega adicionalmente los parámetros que permiten modelar la distribución que le sigue en ranking y que también presenta buen ajuste: de tipo Exponencial, distribución ampliamente conocida en la literatura y de amplio uso en variados programas, que además no tiene la restricción de la distribución anterior.

Las representaciones gráficas, para todas las familias, de la distribución del espaciamiento en función de agrupaciones cada 0,1 metros y la FDP que permite modelar esta distribución se presentan en ANEXO 8.

En la siguiente tabla se presenta el resumen de las FDP más representativas para el espaciamiento, asociadas a cada familia. Para la Familia 3 se incluye una adicional (\*) como alternativa:

**Tabla 5. 9: Resumen de FDP para el espaciamiento (en metros), para cada familia. Para la Familia 3 se incluye una FDP alternativa (\*) a la principal. Valores mínimos de x=0 a menos que se indique lo contrario.**

Familia	Tipo de FDP	FDP
1	Log-normal	$\frac{1}{\sqrt{2\pi} \times 0,83 \times (x + 0,06)} e^{-\frac{[\ln(x+0,06)+0,88]^2}{(2 \times 0,83^2)}}$
2	Log-normal	$\frac{1}{\sqrt{2\pi} \times 0,91 \times (x + 0,03)} e^{-\frac{[\ln(x+0,03)+1,35]^2}{(2 \times 0,91^2)}}$
3	Beta	$\frac{1}{5,61} \times \frac{\Gamma(3,93)}{\Gamma(0,86) \times \Gamma(3,07)} \times \left(\frac{x + 0,03}{5,61}\right)^{-0,14} \times \left(\frac{5,58 - x}{5,61}\right)^{2,07}, 0 \leq x \leq 5,58$
	*Exponencial	$0,84 \times e^{-0,84x}$
4	Log-normal	$\frac{1}{\sqrt{2\pi} \times 1,17x} e^{-\frac{[\ln(x)+1,53]^2}{(2 \times 1,17^2)}}$
5	Log-normal	$\frac{1}{\sqrt{2\pi} \times 0,87 \times (x + 0,07)} e^{-\frac{[\ln(x+0,07)+0,4]^2}{(2 \times 0,87^2)}}$
6	Log-normal	$\frac{1}{\sqrt{2\pi} \times 2,12x} e^{-\frac{[\ln(x)+3,13]^2}{(2 \times 2,12^2)}}$
7	Log-normal	$\frac{1}{\sqrt{2\pi} \times 1,25 \times (x + 0,01)} e^{-\frac{[\ln(x+0,01)+0,95]^2}{(2 \times 1,25^2)}}$
8	Log-normal	$\frac{1}{\sqrt{2\pi} \times 0,85 \times (x + 0,02)} e^{-\frac{[\ln(x+0,02)+1,51]^2}{(2 \times 0,85^2)}}$

De lo expuesto, se desprenden las siguientes observaciones para el espaciamiento:

- Las distribuciones que mejor se ajustan para los espaciamientos de todas las familias, exceptuando la 3, son de tipo Log-normal.
- Las medias del espaciamiento para las distintas familias, se encuentran en un amplio rango que va de 0,3 a 1,2 metros.

- No hay una relación clara entre las orientaciones de las familias y su espaciamiento. Por ejemplo para las subverticales: si bien se encuentran los valores medios de los espaciamientos para las Familias 1, 2 y 4 en un rango cercano (entre 0,36 y 0,53 m), para la Familia 3 no ocurre lo mismo (1,2 m).
- Los espaciamientos con mayor variabilidad son los pertenecientes a las familias 6 y 7, de manto intermedio ( $\sim 40^\circ$ - $50^\circ$ ), con desviación estándar 3,94 y 1,66 respectivamente; mientras que el espaciamiento de la Familia 5 (de manto similar) tiene desviación estándar 1,04. No hay equivalencia en este punto (alta variabilidad) del espaciamiento con la persistencia, donde para ese parámetro la Familia 5 tenía los valores estadísticos más extremos.
- Para los espaciamientos de todas las familias, a excepción de la 3, se tiene una alta concentración de datos en los valores de menor magnitud (ver Figuras A8. 9 a A8. 16, en ANEXO 8), decayendo continua y rápidamente a otros de mayor. Para los espaciamientos de la Familia 3 en cambio, el decaimiento es menos continuo y más lento; y si bien la mayor concentración de datos se da en los valores de menor magnitud, también posee altas concentraciones en los intermedios.

## 5.4 VOLUMEN DEL BLOQUE

El análisis del comportamiento probabilístico del volumen del bloque es realizado para el estudio de casos particulares de combinaciones de 3 familias de fracturas que forman bloques (ver Sección 4.4) y para el estudio de mediciones de bloques in situ. Adicionalmente se obtiene el  $V_b$  en función de sus valores medios, considerando todos los casos teóricos posibles de las 8 familias identificadas.

### 5.4.1 $V_b$ para las combinaciones de familias: 1-2-8, 1-2-5, 2-4-8 y 1-3-8

Para el estudio del parámetro se escogen 4 casos, para distintas combinaciones de 3 familias de fracturas que generan bloques característicos. Tres de estas combinaciones son las que generan los bloques más representativos del macizo, según lo observado en terreno y al revisar los estereogramas generados (en base a las familias con mayor cantidad de datos y orientaciones medias no semejantes): casos 1-2-8, 1-2-5 y 2-4-8. El cuarto caso nace del deseo de observar el comportamiento de una combinación que tiene entre sus elementos una familia cuyo espaciamiento sigue una distribución de tipo distinto al de los espaciamientos de las otras familias que la conforman: caso 1-3-8 (el espaciamiento de la Familia 3 sigue una distribución Beta, en desmedro de las otras que siguen una Log-normal).

Las tablas siguientes muestran las orientaciones (en notación azimut/manteo) de las líneas generadas producto de las intersecciones de los planos representativos de las familias que conforman cada una de las combinaciones especificadas.

**Tabla 5. 10: Orientación de las líneas generadas para la combinación de familias 1-2-8, para cada uno de los bancos. Notación de las orientaciones en azimut/manteo.**

	Banco 1			Banco 2			Banco 3		
	Familia 1	Familia 2	Familia 8	Familia 1	Familia 2	Familia 8	Familia 1	Familia 2	Familia 8
Familia 1	x	067/82	284/17	x	051/79	277/18	x	030/80	285/22
Familia 2	x	x	335/13	x	x	339/12	x	x	332/15
Familia 8	x	x	x	x	x	x	x	x	x

**Tabla 5. 11: Orientación de las líneas generadas para la combinación de familias 1-2-5, para cada uno de los bancos. Notación de las orientaciones en azimut/manteo.**

	Banco 1			Banco 2			Banco 3		
	Familia 1	Familia 2	Familia 5	Familia 1	Familia 2	Familia 5	Familia 1	Familia 2	Familia 5
Familia 1	x	067/82	101/26	x	051/79	089/37	x	030/80	098/19
Familia 2	x	x	338/32	x	x	343/31	x	x	333/23
Familia 5	x	x	x	x	x	x	x	x	x

**Tabla 5. 12: Orientación de las líneas generadas para la combinación de familias 2-4-8, para cada uno de los bancos. Notación de las orientaciones en azimut/manteo.**

	Banco 1			Banco 2			Banco 3		
	Familia 2	Familia 4	Familia 8	Familia 2	Familia 4	Familia 8	Familia 2	Familia 4	Familia 8
Familia 2	x	011/78	335/13	x	051/79	339/12	x	085/81	332/15
Familia 4	x	x	231/08	x	x	237/12	x	x	237/14
Familia 8	x	x	x	x	x	x	x	x	x

**Tabla 5. 13: Orientación de las líneas generadas para la combinación de familias 1-3-8, para cada uno de los bancos. Notación de las orientaciones en azimut/manteo.**

	Banco 1			Banco 2			Banco 3		
	Familia 1	Familia 3	Familia 8	Familia 1	Familia 3	Familia 8	Familia 1	Familia 3	Familia 8
Familia 1	x	316/82	284/17	x	004/83	277/18	x	32/81	285/22
Familia 3	x	x	011/03	x	x	200/01	x	x	015/01
Familia 8	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Utilizando como parámetros de entrada las orientaciones de las líneas mostradas en las tablas anteriores, se calculan los ángulos  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ; para obtener finalmente la constante  $\omega$  para cada caso requerido (Tabla 5. 14).

Tabla 5. 14: Valor de  $\omega$  para las combinaciones de familias de fracturas: 1-2-8, 1-2-5, 2-4-8 y 1-3-8; por banco.

Combinación de familias	Banco 1				Banco 2				Banco 3			
	$\alpha$ (°)	$\beta$ (°)	$\gamma$ (°)	$\omega$	$\alpha$ (°)	$\beta$ (°)	$\gamma$ (°)	$\omega$	$\alpha$ (°)	$\beta$ (°)	$\gamma$ (°)	$\omega$
1-2-8	79,4	77,4	49,3	1,37	79,8	74,8	59,9	1,22	70,9	69,9	44,9	1,60
1-2-5	57,5	58,2	100,5	1,42	44,7	55,5	83,0	1,74	67,5	61,8	111,8	1,32
2-4-8	67,4	91,2	101,7	1,11	74,8	88,9	99,0	1,05	78,7	84,0	91,1	1,03
1-3-8	66,3	82,4	86,3	1,10	71,8	95,7	77,3	1,08	70,9	80,4	89,6	1,07

#### 5.4.1.1 Ajuste y clasificación de FDP para el volumen del bloque. Casos 1-2-8, 1-2-5, 2-4-8 y 1-3-8.

Los datos necesarios para este análisis se presentan en las Tablas A4. 4 a A4. 15 (ANEXO 4); donde se incluye además del rango de valores de  $V_{b_{abc}}$ , para la combinación de familias a-b-c a ser evaluado, los datos necesarios para calcular cada uno. El resumen de los resultados de la prueba Anderson-Darling se muestra en la Tabla 5. 15:

Tabla 5. 15: Distribuciones principales que siguen las FDP para el parámetro Volumen del bloque, para distintas combinaciones de familias de fracturas. Su valor A-D, media, desviación estándar y parámetros que permiten definir la distribución, según sea el caso.

Familias incluidas	# Datos	Incógnita de $V_b$	Distribución	Valor A-D	ubicación	media	desviación estándar	media LOG	desv. est. LOG	mínimo	máximo	alfa	beta	tasa
1-2-8	109	Esp. F1	Log-normal	0,24	-0,01	0,08	0,09	-2,76	0,85					
	314	Esp. F2	Log-normal	0,51	-0,01	0,08	0,10	-2,83	0,89					
	84	Esp. F8	Log-normal	0,40	-0,01	0,08	0,09	-2,79	0,86					
1-2-5	109	Esp. F1	Log-normal	0,27	-0,03	0,25	0,28	-1,65	0,85					
	314	Esp. F2	Log-normal	0,47	-0,02	0,26	0,33	-1,73	0,94					
2-4-8	55	Esp. F5	Log-normal	0,16	-0,02	0,26	0,29	-1,66	0,86					
	314	Esp. F2	Log-normal	0,49	0,00	0,05	0,06	-3,35	0,91					
	49	Esp. F4	Log-normal	0,34	0,00	0,05	0,09	-3,69	1,17					
1-3-8	84	Esp. F8	Log-normal	0,25	0,00	0,05	0,05	-3,32	0,85					
	109	Esp. F1	Log-normal	0,24	-0,02	0,21	0,23	-1,81	0,83					
	54	Esp. F3	Beta	0,47	-0,01	0,21	0,18			-0,01	1,00	0,89	3,29	
	54	Esp. F3	Exponencial	0,52	0,00	0,21	0,21							4,84
	84	Esp. F8	Log-normal	0,26	-0,01	0,21	0,23	-1,88	0,85					

Todas las distribuciones presentan un buen ajuste y se observa que las FDP asociadas a los distintos  $V_b$ , heredan las distribuciones principales asociadas a las FDP de las variables aleatorias que  $V_b$  utiliza como incógnitas. Por ejemplo se tiene que  $q(y)$ , la FDP de la variable aleatoria  $Y$  —dada la probabilidad de que  $Y$  tome el valor  $y$ — asociada al espaciamiento de la Familia 2, sigue una distribución de tipo Log-normal, y la FDP asociada a  $V_{b_{125}}(2)$  definida por  $(g \circ f)(y; \overline{S1}, \overline{S5}, \omega)$  sigue también una del mismo tipo.

Para el ejemplo anterior:  $\overline{S1}$  y  $\overline{S5}$  valores medios de las FDP asociadas a  $S1$  y  $S5$  respectivamente, y  $\omega$  la constante geométrica de la relación angular entre los espaciamientos  $S1$ ,  $S2$  y  $S5$  (ver Sección 4.4).

Las representaciones gráficas de la distribución del volumen del bloque en función de agrupaciones cada 0,5 metros cúbicos —para los distintos casos, en función del



espaciamento de una familia componente en particular— y la FDP que permite modelar esta distribución se presentan en ANEXO 8. Los gráficos resumen para cada caso, que contienen las distintas FDP asociadas a ellos, se presentan a continuación:

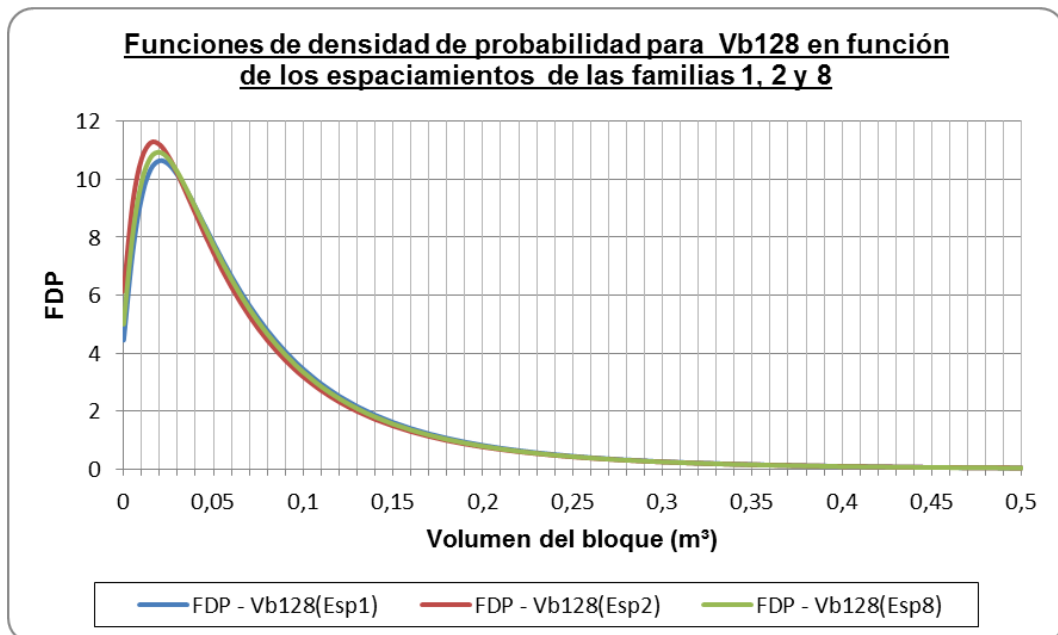


Figura 5. 5: FDP asociadas a Vb128, en función del espaciamento de las familias componentes. Todas siguen una distribución de tipo Log-normal.

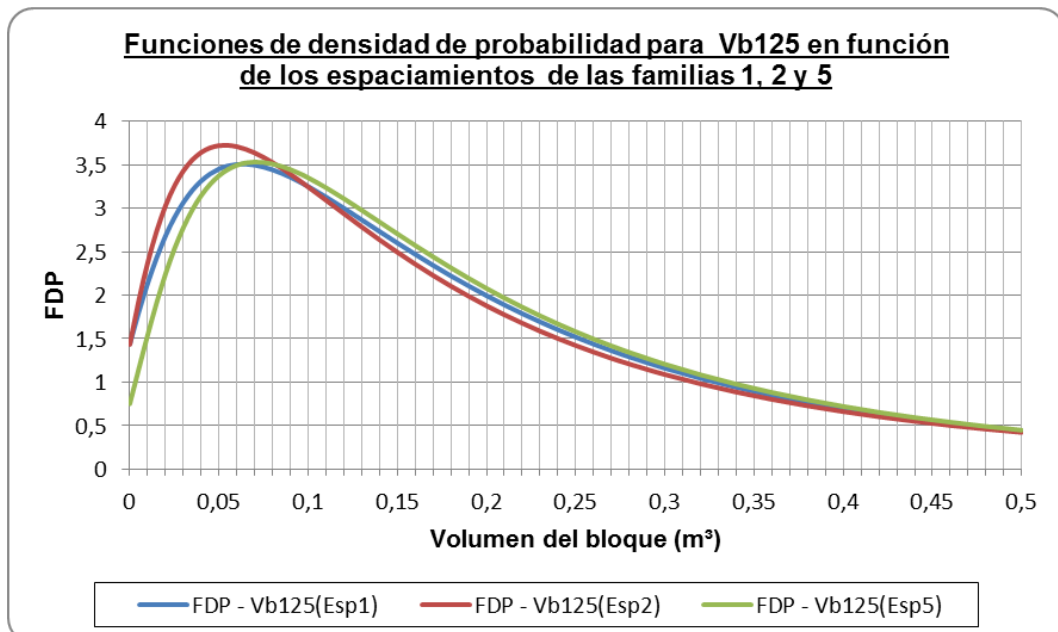


Figura 5. 6: FDP asociadas a Vb125, en función del espaciamento de las familias componentes. Todas siguen una distribución de tipo Log-normal.

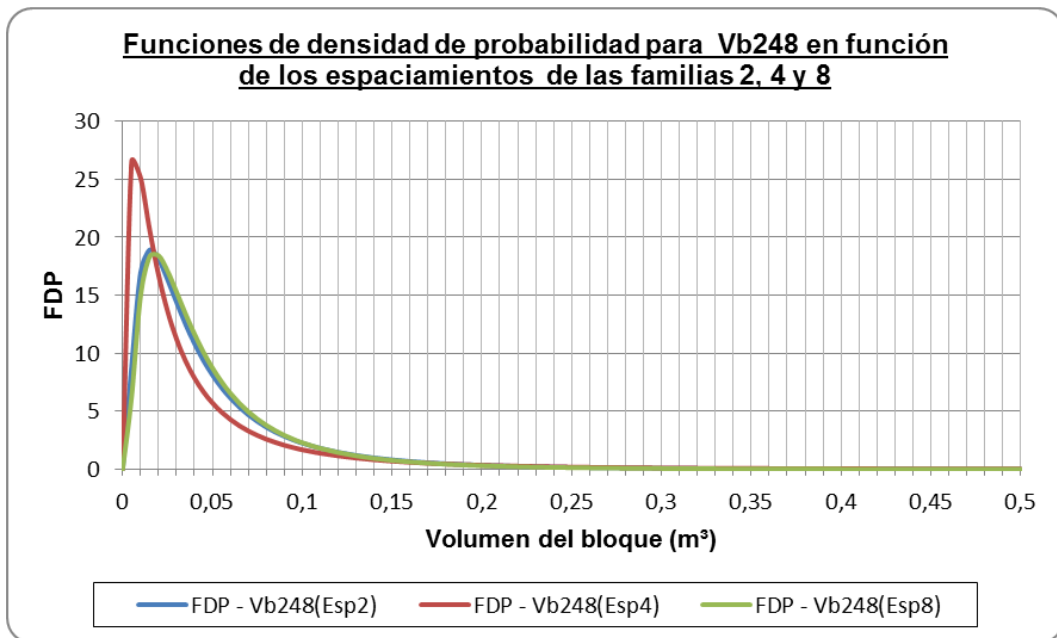


Figura 5. 7: FDP asociadas a Vb248, en función del espaciamiento de las familias componentes. Todas siguen una distribución de tipo Log-normal.

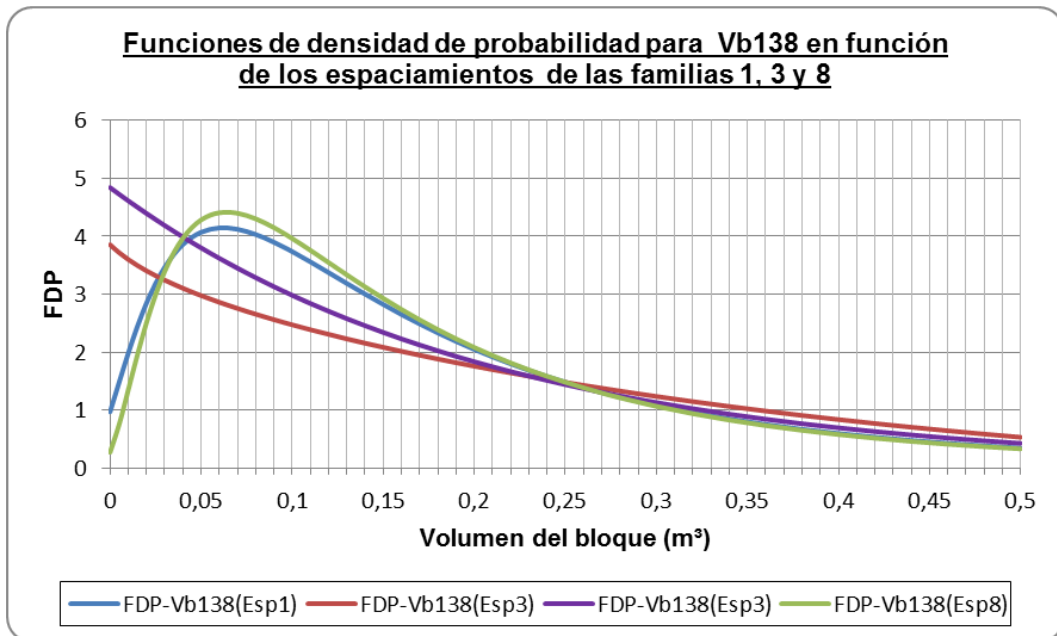


Figura 5. 8: FDP asociadas a Vb138, en función del espaciamiento de las familias componentes. Las asociadas al espaciamiento de las Familias 1 y 3 siguen una distribución de tipo Log-normal, mientras que las asociadas al espaciamiento de la Familia 2 una de tipo Beta (como FDP principal, en color rojo) y Exponencial (como FDP alternativa, en color violeta).

En la siguiente tabla se presenta el resumen de las FDP más representativas para el volumen del bloque, asociadas a cada combinación de familias. Para la combinación 1-3-8 se incluye una adicional (\*) como alternativa:

Tabla 5. 16: Resumen de FDP para el volumen del bloque (en metros cúbicos). Para la combinación de familias 1-3-8, con incógnita de Vb el espaciamiento de la Familia 3, se incluye una FDP alternativa (\*) a la principal. Valores mínimos de x=0 a menos que se indique lo contrario.

Combinación de familias	Incógnita de Vb	Tipo de FDP	FDP
1-2-8	Esp. F1	Log-normal	$\frac{1}{\sqrt{2\pi} \times 0,85 \times (x + 0,01)} e^{-\frac{[\ln(x+0,01)+2,76]^2}{(2 \times 0,85^2)}}$
	Esp. F2	Log-normal	$\frac{1}{\sqrt{2\pi} \times 0,89 \times (x + 0,01)} e^{-\frac{[\ln(x+0,01)+2,83]^2}{(2 \times 0,89^2)}}$
	Esp. F8	Log-normal	$\frac{1}{\sqrt{2\pi} \times 0,86 \times (x + 0,01)} e^{-\frac{[\ln(x+0,01)+2,79]^2}{(2 \times 0,86^2)}}$
1-2-5	Esp. F1	Log-normal	$\frac{1}{\sqrt{2\pi} \times 0,85 \times (x + 0,03)} e^{-\frac{[\ln(x+0,03)+1,65]^2}{(2 \times 0,85^2)}}$
	Esp. F2	Log-normal	$\frac{1}{\sqrt{2\pi} \times 0,94 \times (x + 0,02)} e^{-\frac{[\ln(x+0,02)+1,73]^2}{(2 \times 0,94^2)}}$
	Esp. F5	Log-normal	$\frac{1}{\sqrt{2\pi} \times 0,86 \times (x + 0,02)} e^{-\frac{[\ln(x+0,02)+1,66]^2}{(2 \times 0,86^2)}}$
2-4-8	Esp. F2	Log-normal	$\frac{1}{\sqrt{2\pi} \times 0,91x} e^{-\frac{[\ln(x)+3,35]^2}{(2 \times 0,91^2)}}$
	Esp. F4	Log-normal	$\frac{1}{\sqrt{2\pi} \times 1,17x} e^{-\frac{[\ln(x)+3,69]^2}{(2 \times 1,17^2)}}$
	Esp. F8	Log-normal	$\frac{1}{\sqrt{2\pi} \times 0,85x} e^{-\frac{[\ln(x)+3,32]^2}{(2 \times 0,85^2)}}$
1-3-8	Esp. F1	Log-normal	$\frac{1}{\sqrt{2\pi} \times 0,83 \times (x + 0,02)} e^{-\frac{[\ln(x+0,02)+1,81]^2}{(2 \times 0,83^2)}}$
	Esp. F3	Beta	$\frac{1}{1,01} \times \frac{\Gamma(4,18)}{\Gamma(0,89) \times \Gamma(3,29)} \times \left(\frac{x + 0,01}{1,01}\right)^{-0,11} \times \left(\frac{1-x}{1,01}\right)^{2,29}$ $, 0 \leq x \leq 1$
	*Esp. F3	Exponencial	$4,84 \times e^{-4,84x}$
	Esp. F8	Log-normal	$\frac{1}{\sqrt{2\pi} \times 0,85 \times (x + 0,01)} e^{-\frac{[\ln(x+0,01)+1,88]^2}{(2 \times 0,85^2)}}$

De lo expuesto, se desprenden las siguientes observaciones:

- Las distribuciones que mejor se ajustan para los Vb de todos los casos planteados, a excepción del Vb en función del espaciamiento de la Familia 3 del caso 1-3-8, son de tipo Log-normal. Para todos los casos, incluyendo el excepcional, los tipos de distribución que se ajustan a Vb son los mismos que lo

hacen para el espaciamiento del cual están en función; por ejemplo: para  $Vb_{138}(3)$  la distribución que mejor se ajusta es de tipo Beta, seguida por una de tipo Exponencial, del mismo modo que ocurre para el espaciamiento de la Familia 3 (ver Tabla 5. 8 ó 5. 9).

- Para todos los casos, no importando la incógnita de  $Vb$  utilizada, la media tiende a un valor en común. Por ejemplo,  $\overline{Vb}_{125}$  en función de los espaciamientos 1, 2 ó 5 es  $\sim 0,26$  m.
- Para todos los casos, las desviaciones estándar de  $Vb$  son altas, pero acotadas en un rango con valores cercanos a las medias (para caso 1-2-8, de 0,09 a 0,10; caso 1-2-5, de 0,28 a 0,33; caso 2-4-8, de 0,05 a 0,09; y caso 1-3-8, de 0,18 a 0,23). Cabe mencionar, sin comprometer una conclusión basada en esto, que en las combinaciones utilizadas no entraron las Familias 6 ni 7, las cuales presentaban mayor variabilidad para el espaciamiento (ver Sección 5.3.1).
- Para todos los casos, se tiene una alta concentración de datos en los valores de menor magnitud de  $Vb$ , decayendo continua y rápidamente a otros de mayor. Según se observa en los gráficos, para las combinaciones de familias 1-2-8 (Figuras A8. 17, A8. 18 y A8. 19, en ANEXO 8) y 2-4-8 (Figuras A8. 23, A8. 24 y A8) esto ocurre de manera más patente que para las combinaciones 1-2-5 (Figuras A8. 20, A8. 21 y A8. 22) y 1-3-8 (Figuras A8. 26, A8. 27 y A8. 28). No obstante, tener en consideración que para los primeros se observan la casi totalidad de los datos, mientras que para los segundos no; debido a que el espectro de datos de los primeros se concentra en torno a valores de magnitudes de  $Vb$  más bajos que para los segundos y el eje de las abscisas de los gráficos está truncado a los  $0,5 \text{ m}^3$ .
- Para los casos 1-2-8 y 2-4-8, combinación de 2 familias subverticales (Familias 1, 2 y 4) y una subhorizontal (Familia 8), los  $Vb$  son similares en tipos de distribuciones asociadas, velocidad de decaimiento, variabilidad y valor medio. En cambio para el caso 1-3-8, también combinación de 2 familias subverticales y una subhorizontal, no ocurre lo mismo. Al revisar los resultados obtenidos para el espaciamiento en la Sección 5.3.1, se observa la clara disonancia (en cuanto a las mismas propiedades: distribuciones asociadas, velocidad de decaimiento, variabilidad y valor medio) de las familias subverticales 1, 2 y 4 respecto a la 3. Lo cual tiene sentido, dado lo ya planteado —en Sección 4.4— en cuanto a la herencia de propiedades del parámetro Espaciamiento al Volumen del bloque, que esa disonancia ocurra también entre los casos planteados.
- Para ciertos casos, es notable la semejanza de las FDP asociadas al  $Vb$  en función del espaciamiento de cierta familia en particular. Por ejemplo para el caso 1-2-8 (ver Figura 5. 5) es tal esta semejanza, que podría tomarse cualquiera

de las FDP como representativa para todo el caso, sin necesidad de discriminar si está en función del espaciamiento de la Familia 1, 2 u 8. Lo mismo ocurre para el caso 1-2-5 (Figura 5. 6). Esto no ocurre así para los casos 2-4-8 (Figura 5. 7) y 1-3-8 (Figura 5. 8), donde la FDP asociada al Vb en función del espaciamiento de la Familia 4 y 3 respectivamente, tiene un comportamiento distinto en la parte inicial y central respecto a las otras funciones.

#### 5.4.2 Vb vía medición directa de bloques en terreno

Se obtuvieron volúmenes de bloque directamente en terreno, al realizar un mapeo a través de la línea de detalle, por intervalos (ver Tabla 3. 3, en Sección 3.3), en los tres bancos. Estos bloques fueron escogidos de manera aleatoria, midiéndoseles el largo de sus tres lados representativos principales, como se especifica en las siguientes tablas:

Tabla 5. 17: Dimensiones de los 3 lados principales de bloques a lo largo de la línea de detalle del banco 1.

Banco 1								
Intervalo A1			Intervalo A2			Intervalo A3		
a (cm)	b (cm)	c (cm)	a (cm)	b (cm)	c (cm)	a (cm)	b (cm)	c (cm)
20	14	20	16	13	26	15	7	8
20	17	6	22	35	50	17	19	34
80	60	55	28	31	12	43	20	16
15	9	23	14	21	21	17	7	9
34	21	37	11	13	11	39	11	8
22	18	11	23	9	8	24	10	17
20	9	9	29	19	6	22	16	10
17	16	45	17	7	12	36	23	32
35	32	31	26	15	11	11	8	13
10	9	14	21	28	30	12	8	6

Tabla 5. 18: Dimensiones de los 3 lados principales de bloques a lo largo de la línea de detalle del banco 2.

Banco 2											
Intervalo B1			Intervalo B2			Intervalo B3			Intervalo B4		
a (cm)	b (cm)	c (cm)	a (cm)	b (cm)	c (cm)	a (cm)	b (cm)	c (cm)	a (cm)	b (cm)	c (cm)
20	9	12	9	16	11	73	20	10	49	30	22
18	20	10	11	16	11	18	13	14	12	6	12
30	17	19	26	11	9	14	16	6	16	13	27
22	24	32	14	10	14	16	13	20	19	24	14
13	9	11	40	31	19	24	19	11	4	13	7
13	9	9	14	20	10	19	15	15	16	17	27
20	12	18	15	4	14	31	26	14	29	12	18
23	8	16	38	14	19	25	9	17	22	7	21
21	11	40	19	19	14	12	12	10	13	9	11
13	22	12	29	34	7	15	24	4	8	18	17

Tabla 5. 19: Dimensiones de los 3 lados principales de bloques a lo largo de la línea de detalle del banco 3.

Banco 3											
Intervalo B1-B2			Intervalo B3			Intervalo B4			Intervalo B5		
a (cm)	b (cm)	c (cm)	a (cm)	b (cm)	c (cm)	a (cm)	b (cm)	c (cm)	a (cm)	b (cm)	c (cm)
18	12	10	20	18	16	19	19	29	18	12	17
23	10	11	11	12	9	12	8	11	20	27	8
10	13	10	10	9	13	17	15	9	20	8	7
44	28	46	38	14	7	34	35	32	15	11	6
30	19	12	23	15	12	8	23	20	14	11	8
17	17	17	15	12	8	12	18	10	12	9	13
14	23	18	16	10	10	23	6	5	25	20	7
9	32	5	16	10	22	7	22	7	15	19	13
46	15	15	16	22	25	20	14	6	21	7	9
16	10	6	15	10	16	60	24	6	33	19	12

El Volumen del bloque sin correcciones geométricas, considerando sólo los tríos de sus lados principales que lo componen, denotados por a, b y c es  $Vb_0 = a \times b \times c$ . Utilizando esto, se genera una base de datos con información suficiente para buscar un ajuste idóneo que permita modelar probabilísticamente el parámetro Volumen del bloque derivado del mapeo directo (Tabla A4. 16, en ANEXO 4). El valor de la constante  $\omega$  omitido puede considerarse perteneciente en un rango que va de  $\sim 1,1$  a  $\sim 1,8$ ; supuesto basado en los valores previamente calculados y en lo observado en terreno, usando como guía la tabla presentada por Palmström (2005):

Tabla 5. 20: Volumen del bloque para varios ángulos entre los planos de las familias de discontinuidades. Modificado de Palmström, 2005.

Todos los ángulos = 90°	Dos ángulos = 90° Un ángulo = 60°	Un ángulo = 90° Dos ángulos = 60°	Todos los ángulos = 60°	Todos los ángulos = 45°
$Vb = Vb_0 = S1 \cdot S2 \cdot S3$	$Vb = 1,16 \cdot Vb_0$	$Vb = 1,3 \cdot Vb_0$	$Vb = 1,5 \cdot Vb_0$	$Vb = 2,8 \cdot Vb_0$

Utilizando la base de datos generada, se obtienen y clasifican las FDP para el caso básico sin corrección geométrica y los casos  $\omega = 1,1$  y  $\omega = 1,8$ ; presentándose el resultado principal de la prueba Anderson-Darling para cada uno, en la Tabla 5. 21.

Tabla 5. 21: Distribución que sigue la FDP para el parámetro Volumen del bloque, obtenido directamente vía mapeo de bloques. Su valor A-D, media, desviación estándar y parámetros que permiten definirla. Casos:  $Vb$  sin corrección geométrica ( $Vb=Vb_0$ ), y con corrección asumiendo  $\omega = 1,1$  y  $\omega = 1,8$ .

	# Datos	Distribución	Valor A-D	ubicación	media	desviación estándar	media LOG	desv. est. LOG
$Vb_0$	110	Log-normal	0,64	0,00030	0,00723	0,01354	-5,75714	1,25361
$Vb_0 \cdot 1,1$	110	Log-normal	0,64	0,00033	0,00795	0,01490	-5,66138	1,25361
$Vb_0 \cdot 1,8$	110	Log-normal	0,64	0,00053	0,01301	0,02437	-5,16935	1,25361

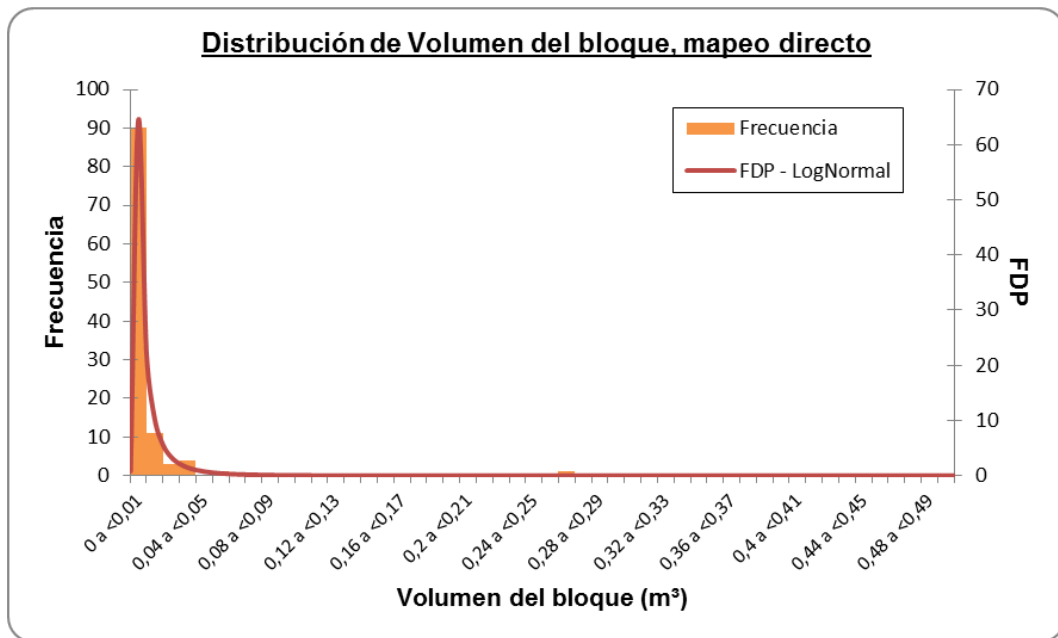


Figura 5. 9: Distribución de  $V_{b_0}$  para el mapeo directo de bloques a lo largo de la línea de detalle de cada banco. Las agrupaciones de Volumen del bloque son cada  $0,01 \text{ m}^3$  y el eje de las abscisas está truncado a  $0,5$ . La FDP asociada sigue una distribución Log-normal con una media de  $-0,007$ .

La FDP asociada a  $V_{b_0}$ , utilizando valores aproximados de la Tabla 5. 21 y que sigue una distribución Log-normal:

$$f(x; -5,76; 1,25) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \times 1,25x} e^{-\frac{[\ln(x)+5,76]^2}{(2 \times 1,25^2)}}, x \geq 0$$

Del mismo modo se obtienen las FDP para los casos en que  $\omega = 1,1$  y  $\omega = 1,8$ . Basta reemplazar por los valores correspondientes de la Tabla 5. 21.

Para  $\omega = 1,1$ :

$$f(x; -5,66; 1,25) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \times 1,25x} e^{-\frac{[\ln(x)+5,66]^2}{(2 \times 1,25^2)}}, x \geq 0$$

y para  $\omega = 1,8$ :

$$f(x; -5,17; 1,25) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \times 1,25x} e^{-\frac{[\ln(x)+5,17]^2}{(2 \times 1,25^2)}}, x \geq 0$$

Es muy clara la diferencia entre los volúmenes característicos para este caso (mapeo directo) versus los obtenidos mediante el análisis de casos de combinaciones de 3 familias (Sección 5.4.1.1). Si bien se comparten elementos similares: tipo de distribución bien definida con buen ajuste —en este caso, también de tipo Log-normal—, alta concentración para valores de magnitud bajos, rápido decaimiento de manera continua; la magnitud de los valores para el  $V_b$  son mucho más bajos. La media para este caso (considerando  $\omega=1$ ) es  $\sim 0,007 \text{ m}^3$  equivalente a un cubo de lados  $\sim 19 \text{ cm}$ , mientras que para los casos analizados de combinaciones de 3 familias las medias van de  $0,05$  a  $0,26 \text{ m}^3$  equivalentes a cubos de lados  $\sim 37$  a  $\sim 64 \text{ cm}$  (ver Sección 5.4.1.1).

Lo anterior no carece de sentido si se considera que el actual es un caso práctico donde los bloques fueron medidos a lo largo de la línea de detalle de manera aleatoria, sin utilizar un criterio especial para esa medición, lo que pudo haber desencadenado un error de muestreo al no definir una metodología estadísticamente adecuada para tal efecto. Por otra parte hay que considerar que los bloques pueden y suelen formarse por la interacción de más de 3 familias de discontinuidades, lo cual lleva inequívocamente a generar volúmenes más pequeños que los casos idealizados analizados previamente (combinaciones de únicamente 3 familias).

### 5.4.3 $V_b$ en función de sus valores medios

Se busca obtener todos los  $\overline{V_b}$  posibles, generados por la intersección de los planos de 3 familias, considerando todas las existentes:

- En las Tablas 5. 22, 5. 23 y 5. 24 se presentan las orientaciones de las líneas que nacen de las intersecciones de los planos representativos de las familias, por banco.
- En la Tabla 5. 25 se presentan los valores de  $\omega$ , obtenidos a partir de los ángulos  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  calculados, utilizando las orientaciones de las líneas expuestas en las tablas anteriores.
- En la Tabla 5. 26 se presentan los  $\overline{V_b}$  de cada una de las combinaciones 3 de familias, por banco; calculados a partir de los valores medios de las FDP asociadas a los espaciamientos de cada familia (Tabla 5. 8, en Sección 5.3.1) y los valores de la constante  $\omega$  (Tabla 5. 25).



Tabla 5. 22: Orientación de las líneas generadas de las intersecciones de los planos representativos de las familias presentes en el banco 1. Notación de las orientaciones en azimuth/manteo.

Banco 1								
	Familia 1	Familia 2	Familia 3	Familia 4	Familia 5	Familia 6	Familia 7	Familia 8
Familia 1	x	067/82	316/82	317/83	101/26	285/31	286/41	248/17
Familia 2	x	x	354/70	011/78	338/32	341/44	153/01	335/13
Familia 3	x	x	x	313/83	005/45	005/40	196/39	011/03
Familia 4	x	x	x	x	041/50	047/17	238/50	0231/8
Familia 5	x	x	x	x	x	356/42	319/15	320/16
Familia 6	x	x	x	x	x	x	295/36	264/16
Familia 7	x	x	x	x	x	x	x	319/16
Familia 8	x	x	x	x	x	x	x	x

Tabla 5. 23: Orientación de las líneas generadas de las intersecciones de los planos representativos de las familias presentes en el banco 2. Notación de las orientaciones en azimuth/manteo.

Banco 2								
	Familia 1	Familia 2	Familia 3	Familia 4	Familia 5	Familia 6	Familia 7	Familia 8
Familia 1	x	051/79	004/83	051/80	089/37	278/23	283/48	277/18
Familia 2	x	x	014/74	051/79	343/31	347/45	339/11	339/12
Familia 3	x	x	x	263/87	018/46	019/39	202/35	200/01
Familia 4	x	x	x	x	055/48	056/15	238/49	237/12
Familia 5	x	x	x	x	x	005/43	330/21	325/15
Familia 6	x	x	x	x	x	x	307/39	272/18
Familia 7	x	x	x	x	x	x	x	337/13
Familia 8	x	x	x	x	x	x	x	x

Tabla 5. 24: Orientación de las líneas generadas de las intersecciones de los planos representativos de las familias presentes en el banco 3. Notación de las orientaciones en azimuth/manteo.

Banco 3								
	Familia 1	Familia 2	Familia 3	Familia 4	Familia 5	Familia 6	Familia 7	Familia 8
Familia 1	x	030/80	032/81	071/73	098/19	286/26	290/42	285/22
Familia 2	x	x	035/81	085/81	333/23	337/42	331/8	332/15
Familia 3	x	x	x	145/86	017/39	017/36	193/35	015/01
Familia 4	x	x	x	x	061/36	059/12	233/50	237/14
Familia 5	x	x	x	x	x	012/38	324/16	325/17
Familia 6	x	x	x	x	x	x	304/35	279/21
Familia 7	x	x	x	x	x	x	x	322/18
Familia 8	x	x	x	x	x	x	x	x

Tabla 5. 25: Valor de  $\omega$  para todas las combinaciones de 3 familias de fracturas, por banco.

Combinación de familias	Banco 1				Banco 2				Banco 3			
	$\alpha$ (°)	$\beta$ (°)	$\gamma$ (°)	$\omega$	$\alpha$ (°)	$\beta$ (°)	$\gamma$ (°)	$\omega$	$\alpha$ (°)	$\beta$ (°)	$\gamma$ (°)	$\omega$
1-2-3	13,2	19,2	14,5	53,26	8,0	9,7	9,2	> 10 <sup>2</sup>	1,1	1,3	0,5	> 10 <sup>5</sup>
1-2-4	12,3	10,0	9,7	> 10 <sup>2</sup>	1,0	0,0	1,0	> 10 <sup>5</sup>	11,5	8,8	8,5	> 10 <sup>2</sup>
1-2-5	57,5	58,2	100,5	1,42	44,7	55,5	83,0	1,74	67,5	61,8	111,8	1,32
1-2-6	65,4	46,0	45,4	2,15	74,7	41,1	59,4	1,83	66,8	42,6	44,5	2,30
1-2-7	55,4	88,5	120,2	1,41	49,4	75,8	59,4	1,58	50,5	77,0	49,6	1,75
1-2-8	79,4	77,4	49,3	1,37	79,8	74,8	59,9	1,22	70,9	69,9	44,9	1,60
1-3-4	1,0	1,1	0,5	> 10 <sup>5</sup>	7,3	8,1	12,6	> 10 <sup>2</sup>	11,5	11,2	16,3	92,27
1-3-5	70,6	40,1	75,9	1,70	52,7	37,2	52,2	2,63	67,6	42,4	71,3	1,69
1-3-6	52,2	45,1	63,6	2,00	66,7	44,3	83,7	1,57	66,8	45,3	75,8	1,58
1-3-7	42,2	55,3	65,6	1,99	41,4	61,7	59,2	2,00	50,5	63,6	72,0	1,52
1-3-8	66,3	82,4	86,3	1,10	71,8	95,7	77,3	1,08	70,9	80,4	89,6	1,07
1-4-5	69,7	39,8	51,3	2,13	45,4	32,0	27,1	5,81	56,1	37,3	36,7	3,33
1-4-6	53,1	73,1	106,5	1,36	74,0	65,0	124,0	1,38	78,2	61,4	120,6	1,35
1-4-7	43,1	39,2	34,2	4,12	48,7	50,9	29,4	3,49	61,9	56,4	39,4	2,15
1-4-8	70,6	81,6	18,9	3,32	79,1	87,9	39,0	1,62	82,3	92,5	46,2	1,40
1-5-6	122,9	83,1	56,5	1,44	119,4	61,9	72,4	1,37	134,3	75,4	71,4	1,52
1-5-7	112,8	124,8	38,6	2,12	94,1	98,4	46,2	1,40	118,0	122,8	39,0	2,14
1-5-8	126,3	123,4	68,6	1,60	124,5	106,0	46,0	1,75	138,4	121,4	37,9	2,87
1-6-7	10,0	9,7	8,6	> 10 <sup>2</sup>	25,3	29,4	19,5	14,30	16,3	17,9	13,0	51,55
1-6-8	36,4	24,3	15,4	15,45	5,1	7,5	4,8	> 10 <sup>3</sup>	4,1	8,1	5,7	> 10 <sup>2</sup>
1-7-8	40,5	37,9	67,7	2,71	30,4	56,6	57,8	2,80	20,4	36,3	34,9	8,46
2-3-4	9,2	15,4	10,2	> 10 <sup>2</sup>	9,7	17,3	13,6	84,38	7,6	11,0	7,8	> 10 <sup>2</sup>
2-3-5	39,0	25,6	24,6	8,82	45,8	28,1	30,9	5,78	63,0	42,5	40,5	2,56
2-3-6	26,8	30,5	18,2	13,96	31,4	35,1	24,4	8,09	43,7	45,5	31,4	3,90
2-3-7	107,6	69,8	54,6	1,37	66,1	70,9	118,6	1,32	78,1	63,4	121,5	1,34
2-3-8	58,2	67,9	37,0	2,11	65,1	104,9	137,3	1,68	71,1	80,5	44,7	1,52
2-4-5	48,2	30,1	49,2	3,53	55,5	31,0	55,9	2,84	70,6	45,9	75,2	1,53
2-4-6	36,0	63,5	61,1	2,17	41,1	64,0	64,7	1,87	51,3	69,9	76,1	1,40
2-4-7	98,4	48,8	86,0	1,35	75,8	51,9	88,8	1,31	85,7	47,8	89,0	1,35
2-4-8	67,4	91,2	101,7	1,11	74,8	88,9	99,0	1,05	78,7	84,0	91,1	1,03
2-5-6	12,2	17,5	11,1	81,51	14,3	21,2	13,1	49,40	19,3	36,5	26,9	11,25
2-5-7	146,7	24,3	158,8	12,27	20,3	15,4	13,2	47,53	15,1	11,0	10,5	> 10 <sup>2</sup>
2-5-8	19,2	22,9	14,8	30,58	19,4	23,0	13,9	32,11	8,1	9,6	7,0	> 10 <sup>2</sup>
2-6-7	134,4	35,7	128,8	3,08	34,7	30,0	39,9	5,48	34,4	26,6	36,6	6,63
2-6-8	31,4	69,7	68,5	2,20	33,7	66,9	64,7	2,17	27,3	52,6	50,5	3,55
2-7-8	165,9	158,1	15,8	40,35	1,0	2,8	2,2	> 10 <sup>4</sup>	7,1	13,3	10,0	> 10 <sup>2</sup>
3-4-5	41,0	40,3	24,6	5,67	45,3	44,7	25,1	4,72	53,5	53,7	34,7	2,71
3-4-6	45,9	73,6	42,9	2,13	52,4	77,7	40,3	2,00	56,5	77,8	44,7	1,74
3-4-7	54,4	38,7	31,4	3,77	53,6	38,3	29,8	4,03	52,4	40,0	32,6	3,65
3-4-8	83,3	81,1	138,6	1,54	87,6	75,3	38,3	1,67	91,6	76,2	135,8	1,48
3-5-6	5,0	7,2	7,1	> 10 <sup>2</sup>	7,0	9,7	11,3	> 10 <sup>2</sup>	3,0	4,0	4,5	> 10 <sup>3</sup>
3-5-7	95,4	48,9	104,2	1,38	98,9	46,2	105,4	1,45	105,9	51,5	111,0	1,42
3-5-8	42,3	47,5	51,8	2,56	133,0	53,8	123,3	2,03	38,0	50,1	51,7	2,70
3-6-7	100,4	53,9	74,2	1,31	105,9	54,4	78,7	1,31	108,9	57,9	84,9	1,25
3-6-8	37,4	87,9	105,4	1,71	140,0	91,2	72,6	1,63	35,0	83,9	95,2	1,76
3-7-8	137,7	103,5	52,7	1,92	34,1	115,8	135,1	2,81	144,0	108,2	54,7	2,19
4-5-6	33,4	31,7	50,0	4,51	33,0	34,8	51,6	4,11	24,1	38,7	49,2	5,18
4-5-7	78,9	73,5	72,8	1,11	83,0	71,3	75,6	1,10	93,7	86,1	78,4	1,03
4-5-8	121,3	72,1	86,8	1,23	120,0	78,9	85,0	1,18	129,9	84,8	84,1	1,32
4-6-7	112,3	96,8	42,8	1,60	116,0	94,7	48,9	1,48	117,8	102,7	52,4	1,46
4-6-8	154,7	130,8	33,2	5,64	153,0	131,5	34,3	5,22	153,9	128,7	40,5	4,48
4-7-8	42,4	72,1	85,9	1,56	37,0	86,0	96,8	1,68	36,1	75,7	81,1	1,77
5-6-7	41,7	46,8	30,0	4,12	36,5	43,1	26,7	5,48	47,4	53,5	26,1	3,84
5-6-8	40,3	80,8	53,7	1,94	44,1	80,0	50,7	1,88	46,1	79,5	43,5	2,05
5-7-8	1,4	1,0	1,0	> 10 <sup>5</sup>	7,7	10,4	11,8	> 10 <sup>2</sup>	1,4	2,8	3,0	> 10 <sup>4</sup>
6-7-8	34,0	29,3	52,7	4,60	36,9	37,1	62,5	3,11	26,0	23,3	40,5	8,85

Tabla 5. 26:  $\overline{Vb}$  (en m<sup>3</sup>) para todas las combinaciones de 3 familias, por banco.

Combinación de familias	$\overline{S1} \times \overline{S2} \times \overline{S3}$	Banco 1		Banco 2		Banco 3		Comentario
		$\omega$	$\overline{Vb}$	$\omega$	$\overline{Vb}$	$\omega$	$\overline{Vb}$	
1-2-3	0,229	53,26	12,194	> 10 <sup>2</sup>	60,654	> 10 <sup>5</sup>	> 10 <sup>4</sup>	Sub-vertical
1-2-4	0,082	> 10 <sup>2</sup>	13,196	> 10 <sup>5</sup>	> 10 <sup>4</sup>	> 10 <sup>2</sup>	18,215	Sub-vertical
1-2-5	0,174	1,42	0,246	1,74	0,302	1,32	0,230	
1-2-6	0,080	2,15	0,172	1,83	0,147	2,30	0,184	
1-2-7	0,160	1,41	0,225	1,58	0,253	1,75	0,280	
1-2-8	0,057	1,37	0,079	1,22	0,070	1,60	0,091	
1-3-4	0,273	> 10 <sup>5</sup>	> 10 <sup>4</sup>	> 10 <sup>2</sup>	69,620	92,27	25,234	Sub-vertical
1-3-5	0,579	1,70	0,982	2,63	1,522	1,69	0,981	
1-3-6	0,267	2,00	0,533	1,57	0,419	1,58	0,421	
1-3-7	0,534	1,99	1,062	2,00	1,069	1,52	0,814	
1-3-8	0,191	1,10	0,211	1,08	0,207	1,07	0,205	
1-4-5	0,207	2,13	0,442	5,81	1,205	3,33	0,690	
1-4-6	0,096	1,36	0,130	1,38	0,133	1,35	0,129	
1-4-7	0,191	4,12	0,789	3,49	0,669	2,15	0,411	
1-4-8	0,068	3,32	0,227	1,62	0,111	1,40	0,096	
1-5-6	0,203	1,44	0,291	1,37	0,277	1,52	0,309	
1-5-7	0,405	2,12	0,857	1,40	0,569	2,14	0,867	
1-5-8	0,145	1,60	0,231	1,75	0,254	2,87	0,416	
1-6-7	0,187	> 10 <sup>2</sup>	42,389	14,30	2,674	51,55	9,639	Vb elevado
1-6-8	0,067	15,45	1,031	> 10 <sup>3</sup>	69,421	> 10 <sup>2</sup>	66,759	Vb elevado
1-7-8	0,134	2,71	0,362	2,80	0,374	8,46	1,130	
2-3-4	0,186	> 10 <sup>2</sup>	24,816	84,38	15,674	> 10 <sup>2</sup>	54,231	Sub-vertical
2-3-5	0,393	8,82	3,467	5,78	2,273	2,56	1,005	
2-3-6	0,181	13,96	2,533	8,09	1,469	3,90	0,707	
2-3-7	0,363	1,37	0,498	1,32	0,478	1,34	0,487	
2-3-8	0,130	2,11	0,274	1,68	0,218	1,52	0,197	
2-4-5	0,141	3,53	0,497	2,84	0,400	1,53	0,215	
2-4-6	0,065	2,17	0,141	1,87	0,122	1,40	0,091	
2-4-7	0,130	1,35	0,175	1,31	0,170	1,35	0,176	
2-4-8	0,046	1,11	0,051	1,05	0,049	1,03	0,048	
2-5-6	0,138	81,51	11,215	49,40	6,797	11,25	1,548	Vb elevado
2-5-7	0,275	12,27	3,376	47,53	13,078	> 10 <sup>2</sup>	30,282	Vb elevado
2-5-8	0,098	30,58	3,005	32,11	3,155	> 10 <sup>2</sup>	34,364	Vb elevado
2-6-7	0,127	3,08	0,392	5,48	0,696	6,63	0,842	
2-6-8	0,045	2,20	0,100	2,17	0,098	3,55	0,161	
2-7-8	0,091	40,35	3,661	> 10 <sup>4</sup>	> 10 <sup>3</sup>	> 10 <sup>2</sup>	18,386	Vb altísimo
3-4-5	0,470	5,67	2,663	4,72	2,217	2,71	1,273	
3-4-6	0,217	2,13	0,462	2,00	0,433	1,74	0,378	
3-4-7	0,433	3,77	1,635	4,03	1,748	3,65	1,581	
3-4-8	0,155	1,54	0,239	1,67	0,258	1,48	0,229	
3-5-6	0,459	> 10 <sup>2</sup>	> 10 <sup>2</sup>	> 10 <sup>2</sup>	> 10 <sup>2</sup>	> 10 <sup>3</sup>	> 10 <sup>3</sup>	Vb altísimo
3-5-7	0,917	1,38	1,262	1,45	1,334	1,42	1,306	
3-5-8	0,328	2,56	0,840	2,03	0,664	2,70	0,883	
3-6-7	0,423	1,31	0,554	1,31	0,553	1,25	0,530	
3-6-8	0,151	1,71	0,258	1,63	0,247	1,76	0,266	
3-7-8	0,302	1,92	0,581	2,81	0,850	2,19	0,663	
4-5-6	0,164	4,51	0,742	4,11	0,675	5,18	0,851	
4-5-7	0,329	1,11	0,366	1,10	0,361	1,03	0,337	
4-5-8	0,117	1,23	0,145	1,18	0,139	1,32	0,154	
4-6-7	0,152	1,60	0,243	1,48	0,225	1,46	0,222	
4-6-8	0,054	5,64	0,306	5,22	0,283	4,48	0,243	
4-7-8	0,108	1,56	0,169	1,68	0,182	1,77	0,192	
5-6-7	0,321	4,12	1,324	5,48	1,758	3,84	1,233	
5-6-8	0,115	1,94	0,223	1,88	0,216	2,05	0,235	
5-7-8	0,229	> 10 <sup>5</sup>	> 10 <sup>4</sup>	> 10 <sup>2</sup>	46,475	> 10 <sup>4</sup>	> 10 <sup>3</sup>	Vb altísimo
6-7-8	0,106	4,60	0,486	3,11	0,329	8,85	0,937	

El gráfico de la Figura 5. 10 muestra la distribución del Volumen del bloque en función de sus valores medios, que se desprende de los resultados de la Tabla 5. 26. Se aprecia claramente que la mayor concentración de valores se encuentra para  $0,1 < \overline{Vb} < 0,5 \text{ m}^3$ ; equivalente a cubos de lados entre ~45 y ~80 cm.

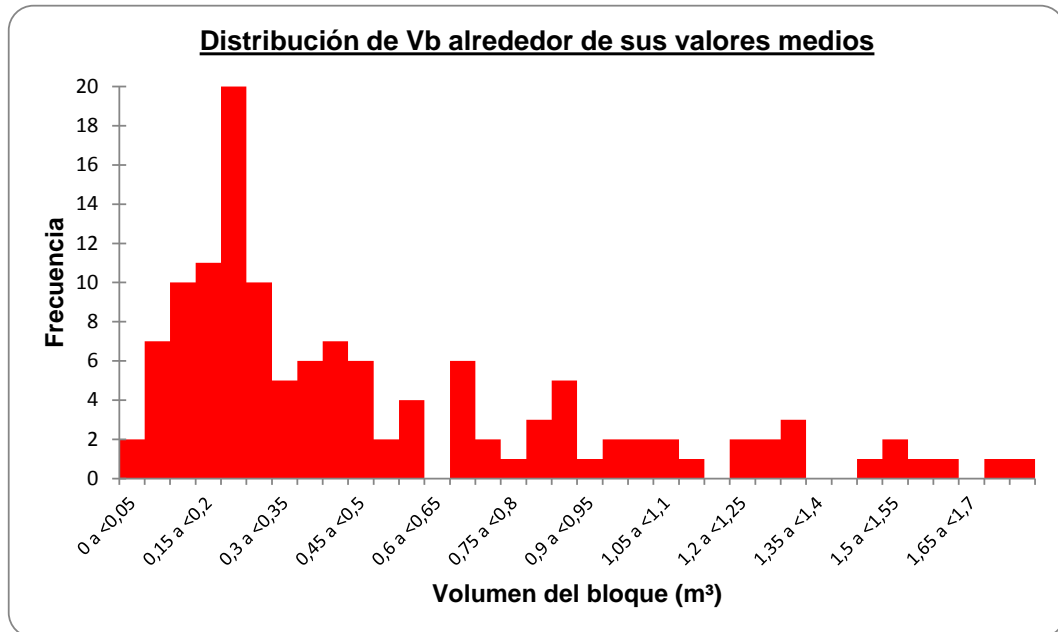


Figura 5. 10: Distribución del Volumen del bloque alrededor de sus valores medios. Las agrupaciones de Vb son cada 0,05 m y el eje de las abscisas está truncado a 1,8. El truncamiento permite mostrar un total de 128 datos de un universo de 168.

De lo observado en la Tabla 5. 26 y la Figura 5. 10, emulando a lo hecho en casos anteriores, podría generarse una FDP que modelase como se distribuye el volumen del bloque alrededor de sus valores medios, mas no sería correcto hacerlo. El gráfico en cuestión muestra cómo se distribuyen los diversos  $\overline{Vb}$  obtenidos para todas las combinaciones de 3 familias posibles, pero lo hace considerando todos los casos en igualdad de condiciones y valía, sin tener en cuenta el peso que tiene cada uno de estos volúmenes. Y mientras no se determine, no es válido intentar tal modelamiento probabilístico.

Ese peso puede ser obtenido asignando valores de proporcionalidad a las distintas familias a partir de la cantidad de datos que las definen (cantidad de fracturas) —con lo cual claramente el análisis en profundidad de los sesgos productos del tipo de mapeo toma mucha más importancia—; o determinando en terreno los bloques característicos que se forman —post calibración por fotografías u otros medios—, discriminando las familias participantes; o asignando valores específicos a bloques deslizantes, etc. Estos procedimientos se mencionan para clarificar y ejemplificar lo señalado respecto al peso a considerar para los diversos  $\overline{Vb}$ , mas su resolución queda fuera de los alcances del presente trabajo.

De los resultados mostrados en la Tabla 5. 26, se observa que hay algunos valores excesivamente altos de  $\overline{Vb}$  que no se condicen con lo observado en terreno. Dentro de éstos, están los casos obvios que corresponde a la situación en que las 3 familias involucradas son subverticales: 1-2-3, 1-2-4, 1-3-4 y 2-3-4. Para los otros casos el análisis no es tan trivial e involucra observar el paralelismo que se produce entre las líneas generadas a partir de las intersecciones de los planos representativos de las familias involucradas, para ciertas variaciones en las orientaciones de ellas —recordar que a partir de estas líneas se obtienen los ángulos  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ; necesarios en la obtención de  $\omega$  (ver Sección 4.4.1.1)—. Para ciertos casos este paralelismo se produce igualmente en los 3 bancos (ejemplo 1), mientras que para otros se acentúa en cierto banco en particular (ejemplo 2):

Ejemplo 1)

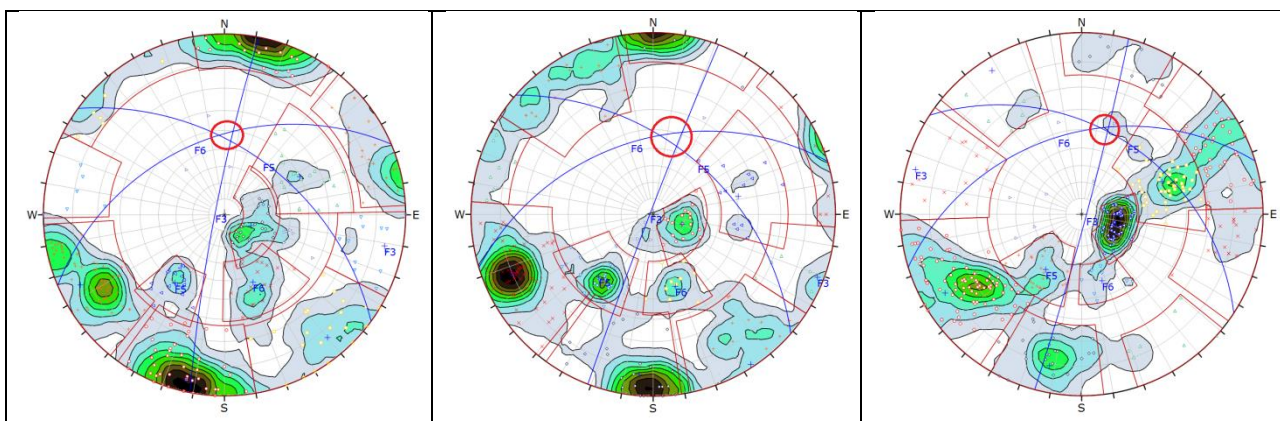


Figura 5. 11: Estereogramas generales para los bancos 1, 2 y 3 (de izquierda a derecha), resaltando los planos de las Familias 3, 5 y 6. Dentro del círculo rojo se encuentra la zona de intersección de estos planos.

La Figura 5. 11 muestra gráficamente lo mismo que se desprende de las Tablas 5. 22, 5. 23 y 5. 24: las orientaciones de las líneas que nacen de la intersección de los planos representativos de las Familias 3, 5 y 6 son muy parecidas —para el banco 3 son prácticamente iguales—. Mientras más pequeño el triángulo que se genera de estas intersecciones (dentro del círculo rojo en la figura en cuestión), más similares las orientaciones de las líneas generadas, luego más pequeños los ángulos  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ; y por ende más grande  $\omega$ . Lo que está directamente relacionado a la magnitud de  $\overline{Vb}$ , pues como se aprecia en la Tabla 5. 26, los valores de  $\overline{V_0} = \overline{S1} \times \overline{S2} \times \overline{S3}$  no son un elemento especialmente diferenciador, sino que se mantienen dentro de un rango bastante acotado.

Ejemplo 2)

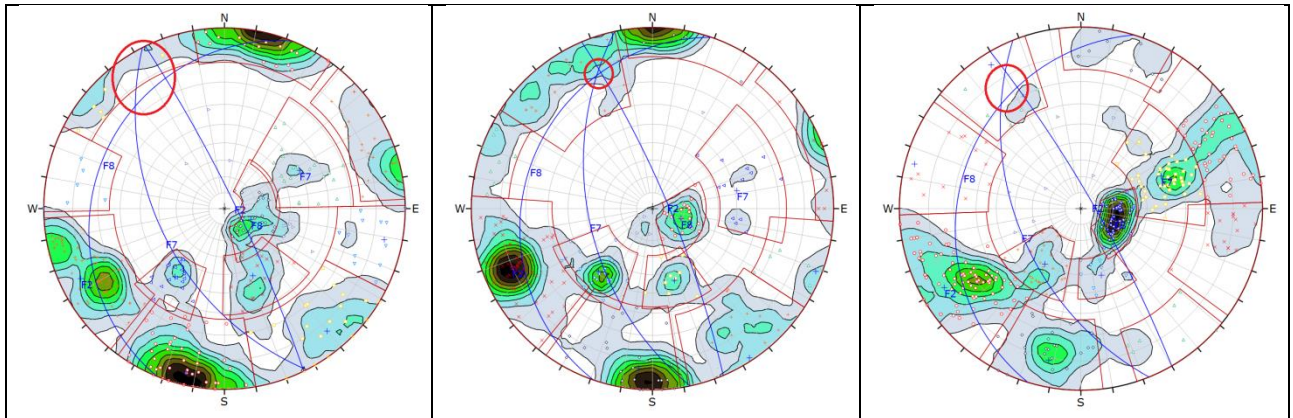


Figura 5. 12: Estereogramas generales para los bancos 1, 2 y 3 (de izquierda a derecha), resaltando los planos de las Familias 2, 7 y 8. Dentro del círculo rojo se encuentra la zona de intersección de estos planos.

Tabla 5. 27: Representación gráfica de las orientaciones medias de las Familias 2, 7 y 8.

Banco Familia	Banco 1	Banco 2	Banco 3	Orientación General
F2	83	80	82	NNW/sV
F7	50	51	51	NNW/SW
F8	18	19	22	NNE/sH

Los triángulos generados de las intersecciones de las Familias 2, 7 y 8 no son tan similares para los distintos bancos (ver Figura 5. 12), en contraparte al Ejemplo 1; la diferencia entre el banco 1 y 2 es especialmente notable. Esto ocurre no obstante las orientaciones medias de las familias se mantienen muy parecidas, tal como se observa en la representación gráfica de ellas (Tabla 5. 27). La diferencia más crítica ocurre en la dirección de manto de la Familia 7 en el banco 2, la cual al parecer es suficiente para generar un cambio más que significativo en el  $\bar{Vb}$  estimado: Mientras que para el banco 1 es de  $\sim 3,661 \text{ m}^3$  equivalente a un cubo de lados  $\sim 1,5 \text{ m}$ , para el banco 2 es de  $\sim 2782,271^{35} \text{ m}^3$  equivalente a un cubo de lados  $\sim 14,1 \text{ m}$ .

<sup>35</sup> En la Tabla 5. 27 anotado simplemente como " $>10^3$ ", por simplicidad.

## CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 6.1 DISCUSIÓN

El grado y patrón de fracturamiento de un macizo rocoso se determina, en la práctica, gracias a la identificación de las familias de discontinuidades presentes en el macizo y caracterizando distintos parámetros que permiten dar una idea de cómo éste se fractura. Lo anterior no carece de dificultad, pues la caracterización del macizo conjunto a las discontinuidades que le afectan, está restringida por: la litología del macizo, orientación de la(s) cara(s) visibles del macizo, zonas cubiertas y metodología de mapeo utilizada, entre otros.

La caracterización del macizo tiene directa relación con la calidad, cantidad y representatividad de los datos capturados. Por ejemplo, en los intervalos 3 y 4 del banco 2, no hay fracturas —término que incluye las diaclasas y fallas— pertenecientes a la Familia 8, en desmedro de los bancos 1 y 3 a la altura de esos intervalos, donde sí hay (ver ANEXO 6). Esto parece tener directa relación con los subintervalos con interrupción forzada en la línea de detalle en el banco 2 (Tabla 4. 1); donde además, en esos intervalos (3 y 4 del banco 2), tampoco se contó con línea de detalle vertical, la cual facilita la identificación de fracturas subhorizontales.

Distintos parámetros permiten vislumbrar y representar de diferente manera el fracturamiento del macizo, ya sea bidimensional o tridimensionalmente. Se cuentan entre ellos: la frecuencia de fracturas por metro, RQD (Deere, 1967; Deere y Deere, 1988), forma de los bloques (Dearman, 1991), conteo volumétrico de *joints* (Palmström, 1982), índice del tamaño del bloque (ISRM, 1978), persistencia de las discontinuidades, espaciamiento de las discontinuidades, volumen del bloque (Palmström, 1982), etc. En el presente trabajo, los parámetros de fracturamiento obtenidos y analizados fueron estos tres últimos, los cuales entregan de manera única, para cada familia de fracturas, un distintivo grado y patrón, representados por las funciones de densidad de probabilidad que permiten modelar a cada parámetro. El patrón está dado por el tipo y forma de la función, y el grado por los valores numéricos dentro de los cuales ella se mueve. Esto último expresado típicamente por los valores medios.

En esta misma línea, las familias de fracturas identificadas, que reflejan la información estructural del sector de estudio, establecen un patrón de fracturamiento en cuanto a sus orientaciones características; y grado, en cuanto a la cantidad de datos que concentran.

Dentro de los resultados de este trabajo, es destacable como se pueden observar ciertas "coincidencias", que si bien no son conclusivas por sí mismas, al menos sirven como antecedentes a considerar y que entregan un valor añadido al estudio; como por ejemplo, que las familias de fracturas con las persistencias de mayor magnitud tienen línea de rumbo coincidentes a los sistemas de fallas mayores, de orientación NW y NNW. Otro valor añadido al estudio, son las diversas relaciones geométricas producto de la metodología desarrollada, donde se obtuvieron por ejemplo: ecuaciones generales de las cuales el manto aparente es una solución particular (Sección 4.2.1), y una ecuación para obtener la distancia perpendicular entre dos planos atravesando una línea inclinada (Sección 4.3.2.2).

## 6.2 CONCLUSIONES

Para el presente estudio se desarrolló una metodología que permitió la obtención de los parámetros de fracturamiento: persistencia, espaciamiento y volumen del bloque; como así también de funciones de densidad de probabilidad (FDP) para modelarlos probabilísticamente para su posterior análisis. Entre los logros de la metodología, se cuenta además: la reducción del sesgo producto de falta de precisión y exactitud en las mediciones en terreno para la persistencia, la obtención de un valor real y representativo de los espaciamientos gracias a la correcta implementación de correcciones geométricas, y el cálculo de volúmenes de bloques representativos del macizo rocoso considerando distintos criterios: bloques más característicos según observaciones en terreno y revisión de datos en gabinete, muestreo de bloques in situ, y consideración de todos los casos teóricos posibles de 3 familias de fracturas involucradas (donde el término fractura incluye a las diaclasas y las fallas).

En detalle, de los resultados obtenidos en este estudio, para la pared sureste del yacimiento Cuajone, en el sector delimitado por las coordenadas locales 540.570-540.700 Este y 84.820-84.950 Norte, se obtienen las siguientes conclusiones:

En cuanto a la caracterización del macizo rocoso y las discontinuidades que le afectan,

- El macizo rocoso corresponde a una riolita de resistencia fuerte a muy fuerte, levemente meteorizada, con bloques romboidales. Según la clasificación GSI es muy blocosa y la condición de la superficie de sus discontinuidades es buena.
- Las fallas se identifican a escala de banco, cruzándolos completamente: 8 en el banco 1 dentro de un intervalo de 50 m, 5 en el banco 2 dentro de un intervalo de 50 m, y 5 en el banco 3 dentro de un intervalo de 40 m. Tienen relleno de arcilla, espesores desde 5 hasta 20 cm, resistencia de sus paredes débil, rumbo preferencial NW y NNW con manto variable. Rumbo coincidente al de las fallas



de escala distrital (Micalaco, Quellaveco, Viña Blanca y Botiflaca) y regional (Incapuquio).

- Las diaclasas tienen orientación, persistencia y abertura variables. La mayoría está rellena por pátinas de óxidos de hierro y eventualmente por arcillas. Las paredes de las diaclasas están por lo general levemente meteorizadas y con resistencia fuerte. Cuando presentan rellenos de arcillas, sus paredes tienen resistencias que van de débil a medianamente fuerte. A escala pequeña son rugosas, a escala media se ajustan al perfil 5 y en menor medida al 3 y 4, y a escala grande se dispersan equitativamente entre los perfiles 3 a 5 (según definiciones en Sección 3.4.1); donde estos perfiles representan discontinuidades planares a levemente onduladas.

En cuanto el patrón que establecen las familias de fracturas,

- Se identifican 8 familias de fracturas, con orientación general de cada familia similar para los 3 bancos:
  - Familia 1 de rumbo WNW, subvertical
  - Familia 2 de rumbo NNW, subvertical
  - Familia 3 de rumbo NNE, subvertical
  - Familia 4 de rumbo ENE, subvertical
  - Familia 5 de rumbo NW, manto hacia el NE con  $\sim 40^{\circ}$ - $50^{\circ}$
  - Familia 6 de rumbo ENE, manto hacia el NW con  $\sim 42^{\circ}$ - $45^{\circ}$
  - Familia 7 de rumbo NNW, manto hacia el SW con  $\sim 51^{\circ}$
  - Familia 8 de rumbo NNE, manto subhorizontal con tendencia al WNW

Estas familias identificadas están bien representadas por los sistemas estructurales del Dominio 5 —dominio estructural dentro del cual se realiza el estudio—. Destacando las familias 1, 2, 3 y 7 (del presente estudio) de orientación media muy similar a las de los sistemas 1, 2, 8 y 14 respectivamente (detalle de estos sistemas en Sección 2.2.4).

y el grado que presentan,

- La Familia 2 posee la mayor cantidad de datos, con 33,2%, 35,9% y 39,4% del total, para los bancos 1, 2 y 3 respectivamente. Para el resto de las familias ronda del  $\sim 4\%$  al  $\sim 15\%$  dependiendo del banco de pertenencia. En base a estos datos, es claro el predominio de las fracturas subverticales de orientación NNW, representadas por la Familia 2.

- Las familias con manteo subvertical (Familias 1, 2, 3 y 4) concentran 216 datos del total de 313 para el banco 1 (69%), 147 del total de 217 para el banco 2 (67,7%) y 220 del total de 368 para el banco 3 (59,8%); las familias de manteo intermedio (Familias 5, 6 y 7) concentran 62 datos para el banco 1 (19,8%), 46 para el banco 2 (21,2%) y 89 para el banco 3 (24,2%); y la Familia 8, de manteo subhorizontal tiene 26 datos para el banco 1 (8,3%), 20 para el banco 2 (9,2%) y 51 para el banco 3 (13,9%). El resto de los datos corresponde a fracturas aleatorias: 9 para el banco 1 (2,9%), 4 para el banco 2 (1,8%) y 8 para el banco 3 (2,2%).

En cuanto el patrón que tienen las persistencias,

- Las persistencias siguen una distribución de tipo Log-normal, a excepción de las pertenecientes a las Familias 7 y 8, que siguen una de tipo Weibull y Gamma respectivamente; pudiéndoseles ajustar no obstante, una de tipo Exponencial y Log-normal respectivamente, como distribuciones alternativas.

y el grado que presentan,

- Las medias de la persistencia para las distintas familias, se encuentran en un rango bien acotado que va de ~2 a ~6 metros. Perteneciendo la menor a la Familia 4, con un valor de 2,14 m y la mayor a la Familia 5, con un valor de 5,88 m. Además, para esta familia (5), se tiene que la persistencia presenta la mayor variabilidad, con desviación estándar 16,7; un orden de magnitud mayor a la de las persistencias de las otras familias.

En cuanto el patrón que tienen los espaciamientos,

- Los espaciamientos siguen una distribución de tipo Log-normal, a excepción de la perteneciente a la Familia 3, que sigue una de tipo Beta; pudiéndosele ajustar no obstante, una de tipo Exponencial como distribución alternativa.

y el grado que presentan,

- Las medias del espaciamiento para las distintas familias, se encuentran en un amplio rango que va de 0,3 a 1,2 metros. Perteneciendo la menor a la Familia 8 y la mayor a la Familia 3. Los espaciamientos con mayor variabilidad son los pertenecientes a las Familias 6 y 7, con desviación estándar 3,94 y 1,66 respectivamente.

En cuanto el patrón que tienen los volúmenes de bloque para las combinaciones de familias 1-2-8, 1-2-5, 2-4-8 y 1-3-8,

- Las combinaciones de familias 1-2-8, 1-2-5 y 2-4-8 son las que generan los bloques más representativos del macizo, según observaciones en terreno y revisiones en gabinete, considerando bloques de forma típicamente romboidal; mientras que la combinación 1-3-8 es un caso atípico que tiene entre sus elementos una familia cuyo espaciamiento sigue una distribución de tipo distinto al de los espaciamientos de las otras familias que la conforman. Para cada combinación, se tienen 3 distribuciones asociadas al volumen del bloque ( $V_b$ ): cada una en función al espaciamiento de cualquiera de sus familias componentes. Los volúmenes del bloque para las combinaciones de familias 1-2-8, 1-2-5, 2-4-8 y 1-3-8; en función de los espaciamientos de cualquiera de sus familias componentes, a excepción del  $V_b$  en función del espaciamiento de la Familia 3 del caso 1-3-8, siguen una distribución de tipo Log-normal. Para el caso excepcional  $V_{b_{138}(3)}$ ,  $V_b$  sigue una distribución de tipo Beta, pudiéndosele ajustar no obstante, una de tipo Exponencial como distribución alternativa.

y el grado que presentan,

- Para cada combinación de familias analizada (1-2-8, 1-2-5, 2-4-8 y 1-3-8), no importando la incógnita utilizada, la media de  $V_b$  tiende a un valor en común:  $\overline{V_{b_{128}}}$  en función de los espaciamientos 1, 2 u 8 es  $\sim 0,08 \text{ m}^3$ ; equivalente a un cubo de lados  $\sim 43 \text{ cm}$ .  $\overline{V_{b_{125}}}$  en función de los espaciamientos 1, 2 ó 5 es  $\sim 0,26 \text{ m}^3$ ; equivalente a un cubo de lados  $\sim 64 \text{ cm}$ .  $\overline{V_{b_{248}}}$  en función de los espaciamientos 2, 4 u 8 es  $\sim 0,05 \text{ m}^3$ ; equivalente a un cubo de lados  $\sim 37 \text{ cm}$ .  $\overline{V_{b_{138}}}$  en función de los espaciamientos 1, 3 u 8 es  $\sim 0,21 \text{ m}^3$ ; equivalente a un cubo de lados  $\sim 59 \text{ cm}$ . Además, para cada una de estas combinaciones de familias, las desviaciones estándar de  $V_b$  son altas, pero acotadas en un rango cercano a sus medias: para el caso 1-2-8, desviación estándar de 0,09 a 0,10; caso 1-2-5, de 0,28 a 0,33; caso 2-4-8, de 0,05 a 0,09; y caso 1-3-8, de 0,18 a 0,23.

En cuanto el grado y patrón que tiene el volumen del bloque obtenido vía medición directa de bloques en terreno,

- El  $V_b$  obtenido vía medición directa de bloques en terreno —al medirles el largo de sus tres lados representativos principales— escogidos de manera aleatoria a lo largo de la línea de detalle, sigue una distribución de tipo Lognormal. Tiene, considerando corrección geométrica nula ( $\omega=1$ ): media  $\sim 0,007 \text{ m}^3$  equivalente a

un cubo de lados  $\sim 19$  cm; y desviación estándar  $\sim 0,014$ . Considerando corrección geométrica  $\omega=1,8$ : media  $\sim 0,013$  m<sup>3</sup> equivalente a un cubo de lados  $\sim 24$  cm; y desviación estándar  $\sim 0,024$ .

En cuanto el grado y patrón que tiene el volumen del bloque en función de sus valores medios,

- El Vb en función de sus valores medios, considerando todos los casos teóricos posibles para una combinación cualquiera de 3 familias del total de 8 identificadas, se encuentra concentrado entre los 0,1 y 0,5 m<sup>3</sup>, equivalente a cubos de lados entre  $\sim 45$  y  $\sim 80$  cm.

## BIBLIOGRAFÍA

Acosta, H.; Mamani, M; Oviedo, M. y Rodríguez, J. P. 2010. Actividad tectónica del Sistema de fallas Incapuquio durante la formación de la Cuenca Arequipa en el Jurásico. INGEMMET, Lima. 4p.

Adams, J. L. 1906. Caudal, procedencia y distribución de aguas de los departamentos de Arequipa, Moquegua y Tacna. Boletín del Cuerpo de Ingeniero de Minas del Perú. 45: 56-63.

Alejandro, V; Sempere, T. y Jacay, J. 2006. Aspectos estratigráficos y petrográficos del volcanismo jurásico de la costa sur peruana (departamentos de Moquegua y Tacna). Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG. 9(18): 44-63.

Augustithis, S. S. 1995. Atlas of the textural patterns of ore minerals and metallogenic processes. Walter de Gruyter & Co., Berlin. 659p.

Baecher, G. B.; Lanney, N. A. y Einstein, H. H. 1977. Statistical description of rock properties and sampling. Proceedings of 18th US Symposium on Rock Mechanics, Colorado. pp. 5C1-1 - 5C1-8.

Beckinsale, R. D.; Sánchez-Fernández, A. W.; Brook, M.; Cobbing, E. J.; Taylor, W. P. y Moore, N. B. 1985. Rb-Sr whole rock isochron and K-Ar determination for the Coastal Batholith of Peru. En: Magmatism at a Plate Edge: The Peruvian Andes, Blackie Halstead Press, Glasgow. pp. 177-202.

Bellido, E. y Guevara, C. 1963. Geología de los cuadrángulos de Punta Bombón y Clemesi. Carta Geológica Nacional, Lima. 92p.

Bellido, E. y Landa, C. 1965. Geología del Cuadrángulo de Moquegua. Boletín N°15, INGEMMET, Serie A.

Bellido, E. 1979. Geología del cuadrángulo de Moquegua (hoja: 35-u). INGEMMET, Lima, Perú. 78p.

Bellon, H. y Lefèvre, R. 1976. Données géocronométriques sur le volcanisme Andin dans le sud du Pérou. Implications volcanotectonique. Comptes rendus de l'Académie des Sciences de Paris (serie D). 283: 1-4.

Bieniawski, Z. T. 1989. Engineering rock mass classifications. John Wiley & Sons, New York. 251p.

Bieniawski, Z. T. 1990. Tunnel design by rock mass classifications. Update of technical report GL-79-19, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Geotechnical Laboratory, Vicksburg, Mississippi. 159p.

Bonnet, E.; Bour, O.; Odling, N. E.; Davy, P.; Main, I.; Cowie, P. y Berkowitz, B. 2001. Scaling of fracture systems in geological media. *Geophysics*. 39(3): 347-383.

Chakravarti, I. M.; Laha, R. G. y Roy, J. 1967. Handbook of methods of applied statistics. John Wiley and Sons, New York. 1: 392-394.

Clark, A. H.; Tosdal, R.M.; Farrar, E. y Plazolles V. A. 1990. Geomorphic environment and age of supergene enrichment of the Cuajone, Quellaveco, and Toquepala porphyry Cu deposits, southeastern Peru. En: *Economic Geology*. 85: 1604-1628.

Committee on Fracture Characterization and Fluid Flow. 1996. Rock fractures and fluid flow: Contemporary understanding and applications. National Academy Press, Washington. pp. 29-101.

Concha, O. y Valle, J. 1999. Prospección, exploración y desarrollo del yacimiento de Cuajone. En: Congreso Internacional de Prospectores y Exploradores, 1, (ProEXPLO'99) Lima, 1999, Primer volumen de monografías de yacimientos minerales peruanos: historia, exploración y geología. Instituto de Ingenieros de Minas del Perú, Lima. pp. 117-143.

David, C.; Audin L.; Comte, D.; Tavera, H. y Hérail, G. 2005. Crustal seismicity and active tectonics in the Arica bend forearc. En: 6th International Symposium on Andean Geodynamics, Extended Abstracts, Barcelona. pp. 206-210.

Dávila, J. 2011. Diccionario geológico. INGEMMET, Lima. 901p.

Dearman, W. R. 1991. Engineering geological mapping. Butterworth-Heinemann Ltd., Oxford. 415p.

De la Vergne, J. Hard Rock Miner's Dictionary [en línea]. <<http://www.infomine.com/Dictionary/hardrockminers>> [consulta: marzo de 2014].

Deere, D. U.; Hendron, A. J. Jr.; Patton, F. D. y Cording, E. J. 1967. Design of surface and near-surface construction. En: Failure and Breakage of Rock, Ed. C. Fairhurst, Soc. of Min. Eng. of AIME, New York. pp. 237-302.

Deere, D. U. y Deere, D. W. 1988. The Rock Quality Designation (RQD) index in practice. En: Rock Classification Systems for Engineering purposes, ASTM STP 984, Ed. Louis Kirkaldie, American Society for Testing and Materials, Philadelphia. pp. 91-101.

Díaz, A.; Carpio, M. y Ramírez, J. 2011. Estudio geológico económico de las rocas y minerales industriales en las regiones de Moquegua y Tacna. INGEMMET, Boletín, Serie B: Geología Económica, 26. 166p. 3 mapas.

Díaz, G.; Montoya, A y Milla, D. 2000. Mapa geológico del cuadrángulo de Maure, escala 1: 50,000. INGEMMET, Lima. 4 mapas.

Estrada, F. 1975. Geología de Quellaveco. Sociedad Geológica del Perú, Bol. 46, Tercer Congreso Peruano de Geología. pp. 65-86.

Finlay, C. C.; Maus, S.; Beggan, C. D.; Hamoudi, M. L.; Lowes, F. J.; Olsen, N. y Thébault, E. 2010. Evaluation of candidate geomagnetic field models for IGRF-11. Earth Planets Space. 62(10): 787-804.

Fisher, R. 1953. Dispersion on a Sphere. En: Proceedings of the Royal Society of London. A217(1130): 295-305.

Fletcher, R. C. y Pollard, D. D. 1981. Anticrack model for pressure solution surfaces. En: Geology. 9: 419-424.

Flores, A. y Sempere, T. 2002. Avances sobre la historia geológica del valle de Tacna. XI Congreso Peruano de Geología, Lima, CD-ROM, Chapter 7, archivo ALEXAN~1.DOC. 10p.

Fossen, H. 2010. Structural geology. Cambridge University Press, New York. 480p.

Goodman, R. E. 1976. Methods of geological engineering in discontinuous rocks. West Publishing Co., St. Paul, Minnesota. 472p.

Hoek, E. 1994. Strength of rock and rock masses. *ISRM News Journal*. 2(2): 4-16.

Hoek, E.; Carter, T. G. y Diederichs, M. S. 2013. Quantification of the Geological Strength Index chart. En: 47th U.S. Rock Mechanics/Geomechanics symposium, San Francisco, California, ARMA 13-672. pp. 1-8.

Hoyos, F. 2001. *Geotecnia: Diccionario básico*. Hombre Nuevo Editores, Medellín. 182p.

Hoyos, F. 2012. *Geotecnia: Diccionario básico*. Académica Española, Medellín. 188p.

INGEMMET. 2008. Mapa Geológico del Sector III Moquegua-Tacna. Versión digital 2008. Esc. 1:200.000. Color.

ISRM. 1978. Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. En: *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.* 15: 319-368.

Itasca S.A. 2008. Evaluación de la estabilidad de la Pared Este Tajo Cuajone. Informe preparado para SPCC. 155p.

Jacay, J.; Sempere, T.; Husson, L. y Pino, A. 2002. Structural characteristics of the Incapuquio fault system, southern Peru. Extended abstract, V International Symposium on Andean Geodynamics, Toulouse. pp. 319-321.

Jaén, H.; Ortiz, G. y Wilson J. 1963. Geología del cuadrángulo de La Yarada, Tacna y Huaylillas. *Carta Geológica Nacional. Boletín 6, Serie A.* 97p.

Makiyama, J. 1979. *Tectonomechanics: An introduction to structural analysis of folded oil-field rocks*. Tokai University Press, Tokyo. 135p.

Mandl, G. 2005. *Rock joints: The mechanical genesis*. Springer: Berlin, Heidelberg, New York. 221p.

Manrique, C. J. y Plazolles, V. A. 1975. Geología de Cuajone. *Sociedad Geológica del Perú, Bol.* 46, Tercer Congreso Peruano de Geología, Parte II. pp. 137-150.

Marinos, P. y Hoek, E. 2000. GSI - A geologically friendly tool for rock mass strength estimation. En: *Proceedings of GeoEng2000 International Conference on Geotechnical*



and Geological Engineering, Melbourne. Technomic Publishers, Lancaster. pp. 1422-1442.

Martínez, W. y Zuloaga A. 2000. Memoria Explicativa de la Geología del Cuadrángulo de Moquegua (35-u). INGEMMET, Serie A. 12p.

May, F. 1994. Weathering or hydrothermal alteration? Examples from the Rhenish Massif, Germany. En: V. M. Goldschmidt Conference, Extended abstracts, Edinburgh. Mineralogical Society of Great Britain and Ireland, London. pp. 577-578.

McBride, S. L. 1977. A K-Ar study of the Cordillera Real, Bolivia, and its regional setting. PhD Thesis, Queen's University, Kingston, Ontario, Canada. 231p.

Mendivil, S. 1965. Geología de los cuadrángulos de Maure y Antajave (hojas 35-x, 35-y). Comisión Carta Geológica Nacional, Boletín 10. 99p.

Norbury, D. 2010. Soil and Rock Description in Engineering Practice. Whittles Publishing, Dunbeath, Scotland. 304p.

Oracle. 2010. Crystal Ball User's Guide, 11.1.2. EPM Information Development Team. 426p.

Palmström, A. 1982. The volumetric joint count - A useful and simple measure of the degree of rock mass jointing. En: Proceedings 4th International Congress IAEG, New Delhi. 5: 221-228.

Palmström, A. 1995. RMi – a rock mass characterization system for rock engineering purposes. PhD thesis, University of Oslo, Department of Geology, Norway. 400p.

Palmström, A. 1996. Characterising rock masses by the RMi for use in practical rock engineering. Part 1: The development of the rock mass index (RMi). En: Tunnelling and Underground Space Technology. 11(2): 175-188.

Palmström, A. 2001. Measurement and characterization of rock mass jointing. En: In-situ characterization of rocks. Eds. Sharma V. M. & Saxena K. R., A. A. Balkema Publishers, Oslo. pp. 49-97.

Park, G. 1998. Petrographic and litogeochemical alteration study of the Cuajone and Toquepala porphyry copper deposits, Perú. Informe Técnico, SPCC.

Pollard, D. D. y Aydin, A. 1988. Progress in understanding jointing over the past century. En: Geological Society of America Bulletin. 100: 1181-1204.

Price, N. J. 1966. Fault and joint development in brittle and semi-brittle rock. Pergamon Press, Oxford. 176p.

Priest, S. D. 1993. Discontinuity Analysis for Rock Engineering. Chapman & Hall, London. 473p.

Priest, S. D. y Hudson, J. A. 1976. Discontinuity spacing in rocks. En: Int. J. Rock Mech. Min. Sci. and Geomech. Abstr., Pergamon Press, Great Britain. 13: 135-148.

Priest, S. D. y Hudson, J. A. 1981. Estimation of discontinuity spacing and trace length using scanline surveys. En: Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. 18: 183-197.

Ragan, D. M. 1985. Structural geology, an introduction to geometrical techniques. 3rd Edition, Wiley, Chichester. 416p.

Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Glosario de Geología. [en línea]. <<http://www.infomine.com/Dictionary/hardrockminers>> [consulta: marzo de 2014].

Rocscience Inc. Terzaghi Weighting [en línea]. <[www.rocscience.com/help/dips/webhelp/dips/Terzaghi\\_Weighting.htm](http://www.rocscience.com/help/dips/webhelp/dips/Terzaghi_Weighting.htm)> [consulta: julio de 2014].

Romeuf, N.; Aguirre, L.; Carlier, G.; Soler, P.; Bonhomme, M.; Elmi, S. y Salas, G. 1993. Present knowledge of the Jurassic volcanogenic formations of southern coastal Perú. II International Symposium on Andean Geodynamics, Oxford. pp. 437-440.

Romeuf, N.; Aguirre, L.; Soler, P.; Féraud, G.; Jaillard, E. y Ruffet, G. 1995. Middle jurassic volcanism in the northern and central Andes. Revista Geológica de Chile. 22: 245-259.

Sánchez, A. W. 1983. Nuevos datos K-Ar en algunas rocas del Perú. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú. 71: 193-202.

Sargent, R. y Wainwright, E. 1998. Crystal Ball Version 4.0 User Manual. Decisioneering Inc, Denver. 286p.

Satchwell, P. C. 1983. Geología de la mina Cuajone. Sociedad Geológica del Perú, Bol. 72. pp. 127-146.

Sempere, T., Fornari, M., Acosta, J., Flores, A., Jacay, J., Peña, D., Roperch, P. y Taipe, E. 2004a. Estratigrafía, geocronología, paleogeografía y paleotectónica de los depósitos de antearco del sur del Perú. XII Congreso Peruano de Geología, Lima, Resúmenes Extendidos, Sociedad Geológica del Perú. pp. 533-536.

Sempere, T.; Jacay, J.; Carlotto, V.; Martínez, W.; Bedoya, C.; Fornari, M.; Roperch, P.; Acosta, H.; Acosta, J.; Cerpa, L.; Flores, A.; Ibarra, I.; Latorre, O.; Mamani, M.; Meza, P.; Odonne, F.; Orós, Y.; Pino, A. y Rodríguez, R. 2004b. Sistemas transcurrentes de escala litosférica en el sur del Perú. Publicación Especial SGP, N°5. pp. 105-110.

Sica, G. 2006. Bias in Research Studies. Radiology. 238(3): 780-789.

Simmons, A. 2013. Magmatic and hydrothermal stratigraphy of Paleocene and Eocene porphyry Cu-Mo deposits in southern Peru. PhD thesis, University of British Columbia, Vancouver. 359p.

Snedecor, G. W. y Cochran, W. G. 1989. Statistical Methods. 8th Edition, Iowa State University Press. 503p.

Spiegel, M. R. 1976. Probabilidad y estadística. 1ra Edición (edición en español), McGraw-Hill, México. 388p.

SRK S.A. 2014. M\_01-1086-04\_SRK\_SPCC\_20141006\_RevA. (Memorando interno inédito). 38p.

Stephens, M. A. 1974. EDF Statistics for Goodness of Fit and Some Comparisons. Journal of the American Statistical Association. 69(347): 730-737.

Terzaghi, R. D. 1965. Sources of Error in Joint Surveys. Geotechnique. 15: 287-304.

Tosdal, R. M.; Farrar, E. y Clark, A. 1981. K-Ar geochronology of the late cenozoic volcanic rocks of the Cordillera Occidental, Southernmost Peru. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 10: 157-173.

Ulusay, R. 2013. Harmonizing engineering geology with rock engineering on stability of rock slopes. En: *Rock Characterization, Modelling and Engineering Design Methods*. Feng, Eds. Hudson & Tan, Londres. pp. 11-22.

Vatin-Pérignon, N.; Vivier, G.; Sébrier, M. y Fornari, M. 1982. Les derniers événements andins marqués par le volcanisme cénozoïque de la cordillère occidentale sud-péruvienne et de son piémont pacifique entre 15°45' et 18° S. *Bulletin de la Société Géologique de France*. T. XXIV (3). pp. 649-650.

Villalobos, F. 2009. *Diccionario geotécnico Inglés-Castellano*. Publicación Interna: Departamento de Ingeniería Civil, UCSC, Concepción. 25p.

Walpole, R. E.; Myers, R. H.; Myers, S. L. y Ye, K. E. 2012. *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. 9na Edición (edición en español), Pearson Educación, México. 812p.

Walsh Perú S.A. 2008. *Plan de Cierre de Minas, Actividades Minero Metalúrgicas Southern Peru Copper Corporation: Volumen I: Resumen Ejecutivo Unidad de Producción Cuajone*. Informe preparado para SPCC: Proyecto N° MIN-1164. Lima, Perú. 120p.

Warburton, P. M. 1980. A stereological interpretation of joint trace data. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts*. 17(4): 181-190.

Wilson, J. y García, W. 1962. *Geología de los cuadrángulos de Pachia y Palca*. Bol. N° 4, Comisión Carta Geológica Nacional. 82p.

Zimmermann, J. L. y Kihien, A. 1983. Détermination par la méthode K/Ar de l'âge des intrusions et des minéralisations associées dans le porphyre cuprifère de Quellaveco (Sud Ouest du Pérou). *Mineralium deposita*. 18(2): 207-213.

Zweng, P. L. 1984. *Evolution of the Toquepala porphyry Cu-(Mo) deposit, Peru*. Master thesis, Queen's University at Kingston, Canada.

## ANEXO 1. Glosario

En el presente trabajo hay una gran cantidad de términos que es necesario clarificar, con objeto de proveer un lenguaje común entre el lector y la obra, y hacer así más llevadera la lectura y comprensión de esta misma. En consideración a esto, cabe destacar que especial cuidado merecen los términos: Discontinuidad, fractura, diaclasa y junta.

Diferentes autores, organismos e instituciones definen y dan uso a éstos, sin mostrar necesariamente estar de acuerdo. Esto sucede por las diferentes competencias y ámbitos en los cuales ellos se desenvuelven, por la confusión que ha provocado el uso —muchas veces indiscriminado— de los términos a lo largo de los años y por la deformación que éstos sufren al traducirlos desde una lengua a otra.

International Society of Rock Mechanics (ISRM) menciona la división que hay entre los especialistas por el mejor término genérico que represente todos los "quebres" en los macizos rocosos, pero que una mayoría prefiere discontinuidades por sobre fractura como el término colectivo para *joints*, planos de estratificación, contactos y fallas (ISRM, 1978). No obstante, autores más contemporáneos hacen uso de fractura como el término genérico, y discontinuidad para definirlo. Ejemplo de lo anterior es el caso específico del Committee on Fracture Characterization and Fluid Flow (CFCFF) cuando dice: Fracturas son quebres mecánicos en rocas, involucrando discontinuidades en desplazamiento a lo largo de superficies o zonas cercanas. Fractura es un término usado para todos los tipos de discontinuidades genéricas (CFCFF, 1996).

Estas fracturas son clasificadas en 3 grandes grupos, basado en la naturaleza de su desplazamiento: 1) fracturas extensionales/*joints*, 2) fracturas de cizalle/fallas, y 3) fracturas de cierre/superficies de solución por presión. Este trabajo utiliza y centra su atención sólo en los dos primeros grupos: *joints* y fallas.

ISRM (1978)<sup>36</sup> define los primeros como quebres de origen geológico en la continuidad de un cuerpo de roca a lo largo del cual no se aprecia desplazamiento "visible", mientras que en los segundos sí, en escala de centímetros a kilómetros. Mandl (2005) hace notar que el problema que subyace a esta definición, es que la distinción entre *joints* y fallas radica principalmente en la escala de observación y que los *joints* podrían haberse formado por una separación de la roca estrictamente perpendicular al plano de fractura o bien, incluyendo algunos desplazamientos de cizalle de las paredes de la fractura, siendo esto aún "invisible" según la escala de observación.

---

<sup>36</sup> Prior a la definición de *joints* por parte del ISRM, lo fue anteriormente hecho por Price (1966), mas sin incluir el concepto de "visible". Diversos autores se sumaron a la definición de este autor: Goodman, 1976; Makiyama, 1979; Ragan, 1985.

Pollard y Aydin dan una idea más contemporánea, que sigue los conceptos establecidos por la ingeniería en mecánica de fracturas (Irwin, 1958; Lawn y Wilshaw, 1975 en: Pollard y Aydin, 1988): Se idealiza la fractura como dos planos rectos y se identifican los modos de fractura (Figura A1. 1). Desplazamientos de abertura (modo I) son perpendiculares a la superficie de la fractura, mientras que los de cizalle son paralelos a ella y además perpendiculares (modo II) o paralelos (modo III) al frente de propagación —actualmente se acepta otro modo adicional (modo IV) opuesto al modo I, de carácter contraccional. Ejemplo de esto, son las estilolitas (ver Fletcher y Pollard, 1981)—. Los *joints* son asociados al modo de abertura, mientras que las fallas a los de cizalle.

Si bien estos modos son los abiertamente reconocidos para los tipos de fractura señalados —y que competen a este trabajo—, hay que tener claro que casos de modos mixtos también son posibles. Esto mencionado ya por el CFCFF (1996) y más actualmente por Fossen (2010).

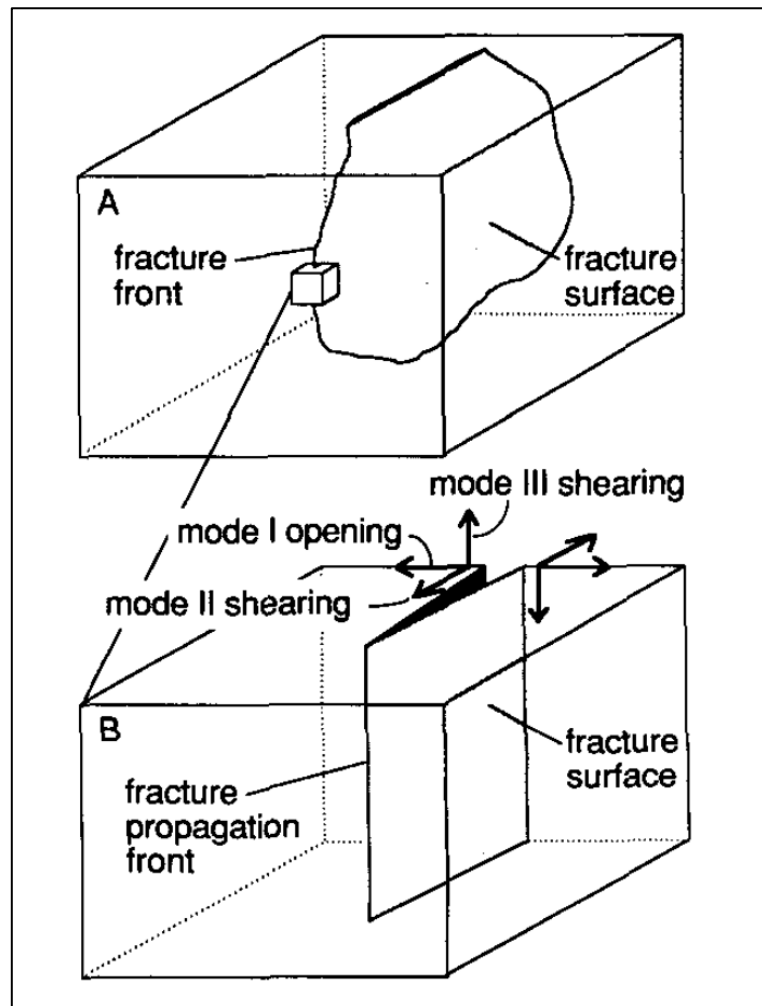


Figura A1. 1: Idealización de una fractura en un macizo rocoso, ilustrando dos superficies planares unidas al frente de fractura (Pollard y Aydin, 1988). El Modo IV se representaría por flechas opuestas a la dirección de las del Modo I.

Según se aprecia, en cuanto a la concepción de los términos, se tiende a aunar criterios y llegar en gran medida a un punto en común. Sin embargo, esto no ocurre cuando son españolizados.

Hoyos (2001) define "junta" —por *joint*— como: Discontinuidad en un macizo rocoso. Este término genérico comprende diaclasas, fallas y planos de estratificación como elementos de discontinuidad [SIC]. Notar que se desprende de lo que se lee, que *joint* sería un supertipo. Años más tarde (2012) define *joint* como sinónimo a junta y a diaclasa, especificando por esta última: "Plano de discontinuidad en un cuerpo rocoso, sin movimiento perceptible paralelo a la superficie de discontinuidad"; una definición más acorde a las originales. Adicionalmente define "fractura" —por *fracture*— como: "Término general aplicable a cualquier discontinuidad mecánica en las rocas. Es un término colectivo para grietas, diaclasas, fallas"; también acorde a las definiciones originales.

Dávila (2011) por su parte, parece utilizar todos los términos como el mismo:

- Fractura: Sinónimo de diaclasa [SIC].
- Diaclasa: Fractura o juntura que aparece en el cuerpo de una roca ocasionalmente producida por los esfuerzos tectónicos [SIC].
- Juntas o junturas<sup>37</sup>: Son los planos de las fracturas, grietas o diaclasas, que generalmente se encuentran orientados siguiendo un sistema definido de acuerdo con los esfuerzos tectónicos [SIC].

En el Diccionario Geotécnico Inglés-Castellano de la UCSC<sup>38</sup> (Villalobos, 2009), simplemente hacen una españolización de *joint* por junta. Sin entrar en mayores definiciones.

De la Vergne y el Glosario de Geología de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (consultas en línea, marzo de 2014); se adhieren a las definiciones originales de los términos —tal como Hoyos, en 2012—. Y específicamente para *joint*, no intentan usar una traducción de tipo literal, sino que la designan como "diaclasa".

Finalmente, en base a lo ya expuesto, y de manera exclusiva a lo que compete a este trabajo, se otorgan las siguientes definiciones a ser utilizadas en él:

---

<sup>37</sup> "Juntura" del latín *iunctūra*, pareciera ser una españolización más correcta que "junta" para *joint*, en el caso de desearse una traducción más literal. La palabra "junta", según se lee de la definición dada por el diccionario de la Real Academia Española (RAE), se acerca pobremente al concepto original de *joint*.

<sup>38</sup> Universidad Católica de la Santísima Concepción (Chile).

## **Fractura**

Término que aúna a las distintas **discontinuidades** en un macizo rocoso, siendo estas planares o subplanares, y que presentan distintos modos de fractura. Dentro de las fracturas se incluyen las diaclasas y fallas.

## **Diaclasas**

Discontinuidades planares o subplanares de origen natural que no presentan movimiento relativo salvo extensional, a escala milimétrica. Y que adicionalmente forman bloques<sup>39</sup>.

## **Fallas**

Discontinuidades planares o subplanares de origen natural con movimiento relativo de cizalle que puede ser perpendicular o paralelo (o una mixtura de estos dos) al frente de fractura. Las paredes de las discontinuidades pueden estar estriadas y pulidas, producto al desplazamiento cizallante y con un relleno arcilloso. También pueden existir zonas de daño a ambos lados de la falla.

Definiciones de otros términos, ya sean propios a las características de las fracturas o a párametros del fracturamiento del macizo rocoso; presentan menor ambigüedad adherida y sus definiciones pueden ser extraídas directamente desde la literatura.

---

<sup>39</sup> Palmström (1995) acota la extensión de las diaclasas a [0.1-100m], fijando así un límite de las discontinuidades a considerar. Aquí, al decir "que forman bloques", se intenta hacer lo mismo, pero de manera menos arbitraria. Se da un margen en el cual el sentido común prevalece: Si la discontinuidad es ínfima o bien, se aprecia como una leve grieta, no tendrá un plano bien definido; como tampoco aportará en la formación de bloques relevantes, al menos en el corto plazo.



## ANEXO 2. Geological Strength Index (GSI)

El GSI es un índice de calidad geomecánica para macizos rocosos introducido por Hoek en 1994, basado en la identificación y clasificación de las macroestructuras y condición de las superficies de las discontinuidades. En su versión más reciente (Hoek et al., 2013) se eliminan de la tabla los casos extremos para un macizo masivo o foliado, como también se ajustan los valores numéricos desplazando las curvas originales, con objeto de permitir la comparación con los puntajes asociados al RQD (Deere, 1967; Deere y Deere, 1988) y a la condición de las juntas del RMR (Bieniawski, 1989).

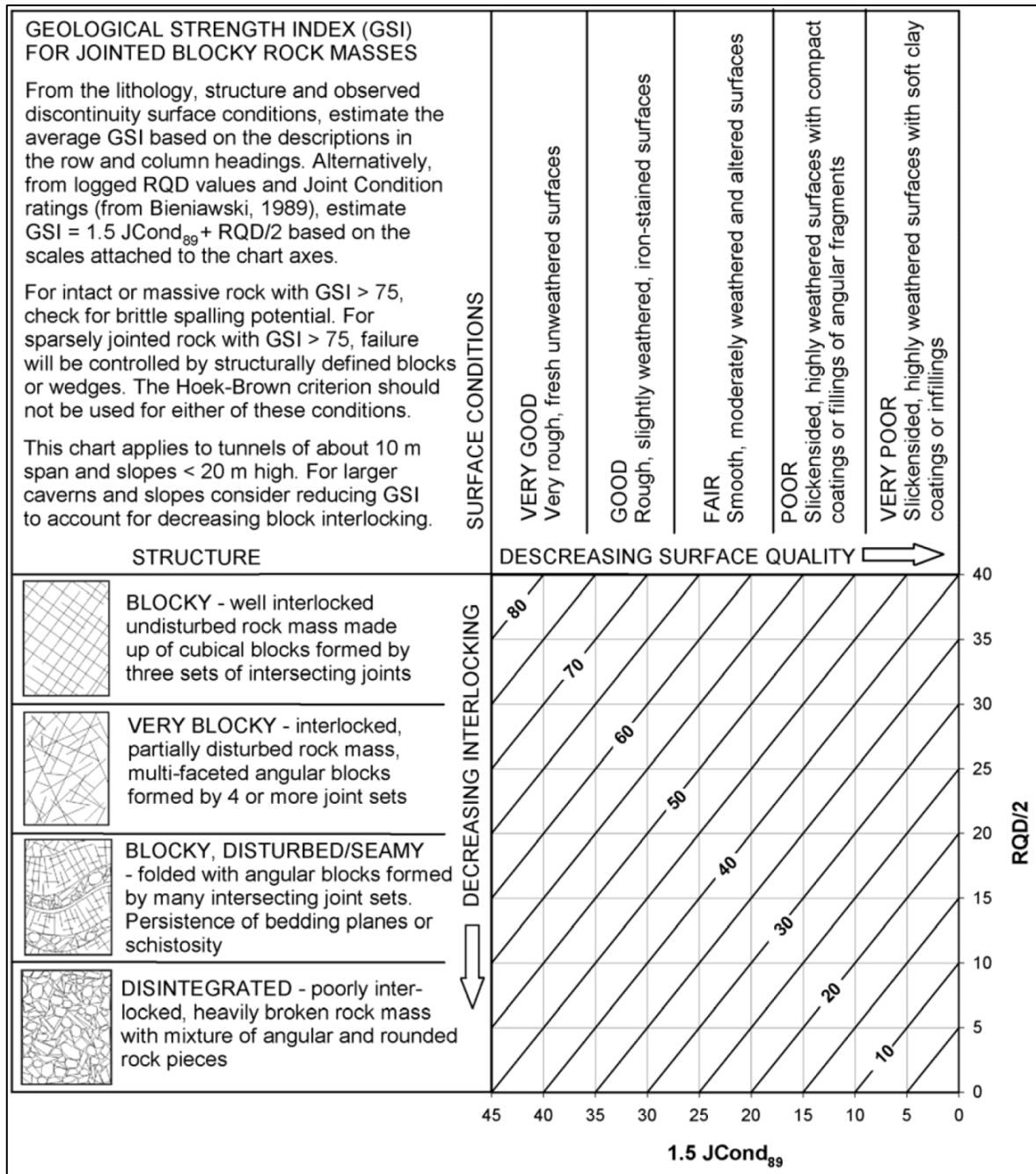


Figura A2. 1: Cuantificación de GSI por condición de las diaclasas y RQD (Hoek et al., 2013).

## ANEXO 3. Cartillas de mapeo

Cartillas de mapeo utilizadas para el mapeo de discontinuidades y la condición general del macizo rocoso.

**Tabla A3. 1: Cartilla de mapeo enfocada a la información relativa a las discontinuidades.**

MINA CUAJONE MAPEO DE BANCOS Registro 1: Estructuras				PUNTOS DE CONTROL																		Comentarios												
				Punto 1				Punto 2				Punto 3				Punto 4																		
Logeado por :				N :				N :				N :				N :				Término														
Fecha :				Elev :				Elev :				Elev :				Elev :				Sup														
Código :				Persistencia				Rellenos				Rugosidad				Degradación				Agua														
Pto	ID	Dist (m)	Tipo	Actitud dip	ddir	Aber (mm)	rumb (m)	Pnte (m)	dip (m)	Pnte (m)	1	2	3	re +	ebia (mm)	etot (mm)	Hbla	Hdur	Rlaub	Suav	jrc10	A (mm)	jrc100	A (cm)	λ (cm)	DBle	R_rel	R_est	halo (cm)	Agua	Sup	Inf		

**Tabla A3. 2: Cartilla de mapeo enfocada a la información relativa a la condición general del macizo rocoso.**

MINA CUAJONE MAPEO DE BANCOS Registro 2: Fracturamiento													Comentarios																						
																Logeado por :																			
Fecha :											Código :			Volumen del Bloque			Joint Network Model																		
Intervalo		Cara		Roca intacta			GSI			form	Dimensión (cm)																								
desde	hasta	ang	Az	Lit	IRS	Deg	Struc	Cond	L		W	H																							
ID	Pto	m	Pto	m	ang	cara																													

## ANEXO 4. Bases de datos

Base de datos con la información básica de las discontinuidades mapeadas:

**Tabla A4. 1: Discontinuidades mapeadas: ID asignada, intervalo de pertenencia, metraje en línea de detalle, tipo de fractura (F: falla, j: diaclasa), orientación, abertura y persistencia. Datos ID 238 y 685 nulos.**

ID	ID Hoja mapeo	ID intervalo	Dist (m)	Tipo	Orientación (°)		Abertura (mm)	Persistencia (m)		
					Dip	DipDir		comp. Horizontal	comp. Vertical	Final
1	bco1-1	b1_1	1,1	j	46	40	-	0,5	1,3	1,81
2	bco1-1	b1_1	1,23	j	72	67	<1	-	0,3	0,32
3	bco1-1	b1_1	1,29	j	64	265	<1	-	0,3	0,33
4	bco1-1	b1_1	1,29	j	80	27	-	-	10	10,15
5	bco1-1	b1_1	1,29	j	50	327	-	-	3	3,92
6	bco1-1	b1_1	1,43	j	90	75	1-5	-	0,4	0,40
7	bco1-1	b1_1	1,63	j	90	215	>5	-	0,5	0,50
8	bco1-1	b1_1	1,68	j	90	215	>5	-	0,25	0,25
9	bco1-1	b1_1	1,78	j	75	265	<1	-	2	2,07
10	bco1-1	b1_1	1,78	j	68	17	-	-	0,5	0,54
11	bco1-1	b1_1	2,06	j	90	270	-	-	1	1,00
12	bco1-1	b1_1	2,06	F	58	39	>5	-	15	17,69
13	bco1-1	b1_1	2,96	j	78	10	-	-	6	6,13
14	bco1-1	b1_1	3,26	j	36	140	1-5	-	0,3	0,51
15	bco1-1	b1_1	3,35	j	70	282	<1	-	0,4	0,43
16	bco1-1	b1_1	3,4	j	85	313	-	0,17	0,7	0,70
17	bco1-1	b1_1	3,62	j	85	77	1-5	-	2,5	2,51
18	bco1-1	b1_1	3,8	j	85	257	<1	-	2,5	2,51
19	bco1-1	b1_1	3,93	j	84	275	<1	-	1	1,01
20	bco1-1	b1_1	4,05	j	90	315	-	0,3	1	1,00
21	bco1-1	b1_1	4,74	j	90	3	1-5	3	3	3,00
22	bco1-1	b1_1	4,74	j	85	78	<1	0,3	2	2,01
23	bco1-1	b1_1	4,89	j	90	255	<1	1,5	3	3,00
24	bco1-1	b1_1	4,94	j	30	187	<1	-	2	2,00
25	bco1-1	b1_1	5,06	j	78	259	>5	-	0,8	0,82
26	bco1-1	b1_1	5,16	j	77	53	1-5	1,5	3	3,08
27	bco1-1	b1_1	5,27	j	85	257	1-5	1	3	3,01
28	bco1-1	b1_1	5,37	j	88	23	<0,1	2	3	3,00
29	bco1-1	b1_1	5,37	j	70	320	-	0,4	0,5	0,53
30	bco1-1	b1_1	5,48	j	46	32	1-5	1	2	2,78
31	bco1-1	b1_1	5,65	j	88	77	1-5	1	2	2,00
32	bco1-1	b1_1	5,65	j	55	343	-	1	1	1,22
33	bco1-1	b1_1	5,8	j	88	77	1-5	1	2	2,00
34	bco1-1	b1_1	5,8	j	35	325	-	2,5	1,5	2,50
35	bco1-1	b1_1	6,1	j	80	22	-	1,5	4	4,06
36	bco1-1	b1_1	6,1	j	75	290	-	0,3	0,5	0,52
37	bco1-1	b1_1	6,31	j	53	28	1-5	0,3	0,5	0,63
38	bco1-1	b1_1	7,03	j	74	69	<0,1	-	10	10,40
39	bco1-2	b1_1	7,16	j	79	247	<1	0,15	0,3	0,31
40	bco1-2	b1_1	7,16	j	45	35	-	0,5	1	1,41
41	bco1-2	b1_1	7,32	j	83	323	-	1	2	2,02
42	bco1-2	b1_1	7,32	j	78	60	1-5	0,4	2	2,04
43	bco1-2	b1_1	7,52	j	78	60	1-5	0,4	2	2,04
44	bco1-2	b1_1	7,57	j	66	282	<1	0,4	1	1,09
45	bco1-2	b1_1	7,62	j	66	282	<1	0,4	1	1,09
46	bco1-2	b1_1	7,8	j	79	99	>5	0,4	10	10,19
47	bco1-2	b1_1	8,05	F	77	55	>5	-	12	12,32
48	bco1-2	b1_1	8,5	j	55	336	-	0,25	0,4	0,49
49	bco1-2	b1_1	8,7	j	86	19	-	0,4	1	1,00
50	bco1-2	b1_1	8,7	j	60	252	1-5	0,7	1,6	1,85
51	bco1-2	b1_1	8,78	j	47	228	1-5	0,3	2	2,73
52	bco1-2	b1_1	8,78	j	73	305	-	0,2	0,5	0,52
53	bco1-2	b1_1	8,88	j	75	21	1-5	0,1	1	1,04
54	bco1-2	b1_1	8,93	j	77	325	-	-	2	2,05
55	bco1-2	b1_1	9	F	82	62	>5	-	6	6,06
56	bco1-2	b1_1	9	j	65	9	<0,1	0,7	2	2,21
57	bco1-2	b1_1	9,44	F	82	92	>5	-	12	12,12
58	bco1-2	b1_1	9,65	F	48	30	>5	-	15	20,18
59	bco1-2	b1_1	9,83	j	65	20	-	0,5	3,5	3,86
60	bco1-2	b1_1	10,4	j	88	6	>5	0,8	1,5	1,50
61	bco1-2	b1_1	10,4	F	46	32	>5	-	15	20,85
62	bco1-2	b1_1	10,6	j	88	255	-	0,35	3,5	3,50
63	bco1-2	b1_1	10,6	j	65	359	<0,1	0,3	1	1,10
64	bco1-2	b1_1	10,6	j	87	178	<0,1	-	0,5	0,50
65	bco1-2	b1_1	10,9	j	75	257	<0,1	0,35	1	1,04
66	bco1-2	b1_1	11	j	64	255	<0,1	0,4	1	1,11
67	bco1-2	b1_1	11	j	47	45	-	0,2	0,3	0,41
68	bco1-2	b1_1	11,1	j	90	246	1-5	0,4	2	2,00
69	bco1-2	b1_1	11,2	j	81	249	1-5	0,4	2	2,02
70	bco1-2	b1_1	11,2	j	74	271	-	0,4	1	1,04
71	bco1-2	b1_1	11,3	j	80	225	1-5	0,4	2	2,03
72	bco1-2	b1_1	11,3	j	37	322	-	0,4	0,3	0,50
73	bco1-2	b1_1	11,6	j	63	251	-	0,4	0,3	0,40
74	bco1-2	b1_1	11,6	j	58	171	1-5	0,2	1,5	1,77
75	bco1-2	b1_1	11,6	j	50	35	1-5	0,5	2	2,61
76	bco1-2	b1_1	11,8	j	70	35	1-5	0,5	1,8	1,92
77	bco1-2	b1_1	12,1	j	85	61	>5	0,5	4	4,02
78	bco1-2	b1_1	12,4	j	75	52	>5	0,5	15	15,53
79	bco1-2	b1_1	12,7	j	80	235	>5	0,5	1,8	1,83
80	bco1-2	b1_1	12,8	j	85	67	<1	0,2	1	1,00
81	bco1-2	b1_1	12,8	j	25	290	<0,1	0,1	1	1,00
82	bco1-2	b1_1	13	j	90	13	-	0,1	1	1,00
83	bco1-2	b1_1	13	j	78	236	<1	0,1	2	2,04
84	bco1-3	b1_1	13,1	j	75	57	<1	-	1,8	1,86
85	bco1-3	b1_1	13,1	j	81	317	-	-	2,5	2,53
86	bco1-3	b1_1	13,1	j	53	38	1-5	0,3	2,5	3,13
87	bco1-3	b1_1	13,4	j	85	75	1,5	-	3	3,01
88	bco1-3	b1_1	13,5	j	90	53	-	0,2	1	1,00
89	bco1-3	b1_1	13,5	j	88	33	-	1	2,5	2,50
90	bco1-3	b1_1	13,7	j	80	230	>5	0,2	0,5	0,51
91	bco1-3	b1_1	13,7	j	85	283	<1	0,3	3	3,01
92	bco1-3	b1_1	14,3	j	88	255	<0,1	0,5	4	4,00
93	bco1-3	b1_1	14,4	j	76	67	1-5	4	12	12,37
94	bco1-3	b1_2	14,4	j	88	228	1-5	0,1	1	1,00
95	bco1-3	b1_2	14,5	j	88	228	1-5	0,1	1	1,00
96	bco1-3	b1_2	14,5	j	87	194	-	0,5	2	2,00
97	bco1-3	b1_2	14,5	j	42	40	<0,1	0,5	0,5	0,75
98	bco1-3	b1_2	14,6	j	22	255	<0,1	0,5	0,5	0,54
99	bco1-3	b1_2	14,7	j	76	64	-	0,5	2	2,06
100	bco1-3	b1_2	14,7	j	56	212	-	3	2	3,00

ID	ID Hoja mapeo	ID intervalo	Dist (m)	Tipo	Orientación (°)		Aber tura (mm)	Persistencia (m)		
					Dip	DipDir		comp. Horiz ontal	comp. Vertic al	Final
101	bco1-3	b1_2	14,9	j	40	240	-	3	2	4,19
102	bco1-3	b1_2	15,3	j	27	289	-	1	0,5	1,27
103	bco1-3	b1_2	15,3	j	90	77	1-5	0,2	1	1,00
104	bco1-3	b1_2	15,3	j	48	45	<0,1	1	1	1,35
105	bco1-3	b1_2	15,3	j	90	23	1-5	3	3	3,00
106	bco1-3	b1_2	15,8	j	24	281	-	2	0,5	2,33
107	bco1-3	b1_2	15,8	j	89	255	>5	4	10	10,00
108	bco1-3	b1_2	15,8	j	80	195	1-5	2	0,5	2,00
109	bco1-3	b1_2	16,1	j	88	262	>5	4	6	6,00
110	bco1-3	b1_2	16,2	j	72	57	<0,1	0,4	0,4	0,42
111	bco1-3	b1_2	16,4	j	33	290	-	3	0,5	4,09
112	bco1-3	b1_2	16,4	j	85	79	<1	0,4	1	1,00
113	bco1-3	b1_2	16,4	j	85	79	<1	0,4	1	1,00
114	bco1-3	b1_2	16,4	j	87	199	-	3	2	3,00
115	bco1-3	b1_2	16,7	j	80	75	<1	0,5	2	2,03
116	bco1-3	b1_2	16,7	j	48	239	<1	0,5	1	1,35
117	bco1-3	b1_2	16,8	j	48	239	<1	3	3	4,04
118	bco1-3	b1_2	16,9	j	73	45	<0,1	0,5	1	1,05
119	bco1-3	b1_2	17	j	73	45	<0,1	0,5	1	1,05
120	bco1-3	b1_2	17,1	j	73	45	1-5	0,5	2	2,09
121	bco1-3	b1_2	17,1	j	52	308	-	1,5	1,5	1,90
122	bco1-3	b1_2	17,2	F	77	55	>5	5	15	15,39
123	bco1-3	b1_2	17,2	j	43	285	-	0,3	0,3	0,44
124	bco1-3	b1_2	17,4	j	82	251	<0,1	0,3	1,5	1,51
125	bco1-3	b1_2	17,4	j	82	251	1-5	0,3	1,5	1,51
126	bco1-3	b1_2	17,5	j	82	251	1-5	3	4	4,04
127	bco1-3	b1_2	18,4	j	47	355	-	0,2	2	2,73
128	bco1-3	b1_2	19,8	j	82	204	>5	4	8	8,08
129	bco1-4	b1_2	19,8	j	18	319	-	0,5	0,2	0,50
130	bco1-4	b1_2	20,1	j	58	47	-	0,5	2	2,36
131	bco1-4	b1_2	20,1	j	70	319	-	0,1	0,1	0,11
132	bco1-4	b1_2	20,2	j	50	245	<0,1	0,5	0,1	0,81
133	bco1-4	b1_2	20,2	j	85	118	>5	4	8	8,03
134	bco1-4	b1_2	20,3	j	50	245	<0,1	0,5	0,1	0,81
135	bco1-4	b1_2	20,4	j	48	343	-	0,5	0,5	0,67
136	bco1-4	b1_2	20,5	j	85	80	<0,1	0,5	0,5	0,50
137	bco1-4	b1_2	21	F	70	61	>5	5	12	12,77
138	bco1-4	b1_2	21	j	85	25	1-5	2	4	4,02
139	bco1-4	b1_2	21,3	j	82	71	<1	0,4	2	2,02
140	bco1-4	b1_2	21,3	j	88	25	1-5	2	3	3,00
141	bco1-4	b1_2	21,6	j	88	79	>5	1	3	3,00
142	bco1-4	b1_2	21,6	j	77	22	-	0,5	0,5	0,51
143	bco1-4	b1_2	21,9	j	28	259	-	0,4	0,4	0,45
144	bco1-4	b1_2	21,9	j	82	275	<0,1	0,4	0,5	0,50
145	bco1-4	b1_2	22,1	j	86	80	<1	0,6	2	2,00
146	bco1-4	b1_2	22,1	j	86	13	-	1		1,00
147	bco1-4	b1_2	22,1	j	33	295	-	1,5	1	2,16
148	bco1-4	b1_2	22,4	j	86	13	-	1		1,00
149	bco1-4	b1_2	22,5	j	86	13	1-5	8	10	10,02
150	bco1-4	b1_2	22,5	j	33	295	-	1,5	1	2,16
151	bco1-4	b1_2	22,5	j	85	245	<0,1	1	2	2,01
152	bco1-4	b1_2	22,8	j	90	301	<1	4	4	4,00
153	bco1-4	b1_2	23	j	87	80	1-5	2	3	3,00
154	bco1-4	b1_2	23	j	88	57	<0,1	2	3	3,00
155	bco1-4	b1_2	23,1	j	78	22	-	0,4	0,4	0,41
156	bco1-4	b1_2	23,5	j	85	192	<1	2	2	2,01
157	bco1-4	b1_2	23,7	j	20	287	-	1,5	3	3,00
158	bco1-4	b1_2	23,8	j	80	245	<1	1	1,5	1,52
159	bco1-4	b1_2	23,8	j	85	13	>5	5	12	12,05
160	bco1-4	b1_2	24,1	j	75	60	<0,1	3	5	5,18

ID	ID Hoja mapeo	ID intervalo	Dist (m)	Tipo	Orientación (°)		Aber tura (mm)	Persistencia (m)		
					Dip	DipDir		comp. Horiz ontal	comp. Vertic al	Final
161	bco1-4	b1_2	24,7	j	90	330	-	4	0,5	4,00
162	bco1-4	b1_2	24,7	j	75	60	<0,1	1,5	2	2,07
163	bco1-4	b1_2	25	j	75	60	<0,1	0,3	0,3	0,31
164	bco1-4	b1_2	25	j	70	337	-	1	0,5	1,00
165	bco1-4	b1_2	25,5	j	65	63	-	0,4	0,2	0,40
166	bco1-4	b1_2	25,5	j	82	128	<1	4	7	7,07
167	bco1-4	b1_2	26,1	j	85	290	<0,1	1	2	2,01
168	bco1-4	b1_2	26,3	j	13	325	-	0,3	0,3	0,30
169	bco1-4	b1_2	26,3	j	75	62	<0,1	0,3	1	1,04
170	bco1-4	b1_2	26,4	j	75	62	<0,1	0,3	0,7	0,72
171	bco1-4	b1_2	26,6	j	45	266	-	0,2	0,3	0,42
172	bco1-4	b1_2	26,6	j	90	18	<0,1	2	2,5	2,50
173	bco1-4	b1_2	27,3	j	67	94	-	0,4	1,5	1,63
174	bco1-5	b1_2	27,3	j	68	60	1-5	3	3	3,24
175	bco1-5	b1_2	27,3	j	60	215	-	0,2	0,5	0,58
176	bco1-5	b1_2	27,3	j	55	342	-	1	0,5	1,00
177	bco1-5	b1_2	27,4	j	68	60	1-5	2	1	2,00
178	bco1-5	b1_2	27,5	j	68	60	-	0,5	0,5	0,54
179	bco1-5	b1_2	27,8	j	60	45	-	0,2	0,2	0,23
180	bco1-5	b1_2	27,8	j	85	260	<1	3	3,5	3,51
181	bco1-5	b1_2	27,8	j	87	205	<0,1	2	2	2,00
182	bco1-5	b1_2	28	j	70	348	-	0,6	0,4	0,60
183	bco1-5	b1_2	28,3	j	80	127	-	1,5	0,5	1,50
184	bco1-5	b1_2	28,5	j	87	203	>5	3	6	6,01
185	bco1-5	b1_2	28,7	j	90	32	1-5	3	6	6,00
186	bco1-5	b1_2	28,7	j	45	315	-	0,3	0,2	0,30
187	bco1-5	b1_2	29,3	j	90	20	>5	4	12	12,00
188	bco1-5	b1_2	29,3	j	80	310	-	1	1	1,02
189	bco1-5	b1_2	29,4	j	74	61	1-5	5	12	12,48
190	bco1-5	b1_2	29,7	j	72	54	>5	0,2	0,6	0,63
191	bco1-5	b1_2	29,7	j	89	174	>5	1	0,7	1,00
192	bco1-5	b1_2	29,8	j	89	353	>5	1	0,7	1,00
193	bco1-5	b1_2	29,9	j	85	175	>5	1	0,7	1,00
194	bco1-5	b1_2	30,2	j	25	255	<1	6	0,5	6,66
195	bco1-5	b1_2	30,2	j	88	2	<0,1	1,5	1,5	1,50
196	bco1-5	b1_2	30,2	j	88	81	<0,1	0,2	0,2	0,20
197	bco1-5	b1_2	30,3	j	87	78	<0,1	3	4	4,01
198	bco1-5	b1_2	30,3	j	83	27	<0,1	0,8	1,5	1,51
199	bco1-5	b1_2	30,4	j	83	27	<0,1	0,8	1,5	1,51
200	bco1-5	b1_2	30,4	j	83	27	<0,1	0,8	1,5	1,51
201	bco1-5	b1_2	30,4	j	86	11	<0,1	2	2	2,00
202	bco1-5	b1_2	30,7	j	85	55	<1	1,5	3	3,01
203	bco1-5	b1_2	30,8	j	90	83	<1	2	4	4,00
204	bco1-5	b1_2	30,8	j	57	19	<1	1,5	3	3,58
205	bco1-5	b1_2	31,2	j	77	82	<1	1,5	3	3,08
206	bco1-5	b1_2	31,6	j	74	48	<0,1	1,5	3	3,12
207	bco1-5	b1_2	31,6	j	13	305	<1	2	2	2,00
208	bco1-5	b1_2	32	j	65	301	>5	2	3	3,31
209	bco1-5	b1_2	32	j	40	40	<0,1	1	2	3,11
210	bco1-5	b1_2	32,2	j	69	40	<0,1	1	3	3,21
211	bco1-5	b1_2	32,3	j	33	240	<0,1	1,5	1	1,92
212	bco1-5	b1_2	32,3	j	57	296	-	2	3	3,58
213	bco1-5	b1_2	32,5	j	75	275	>5	2	3	3,11
214	bco1-5	b1_2	32,5	j	77	30	<1	3	4	4,11
215	bco1-5	b1_2	32,6	j	76	293	>5	4	12	12,37
216	bco1-5	b1_3	32,7	j	70	17	-	1,5	1,5	1,60
217	bco1-5	b1_3	32,9	j	38	286	-	0,5	2	3,25
218	bco1-5	b1_3	33,4	j	74	35	1-5	5	12	12,48
219	bco1-6	b1_3	33,9	j	22	315	-	0,5	1	1,00
220	bco1-6	b1_3	34,2	j	82	10	>5	4	8	8,08

ID	ID Hoja mapeo	ID intervalo	Dist (m)	Tipo	Orientación (°)		Aber tura (mm)	Persistencia (m)		
					Dip	DipDir		comp. Horizo ntal	comp. Vertic al	Final
221	bco1-6	b1_3	34,2	j	60	350	-	1,5	1,5	1,73
222	bco1-6	b1_3	34,2	j	86	296	-	1	2	2,00
223	bco1-6	b1_3	34,4	j	78	55	>5	3	10	10,22
224	bco1-6	b1_3	34,9	j	78	55	>5	3	10	10,22
225	bco1-6	b1_3	35,1	j	78	55	1-5	3	10	10,22
226	bco1-6	b1_3	37	j	87	22	<1	2	1	2,00
227	bco1-6	b1_3	37,3	j	87	22	<1	2	1	2,00
228	bco1-6	b1_3	37,6	j	80	200	<1	2	1	2,00
229	bco1-6	b1_3	37,6	j	90	57	1-5	1	1	1,00
230	bco1-6	b1_3	37,6	j	90	90	<0,1	1	1	1,00
231	bco1-6	b1_3	37,7	j	85	75	1-5	4	12	12,05
232	bco1-6	b1_3	37,7	j	65	38	>5	4	12	13,24
233	bco1-6	b1_3	37,7	j	90	340	-	1	1	1,00
234	bco1-6	b1_3	37,9	j	80	70	>5	2	4	4,06
235	bco1-6	b1_3	37,9	j	80	109	>5	5	12	12,19
236	bco1-6	b1_3	37,9	j	40	295	-	7	1	10,55
237	bco1-6	b1_3	38,2	j	82	72	<1	1	1	1,01
238	bco1-6	b1_3	38,4	j	181	80	<0,1	2	0,5	check
239	bco1-6	b1_3	38,7	j	78	17	1-5	6	2	6,00
240	bco1-6	b1_3	38,7	j	78	105	<0,1	2	2	2,04
241	bco1-6	b1_3	38,8	j	86	135	>5	4	10	10,02
242	bco1-6	b1_3	38,8	j	16	330	-	1	0,5	1,00
243	bco1-6	b1_3	39,4	j	78	306	-	1	1	1,02
244	bco1-6	b1_3	40,2	j	18	344	-	2	1	2,00
245	bco1-6	b1_3	40,2	j	80	45	<1	1,5	2	2,03
246	bco1-6	b1_3	40,2	j	85	187	<0,1	2	3	3,01
247	bco1-6	b1_3	40,3	j	58	244	<1	1,5	0,5	1,50
248	bco1-6	b1_3	40,6	j	32	347	-	1,5	0,5	1,50
249	bco1-6	b1_3	40,6	j	88	3	1-5	5	12	12,01
250	bco1-6	b1_3	40,7	j	87	237	<1	1,5	2	2,00
251	bco1-6	b1_3	40,9	j	44	245	-	0,5	0,5	0,72
252	bco1-6	b1_3	40,9	j	82	15	-	0,5	0,5	0,50
253	bco1-6	b1_3	41	j	79	49	<0,1	1	1	1,02
254	bco1-6	b1_3	41,2	j	79	40	>5	5	12	12,22
255	bco1-6	b1_3	41,2	j	50	240	1-5	2	2	2,61
256	bco1-6	b1_3	41,7	j	90	13	>5	1,5	2	2,00
257	bco1-6	b1_3	42	j	90	13	>5	1,5	2	2,00
258	bco1-6	b1_3	43,5	j	80	55	>5	5	12	12,19
259	bco1-6	b1_3	43,5	j	80	55	1-5	2	4	4,06
260	bco1-6	b1_3	43,9	j	48	330	-	1,5	3	4,04
261	bco1-6	b1_3	44,4	j	90	10	1-5	1,5	2	2,00
262	bco1-6	b1_3	44,8	j	74	58	1-5	5	12	12,48
263	bco1-6	b1_3	44,8	j	85	128	>5	5	12	12,05
264	bco1-7	b1_3	45,2	j	77	59	1-5	5	12	12,32
265	bco1-7	b1_3	45,5	j	68	26	1-5	3	8	8,63
266	bco1-7	b1_3	46	j	87	185	>5	4	8	8,01
267	bco1-7	b1_3	47	j	83	358	-	2	2	2,02
268	bco1-7	b1_3	47	j	50	30	-	2	3	3,92
269	bco1-7	b1_3	47	j	77	60	1-5	1,5	2	2,05
270	bco1-7	b1_3	47,7	j	80	0	-	0,2	1,5	1,52
271	bco1-7	b1_3	47,7	j	85	56	<0,1	4	8	8,03
272	bco1-7	b1_3	47,7	j	70	250	1-5	3	4	4,26
273	bco1-7	b1_3	48	j	55	267	<1	3	4	4,88
274	bco1-7	b1_3	48	j	80	75	1-5	3	4	4,06
275	bco1-7	b1_3	48,2	j	72	62	1-5	5	12	12,62
276	bco1-7	b1_3	48,4	j	75	55	1-5	2,5	3,5	3,62
277	bco1-7	b1_3	48,5	j	75	70	1-5	3	4	4,14
278	bco1-7	b1_3	48,5	j	75	60	1-5	2,5	3,5	3,62
279	bco1-7	b1_3	48,6	j	77	240	1-5	0,3	1,5	1,54
280	bco1-7	b1_3	48,7	j	86	171	-	1,5	4	4,01

ID	ID Hoja mapeo	ID intervalo	Dist (m)	Tipo	Orientación (°)		Aber tura (mm)	Persistencia (m)		
					Dip	DipDir		comp. Horizo ntal	comp. Vertic al	Final
281	bco1-7	b1_3	48,7	j	90	325	-	2	4	4,00
282	bco1-7	b1_3	49,3	j	90	52	1-5	1,5	3	3,00
283	bco1-7	b1_3	49,5	j	15	227	1-5	2	3	3,00
284	bco1-7	b1_3	49,5	j	75	67	>5	4	10	10,35
285	bco1V-1	b1_1	0	j	40	330	>5	10	4	10,00
286	bco1V-1	b1_1	0	j	86	303	-	0,25	0,25	0,25
287	bco1V-1	b1_1	0	j	81	206	1-5	2	0,7	2,00
288	bco1V-1	b1_1	-0,21	j	39	285	<1	3	2	3,18
289	bco1V-1	b1_1	-0,28	j	90	308	-	0,8	0	0,80
290	bco1V-1	b1_1	-0,38	j	41	283	<1	3	2	3,05
291	bco1V-1	b1_1	-0,48	j	90	334	-	0,2	0	0,20
292	bco1V-1	b1_1	-0,55	j	45	265	<1	3	2	4,76
293	bco1V-1	b1_1	-0,64	j	85	158	>5	0,4	0	0,40
294	bco1V-1	b1_1	-0,64	j	13	210	<1	0,5	0,1	0,58
295	bco1V-1	b1_1	-0,83	j	25	250	<1	6	2,5	6,77
296	bco1V-1	b1_1	-0,89	j	40	320	>5	1	1	1,56
297	bco1V-1	b1_1	-0,97	j	32	0	<0,1	0,2	0,4	0,40
298	bco1V-1	b1_1	-1,07	j	27	268	<0,1	0,5	0,5	0,65
299	bco1V-1	b1_1	-1,15	j	40	39	>5	1,2	0,7	1,66
300	bco1V-1	b1_1	-1,85	j	49	224	-	0,5	0,5	0,66
301	bco1V-2	b1_2	0	j	80	329	-	3,5	0,5	3,50
302	bco1V-2	b1_2	-0,22	j	24	245	<0,1	1,2	0,3	1,40
303	bco1V-2	b1_2	-0,37	j	41	227	1-5	6	2	6,00
304	bco1V-2	b1_2	-0,53	j	85	9	1-5	0,5	0,5	0,50
305	bco1V-2	b1_2	-0,55	j	32	340	1-5	12	1,5	12,00
306	bco1V-2	b1_2	-0,65	j	15	319	<1	1	0,5	1,00
307	bco1V-2	b1_2	-0,75	j	40	245	<0,1	0,6	0,5	0,83
308	bco1V-2	b1_2	-0,82	j	55	245	<0,1	1,5	0,8	2,78
309	bco1V-2	b1_2	-0,94	j	13	298	-	0,8	0,5	0,98
310	bco1V-2	b1_2	-1,15	j	15	317	<0,1	1	0,5	1,00
311	bco1V-2	b1_2	-1,28	j	46	340	1-5	2	1,5	2,09
312	bco1V-2	b1_2	-1,45	j	17	332	1-5	1	0,2	1,00
313	bco1V-2	b1_2	-1,96	j	20	287	1-5	1	0,5	1,15
314	bco1V-2	b1_2	-2,3	j	30	338	1-5	2	1	2,00
315	bco2-1	b2_1	0	j	88	314	-	1,5	1,5	1,50
316	bco2-1	b2_1	0	j	50	235	<0,1	0,8	2	2,61
317	bco2-1	b2_1	0,24	j	53	38	-	0,2	0,15	0,36
318	bco2-1	b2_1	0,24	j	80	33	<1	1,5	3	3,05
319	bco2-1	b2_1	0,37	j	78	76	>5	5	14	14,31
320	bco2-1	b2_1	0,48	j	78	76	1-5	0,8	2	2,04
321	bco2-1	b2_1	0,71	j	50	280	<0,1	1	1,5	1,96
322	bco2-1	b2_1	0,88	j	52	68	<1	1,5	2	2,54
323	bco2-1	b2_1	0,94	j	62	16	<1	1,5	3	3,40
324	bco2-1	b2_1	1	j	27	296	-	1,5	1	1,50
325	bco2-1	b2_1	1	j	88	320	<1	0,8	1,5	1,50
326	bco2-1	b2_1	1,27	j	76	77	1-5	5	14	14,43
327	bco2-1	b2_1	1,45	j	69	54	<0,1	1	1	1,07
328	bco2-1	b2_1	1,45	j	24	309	-	0,5	0,2	0,50
329	bco2-1	b2_1	1,75	j	60	250	<1	1,5	2	2,31
330	bco2-1	b2_1	1,75	j	83	81	1-5	1	1	1,01
331	bco2-1	b2_1	1,75	j	50	5	-	0,7	0,7	0,91
332	bco2-1	b2_1	2	j	68	245	<1	1,5	3	3,24
333	bco2-1	b2_1	2	j	52	277	-	0,3	0,5	0,63
334	bco2-1	b2_1	2	j	83	128	>5	1,5	1,5	1,51
335	bco2-1	b2_1	2,07	j	50	31	-	0,5	1	1,31
336	bco2-1	b2_1	2,16	j	88	115	>5	5	14	14,01
337	bco2-1	b2_1	2,23	j	85	273	>5	1,5	3	3,01
338	bco2-1	b2_1	2,23	j	87	30	-	0,15	0,15	0,15
339	bco2-1	b2_1	2,23	j	65	353	-	0,8	0,8	0,88
340	bco2-1	b2_1	2,33	j	80	130	-	0,25	0,25	0,25

ID	ID Hoja mapeo	ID intervalo	Dist (m)	Tipo	Orientación (°)		Aber tura (mm)	Persistencia (m)		
					Dip	DipDir		comp. Horiz ontal	comp. Vertic al	Final
341	bco2-1	b2_1	2,53	j	78	336	-	1	1,5	1,53
342	bco2-1	b2_1	2,53	j	72	67	>5	1,5	2	2,10
343	bco2-1	b2_1	2,73	j	18	272	1-5	0,3	0,2	0,36
344	bco2-1	b2_1	2,86	F	50	40	>5	5	14	18,28
345	bco2-1	b2_2	6	j	49	30	1-5	2	4	5,30
346	bco2-1	b2_2	6,41	j	85	270	>5	2	5	5,02
347	bco2-1	b2_2	6,41	j	78	18	-	0,7	0,5	0,70
348	bco2-1	b2_2	6,41	j	18	32	>5	2	4	4,00
349	bco2-1	b2_2	6,41	j	8	290	<0,1	0,1	0,1	0,12
350	bco2-1	b2_2	7,13	j	48	36	1-5	1	2	2,69
351	bco2-1	b2_2	7,24	j	72	69	1-5	1,5	2,5	2,63
352	bco2-1	b2_2	7,51	j	78	67	>5	2	4	4,09
353	bco2-1	b2_2	7,51	j	60	28	-	0,5	0,5	0,58
354	bco2-1	b2_2	7,9	j	80	80	1-5	1,5	3	3,05
355	bco2-1	b2_2	8,1	j	78	64	1-5	2	5	5,11
356	bco2-1	b2_2	8,51	j	82	84	1-5	1	2	2,02
357	bco2-1	b2_2	8,64	j	82	130	1-5	2	5	5,05
358	bco2-1	b2_2	8,78	j	76	68	>5	2,5	6	6,18
359	bco2-2	b2_2	8,78	j	84	154	-	0,05	0,15	0,15
360	bco2-2	b2_2	8,96	j	80	73	<1	0,5	1	1,02
361	bco2-2	b2_2	9,21	j	88	264	1-5	2	5	5,00
362	bco2-2	b2_2	9,41	j	72	42	<1	1	1,5	1,58
363	bco2-2	b2_2	9,41	j	72	257	<0,1	0,1	0,2	0,21
364	bco2-2	b2_2	9,45	j	7	44	<0,1	0,2	0,2	0,25
365	bco2-2	b2_2	9,47	j	63	318	<0,1	0,2	0,2	0,22
366	bco2-2	b2_2	9,51	j	77	44	<0,1	0,2	0,25	0,26
367	bco2-2	b2_2	9,54	j	63	318	-	0,3	0,5	0,56
368	bco2-2	b2_2	9,67	F	90	254	>5	5	14	14,00
369	bco2-2	b2_2	9,92	j	87	357	-	0,15	0,35	0,35
370	bco2-2	b2_2	9,98	j	88	65	1-5	1	1,5	1,50
371	bco2-2	b2_2	10,1	j	80	67	1-5	1	1,5	1,52
372	bco2-2	b2_2	10,1	j	70	292	-	0,5	0,5	0,53
373	bco2-2	b2_2	10,2	j	83	65	1-5	1	1,5	1,51
374	bco2-2	b2_2	10,2	j	56	284	-	0,15	0,15	0,18
375	bco2-2	b2_2	10,3	j	44	342	-	1,5	0,7	1,50
376	bco2-2	b2_2	10,3	j	87	355	-	0,7	1	1,00
377	bco2-2	b2_2	10,4	j	76	65	>5	1	1,6	1,65
378	bco2-2	b2_2	10,6	j	76	65	>5	1	1,6	1,65
379	bco2-2	b2_2	10,8	j	85	290	1-5	1	1,8	1,81
380	bco2-2	b2_2	10,8	j	79	87	1-5	1,5	2,5	2,55
381	bco2-2	b2_2	10,9	j	40	35	1-5	5	14	21,78
382	bco2-2	b2_2	11	j	77	68	1-5	1	1,5	1,54
383	bco2-2	b2_2	11,1	j	77	68	1-5	0,7	1	1,03
384	bco2-2	b2_2	11,4	j	18	317	-	0,4	0,4	0,40
385	bco2-2	b2_2	11,4	j	90	249	1-5	2	4	4,00
386	bco2-2	b2_2	11,4	j	90	4	1-5	0,1	1	1,00
387	bco2-2	b2_2	11,7	j	90	249	1-5	2	4	4,00
388	bco2-2	b2_2	11,9	j	90	249	1-5	2	4	4,00
389	bco2-2	b2_2	12	j	30	288	1-5	0,5	0,5	0,65
390	bco2-2	b2_2	12	j	58	9	-	0,2	0,8	0,94
391	bco2-2	b2_2	12,2	j	81	69	1-5	2	4	4,05
392	bco2-2	b2_2	12,2	j	40	40	<1	1,5	3	4,67
393	bco2-2	b2_2	12,6	j	24	285	<1	0,5	0,5	0,60
394	bco2-2	b2_2	12,6	j	80	65	1-5	2	5	5,08
395	bco2-2	b2_2	12,9	j	67	302	-	0,5	0,5	0,54
396	bco2-2	b2_2	12,9	j	88	187	1-5	0,5	2	2,00
397	bco2-2	b2_2	13,2	F	46	38	>5	5	14	19,46
398	bco2-2	b2_2	13,2	j	90	290	1-5	1,5	4	4,00
399	bco2-2	b2_2	13,5	j	87	308	-	0,5	2	2,00
400	bco2-2	b2_2	13,5	j	80	65	>5	5	14	14,22

ID	ID Hoja mapeo	ID intervalo	Dist (m)	Tipo	Orientación (°)		Aber tura (mm)	Persistencia (m)		
					Dip	DipDir		comp. Horiz ontal	comp. Vertic al	Final
401	bco2-2	b2_2	15	j	80	68	1-5	1,5	2,5	2,54
402	bco2-2	b2_2	15,2	j	75	68	1-5	1,5	3	3,11
403	bco2-2	b2_2	15,2	j	87	150	-	0	1,6	1,60
404	bco2-3	b2_2	15,6	j	16	5	1-5	0,25	0,15	0,25
405	bco2-3	b2_2	16	j	42	252	1-5	1	2	2,99
406	bco2-3	b2_2	16,5	j	65	20	1-5	1,5	3	3,31
407	bco2-3	b2_2	16,7	j	85	11	-	0,3	1,5	1,51
408	bco2-3	b2_2	16,7	j	77	58	1-5	5	14	14,37
409	bco2-3	b2_2	17	j	83	99	>5	0,5	2	2,02
410	bco2-3	b2_2	17	j	80	67	>5	1,5	5	5,08
411	bco2-3	b2_2	17,1	j	80	67	>5	1	4	4,06
412	bco2-3	b2_2	17,1	j	47	38	-	1,5	2,5	3,42
413	bco2-3	b2_2	17,4	j	86	142	-	0	1,5	1,50
414	bco2-3	b2_2	17,8	j	87	40	1-5	1,5	4	4,01
415	bco2-3	b2_2	17,9	j	88	247	>5	2	5	5,00
416	bco2-3	b2_2	18,3	j	65	50	>5	4	10	11,03
417	bco2-3	b2_2	18,3	j	62	75	1-5	1	2	2,27
418	bco2-3	b2_2	18,5	j	85	150	-	1	1,5	1,51
419	bco2-3	b2_2	18,7	j	60	60	1-5	1,5	3	3,46
420	bco2-3	b2_2	19,1	j	83	107	>5	4	10	10,08
421	bco2-3	b2_2	19,1	j	85	177	-	0,5	1	1,00
422	bco2-3	b2_2	19,3	j	88	191	-	1,5	2	2,00
423	bco2-3	b2_2	20	j	85	73	1-5	3	6	6,02
424	bco2-3	b2_2	20	j	50	32	-	1	1,5	1,96
425	bco2-3	b2_2	20,2	j	85	55	<1	0,6	0,6	0,60
426	bco2-3	b2_2	20,2	j	88	165	-	0,5	0,7	0,70
427	bco2-3	b2_2	20,8	j	22	266	<1	0,4	0,6	0,60
428	bco2-3	b2_2	21,1	j	56	39	<0,1	0,4	0,6	0,72
429	bco2-3	b2_2	21,1	j	73	324	-	0,3	0,4	0,42
430	bco2-3	b2_2	21,1	j	13	294	<1	1	1	1,24
431	bco2-3	b2_2	21,3	j	75	332	-	0,2	0,4	0,41
432	bco2-3	b2_2	21,8	j	83	60	<1	0,5	0,5	0,50
433	bco2-3	b2_2	21,9	j	83	60	<1	0,5	0,5	0,50
434	bco2-3	b2_2	21,9	j	83	60	<1	0,5	0,5	0,50
435	bco2-3	b2_2	22	j	30	49	>5	5	12	12,00
436	bco2-3	b2_2	22,4	j	79	67	>5	5	14	14,26
437	bco2-3	b2_2	22,8	j	50	59	-	0,5	0,4	0,83
438	bco2-3	b2_2	23,5	j	78	67	>5	2	4	4,09
439	bco2-3	b2_2	23,7	j	73	60	1-5	2	4	4,18
440	bco2-3	b2_2	23,7	j	57	333	-	1	1,5	1,79
441	bco2-3	b2_2	24,2	j	87	67	>5	2	4	4,01
442	bco2-3	b2_2	24,4	j	87	358	>5	1,5	2	2,00
443	bco2-3	b2_2	24,4	j	42	337	<1	1	1	1,49
444	bco2-3	b2_2	24,7	j	80	76	1-5	2	4	4,06
445	bco2-3	b2_2	25,2	j	83	69	1-5	2,5	3,5	3,53
446	bco2-3	b2_3	31,6	j	79	66	>5	1	1,5	1,53
447	bco2-3	b2_3	31,6	j	76	19	-	1,5	1,5	1,55
448	bco2-3	b2_3	32	j	86	63	1-5	1	1,5	1,50
449	bco2-4	b2_3	32,2	j	78	111	>5	3	7	7,16
450	bco2-4	b2_3	33,2	j	78	86	1-5	3	7	7,16
451	bco2-4	b2_3	34	j	83	7	-	3	3	3,02
452	bco2-4	b2_3	34	j	85	103	>5	1,5	3	3,01
453	bco2-4	b2_3	34,7	j	88	296	>5	1	2,5	2,50
454	bco2-4	b2_3	34,7	j	82	160	>5	1	2,5	2,52
455	bco2-4	b2_3	36	F	45	252	>5	5	14	19,80
456	bco2-4	b2_3	36	j	75	75	1-5	1	2	2,07
457	bco2-4	b2_3	36,4	j	45	350	<1	2	2	2,83
458	bco2-4	b2_3	36,4	j	62	55	1-5	0,5	1	1,13
459	bco2-4	b2_3	36,5	j	87	87	>5	1,5	2,5	2,50
460	bco2-4	b2_3	37,1	j	64	74	>5	2,5	5	5,56

ID	ID Hoja mapeo	ID intervalo	Dist (m)	Tipo	Orientación (°)		Aber tura (mm)	Persistencia (m)		
					Dip	DipDir		comp. Horizontal	comp. Vertical	Final
461	bco2-4	b2_3	37,5	j	85	95	>5	2	3,5	3,51
462	bco2-4	b2_3	37,5	j	79	44	>5	1,5	2	2,04
463	bco2-4	b2_3	37,7	j	82	65	1-5	1,5	2,5	2,52
464	bco2-4	b2_3	38,1	j	78	60	1-5	3	8	8,18
465	bco2-4	b2_3	38,2	j	73	288	>5	0,5	0,5	0,52
466	bco2-4	b2_3	38,4	j	60	41	>5	0,5	0,5	0,58
467	bco2-4	b2_3	39	j	90	4	>5	2,5	0,5	2,50
468	bco2-4	b2_3	39	j	63	317	-	1	1,6	1,80
469	bco2-4	b2_3	39,2	j	79	5	1-5	2,5	5	5,09
470	bco2-4	b2_3	39,8	j	83	128	>5	1,5	2	2,02
471	bco2-4	b2_3	40	j	88	72	1-5	1,5	1,5	1,50
472	bco2-4	b2_3	41	j	90	110	>5	5	14	14,00
473	bco2-4	b2_3	41	j	51	349	-	1,5	2	2,57
474	bco2-4	b2_4	47,4	j	87	270	>5	5	14	14,02
475	bco2-4	b2_4	47,4	j	76	318	>5	0,3	1	1,03
476	bco2-4	b2_4	47,4	j	79	51	<1	1,5	4	4,07
477	bco2-4	b2_4	47,5	j	70	167	-	0,3	0,7	0,74
478	bco2-4	b2_4	47,9	j	85	230	>5	1	2	2,01
479	bco2-4	b2_4	47,9	j	80	140	-	0,1	1,2	1,22
480	bco2-4	b2_4	47,9	j	55	50	1-5	0,2	0,7	0,85
481	bco2-4	b2_4	48,4	j	60	74	>5	0,2	0,4	0,46
482	bco2-4	b2_4	48,4	j	62	154	>5	0,4	1,5	1,70
483	bco2-4	b2_4	48,4	j	81	215	>5	0,3	0,4	0,40
484	bco2-4	b2_4	48,7	j	87	70	>5	0,6	2,5	2,50
485	bco2-4	b2_4	48,3	j	74	62	>5	0,6	2,5	2,60
486	bco2-4	b2_4	48,3	j	77	70	>5	0,2	0,4	0,41
487	bco2-4	b2_4	48,4	j	87	51	1-5	0,3	0,4	0,40
488	bco2-4	b2_4	48,4	j	75	51	<1	0,3	0,4	0,41
489	bco2-4	b2_4	48,6	j	72	77	>5	3	7	7,36
490	bco2-4	b2_4	48,6	j	81	26	-	1,5	3	3,04
491	bco2-4	b2_4	48,6	j	59	247	<1	0,3	0,6	0,70
492	bco2-4	b2_4	49,4	j	80	85	>5	2	4	4,06
493	bco2-4	b2_4	49,6	j	62	208	1-5	0,4	0,4	0,45
494	bco2-5	b2_4	49,6	F	59	75	>5	5	14	16,33
495	bco2-5	b2_4	50	j	78	67	1-5	2	5	5,11
496	bco2-5	b2_4	50	j	90	353	-	0,1	0,4	0,40
497	bco2V-1	b2_1	0	j	87	6	>5	2	0,5	2,00
498	bco2V-1	b2_1	-0,09	j	50	39	-	0,2	0,1	0,34
499	bco2V-1	b2_1	-0,44	j	20	263	1-5	1,8	0,8	2,05
500	bco2V-1	b2_1	-0,6	j	53	40	<1	0,5	0,4	0,90
501	bco2V-1	b2_1	-0,7	j	88	117	1-5	1,6	1,2	1,60
502	bco2V-1	b2_1	-0,77	j	88	65	<1	0,25	0,4	0,40
503	bco2V-1	b2_1	-0,82	j	90	3	<1	3,5	1,5	3,50
504	bco2V-1	b2_1	-0,98	j	80	315	<1	3,5	2	3,50
505	bco2V-1	b2_1	-1,23	j	22	320	<1	3,5	2	3,50
506	bco2V-1	b2_1	-1,23	j	80	1	<1	2,5	1,5	2,50
507	bco2V-1	b2_1	-1,54	j	58	60	1-5	1	1	1,18
508	bco2V-1	b2_1	-1,54	j	23	275	<1	0,5	0,3	0,65
509	bco2V-1	b2_1	-1,9	j	32	296	1-5	1,5	1	1,50
510	bco2V-1	b2_1	-1,9	j	90	357	<0,1	2	1,5	2,00
511	bco2V-1	b2_1	-2,15	j	19	288	<0,1	2,5	1	2,50
512	bco2V-2	b2_2	-0,1	j	55	252	1-5	1,8	1,5	3,17
513	bco2V-2	b2_2	-0,13	j	30	350	<1	1	0,4	1,00
514	bco2V-2	b2_2	-0,13	j	82	353	-	0,3	0,05	0,30
515	bco2V-2	b2_2	-0,39	j	80	167	1-5	1	0	1,00
516	bco2V-2	b2_2	-0,48	j	48	277	<1	0,5	0,2	0,78
517	bco2V-2	b2_2	-0,7	j	80	160	1-5	1	0	1,00
518	bco2V-2	b2_2	-0,74	j	43	325	<0,1	3,5	1,5	3,50
519	bco2V-2	b2_2	-0,83	j	20	342	<0,1	2	0,7	2,00
520	bco2V-2	b2_2	-0,83	j	88	10	>5	0,5	0	0,50

ID	ID Hoja mapeo	ID intervalo	Dist (m)	Tipo	Orientación (°)		Aber tura (mm)	Persistencia (m)		
					Dip	DipDir		comp. Horizontal	comp. Vertical	Final
521	bco2V-2	b2_2	-0,95	j	30	241	<1	1,5	0,5	1,83
522	bco2V-2	b2_2	-1	j	10	291	1-5	4	1	4,74
523	bco2V-2	b2_2	-1,14	j	25	256	<1	1	0,3	1,11
524	bco2V-2	b2_2	-1,2	j	25	256	<1	0,4	0,2	0,44
525	bco2V-2	b2_2	-1,35	j	51	31	1-5	0,3	0,2	0,30
526	bco2V-2	b2_2	-1,35	j	42	345	<1	1,2	0,7	1,20
527	bco2V-2	b2_2	-1,57	j	79	328	-	0,4	0,05	0,40
528	bco2V-2	b2_2	-1,63	j	23	269	<1	1,8	0,7	1,98
529	bco2V-2	b2_2	-1,94	j	42	220	<1	1,4	0,7	2,46
530	bco2V-2	b2_2	-1,94	j	46	19	-	0,4	0,4	0,56
531	bco2V-2	b2_2	-2,05	j	34	327	1-5	2	1	2,00
532	bco3-1	b3_1	0,3	j	83	5	-	0,6	0,6	0,60
533	bco3-1	b3_1	0,5	j	74	61	1-5	1	14	14,56
534	bco3-1	b3_1	0,9	j	77	13	-	5	14	14,37
535	bco3-1	b3_1	0,95	j	70	272	1-5	0,1	2	2,13
536	bco3-1	b3_1	1,05	j	68	61	1-5	1	10	10,79
537	bco3-1	b3_1	1,16	j	68	61	1-5	0,1	2	2,16
538	bco3-1	b3_1	1,5	j	78	251	1-5	0,3	3	3,07
539	bco3-1	b3_1	1,5	j	68	46	1-5	2	13	14,02
540	bco3-1	b3_1	1,5	j	58	39	1-5	0,5	3	3,54
541	bco3-1	b3_1	1,72	j	73	61	<1	0,2	3,5	3,66
542	bco3-1	b3_1	1,9	j	78	72	1-5	0,5	8	8,18
543	bco3-1	b3_1	2,03	j	80	33	1-5	0,3	4	4,06
544	bco3-1	b3_1	2,03	j	60	31	1-5	0,3	3	3,46
545	bco3-1	b3_1	2,3	j	85	238	1-5	0,5	2	2,01
546	bco3-1	b3_1	2,4	j	85	238	1-5	0,6	3	3,01
547	bco3-1	b3_1	2,4	j	77	336	-	0,3	0,7	0,72
548	bco3-1	b3_1	2,5	j	68	53	<1	0,4	1,8	1,94
549	bco3-1	b3_1	2,6	j	85	238	1-5	0,2	4	4,02
550	bco3-1	b3_1	2,6	j	64	36	<1	0,2	1,5	1,67
551	bco3-1	b3_1	2,7	j	64	36	<0,1	0,2	1,5	1,67
552	bco3-1	b3_1	2,8	j	80	240	1-5	0,4	2,5	2,54
553	bco3-1	b3_1	3	j	75	67	1-5	2	14	14,49
554	bco3-1	b3_1	3	j	56	200	<1	0,2	0,5	0,60
555	bco3-1	b3_1	3,07	j	56	200	1-5	0,2	0,5	0,60
556	bco3-1	b3_1	3,07	j	40	260	1-5	5	2,5	6,63
557	bco3-1	b3_1	3,25	j	72	135	>5	2	2,5	2,63
558	bco3-1	b3_1	3,25	j	36	14	1-5	1,5	0,5	1,50
559	bco3-1	b3_1	3,25	j	75	67	<1	1	6	6,21
560	bco3-1	b3_1	3,45	j	80	272	1-5	0,3	2,5	2,54
561	bco3-1	b3_1	3,45	j	73	57	<1	0,3	2	2,09
562	bco3-1	b3_1	3,53	j	87	80	1-5	0,3	3	3,00
563	bco3-1	b3_1	3,53	j	22	40	<1	1	0,5	1,00
564	bco3-1	b3_1	3,83	j	60	240	1-5	2	2	2,31
565	bco3-1	b3_1	3,91	j	24	268	<1	0,2	0,1	0,22
566	bco3-1	b3_1	4	j	85	50	1-5	0,3	2,5	2,51
567	bco3-1	b3_1	4,03	j	80	58	<1	0,3	3,5	3,55
568	bco3-1	b3_1	4,03	j	73	316	-	0,7	0,7	0,73
569	bco3-1	b3_1	4,11	j	34	33	1-5	1	1	1,00
570	bco3-1	b3_1	4,16	j	86	66	1-5	0,3	0,5	0,50
571	bco3-1	b3_1	4,22	j	86	66	<1	2	7	7,02
572	bco3-1	b3_1	4,25	j	60	47	-	1	2	2,31
573	bco3-1	b3_1	4,25	j	24	273	1-5	1	0,3	1,10
574	bco3-1	b3_1	4,25	j	70	153	>5	0,5	0,5	0,53
575	bco3-1	b3_1	4,45	j	55	105	>5	1	1,5	1,83
576	bco3-1	b3_1	4,45	j	50	230	1-5	1,5	2,5	3,26
577	bco3-2	b3_1	4,6	j	80	120	<1	0,4	1,5	1,52
578	bco3-2	b3_1	4,6	j	25	120	<1	0,3	0,1	0,38
579	bco3-2	b3_1	4,6	j	55	245	1-5	0,8	0,8	0,98
580	bco3-2	b3_1	4,64	j	62	51	1-5	0,5	1,5	1,70

ID	ID Hoja mapeo	ID intervalo	Dist (m)	Tipo	Orientación (°)		Aber tura (mm)	Persistencia (m)		
					Dip	DipDir		comp. Horiz ontal	comp. Vertic al	Final
581	bco3-2	b3_1	4,64	j	70	265	1-5	1,5	6	6,39
582	bco3-2	b3_1	4,64	j	75	355	-	5	5,5	5,69
583	bco3-2	b3_1	4,85	j	80	72	1-5	4	14	14,22
584	bco3-2	b3_1	5,1	j	55	245	<0,1	0,4	0,4	0,49
585	bco3-2	b3_1	5,25	j	20	270	<0,1	6	2,5	6,39
586	bco3-2	b3_1	5,35	j	63	50	1-5	5	14	15,71
587	bco3-2	b3_1	5,6	j	40	240	<0,1	5	4	7,54
588	bco3-2	b3_1	5,73	j	40	240	1-5	8	4	12,06
589	bco3-2	b3_1	5,93	j	85	245	<1	0,1	5	5,02
590	bco3-2	b3_1	6	j	56	43	<0,1	2,5	3,5	4,22
591	bco3-2	b3_2	6,12	j	85	245	<1	0,3	2	2,01
592	bco3-2	b3_2	6,3	j	65	55	1-5	1	2,5	2,76
593	bco3-2	b3_2	6,4	j	60	262	1-5	1,5	3	3,46
594	bco3-2	b3_2	6,75	j	65	55	1-5	6	14	15,45
595	bco3-2	b3_2	6,75	j	87	260	>5	0,1	3	3,00
596	bco3-2	b3_2	7,1	j	88	259	1-5	2	12	12,01
597	bco3-2	b3_2	7,25	j	85	248	1-5	0,2	3	3,01
598	bco3-2	b3_2	7,25	j	50	277	1-5	5	5	6,53
599	bco3-2	b3_2	7,3	j	40	50	1-5	1	1	1,44
600	bco3-2	b3_2	7,67	j	75	58	1-5	1	6	6,21
601	bco3-2	b3_2	7,72	j	68	35	1-5	0,5	3	3,24
602	bco3-2	b3_2	7,8	j	52	221	<1	2	2	2,54
603	bco3-2	b3_2	7,93	j	52	221	1-5	5	5	6,35
604	bco3-2	b3_2	8	j	86	73	<1	0,1	2	2,00
605	bco3-2	b3_2	8,05	j	52	221	<1	0,3	0,3	0,38
606	bco3-2	b3_2	8,1	j	52	221	<1	0,3	0,3	0,38
607	bco3-2	b3_2	8,25	j	77	61	1-5	0,5	14	14,37
608	bco3-2	b3_2	8,43	j	85	258	>5	0,2	5	5,02
609	bco3-2	b3_2	8,5	j	77	14	<0,1	1	2,5	2,57
610	bco3-2	b3_2	8,5	j	23	313	<1	4	6	6,00
611	bco3-2	b3_2	8,85	j	90	85	>5	0,1	8	8,00
612	bco3-2	b3_2	9	j	65	52	1-5	1,5	3	3,31
613	bco3-2	b3_2	9,17	j	75	50	1-5	3	14	14,49
614	bco3-2	b3_2	9,5	j	75	275	1-5	2,5	6	6,21
615	bco3-2	b3_2	9,5	j	25	272	1-5	3	6	6,00
616	bco3-2	b3_2	9,7	j	75	75	1-5	7	12	12,42
617	bco3-2	b3_2	9,77	j	85	80	>5	0,3	4	4,02
618	bco3-2	b3_2	9,77	j	20	293	<1	3	6	6,00
619	bco3-2	b3_2	9,87	j	85	80	>5	0,2	2	2,01
620	bco3-2	b3_2	9,92	j	70	257	1-5	3	6	6,39
621	bco3-2	b3_2	10	j	48	326	-	3	3	4,04
622	bco3-3	b3_2	10,1	j	24	265	<0,1	1	2	2,00
623	bco3-3	b3_2	10,2	j	24	265	<0,1	1	2	2,00
624	bco3-3	b3_2	10,4	j	24	265	<1	1	2	2,00
625	bco3-3	b3_2	10,5	j	24	265	<0,1	1	2	2,00
626	bco3-3	b3_2	10,5	j	82	52	<1	0,4	5	5,05
627	bco3-3	b3_2	10,7	j	52	244	<1	1,5	3	3,81
628	bco3-3	b3_2	10,7	j	75	51	1-5	0,2	5	5,18
629	bco3-3	b3_2	10,9	j	31	271	1-5	2	2,5	2,50
630	bco3-3	b3_2	10,9	j	73	14	-	0,6	0,4	0,60
631	bco3-3	b3_2	11	j	88	53	1-5	0,1	5	5,00
632	bco3-3	b3_2	11	j	88	53	1-5	0,1	4	4,00
633	bco3-3	b3_2	11,1	j	70	42	1-5	0,1	5	5,32
634	bco3-3	b3_2	11,2	j	70	42	1-5	0,1	5	5,32
635	bco3-3	b3_2	11,2	j	28	58	<1	0,2	0,1	0,24
636	bco3-3	b3_2	11,2	j	38	341	-	0,4	0,4	0,65
637	bco3-3	b3_2	11,4	j	60	53	1-5	4	10	11,55
638	bco3-3	b3_2	11,6	j	85	74	1-5	1	7	7,03
639	bco3-3	b3_2	11,8	j	83	285	1-5	4	7	7,05
640	bco3-3	b3_2	11,8	j	69	355	<0,1	1,2	0,5	1,20

ID	ID Hoja mapeo	ID intervalo	Dist (m)	Tipo	Orientación (°)		Aber tura (mm)	Persistencia (m)		
					Dip	DipDir		comp. Horiz ontal	comp. Vertic al	Final
641	bco3-3	b3_2	12	j	40	49	<0,1	0,3	0,2	0,44
642	bco3-3	b3_3	12,1	j	79	265	1-5	0,2	4	4,07
643	bco3-3	b3_3	12,2	j	20	254	<1	2	1,5	2,13
644	bco3-3	b3_3	12,5	j	67	105	<0,1	0,3	0,4	0,43
645	bco3-3	b3_3	12,5	j	73	242	<0,1	0,3	0,7	0,73
646	bco3-3	b3_3	12,6	j	84	269	1-5	0,3	0,7	0,70
647	bco3-3	b3_3	12,6	j	30	285	<1	2	1,5	2,82
648	bco3-3	b3_3	12,8	j	68	250	<1	0,3	0,5	0,54
649	bco3-3	b3_3	12,8	j	43	13	<0,1	0,7	0,7	1,03
650	bco3-3	b3_3	12,8	j	74	81	1-5	0,1	1	1,04
651	bco3-3	b3_3	12,9	j	38	262	1-5	2	1,5	2,59
652	bco3-3	b3_3	13,2	j	70	267	1-5	0,1	0,7	0,74
653	bco3-3	b3_3	13,2	j	74	50	1-5	0,2	6	6,24
654	bco3-3	b3_3	13,5	j	28	44	1-5	1,5	1,5	1,89
655	bco3-3	b3_3	13,5	j	74	230	1-5	2	10	10,40
656	bco3-3	b3_3	13,5	j	86	233	1-5	0,4	3	3,01
657	bco3-3	b3_3	13,6	j	50	246	1-5	4	4	5,22
658	bco3-3	b3_3	13,7	j	39	250	1-5	2	1,5	2,57
659	bco3-3	b3_3	13,8	j	54	22	1-5	2	3	3,71
660	bco3-3	b3_3	13,8	j	86	241	>5	0,5	3	3,01
661	bco3-3	b3_3	13,9	j	86	67	1-5	0,1	2	2,00
662	bco3-3	b3_3	14	j	86	67	1-5	0,1	8	8,02
663	bco3-3	b3_3	14	j	80	340	-	0,4	1	1,00
664	bco3-3	b3_3	14	j	39	245	<1	0,5	0,5	0,65
665	bco3-3	b3_3	14,1	j	86	67	1-5	0,1	0,7	0,70
666	bco3-3	b3_3	14,2	j	44	103	1-5	2	2	2,88
667	bco3-4	b3_3	14,6	j	81	21	1-5	0,5	2	2,02
668	bco3-4	b3_3	14,6	j	84	85	1-5	0,1	1,5	1,51
669	bco3-4	b3_3	14,6	j	84	85	1-5	0,1	1	1,01
670	bco3-4	b3_3	14,7	j	75	247	1-5	0,2	1	1,04
671	bco3-4	b3_3	14,7	j	90	60	1-5	0,2	1	1,00
672	bco3-4	b3_3	14,8	j	90	60	1-5	0,2	2	2,00
673	bco3-4	b3_3	14,8	j	25	288	1-5	2	1	2,80
674	bco3-4	b3_3	15	j	25	307	<1	2	1	2,00
675	bco3-4	b3_3	15	j	86	80	>5	0,5	3	3,01
676	bco3-4	b3_3	15	j	60	115	>5	0,5	1	1,15
677	bco3-4	b3_3	15,3	j	62	140	-	0,5	0,3	0,50
678	bco3-4	b3_3	15,3	j	76	214	<1	1,5	2	2,06
679	bco3-4	b3_3	15,3	j	75	99	1-5	1	2	2,07
680	bco3-4	b3_3	15,5	j	80	235	1-5	0,3	0,5	0,51
681	bco3-4	b3_3	15,6	j	77	341	1-5	0,5	1,5	1,54
682	bco3-4	b3_3	15,6	j	60	255	1-5	1,5	3	3,46
683	bco3-4	b3_3	15,7	j	60	255	1-5	9	14	16,17
684	bco3-4	b3_3	15,8	j	60	255	1-5	1	2	2,31
685										check
686	bco3-4	b3_3	15,9	j	35	219	1-5	2	2,5	2,85
687	bco3-4	b3_3	16,1	j	89	186	<1	0,7	1	1,00
688	bco3-4	b3_3	16,1	j	90	244	1-5	0,1	1	1,00
689	bco3-4	b3_3	16,1	j	48	215	1-5	2	2	2,69
690	bco3-4	b3_3	16,1	j	35	350	<0,1	0,4	0,1	0,40
691	bco3-4	b3_3	16,5	j	63	53	1-5	6	14	15,71
692	bco3-4	b3_3	16,6	j	80	212	1-5	2	1,5	2,00
693	bco3-4	b3_3	16,8	j	83	50	>5	0,2	4,5	4,53
694	bco3-4	b3_3	16,8	j	85	322	-	0,5	1	1,00
695	bco3-4	b3_3	16,8	j	70	235	1-5	2	5	5,32
696	bco3-4	b3_3	17	j	42	70	<1	1,2	1,2	1,61
697	bco3-4	b3_3	17,2	j	66	51	1-5	6	14	15,32
698	bco3-4	b3_3	17,2	j	65	245	1-5	8	11	12,14
699	bco3-4	b3_3	17,2	j	79	241	1-5	1	3	3,06
700	bco3-4	b3_3	17,3	j	26	298	1-5	6	2	6,00



ID	ID Hoja mapeo	ID intervalo	Dist (m)	Tipo	Orientación (°)		Aber tura (mm)	Persistencia (m)		
					Dip	DipDir		comp. Horiz ontal	comp. Vertic al	Final
701	bco3-4	b3_3	17,4	j	85	249	1-5	0,4	2,5	2,51
702	bco3-4	b3_3	17,4	j	50	29	1-5	3,5	4	5,22
703	bco3-4	b3_3	17,5	j	80	259	1-5	2	6	6,09
704	bco3-4	b3_3	17,6	j	90	262	<1	0,1	3	3,00
705	bco3-4	b3_3	17,6	j	17	312	<1	4	2	4,00
706	bco3-4	b3_3	17,7	j	62	250	1-5	5	11	12,46
707	bco3-4	b3_3	17,8	j	74	75	>5	2	14	14,56
708	bco3-4	b3_3	17,9	j	80	250	1-5	1	6	6,09
709	bco3-4	b3_3	18	j	80	250	1-5	0,5	3	3,05
710	bco3-4	b3_3	18	j	25	261	1-5	4	2	4,50
711	bco3-4	b3_3	18,2	j	30	75	<1	3	2,5	3,48
712	bco3-5	b3_3	18,2	j	73	71	1-5	2	14	14,64
713	bco3-5	b3_3	18,3	j	75	10	1-5	0,5	1	1,04
714	bco3-5	b3_3	18,3	j	71	310	<0,1	0,5	1	1,06
715	bco3-5	b3_3	18,4	j	77	237	1-5	1	2	2,05
716	bco3-5	b3_3	18,4	j	69	55	1-5	2	7	7,50
717	bco3-5	b3_3	18,6	j	69	55	1-5	1	3	3,21
718	bco3-5	b3_3	19	F	56	246	>5	8	14	16,89
719	bco3-5	b3_3	19,5	F	87	100	>5	4	14	14,02
720	bco3-5	b3_3	20	j	70	13	-	3	14	14,90
721	bco3-5	b3_4	20,1	j	70	242	<0,1	0,5	0,5	0,53
722	bco3-5	b3_4	20,2	j	70	242	<0,1	1	1	1,06
723	bco3-5	b3_4	20,4	j	70	242	<1	3	4	4,26
724	bco3-5	b3_4	20,8	j	72	53	1-5	0,15	0,5	0,53
725	bco3-5	b3_4	20,9	j	27	285	1-5	1,5	0,5	2,06
726	bco3-5	b3_4	21	j	43	271	1-5	0,5	0,5	0,73
727	bco3-5	b3_4	21,2	j	72	286	>5	1,5	3,5	3,68
728	bco3-5	b3_4	21,3	j	90	24	<1	1,5	3,5	3,50
729	bco3-5	b3_4	21,6	j	69	231	<1	0,5	1	1,07
730	bco3-5	b3_4	21,6	j	55	166	<1	0,4	0,1	0,40
731	bco3-5	b3_4	21,6	j	52	350	<1	0,5	0,4	0,51
732	bco3-5	b3_4	21,6	j	45	57	1-5	10	14	19,80
733	bco3-5	b3_4	22	F	44	15	>5	10	14	20,15
734	bco3-5	b3_4	22,2	j	49	254	1-5	7	7	9,28
735	bco3-5	b3_4	22,2	j	80	272	1-5	0,3	1,5	1,52
736	bco3-5	b3_4	22,9	j	65	95	<1	2	1,5	2,00
737	bco3-5	b3_4	22,9	j	90	58	<1	0,1	1,5	1,50
738	bco3-5	b3_4	22,9	j	48	351	<1	0,8	0,8	1,08
739	bco3-5	b3_4	23,2	j	78	283	>5	1,5	6	6,13
740	bco3-5	b3_4	23,3	j	45	31	1-5	2	2	2,83
741	bco3-5	b3_4	23,3	j	86	189	<0,1	0,3	0,7	0,70
742	bco3-5	b3_4	23,3	j	30	275	1-5	2,5	1,5	3,19
743	bco3-5	b3_4	23,5	j	88	275	>5	0,2	1,5	1,50
744	bco3-5	b3_4	23,8	j	78	239	>5	0,4	2	2,04
745	bco3-5	b3_4	23,9	j	81	77	1-5	2	14	14,17
746	bco3-5	b3_4	24	j	50	262	1-5	1,2	1,2	1,57
747	bco3-5	b3_4	24,6	j	53	258	<1	2	3	3,76
748	bco3-5	b3_4	24,6	j	80	179	<1	3	2	3,00
749	bco3-5	b3_4	25	j	53	258	1-5	2	3	3,76
750	bco3-5	b3_4	25	j	76	56	<1	1,5	5	5,15
751	bco3-5	b3_4	25,1	j	27	295	1-5	8	4	8,00
752	bco3-5	b3_4	25,2	j	61	244	1-5	2	3	3,43
753	bco3-5	b3_4	25,2	j	23	299	<1	4	2	4,00
754	bco3-5	b3_4	25,4	j	61	244	<1	2	3	3,43
755	bco3-5	b3_4	25,5	j	78	47	1-5	1	4	4,09
756	bco3-5	b3_4	25,5	j	70	60	1-5	3	7	7,45
757	bco3-6	b3_4	25,7	j	72	250	1-5	0,5	0,7	0,74
758	bco3-6	b3_4	25,8	j	28	330	1-5	6	2,5	6,00
759	bco3-6	b3_4	25,8	j	72	250	<1	0,5	0,7	0,74
760	bco3-6	b3_4	26,1	j	14	258	<1	10	3	10,41

ID	ID Hoja mapeo	ID intervalo	Dist (m)	Tipo	Orientación (°)		Aber tura (mm)	Persistencia (m)		
					Dip	DipDir		comp. Horiz ontal	comp. Vertic al	Final
761	bco3-6	b3_4	26,1	j	52	34	<0,1	0,5	1	1,27
762	bco3-6	b3_4	26,2	j	50	42	1-5	0,5	1	1,31
763	bco3-6	b3_4	26,3	j	85	102	<1	1	2	2,01
764	bco3-6	b3_4	26,5	j	65	149	>5	2	2	2,21
765	bco3-6	b3_4	26,6	j	70	65	1-5	3	14	14,90
766	bco3-6	b3_4	26,7	j	42	33	1-5	1	0,5	1,68
767	bco3-6	b3_4	26,9	j	53	57	1-5	8	14	17,53
768	bco3-6	b3_4	26,9	j	70	55	<0,1	2	5	5,32
769	bco3-6	b3_4	27	j	78	59	<1	0,3	2	2,04
770	bco3-6	b3_4	27	j	70	65	1-5	2	4	4,26
771	bco3-6	b3_4	27,5	j	20	289	1-5	6	3	8,22
772	bco3-6	b3_4	27,5	j	41	37	1-5	5	4	7,90
773	bco3-6	b3_4	27,5	j	69	57	1-5	1	4	4,28
774	bco3-6	b3_4	27,7	j	23	267	1-5	10	4	11,36
775	bco3-6	b3_4	27,8	j	83	62	<1	0,1	2	2,02
776	bco3-6	b3_4	27,9	j	53	255	<1	0,5	0,5	0,63
777	bco3-6	b3_4	28	j	53	255	1-5	1	1	1,25
778	bco3-6	b3_5	28,1	j	59	43	<1	0,5	0,5	0,58
779	bco3-6	b3_5	28,3	j	50	37	1-5	0,5	0,5	0,65
780	bco3-6	b3_5	28,5	j	67	263	1-5	4	7	7,60
781	bco3-6	b3_5	28,5	j	85	75	>5	1	14	14,05
782	bco3-6	b3_5	28,6	j	72	37	1-5	0,1	0,5	0,53
783	bco3-6	b3_5	28,7	j	27	313	1-5	8	3,5	8,00
784	bco3-6	b3_5	29	j	32	45	1-5	4	2,5	6,16
785	bco3-6	b3_5	29	j	50	35	1-5	2,5	3	3,92
786	bco3-6	b3_5	29	j	56	255	1-5	4	7,5	9,05
787	bco3-6	b3_5	29,3	j	50	30	1-5	6	8	10,44
788	bco3-6	b3_5	29,3	j	75	357	<1	1,5	1,5	1,55
789	bco3-6	b3_5	29,3	j	74	250	1-5	4	8	8,32
790	bco3-6	b3_5	29,4	j	78	72	1-5	1	14	14,31
791	bco3-6	b3_5	29,5	j	82	43	1-5	0,2	0,5	0,50
792	bco3-6	b3_5	29,5	j	34	340	<1	0,8	0,5	0,80
793	bco3-6	b3_5	29,7	j	80	273	<1	0,3	4	4,06
794	bco3-6	b3_5	29,8	j	79	22	<1	2,5	14	14,26
795	bco3-6	b3_5	29,8	j	81	274	<1	0,3	5	5,06
796	bco3-6	b3_5	30	j	25	288	1-5	6	5	7,19
797	bco3-6	b3_5	30,2	j	75	25	1-5	2	14	14,49
798	bco3-6	b3_5	30,6	j	70	242	<1	2,5	14	14,90
799	bco3-6	b3_5	30,8	j	82	278	1-5	0,5	3	3,03
800	bco3-6	b3_5	31,4	j	84	10	<1	2	3	3,02
801	bco3-6	b3_5	31,4	j	67	119	>5	1	1	1,09
802	bco3-6	b3_5	31,4	j	49	27	1-5	2	3	3,98
803	bco3-7	b3_5	31,5	j	87	75	1-5	0,1	6	6,01
804	bco3-7	b3_5	31,8	j	87	75	1-5	0,1	4	4,01
805	bco3-7	b3_5	32	j	22	253	<1	2	0,4	2,21
806	bco3-7	b3_5	32	j	90	210	<0,1	1,5	0,5	1,50
807	bco3-7	b3_5	32	j	65	253	<0,1	0,4	1	1,10
808	bco3-7	b3_5	32,2	j	72	253	<0,1	0,4	2	2,10
809	bco3-7	b3_5	32,4	j	73	60	1-5	2	13	13,59
810	bco3-7	b3_5	32,5	j	66	52	<0,1	0,2	0,4	0,44
811	bco3-7	b3_5	32,5	j	26	318	<1	3	0,4	3,00
812	bco3-7	b3_5	32,7	F	90	312	>5		13	13,00
813	bco3-7	b3_5	32,8	j	79	14	<0,1	2	3	3,06
814	bco3-7	b3_5	32,8	j	85	72	<0,1	0,1	3	3,01
815	bco3-7	b3_5	33,2	j	63	45	<1	1	4	4,49
816	bco3-7	b3_5	33,3	j	63	45	<1	0,5	2	2,24
817	bco3-7	b3_5	33,3	j	72	240	1-5	4	7	7,36
818	bco3-7	b3_5	33,5	j	72	231	1-5	1,5	3	3,15
819	bco3-7	b3_5	33,6	j	77	65	<1	0,3	2	2,05
820	bco3-7	b3_5	33,6	j	50	267	<1	3	4	5,22

ID	ID Hoja mapeo	ID intervalo	Dist (m)	Tipo	Orientación (°)		Aber tura (mm)	Persistencia (m)		
					Dip	DipDir		comp. Horizontal	comp. Vertical	Final
821	bco3-7	b3_5	33,6	j	85	136	-	0,4	0,4	0,40
822	bco3-7	b3_5	33,7	j	82	183	<1	1	1,5	1,51
823	bco3-7	b3_5	33,7	j	58	68	1-5	1,5	3	3,54
824	bco3-7	b3_5	33,7	j	60	253	1-5	3	4	4,62
825	bco3-7	b3_5	34	j	75	286	>5	0,7	2	2,07
826	bco3-7	b3_5	34,2	j	72	251	1-5	0,5	2	2,10
827	bco3-7	b3_5	34,4	j	65	5	-	0,5	1	1,10
828	bco3-7	b3_5	34,6	F	86	236	-	2	13	13,03
829	bco3-7	b3_5	35,1	j	66	24	1-5	1,5	2	2,19
830	bco3-7	b3_5	35,1	j	45	268	1-5	4	5	7,07
831	bco3-7	b3_5	35,3	j	30	250	1-5	3	1,5	3,59
832	bco3-7	b3_5	35,4	j	84	48	>5	1	3	3,02
833	bco3-7	b3_5	35,5	j	65	25	1-5	0,3	0,3	0,33
834	bco3-7	b3_5	35,6	j	83	236	>5	1,5	3	3,02
835	bco3-7	b3_5	35,7	j	65	125	>5	14	13	14,34
836	bco3-7	b3_5	35,7	j	80	208	<1	1,5	3	3,05
837	bco3-7	b3_5	36	j	75	121	>5	1	1,5	1,55
838	bco3-7	b3_5	36,5	j	75	11	1-5	1	13	13,46
839	bco3-7	b3_5	36,5	j	74	122	1-5	1	1,5	1,56
840	bco3-7	b3_5	36,9	j	40	255	<1	4	2	5,30
841	bco3-7	b3_5	36,9	j	82	95	1-5	4	7	7,07
842	bco3-7	b3_5	37,1	j	80	285	1-5	1	1,5	1,52
843	bco3-7	b3_5	37,1	j	73	55	1-5	1	5	5,23
844	bco3-7	b3_5	37,2	j	80	285	1-5	1	1,5	1,52
845	bco3-7	b3_5	37,6	j	80	64	1-5	0,1	1,5	1,52
846	bco3-7	b3_5	37,7	j	57	243	1-5	2,5	4	4,77
847	bco3-7	b3_5	37,8	j	21	309	1-5	5	3,5	5,00
848	bco3-7	b3_5	37,8	j	80	11	<1	2	1	2,00
849	bco3-8	b3_5	37,9	j	73	242	1-5	0,5	1,5	1,57
850	bco3-8	b3_5	38,1	j	25	310	<1	5	3	5,00
851	bco3-8	b3_5	38,2	j	70	160	<1	1	0,5	1,00
852	bco3-8	b3_5	38,2	j	78	55	1-5	1	12	12,27
853	bco3-8	b3_5	38,3	j	78	55	<1	0,3	2	2,04
854	bco3-8	b3_5	38,4	j	88	237	1-5	0,2	0,4	0,40
855	bco3-8	b3_5	38,5	j	72	47	1-5	1	3,5	3,68
856	bco3-8	b3_5	38,5	j	34	297	<1	2	1,5	2,84
857	bco3-8	b3_5	38,5	j	78	200	>5	2	1,5	2,00
858	bco3-8	b3_5	38,5	j	56	253	1-5	2	2	2,41
859	bco3-8	b3_5	38,6	j	76	241	<1	0,4	1	1,03
860	bco3-8	b3_5	38,6	j	40	25	<0,1	0,4	0,4	0,62

ID	ID Hoja mapeo	ID intervalo	Dist (m)	Tipo	Orientación (°)		Aber tura (mm)	Persistencia (m)		
					Dip	DipDir		comp. Horizontal	comp. Vertical	Final
861	bco3-8	b3_5	39,3	j	62	304	<1	1	12	13,59
862	bco3-8	b3_5	39,3	j	35	43	1-5	1,5	1	2,46
863	bco3-8	b3_5	39,3	j	52	243	>5	8	13	16,50
864	bco3-8	b3_5	39,3	j	90	27	1-5	0,8	0,5	0,80
865	bco3-8	b3_5	39,4	j	63	45	1-5	0,6	1,5	1,68
866	bco3-8	b3_5	39,6	j	88	200	>5	1,5	2	2,00
867	bco3V-1	b3_2	-1,45	j	69	58	1-5	2	7	7,50
868	bco3V-1	b3_2	-1,45	j	16	304	1-5	7	1,8	7,00
869	bco3V-1	b3_2	-1,45	j	22	255	<1	2	0,7	2,16
870	bco3V-1	b3_2	-1,02	j	30	320	1-5	2	1	2,00
871	bco3V-1	b3_2	-0,46	j	22	270	<1	0,7	0,2	0,78
872	bco3V-1	b3_2	-0,33	j	36	240	1-5	7	6	8,96
873	bco3V-1	b3_2	-0,24	j	24	305	1-5	4	1,5	4,00
874	bco3V-1	b3_2	-0,14	j	22	201	1-5	2	0,4	2,00
875	bco3V-1	b3_2	-0,14	j	63	56	>5	1,5	5	5,61
876	bco3V-1	b3_2	0,15	j	58	250	1-5	2	4,5	5,31
877	bco3V-1	b3_2	0,2	j	22	268	<0,1	5	3	5,53
878	bco3V-1	b3_2	0,27	j	50	32	<1	2	3	3,92
879	bco3V-1	b3_2	0,35	j	24	311	<1	2	0,4	2,00
880	bco3V-1	b3_2	0,35	j	50	323	<1	0,4	0,4	0,52
881	bco3V-1	b3_4	-1,55	j	57	253	1-5	1,5	2	2,38
882	bco3V-2	b3_4	-1,47	j	16	265	<1	2	0,2	2,15
883	bco3V-2	b3_4	-1,2	j	32	269	<1	1,5	2	2,00
884	bco3V-2	b3_4	-0,96	j	54	250	1-5	1,5	1,3	2,55
885	bco3V-2	b3_4	-0,88	j	30	262	<1	2	1,5	2,36
886	bco3V-2	b3_4	-0,78	j	16	300	1-5	8	4	8,00
887	bco3V-2	b3_4	-0,71	j	77	65	<1	1,5	4,5	4,62
888	bco3V-2	b3_4	-0,54	j	60	257	<1	1	1,3	1,50
889	bco3V-2	b3_4	-0,5	j	21	299	1-5	1	0,3	1,00
890	bco3V-2	b3_4	-0,34	j	32	267	<0,1	1	0,3	1,23
891	bco3V-2	b3_4	-0,34	j	77	0	-	2	1,5	2,00
892	bco3V-2	b3_4	-0,32	j	51	255	<0,1	1,5	3	3,86
893	bco3V-2	b3_4	-0,1	j	51	255	<0,1	1,5	3	3,86
894	bco3V-2	b3_4	0,12	j	21	284	<1	7	3,5	9,04
895	bco3V-2	b3_4	0,17	j	21	284	<1	7	3,5	9,04
896	bco3V-2	b3_4	0,27	j	63	257	<1	2	3,5	3,93
897	bco3V-2	b3_4	0,38	j	32	0	<0,1	2,5	1	2,50
898	bco3V-2	b3_4	0,5	j	20	270	<1	8	3	9,06
899	bco3V-2	b3_4	0,64	j	20	270	<0,1	4	2	4,53
900	bco3V-2	b3_4	0,77	j	40	0	<1	14	13	20,22

Base de datos para la Persistencia de las discontinuidades:

Tabla A4. 2: Persistencias subdivididas por familia y banco de pertenencia. Valores en metros.

F1/B1	1,66	5,62	2,00	1,07	4,27	1,72	4,27	5,48	2,13	0,54	1,78	1,31	6,24	20,88	0,41	1,54	2,36	0,73	2,01	4,86
10,64	1,66	0,47	F2/B1	1,07	1,07	1,72	2,18	4,27	3,22	16,77	3,24	2,15	0,15	0,41	0,88	2,22	F7/B2	9,52	3,00	2,15
0,54	2,00	3,22	0,34	2,15	2,13	2,73	0,49	2,15	0,55	6,39	12,80	21,49	0,23	2,61	1,72	1,05	2,77	1,58	0,51	2,30
0,27	4,27	0,40	0,43	1,07	2,19	1,61	2,66	2,81	1,06	4,26	2,15	1,83	0,56	3,14	3,79	2,05	1,98	3,84	6,72	2,18
0,54	1,60	2,00	2,14	1,07	1,06	1,08	2,72	15,74	16,02	2,28	1,06	1,86	2,23	0,68	5,31	2,00	2,38	3,84	0,56	2,10
6,41	12,77	3,50	2,72	2,14	12,81	4,27	0,43	3,19	4,79	14,00	13,46	7,59	1,60	1,36	19,90	1,00	3,40	3,66	1,30	6,46
3,00	8,00	2,50	2,66	16,01	12,77	4,27	0,43	12,77	5,83	0,44	2,25	1,60	1,50	2,36	23,36	4,09	0,64	3,66	1,02	4,06
3,26	2,00	2,00	2,18	1,63	4,26	4,27	0,43	3,22	15,66	3,19	F3/B2	1,60	1,50	0,23	2,91	1,21	0,22	0,64	0,82	4,48
4,26	2,00	0,31	3,21	1,63	12,87	4,27	7,86	6,47	3,28	4,49	14,00	13,60	0,70	3,82	1,27	2,13	0,18	1,29	1,02	1,68
1,08	2,00	0,50	0,85	4,34	12,81	5,34	4,39	3,26	2,67	2,25	0,54	F4/B1	0,43	3,30	1,31	F6/B3	3,17	8,05	1,01	2,93
1,07	6,00	F1/B3	3,25	0,53	2,14	14,95	17,25	2,13	6,43	8,32	1,93	0,70	0,44	13,25	1,38	3,53	20,44	9,76	1,07	8,74
2,21	3,00	0,64	3,19	13,13	8,55	2,67	5,40	15,04	3,20	3,72	0,55	1,00	2,50	4,27	17,75	0,40	0,74	1,20	F8/B2	4,22
3,88	12,00	16,77	2,15	2,13	4,28	3,25	0,43	5,33	15,56	2,14	4,34	0,53	1,83	1,64	6,85	0,41	3,10	5,39	1,60	6,04
1,50	0,61	4,36	2,15	3,19	12,99	14,97	F2/B3	8,53	6,47	3,58	2,19	2,00	2,00	F5/B2	0,68	0,55	0,81	5,03	0,51	10,35
1,11	2,00	5,50	11,24	2,13	3,74	5,34	15,00	3,36	3,24	2,29	11,12	0,53	1,08	0,38	4,66	0,85	1,64	7,24	0,31	6,32
0,50	2,00	2,70	0,32	2,16	4,32	4,27	10,96	15,00	15,53	14,31	8,44	2,00	0,70	2,69	4,13	0,82	F7/B3	5,21	0,10	10,98
1,96	2,00	0,60	2,18	3,20	3,75	4,36	2,19	13,17	2,22	3,22	3,33	2,50	1,20	1,31	11,38	0,51	6,51	5,44	0,41	8,68
1,12	8,63	1,20	2,18	3,21	1,72	5,35	3,36	4,28	7,74	3,35	2,77	0,11	1,50	18,29	4,50	2,60	2,76	2,62	0,58	6,68
2,68	8,00	2,16	13,02	1,65	3,27	11,14	14,10	2,14	3,32	5,37	3,83	9,05	3,50	5,62	0,47	15,23	2,50	18,89	0,55	2,16
2,00	2,05	2,42	6,46	5,37	10,77	2,35	3,58	6,72	0,57	1,60	0,54	4,43	1,01	2,79	1,80	F7/B1	1,14	8,54	0,60	3,19
3,00	1,50	1,00	3,73	2,15	F2/B2	6,39	3,76	5,32	1,14	1,76	14,00	4,00	1,06	0,58	4,01	0,34	0,57	5,63	1,02	3,44
2,00	4,00	2,00	1,08	0,32	15,52	0,64	8,55	5,36	4,57	12,78	1,60	1,00	0,40	23,75	F6/B1	1,88	6,02	2,47	1,93	5,26
3,00	2,00	1,07	2,13	0,40	2,22	0,53	3,55	5,35	0,54	2,13	F3/B3	8,54	F4/B3	4,93	3,00	2,94	9,63	2,66	3,52	5,38
8,00	0,50	14,97	2,14	1,08	15,71	0,53	2,23	4,28	1,19	0,44	2,24	0,60	0,77	20,18	1,27	1,14	3,58	1,55	0,54	2,44
4,52	F1/B2	3,95	2,19	0,75	1,12	0,53	3,34	5,41	1,60	3,75	2,69	1,50	3,36	3,53	2,50	0,40	6,53	3,96	1,66	7,16
3,50	3,19	0,70	4,28	3,31	1,09	14,99	1,96	5,41	2,20	1,15	2,02	1,07	0,75	3,50	0,40	3,72	2,69	3,96	2,60	2,18
0,54	3,40	3,60	16,33	2,00	3,21	4,29	4,46	11,66	15,17	1,69	1,71	3,32	0,61	2,04	0,40	3,75	6,71	4,07	2,00	2,10
1,00	0,16	1,61	1,95	0,55	2,25	4,33	1,67	7,47	5,39	7,72	6,45	1,00	1,00	0,73	1,96	1,54	0,40	F8/B1	1,71	0,76
1,00	0,90	15,43	1,07	3,74	5,32	4,26	1,67	4,28	4,27	5,71	7,46	10,00	0,54	12,00	2,00	4,14	0,40	1,00	4,05	4,23
10,00	0,70	14,96	2,18	12,94	2,74	4,30	2,85	0,79	7,75	4,87	0,53	1,06	1,50	0,86	0,52	0,74	4,12	0,54	1,11	5,45
0,43	0,35	3,00	1,97	0,65	4,29	3,73	15,02	1,12	0,78	F3/B1	0,74	12,00	1,00	0,58	1,11	0,74	0,57	1,13	0,45	2,09
2,00	1,00	1,50	3,25	0,21	3,24	1,61	6,44	0,77	0,78	1,09	1,00	4,00	1,07	0,86	0,40	0,43	2,64	2,21	1,98	2,09
12,00	1,00	3,48	1,06	4,26	5,35	1,60	2,14	6,47	15,61	0,43	2,36	0,25	2,06	0,35	1,63	0,50	5,49	3,63	F8/B3	3,79
2,50	1,10	1,50	0,54	3,20	2,15	7,76	3,19	11,51	5,50	1,07	15,37	0,80	14,74	0,94	1,51	1,75	2,64	0,51	0,22	2,36
2,00	2,00	1,23	4,27	4,26	6,47	2,20	2,70	3,24	2,15	0,53	3,76	0,21	0,40	1,23	3,00	2,48	0,65	0,46	1,11	8,18
6,00	3,32	2,19	13,30	3,27	1,07	1,15	3,73	3,22	4,46	1,10	1,60	0,43	1,07	0,30	10,01	0,66	3,59	1,80	6,43	1,04
6,00	1,50	0,33	1,10	3,21	5,32	2,69	0,53	2,13	4,43	1,10	3,70	3,50	F5/B1	0,51	1,02	2,79	16,76	1,80	6,00	1,21
12,00	1,00	3,00	1,10	3,24	1,61	5,88	7,47	8,52	2,13	12,09	6,39	F4/B2	1,81	F5/B3	0,40	4,66	2,39	3,00	6,00	7,46
1,01	2,00	14,36	2,15	10,65	0,27	2,13	2,31	0,75	0,58	13,71	1,61	1,50	17,87	1,55	12,29	5,07	2,50	0,30	6,00	7,46
1,01	2,00	2,00	1,06	10,65	14,91	2,67	1,70	1,63	14,90	1,07	2,23	1,50	2,78	1,05	2,19	4,54	2,54	6,67	2,00	8,56
1,01	1,60	2,60	10,66	10,65	1,60	8,59	6,82	1,08	0,53	3,27	4,29	1,50	0,63	1,11	2,05	0,73	12,93	2,03	2,00	4,28
1,50	3,51	0,80	6,39	1,08	1,60	1,60	14,93	1,10	9,08	0,53	5,35	0,32	1,41	1,37	F6/B2	7,03	13,09	1,00	2,00	
1,66	2,50	2,00	0,43	12,77	1,60	14,92	15,73	1,07	15,02	2,14	3,20	1,50	20,21	0,23	1,01	0,75	17,85	1,01	2,00	

Base de datos para el Espaciamento de las discontinuidades:

Tabla A4. 3: Espaciamentos subdivididos por familia y banco de pertenencia. Valores en metros.

F1/B1	1,174	0,384	0,258	0,159	0,295	0,521	0,029	0,069	0,275	0,975	0,079	0,035	0,149	0,350	0,521	0,128	0,078
0,199	0,128	0,463	0,079	0,852	0,815	0,511	0,128	0,088	0,295	4,255	1,673	1,547	0,308	0,539	0,661	F8/B1	0,098
0,029	0,426	0,299	0,129	0,129	0,265	0,373	0,059	0,079	0,432	0,107	F4/B1	0,202	1,697	F6/B3	0,427	0,394	0,032
0,058	0,467	0,942	0,773	0,089	0,383	1,139	0,029	0,501	0,079	1,338	0,190	0,048	2,048	0,0782	0,101	0,138	0,052
0,689	0,175	0,976	0,248	0,238	0,196	2,740	0,383	0,059	0,668	0,289	0,387	0,199	0,452	0,334	0,093	0,110	0,040
1,039	0,175	0,733	0,347	1,605	0,403	0,432	0,000	0,069	0,079	0,620	0,571	0,234	0,399	0,376	0,039	0,136	0,104
0,368	0,642	1,128	0,109	0,297	0,265	0,147	0,206	0,029	0,069	F3/B2	0,428	1,308	0,372	0,088	2,036	0,460	0,374
0,426	0,893	0,745	0,198	0,545	0,177	0,570	0,491	0,098	1,130	0,545	0,044	0,986	0,160	0,445	1,577	0,042	0,115
1,518	0,245	2,640	0,129	0,059	0,246	0,393	0,570	0,197	0,884	1,612	1,234	0,141	1,957	0,183	0,117	0,090	0,642
0,105	0,193	0,288	0,218	0,367	0,196	0,196	0,069	0,432	0,246	0,207	0,032	0,728	2,218	F7/B1	0,544	0,256	0,058
0,070	0,450	0,192	0,168	0,099	0,098	0,334	0,118	0,590	0,442	2,916	0,753	F5/B1	0,213	5,661	0,078	0,572	0,662
0,485	0,158	0,705	0,129	0,446	0,157	1,876	0,177	0,422	0,167	1,650	0,548	0,629	0,691	0,061	0,233	0,848	0,075
0,304	0,613	0,338	0,664	0,396	0,304	0,000	0,442	0,246	0,108	1,366	0,097	2,242	1,500	1,688	1,204	0,320	0,112
0,169	0,321	0,423	0,030	0,565	0,088	0,491	0,000	0,049	0,314	0,537	0,147	0,544	0,053	0,443	0,148	0,491	0,834
0,000	0,584	0,508	0,079	2,151	0,108	0,442	0,344	0,354	0,344	2,164	0,733	0,557	0,234	2,422	0,047	0,302	0,696
0,677	0,380	0,395	0,050	0,496	0,226	0,344	0,147	0,000	0,098	0,499	0,088	1,632	0,128	0,092	0,062	0,160	0,506
0,672	0,601	0,395	0,188	0,248	0,167	0,029	0,413	0,265	0,029	2,157	0,287	0,459	0,330	1,383	0,148	0,185	0,052
0,339	F1/B2	0,226	0,575	2,428	0,196	0,088	0,049	0,059	0,236	F3/B3	0,797	0,419	0,436	0,099	0,847	0,276	0,164
0,561	0,281	0,113	0,496	0,149	0,255	0,069	0,275	0,098	0,069	1,973	0,322	0,380	0,351	0,069	0,420	0,201	0,089
0,450	0,517	0,479	0,287	0,198	0,059	0,118	0,246	0,157	0,059	0,789	0,161	1,029	0,000	4,813	1,010	0,135	0,383
0,315	0,000	0,733	0,129	0,297	0,295	0,805	0,177	0,098	0,491	0,118	1,137	0,885	0,133	0,520	1,539	0,181	0,058
0,362	1,408	0,384	0,198	1,962	0,246	0,196	0,413	0,128	0,442	3,868	F4/B2	0,505	1,143	3,782	0,909	0,330	0,302
0,672	0,164	0,463	0,040	0,545	0,275	0,363	0,147	0,236	0,786	1,816	0,245	5,008	3,829	0,497	1,461	F8/B2	0,374
0,187	0,429	0,169	0,248	0,268	0,265	F2/B3	0,167	0,157	0,147	0,568	0,245	1,966	0,372	0,229	0,458	0,1141	0,575
0,181	0,241	F2/B1	0,198	0,198	0,373	0,540	0,521	0,049	1,503	0,063	0,081	0,813	F6/B1	0,199	0,280	0,325	0,138
0,298	0,353	0,198	0,099	0,000	0,933	0,108	0,069	0,147	0,491	1,918	0,049	F5/B2	0,009	0,985	0,202	1,266	0,811
0,152	1,452	0,347	0,089	1,288	1,395	0,334	0,098	1,464	0,314	0,237	0,034	0,418	0,000	0,255	0,101	0,152	0,719
0,088	0,092	1,823	0,139	0,347	0,275	0,000	0,049	0,108	0,265	3,292	0,169	0,776	0,006	0,037	1,958	0,147	0,072
0,350	0,950	0,178	0,149	1,833	1,473	0,000	0,609	0,167	0,098	1,342	0,017	0,515	0,006	F7/B2	0,085	2,077	0,124
0,234	0,088	0,932	0,030	0,644	0,216	0,216	0,177	0,422	0,128	1,105	0,977	0,737	0,012	0,5479	0,389	0,084	0,000
0,175	2,021	0,149	0,099	0,347	0,118	0,177	0,226	0,806	0,079	0,197	0,416	0,248	0,003	0,802	0,389	0,505	0,402
1,647	0,954	0,168	0,476	0,178	0,678	0,128	0,049	1,277	0,118	0,276	0,519	2,179	0,004	0,193	2,331	0,230	0,502
0,707	2,021	0,099	0,317	0,198	0,167	0,265	0,088	0,884	0,786	0,237	0,277	0,881	0,014	0,000	1,236	0,207	0,207
0,391	0,056	0,109	0,307	0,099	0,344	0,098	0,059	0,098	F3/B1	2,210	0,426	0,620	0,003	0,610	0,047	0,185	0,393
0,134	0,084	0,377	0,496	0,059	0,000	0,098	0,246	1,061	1,066	2,644	0,215	2,603	0,011	4,475	1,088	0,104	0,143
0,321	0,557	0,149	0,416	0,050	1,689	0,098	0,197	0,481	0,479	0,126	0,059	1,011	0,412	0,211	1,438	0,045	0,223
0,234	F1/B3	1,219	0,446	0,654	0,216	0,000	0,531	0,020	1,793	0,781	1,062	0,855	0,045	1,198	0,583	0,125	0,265
0,076	0,338	0,129	0,000	0,277	1,532	0,098	0,373	0,157	1,214	0,474	0,193	0,718	0,102	F7/B3	0,676	0,054	0,097
0,053	0,637	0,159	0,842	F2/B2	0,079	0,098	0,255	0,157	0,041	2,052	0,024	0,587	0,416	0,5906	0,606	0,391	0,266
0,146	1,472	0,198	0,297	0,108	0,049	0,197	0,383	0,757	0,149	1,302	0,098	0,489	F6/B2	0,482	0,210	F8/B3	0,131
0,082	2,177	0,525	0,565	0,776	0,481	0,246	0,000	0,314	1,355	0,276	0,110	0,138	0,3015	0,117	0,301	0,0978	0,422
0,058	1,354	0,941	0,327	0,177	1,080	0,197	0,275	0,118	1,487	0,395	F4/B3	0,302	0,015	0,389	0,186	0,288	0,045
0,029	0,508	1,586	0,496	0,295	0,177	0,079	0,049	0,000	1,999	0,316	0,135	0,369	0,104	0,389	0,119	0,935	0,288
0,000	1,563	0,248	0,773	0,471	0,471	0,462	0,314	0,491	3,486	0,142	0,124	F5/B3	0,290	0,101	0,112	0,288	0,122

Base de datos para el Volumen del bloque, definido para una combinación de tres familias de fracturas en particular (casos: 1-2-8, 1-2--5, 2-4-8 y 1-3-8). Se incluyen los parámetros que permiten su cálculo:

**Tabla A4. 4: Vb para la combinación de familias 1-2-8, en función del espaciamiento de la Familia 1. Se incluye: espaciamiento de la Familia 1, media de la FDP asociada al espaciamiento de las Familias 2 y 8 y la constante geométrica  $\omega$  de las familias 1-2-8. Por banco.**

Esp1 (m)	$\bar{S}_2$	$\bar{S}_8$	$\omega$	Vb128(1) (m <sup>3</sup> )	Esp1 (m)	$\bar{S}_2$	$\bar{S}_8$	$\omega$	Vb128(1) (m <sup>3</sup> )	Esp1 (m)	$\bar{S}_2$	$\bar{S}_8$	$\omega$	Vb128(1) (m <sup>3</sup> )	Esp1 (m)	$\bar{S}_2$	$\bar{S}_8$	$\omega$	Vb128(1) (m <sup>3</sup> )
<b>banco 1</b>					0,350	0,36	0,30	1,37	0,052	0,613	0,36	0,30	1,37	0,091	2,177	0,36	0,30	1,60	0,375
0,199	0,36	0,30	1,37	0,029	0,234	0,36	0,30	1,37	0,035	0,321	0,36	0,30	1,37	0,048	1,354	0,36	0,30	1,60	0,233
0,029	0,36	0,30	1,37	0,004	0,175	0,36	0,30	1,37	0,026	0,584	0,36	0,30	1,37	0,087	0,508	0,36	0,30	1,60	0,087
0,058	0,36	0,30	1,37	0,009	1,647	0,36	0,30	1,37	0,245	0,380	0,36	0,30	1,37	0,056	1,563	0,36	0,30	1,60	0,269
0,689	0,36	0,30	1,37	0,102	0,707	0,36	0,30	1,37	0,105	0,601	0,36	0,30	1,37	0,089	0,384	0,36	0,30	1,60	0,066
1,039	0,36	0,30	1,37	0,154	0,391	0,36	0,30	1,37	0,058	<b>banco 2</b>					0,463	0,36	0,30	1,60	0,080
0,368	0,36	0,30	1,37	0,055	0,134	0,36	0,30	1,37	0,020	0,281	0,36	0,30	1,22	0,037	0,299	0,36	0,30	1,60	0,052
0,426	0,36	0,30	1,37	0,063	0,321	0,36	0,30	1,37	0,048	0,517	0,36	0,30	1,22	0,068	0,942	0,36	0,30	1,60	0,162
1,518	0,36	0,30	1,37	0,225	0,234	0,36	0,30	1,37	0,035	0,000	0,36	0,30	1,22	0,000	0,976	0,36	0,30	1,60	0,168
0,105	0,36	0,30	1,37	0,016	0,076	0,36	0,30	1,37	0,011	1,408	0,36	0,30	1,22	0,185	0,733	0,36	0,30	1,60	0,126
0,070	0,36	0,30	1,37	0,010	0,053	0,36	0,30	1,37	0,008	0,164	0,36	0,30	1,22	0,022	1,128	0,36	0,30	1,60	0,194
0,485	0,36	0,30	1,37	0,072	0,146	0,36	0,30	1,37	0,022	0,429	0,36	0,30	1,22	0,056	0,745	0,36	0,30	1,60	0,128
0,304	0,36	0,30	1,37	0,045	0,082	0,36	0,30	1,37	0,012	0,241	0,36	0,30	1,22	0,032	2,640	0,36	0,30	1,60	0,455
0,169	0,36	0,30	1,37	0,025	0,058	0,36	0,30	1,37	0,009	0,353	0,36	0,30	1,22	0,046	0,288	0,36	0,30	1,60	0,050
0,000	0,36	0,30	1,37	0,000	0,029	0,36	0,30	1,37	0,004	1,452	0,36	0,30	1,22	0,191	0,192	0,36	0,30	1,60	0,033
0,677	0,36	0,30	1,37	0,101	0,000	0,36	0,30	1,37	0,000	0,092	0,36	0,30	1,22	0,012	0,705	0,36	0,30	1,60	0,121
0,672	0,36	0,30	1,37	0,100	1,174	0,36	0,30	1,37	0,174	0,950	0,36	0,30	1,22	0,125	0,338	0,36	0,30	1,60	0,058
0,339	0,36	0,30	1,37	0,050	0,128	0,36	0,30	1,37	0,019	0,088	0,36	0,30	1,22	0,012	0,423	0,36	0,30	1,60	0,073
0,561	0,36	0,30	1,37	0,083	0,426	0,36	0,30	1,37	0,063	2,021	0,36	0,30	1,22	0,266	0,508	0,36	0,30	1,60	0,087
0,450	0,36	0,30	1,37	0,067	0,467	0,36	0,30	1,37	0,069	0,954	0,36	0,30	1,22	0,125	0,395	0,36	0,30	1,60	0,068
0,315	0,36	0,30	1,37	0,047	0,175	0,36	0,30	1,37	0,026	2,021	0,36	0,30	1,22	0,266	0,395	0,36	0,30	1,60	0,068
0,362	0,36	0,30	1,37	0,054	0,175	0,36	0,30	1,37	0,026	0,056	0,36	0,30	1,22	0,007	0,226	0,36	0,30	1,60	0,039
0,672	0,36	0,30	1,37	0,100	0,642	0,36	0,30	1,37	0,095	0,084	0,36	0,30	1,22	0,011	0,113	0,36	0,30	1,60	0,019
0,187	0,36	0,30	1,37	0,028	0,893	0,36	0,30	1,37	0,133	0,557	0,36	0,30	1,22	0,073	0,479	0,36	0,30	1,60	0,083
0,181	0,36	0,30	1,37	0,027	0,245	0,36	0,30	1,37	0,036	<b>banco 3</b>					0,733	0,36	0,30	1,60	0,126
0,298	0,36	0,30	1,37	0,044	0,193	0,36	0,30	1,37	0,029	0,338	0,36	0,30	1,60	0,058	0,384	0,36	0,30	1,60	0,066
0,152	0,36	0,30	1,37	0,023	0,450	0,36	0,30	1,37	0,067	0,637	0,36	0,30	1,60	0,110	0,463	0,36	0,30	1,60	0,080
0,088	0,36	0,30	1,37	0,013	0,158	0,36	0,30	1,37	0,023	1,472	0,36	0,30	1,60	0,254	0,169	0,36	0,30	1,60	0,029

**Tabla A4. 5: Vb para la combinación de familias 1-2-8, en función del espaciamiento de la Familia 2. Se incluye: espaciamiento de la Familia 2, media de la FDP asociada al espaciamiento de las Familias 1 y 8 y la constante geométrica  $\omega$  de las familias 1-2-8. Por banco.**

Esp2 (m)	$\bar{S}_1$	$\bar{S}_8$	$\omega$	Vb128(2) (m <sup>3</sup> )	Esp2 (m)	$\bar{S}_1$	$\bar{S}_8$	$\omega$	Vb128(2) (m <sup>3</sup> )	Esp2 (m)	$\bar{S}_1$	$\bar{S}_8$	$\omega$	Vb128(2) (m <sup>3</sup> )	Esp2 (m)	$\bar{S}_1$	$\bar{S}_8$	$\omega$	Vb128(2) (m <sup>3</sup> )
<b>banco 1</b>					0,258	0,53	0,30	1,37	0,056	0,129	0,53	0,30	1,37	0,028	0,565	0,53	0,30	1,37	0,123
0,198	0,53	0,30	1,37	0,043	0,079	0,53	0,30	1,37	0,017	0,198	0,53	0,30	1,37	0,043	0,327	0,53	0,30	1,37	0,071
0,347	0,53	0,30	1,37	0,076	0,129	0,53	0,30	1,37	0,028	0,040	0,53	0,30	1,37	0,009	0,496	0,53	0,30	1,37	0,108
1,823	0,53	0,30	1,37	0,399	0,773	0,53	0,30	1,37	0,169	0,248	0,53	0,30	1,37	0,054	0,773	0,53	0,30	1,37	0,169
0,178	0,53	0,30	1,37	0,039	0,248	0,53	0,30	1,37	0,054	0,198	0,53	0,30	1,37	0,043	0,159	0,53	0,30	1,37	0,035
0,932	0,53	0,30	1,37	0,204	0,347	0,53	0,30	1,37	0,076	0,099	0,53	0,30	1,37	0,022	0,852	0,53	0,30	1,37	0,186
0,149	0,53	0,30	1,37	0,032	0,109	0,53	0,30	1,37	0,024	0,089	0,53	0,30	1,37	0,019	0,129	0,53	0,30	1,37	0,028
0,168	0,53	0,30	1,37	0,037	0,198	0,53	0,30	1,37	0,043	0,139	0,53	0,30	1,37	0,030	0,089	0,53	0,30	1,37	0,019
0,099	0,53	0,30	1,37	0,022	0,129	0,53	0,30	1,37	0,028	0,149	0,53	0,30	1,37	0,032	0,238	0,53	0,30	1,37	0,052
0,109	0,53	0,30	1,37	0,024	0,218	0,53	0,30	1,37	0,048	0,030	0,53	0,30	1,37	0,006	1,605	0,53	0,30	1,37	0,351
0,377	0,53	0,30	1,37	0,082	0,168	0,53	0,30	1,37	0,037	0,099	0,53	0,30	1,37	0,022	0,297	0,53	0,30	1,37	0,065
0,149	0,53	0,30	1,37	0,032	0,129	0,53	0,30	1,37	0,028	0,476	0,53	0,30	1,37	0,104	0,545	0,53	0,30	1,37	0,119
1,219	0,53	0,30	1,37	0,266	0,664	0,53	0,30	1,37	0,145	0,317	0,53	0,30	1,37	0,069	0,059	0,53	0,30	1,37	0,013
0,129	0,53	0,30	1,37	0,028	0,030	0,53	0,30	1,37	0,006	0,307	0,53	0,30	1,37	0,067	0,367	0,53	0,30	1,37	0,080
0,159	0,53	0,30	1,37	0,035	0,079	0,53	0,30	1,37	0,017	0,496	0,53	0,30	1,37	0,108	0,099	0,53	0,30	1,37	0,022
0,198	0,53	0,30	1,37	0,043	0,050	0,53	0,30	1,37	0,011	0,416	0,53	0,30	1,37	0,091	0,446	0,53	0,30	1,37	0,097
0,525	0,53	0,30	1,37	0,115	0,188	0,53	0,30	1,37	0,041	0,446	0,53	0,30	1,37	0,097	0,396	0,53	0,30	1,37	0,087
0,941	0,53	0,30	1,37	0,206	0,575	0,53	0,30	1,37	0,126	0,000	0,53	0,30	1,37	0,000	0,565	0,53	0,30	1,37	0,123
1,586	0,53	0,30	1,37	0,347	0,496	0,53	0,30	1,37	0,108	0,842	0,53	0,30	1,37	0,184	2,151	0,53	0,30	1,37	0,470
0,248	0,53	0,30	1,37	0,054	0,287	0,53	0,30	1,37	0,063	0,297	0,53	0,30	1,37	0,065	0,496	0,53	0,30	1,37	0,108

Esp2 (m)	S1	S8	w	Vb128(2) (m^3)	Esp2 (m)	S1	S8	w	Vb128(2) (m^3)	Esp2 (m)	S1	S8	w	Vb128(2) (m^3)	Esp2 (m)	S1	S8	w	Vb128(2) (m^3)
0,248	0,53	0,30	1,37	0,054	0,167	0,53	0,30	1,22	0,032	0,383	0,53	0,30	1,60	0,097	0,098	0,53	0,30	1,60	0,025
2,428	0,53	0,30	1,37	0,531	0,344	0,53	0,30	1,22	0,066	0,000	0,53	0,30	1,60	0,000	0,128	0,53	0,30	1,60	0,032
0,149	0,53	0,30	1,37	0,032	0,000	0,53	0,30	1,22	0,000	0,206	0,53	0,30	1,60	0,052	0,236	0,53	0,30	1,60	0,060
0,198	0,53	0,30	1,37	0,043	1,689	0,53	0,30	1,22	0,327	0,491	0,53	0,30	1,60	0,125	0,157	0,53	0,30	1,60	0,040
0,297	0,53	0,30	1,37	0,065	0,216	0,53	0,30	1,22	0,042	0,570	0,53	0,30	1,60	0,145	0,049	0,53	0,30	1,60	0,012
1,962	0,53	0,30	1,37	0,429	1,532	0,53	0,30	1,22	0,296	0,069	0,53	0,30	1,60	0,017	0,147	0,53	0,30	1,60	0,037
0,545	0,53	0,30	1,37	0,119	0,079	0,53	0,30	1,22	0,015	0,118	0,53	0,30	1,60	0,030	1,464	0,53	0,30	1,60	0,371
0,268	0,53	0,30	1,37	0,058	0,049	0,53	0,30	1,22	0,009	0,177	0,53	0,30	1,60	0,045	0,108	0,53	0,30	1,60	0,027
0,198	0,53	0,30	1,37	0,043	0,481	0,53	0,30	1,22	0,093	0,442	0,53	0,30	1,60	0,112	0,167	0,53	0,30	1,60	0,042
0,000	0,53	0,30	1,37	0,000	1,080	0,53	0,30	1,22	0,209	0,000	0,53	0,30	1,60	0,000	0,422	0,53	0,30	1,60	0,107
1,288	0,53	0,30	1,37	0,282	0,177	0,53	0,30	1,22	0,034	0,344	0,53	0,30	1,60	0,087	0,806	0,53	0,30	1,60	0,204
0,347	0,53	0,30	1,37	0,076	0,471	0,53	0,30	1,22	0,091	0,147	0,53	0,30	1,60	0,037	1,277	0,53	0,30	1,60	0,324
1,833	0,53	0,30	1,37	0,401	0,521	0,53	0,30	1,22	0,101	0,413	0,53	0,30	1,60	0,105	0,884	0,53	0,30	1,60	0,224
0,644	0,53	0,30	1,37	0,141	0,511	0,53	0,30	1,22	0,099	0,049	0,53	0,30	1,60	0,012	0,098	0,53	0,30	1,60	0,025
0,347	0,53	0,30	1,37	0,076	0,373	0,53	0,30	1,22	0,072	0,275	0,53	0,30	1,60	0,070	1,061	0,53	0,30	1,60	0,269
0,178	0,53	0,30	1,37	0,039	1,139	0,53	0,30	1,22	0,220	0,246	0,53	0,30	1,60	0,062	0,481	0,53	0,30	1,60	0,122
0,198	0,53	0,30	1,37	0,043	2,740	0,53	0,30	1,22	0,530	0,177	0,53	0,30	1,60	0,045	0,020	0,53	0,30	1,60	0,005
0,099	0,53	0,30	1,37	0,022	0,432	0,53	0,30	1,22	0,084	0,413	0,53	0,30	1,60	0,105	0,157	0,53	0,30	1,60	0,040
0,059	0,53	0,30	1,37	0,013	0,147	0,53	0,30	1,22	0,028	0,147	0,53	0,30	1,60	0,037	0,157	0,53	0,30	1,60	0,040
0,050	0,53	0,30	1,37	0,011	0,570	0,53	0,30	1,22	0,110	0,167	0,53	0,30	1,60	0,042	0,757	0,53	0,30	1,60	0,192
0,654	0,53	0,30	1,37	0,143	0,393	0,53	0,30	1,22	0,076	0,521	0,53	0,30	1,60	0,132	0,314	0,53	0,30	1,60	0,080
0,277	0,53	0,30	1,37	0,061	0,196	0,53	0,30	1,22	0,038	0,069	0,53	0,30	1,60	0,017	0,118	0,53	0,30	1,60	0,030
<b>banco 2</b>					0,334	0,53	0,30	1,22	0,065	0,098	0,53	0,30	1,60	0,025	0,000	0,53	0,30	1,60	0,000
0,108	0,53	0,30	1,22	0,021	1,876	0,53	0,30	1,22	0,363	0,049	0,53	0,30	1,60	0,012	0,491	0,53	0,30	1,60	0,125
0,776	0,53	0,30	1,22	0,150	0,000	0,53	0,30	1,22	0,000	0,609	0,53	0,30	1,60	0,155	0,275	0,53	0,30	1,60	0,070
0,177	0,53	0,30	1,22	0,034	0,491	0,53	0,30	1,22	0,095	0,177	0,53	0,30	1,60	0,045	0,295	0,53	0,30	1,60	0,075
0,295	0,53	0,30	1,22	0,057	0,442	0,53	0,30	1,22	0,085	0,226	0,53	0,30	1,60	0,057	0,432	0,53	0,30	1,60	0,110
0,471	0,53	0,30	1,22	0,091	0,344	0,53	0,30	1,22	0,066	0,049	0,53	0,30	1,60	0,012	0,079	0,53	0,30	1,60	0,020
0,295	0,53	0,30	1,22	0,057	0,029	0,53	0,30	1,22	0,006	0,088	0,53	0,30	1,60	0,022	0,668	0,53	0,30	1,60	0,169
0,815	0,53	0,30	1,22	0,158	0,088	0,53	0,30	1,22	0,017	0,059	0,53	0,30	1,60	0,015	0,079	0,53	0,30	1,60	0,020
0,265	0,53	0,30	1,22	0,051	0,069	0,53	0,30	1,22	0,013	0,246	0,53	0,30	1,60	0,062	0,069	0,53	0,30	1,60	0,017
0,383	0,53	0,30	1,22	0,074	0,118	0,53	0,30	1,22	0,023	0,197	0,53	0,30	1,60	0,050	1,130	0,53	0,30	1,60	0,287
0,196	0,53	0,30	1,22	0,038	0,805	0,53	0,30	1,22	0,156	0,531	0,53	0,30	1,60	0,135	0,884	0,53	0,30	1,60	0,224
0,403	0,53	0,30	1,22	0,078	0,196	0,53	0,30	1,22	0,038	0,373	0,53	0,30	1,60	0,095	0,246	0,53	0,30	1,60	0,062
0,265	0,53	0,30	1,22	0,051	0,363	0,53	0,30	1,22	0,070	0,255	0,53	0,30	1,60	0,065	0,442	0,53	0,30	1,60	0,112
0,177	0,53	0,30	1,22	0,034	<b>banco 3</b>					0,383	0,53	0,30	1,60	0,097	0,167	0,53	0,30	1,60	0,042
0,246	0,53	0,30	1,22	0,047	0,540	0,53	0,30	1,60	0,137	0,000	0,53	0,30	1,60	0,000	0,108	0,53	0,30	1,60	0,027
0,196	0,53	0,30	1,22	0,038	0,108	0,53	0,30	1,60	0,027	0,275	0,53	0,30	1,60	0,070	0,314	0,53	0,30	1,60	0,080
0,098	0,53	0,30	1,22	0,019	0,334	0,53	0,30	1,60	0,085	0,049	0,53	0,30	1,60	0,012	0,344	0,53	0,30	1,60	0,087
0,157	0,53	0,30	1,22	0,030	0,000	0,53	0,30	1,60	0,000	0,314	0,53	0,30	1,60	0,080	0,098	0,53	0,30	1,60	0,025
0,304	0,53	0,30	1,22	0,059	0,000	0,53	0,30	1,60	0,000	0,069	0,53	0,30	1,60	0,017	0,029	0,53	0,30	1,60	0,007
0,088	0,53	0,30	1,22	0,017	0,216	0,53	0,30	1,60	0,055	0,088	0,53	0,30	1,60	0,022	0,236	0,53	0,30	1,60	0,060
0,108	0,53	0,30	1,22	0,021	0,177	0,53	0,30	1,60	0,045	0,079	0,53	0,30	1,60	0,020	0,069	0,53	0,30	1,60	0,017
0,226	0,53	0,30	1,22	0,044	0,128	0,53	0,30	1,60	0,032	0,501	0,53	0,30	1,60	0,127	0,059	0,53	0,30	1,60	0,015
0,167	0,53	0,30	1,22	0,032	0,265	0,53	0,30	1,60	0,067	0,059	0,53	0,30	1,60	0,015	0,491	0,53	0,30	1,60	0,125
0,196	0,53	0,30	1,22	0,038	0,098	0,53	0,30	1,60	0,025	0,069	0,53	0,30	1,60	0,017	0,442	0,53	0,30	1,60	0,112
0,255	0,53	0,30	1,22	0,049	0,098	0,53	0,30	1,60	0,025	0,029	0,53	0,30	1,60	0,007	0,786	0,53	0,30	1,60	0,199
0,059	0,53	0,30	1,22	0,011	0,098	0,53	0,30	1,60	0,025	0,098	0,53	0,30	1,60	0,025	0,147	0,53	0,30	1,60	0,037
0,295	0,53	0,30	1,22	0,057	0,000	0,53	0,30	1,60	0,000	0,197	0,53	0,30	1,60	0,050	1,503	0,53	0,30	1,60	0,381
0,246	0,53	0,30	1,22	0,047	0,098	0,53	0,30	1,60	0,025	0,432	0,53	0,30	1,60	0,110	0,491	0,53	0,30	1,60	0,125
0,275	0,53	0,30	1,22	0,053	0,098	0,53	0,30	1,60	0,025	0,590	0,53	0,30	1,60	0,150	0,314	0,53	0,30	1,60	0,080
0,265	0,53	0,30	1,22	0,051	0,197	0,53	0,30	1,60	0,050	0,422	0,53	0,30	1,60	0,107	0,265	0,53	0,30	1,60	0,067
0,373	0,53	0,30	1,22	0,072	0,246	0,53	0,30	1,60	0,062	0,246	0,53	0,30	1,60	0,062	0,098	0,53	0,30	1,60	0,025
0,933	0,53	0,30	1,22	0,180	0,197	0,53	0,30	1,60	0,050	0,049	0,53	0,30	1,60	0,012	0,128	0,53	0,30	1,60	0,032
1,395	0,53	0,30	1,22	0,270	0,079	0,53	0,30	1,60	0,020	0,354	0,53	0,30	1,60	0,090	0,079	0,53	0,30	1,60	0,020
0,275	0,53	0,30	1,22	0,053	0,462	0,53	0,30	1,60	0,117	0,000	0,53	0,30	1,60	0,000	0,118	0,53	0,30	1,60	0,030
1,473	0,53	0,30	1,22	0,285	0,029	0,53	0,30	1,60	0,007	0,265	0,53	0,30	1,60	0,067	0,786	0,53	0,30	1,60	0,199
0,216	0,53	0,30	1,22	0,042	0,128	0,53	0,30	1,60	0,032	0,059	0,53	0,30	1,60	0,015					
0,118	0,53	0,30	1,22	0,023	0,059	0,53	0,30	1,60	0,015	0,098	0,53	0,30	1,60	0,025					
0,678	0,53	0,30	1,22	0,131	0,029	0,53	0,30	1,60	0,007	0,157	0,53	0,30	1,60	0,040					

**Tabla A4. 6: Vb para la combinación de familias 1-2-8, en función del espaciamiento de la Familia 8. Se incluye: espaciamiento de la Familia 8, media de la FDP asociada al espaciamiento de las Familias 1 y 2 y la constante geométrica  $\omega$  de las familias 1-2-8. Por banco.**

Esp8 (m)	$\overline{S1}$	$\overline{S2}$	$\omega$	Vb128(8) (m <sup>3</sup> )	Esp8 (m)	$\overline{S1}$	$\overline{S2}$	$\omega$	Vb128(8) (m <sup>3</sup> )	Esp8 (m)	$\overline{S1}$	$\overline{S2}$	$\omega$	Vb128(8) (m <sup>3</sup> )	Esp8 (m)	$\overline{S1}$	$\overline{S2}$	$\omega$	Vb128(8) (m <sup>3</sup> )
<b>banco 1</b>					<b>banco 3</b>					<b>banco 2</b>									
0,394	0,53	0,36	1,37	0,103	0,114	0,53	0,36	1,22	0,026	0,098	0,53	0,36	1,60	0,030	0,575	0,53	0,36	1,60	0,175
0,138	0,53	0,36	1,37	0,036	0,325	0,53	0,36	1,22	0,075	0,032	0,53	0,36	1,60	0,010	0,138	0,53	0,36	1,60	0,042
0,110	0,53	0,36	1,37	0,029	1,266	0,53	0,36	1,22	0,294	0,052	0,53	0,36	1,60	0,016	0,811	0,53	0,36	1,60	0,247
0,136	0,53	0,36	1,37	0,036	0,152	0,53	0,36	1,22	0,035	0,040	0,53	0,36	1,60	0,012	0,719	0,53	0,36	1,60	0,219
0,460	0,53	0,36	1,37	0,121	0,147	0,53	0,36	1,22	0,034	0,104	0,53	0,36	1,60	0,032	0,072	0,53	0,36	1,60	0,022
0,042	0,53	0,36	1,37	0,011	2,077	0,53	0,36	1,22	0,482	0,374	0,53	0,36	1,60	0,114	0,124	0,53	0,36	1,60	0,038
0,090	0,53	0,36	1,37	0,024	0,084	0,53	0,36	1,22	0,019	0,115	0,53	0,36	1,60	0,035	0,000	0,53	0,36	1,60	0,000
0,256	0,53	0,36	1,37	0,067	0,505	0,53	0,36	1,22	0,117	0,642	0,53	0,36	1,60	0,195	0,402	0,53	0,36	1,60	0,122
0,572	0,53	0,36	1,37	0,150	0,230	0,53	0,36	1,22	0,053	0,058	0,53	0,36	1,60	0,018	0,502	0,53	0,36	1,60	0,153
0,848	0,53	0,36	1,37	0,222	0,207	0,53	0,36	1,22	0,048	0,662	0,53	0,36	1,60	0,201	0,207	0,53	0,36	1,60	0,063
0,320	0,53	0,36	1,37	0,084	0,185	0,53	0,36	1,22	0,043	0,075	0,53	0,36	1,60	0,023	0,393	0,53	0,36	1,60	0,119
0,491	0,53	0,36	1,37	0,129	0,104	0,53	0,36	1,22	0,024	0,112	0,53	0,36	1,60	0,034	0,143	0,53	0,36	1,60	0,043
0,302	0,53	0,36	1,37	0,079	0,045	0,53	0,36	1,22	0,010	0,834	0,53	0,36	1,60	0,254	0,223	0,53	0,36	1,60	0,068
0,160	0,53	0,36	1,37	0,042	0,125	0,53	0,36	1,22	0,029	0,696	0,53	0,36	1,60	0,212	0,265	0,53	0,36	1,60	0,081
0,185	0,53	0,36	1,37	0,049	0,054	0,53	0,36	1,22	0,013	0,506	0,53	0,36	1,60	0,154	0,097	0,53	0,36	1,60	0,029
0,276	0,53	0,36	1,37	0,072	0,391	0,53	0,36	1,22	0,091	0,052	0,53	0,36	1,60	0,016	0,266	0,53	0,36	1,60	0,081
0,201	0,53	0,36	1,37	0,053	<b>banco 3</b>					0,164	0,53	0,36	1,60	0,050	0,131	0,53	0,36	1,60	0,040
0,135	0,53	0,36	1,37	0,036	0,098	0,53	0,36	1,60	0,030	0,089	0,53	0,36	1,60	0,027	0,422	0,53	0,36	1,60	0,128
0,181	0,53	0,36	1,37	0,048	0,288	0,53	0,36	1,60	0,088	0,383	0,53	0,36	1,60	0,116	0,045	0,53	0,36	1,60	0,014
0,330	0,53	0,36	1,37	0,087	0,935	0,53	0,36	1,60	0,285	0,058	0,53	0,36	1,60	0,018	0,288	0,53	0,36	1,60	0,088
<b>banco 2</b>					0,288	0,53	0,36	1,60	0,088	0,302	0,53	0,36	1,60	0,092	0,122	0,53	0,36	1,60	0,037
<b>banco 2</b>					0,078	0,53	0,36	1,60	0,024	0,374	0,53	0,36	1,60	0,114					

**Tabla A4. 7: Vb para la combinación de familias 1-2-5, en función del espaciamiento de la Familia 1. Se incluye: espaciamiento de la Familia 1, media de la FDP asociada al espaciamiento de las Familias 2 y 5 y la constante geométrica  $\omega$  de las familias 1-2-5. Por banco.**

Esp1 (m)	$\overline{S2}$	$\overline{S5}$	$\omega$	Vb125(1) (m <sup>3</sup> )	Esp1 (m)	$\overline{S2}$	$\overline{S5}$	$\omega$	Vb125(1) (m <sup>3</sup> )	Esp1 (m)	$\overline{S2}$	$\overline{S5}$	$\omega$	Vb125(1) (m <sup>3</sup> )	Esp1 (m)	$\overline{S2}$	$\overline{S5}$	$\omega$	Vb125(1) (m <sup>3</sup> )
<b>banco 1</b>					<b>banco 2</b>					<b>banco 3</b>									
0,199	0,36	0,91	1,42	0,092	0,350	0,36	0,91	1,42	0,163	0,613	0,36	0,91	1,42	0,285	2,177	0,36	0,91	1,32	0,943
0,029	0,36	0,91	1,42	0,014	0,234	0,36	0,91	1,42	0,109	0,321	0,36	0,91	1,42	0,149	1,354	0,36	0,91	1,32	0,586
0,058	0,36	0,91	1,42	0,027	0,175	0,36	0,91	1,42	0,081	0,584	0,36	0,91	1,42	0,272	0,508	0,36	0,91	1,32	0,220
0,689	0,36	0,91	1,42	0,320	1,647	0,36	0,91	1,42	0,766	0,380	0,36	0,91	1,42	0,177	1,563	0,36	0,91	1,32	0,677
1,039	0,36	0,91	1,42	0,483	0,707	0,36	0,91	1,42	0,329	0,601	0,36	0,91	1,42	0,280	0,384	0,36	0,91	1,32	0,166
0,368	0,36	0,91	1,42	0,171	0,391	0,36	0,91	1,42	0,182	<b>banco 2</b>					0,463	0,36	0,91	1,32	0,200
0,426	0,36	0,91	1,42	0,198	0,134	0,36	0,91	1,42	0,062	0,281	0,36	0,91	1,74	0,160	0,299	0,36	0,91	1,32	0,130
1,518	0,36	0,91	1,42	0,706	0,321	0,36	0,91	1,42	0,149	0,517	0,36	0,91	1,74	0,295	0,942	0,36	0,91	1,32	0,408
0,105	0,36	0,91	1,42	0,049	0,234	0,36	0,91	1,42	0,109	0,000	0,36	0,91	1,74	0,000	0,976	0,36	0,91	1,32	0,423
0,070	0,36	0,91	1,42	0,033	0,076	0,36	0,91	1,42	0,035	1,408	0,36	0,91	1,74	0,802	0,733	0,36	0,91	1,32	0,318
0,485	0,36	0,91	1,42	0,225	0,053	0,36	0,91	1,42	0,024	0,164	0,36	0,91	1,74	0,094	1,128	0,36	0,91	1,32	0,489
0,304	0,36	0,91	1,42	0,141	0,146	0,36	0,91	1,42	0,068	0,429	0,36	0,91	1,74	0,244	0,745	0,36	0,91	1,32	0,323
0,169	0,36	0,91	1,42	0,079	0,082	0,36	0,91	1,42	0,038	0,241	0,36	0,91	1,74	0,137	2,640	0,36	0,91	1,32	1,144
0,000	0,36	0,91	1,42	0,000	0,058	0,36	0,91	1,42	0,027	0,353	0,36	0,91	1,74	0,201	0,288	0,36	0,91	1,32	0,125
0,677	0,36	0,91	1,42	0,315	0,029	0,36	0,91	1,42	0,014	1,452	0,36	0,91	1,74	0,827	0,192	0,36	0,91	1,32	0,083
0,672	0,36	0,91	1,42	0,312	0,000	0,36	0,91	1,42	0,000	0,092	0,36	0,91	1,74	0,053	0,705	0,36	0,91	1,32	0,305
0,339	0,36	0,91	1,42	0,157	1,174	0,36	0,91	1,42	0,546	0,950	0,36	0,91	1,74	0,541	0,338	0,36	0,91	1,32	0,147
0,561	0,36	0,91	1,42	0,261	0,128	0,36	0,91	1,42	0,060	0,088	0,36	0,91	1,74	0,050	0,423	0,36	0,91	1,32	0,183
0,450	0,36	0,91	1,42	0,209	0,426	0,36	0,91	1,42	0,198	2,021	0,36	0,91	1,74	1,151	0,508	0,36	0,91	1,32	0,220
0,315	0,36	0,91	1,42	0,147	0,467	0,36	0,91	1,42	0,217	0,954	0,36	0,91	1,74	0,544	0,395	0,36	0,91	1,32	0,171
0,362	0,36	0,91	1,42	0,168	0,175	0,36	0,91	1,42	0,081	2,021	0,36	0,91	1,74	1,151	0,395	0,36	0,91	1,32	0,171
0,672	0,36	0,91	1,42	0,312	0,175	0,36	0,91	1,42	0,081	0,056	0,36	0,91	1,74	0,032	0,226	0,36	0,91	1,32	0,098
0,187	0,36	0,91	1,42	0,087	0,642	0,36	0,91	1,42	0,299	0,084	0,36	0,91	1,74	0,048	0,113	0,36	0,91	1,32	0,049
0,181	0,36	0,91	1,42	0,084	0,893	0,36	0,91	1,42	0,415	0,557	0,36	0,91	1,74	0,317	0,479	0,36	0,91	1,32	0,208
0,298	0,36	0,91	1,42	0,138	0,245	0,36	0,91	1,42	0,114	<b>banco 3</b>					0,733	0,36	0,91	1,32	0,318
0,152	0,36	0,91	1,42	0,071	0,193	0,36	0,91	1,42	0,090	0,338	0,36	0,91	1,32	0,147	0,384	0,36	0,91	1,32	0,166
0,088	0,36	0,91	1,42	0,041	0,450	0,36	0,91	1,42	0,209	0,637	0,36	0,91	1,32	0,276	0,463	0,36	0,91	1,32	0,200
<b>banco 2</b>					0,158	0,36	0,91	1,42	0,073	1,472	0,36	0,91	1,32	0,638	0,169	0,36	0,91	1,32	0,073

**Tabla A4. 8: Vb para la combinación de familias 1-2-5, en función del espaciamiento de la Familia 2. Se incluye: espaciamiento de la Familia 2, media de la FDP asociada al espaciamiento de las Familias 1 y 5 y la constante geométrica  $\omega$  de las familias 1-2-5. Por banco.**

Esp2 (m)	$\overline{S1}$	$\overline{S5}$	$\omega$	Vb125(2) (m <sup>3</sup> )	Esp2 (m)	$\overline{S1}$	$\overline{S5}$	$\omega$	Vb125(2) (m <sup>3</sup> )	Esp2 (m)	$\overline{S1}$	$\overline{S5}$	$\omega$	Vb125(2) (m <sup>3</sup> )	Esp2 (m)	$\overline{S1}$	$\overline{S5}$	$\omega$	Vb125(2) (m <sup>3</sup> )
<b>banco 1</b>					0,565	0,53	0,91	1,42	0,387	0,304	0,53	0,91	1,74	0,255	0,000	0,53	0,91	1,32	0,000
0,198	0,53	0,91	1,42	0,136	0,327	0,53	0,91	1,42	0,224	0,088	0,53	0,91	1,74	0,074	0,216	0,53	0,91	1,32	0,138
0,347	0,53	0,91	1,42	0,237	0,496	0,53	0,91	1,42	0,339	0,108	0,53	0,91	1,74	0,091	0,177	0,53	0,91	1,32	0,113
1,823	0,53	0,91	1,42	1,248	0,773	0,53	0,91	1,42	0,529	0,226	0,53	0,91	1,74	0,189	0,128	0,53	0,91	1,32	0,081
0,178	0,53	0,91	1,42	0,122	0,159	0,53	0,91	1,42	0,109	0,167	0,53	0,91	1,74	0,140	0,265	0,53	0,91	1,32	0,169
0,932	0,53	0,91	1,42	0,638	0,852	0,53	0,91	1,42	0,583	0,196	0,53	0,91	1,74	0,165	0,098	0,53	0,91	1,32	0,063
0,149	0,53	0,91	1,42	0,102	0,129	0,53	0,91	1,42	0,088	0,255	0,53	0,91	1,74	0,214	0,098	0,53	0,91	1,32	0,063
0,168	0,53	0,91	1,42	0,115	0,089	0,53	0,91	1,42	0,061	0,059	0,53	0,91	1,74	0,049	0,098	0,53	0,91	1,32	0,063
0,099	0,53	0,91	1,42	0,068	0,238	0,53	0,91	1,42	0,163	0,295	0,53	0,91	1,74	0,247	0,000	0,53	0,91	1,32	0,000
0,109	0,53	0,91	1,42	0,075	1,605	0,53	0,91	1,42	1,099	0,246	0,53	0,91	1,74	0,206	0,098	0,53	0,91	1,32	0,063
0,377	0,53	0,91	1,42	0,258	0,297	0,53	0,91	1,42	0,204	0,275	0,53	0,91	1,74	0,231	0,098	0,53	0,91	1,32	0,063
0,149	0,53	0,91	1,42	0,102	0,545	0,53	0,91	1,42	0,373	0,265	0,53	0,91	1,74	0,222	0,197	0,53	0,91	1,32	0,125
1,219	0,53	0,91	1,42	0,834	0,059	0,53	0,91	1,42	0,041	0,373	0,53	0,91	1,74	0,313	0,246	0,53	0,91	1,32	0,157
0,129	0,53	0,91	1,42	0,088	0,367	0,53	0,91	1,42	0,251	0,933	0,53	0,91	1,74	0,782	0,197	0,53	0,91	1,32	0,125
0,159	0,53	0,91	1,42	0,109	0,099	0,53	0,91	1,42	0,068	1,395	0,53	0,91	1,74	1,170	0,079	0,53	0,91	1,32	0,050
0,198	0,53	0,91	1,42	0,136	0,446	0,53	0,91	1,42	0,305	0,275	0,53	0,91	1,74	0,231	0,462	0,53	0,91	1,32	0,294
0,525	0,53	0,91	1,42	0,360	0,396	0,53	0,91	1,42	0,271	1,473	0,53	0,91	1,74	1,235	0,029	0,53	0,91	1,32	0,019
0,941	0,53	0,91	1,42	0,645	0,565	0,53	0,91	1,42	0,387	0,216	0,53	0,91	1,74	0,181	0,128	0,53	0,91	1,32	0,081
1,586	0,53	0,91	1,42	1,086	2,151	0,53	0,91	1,42	1,472	0,118	0,53	0,91	1,74	0,099	0,059	0,53	0,91	1,32	0,038
0,248	0,53	0,91	1,42	0,170	0,496	0,53	0,91	1,42	0,339	0,678	0,53	0,91	1,74	0,568	0,029	0,53	0,91	1,32	0,019
0,258	0,53	0,91	1,42	0,176	0,248	0,53	0,91	1,42	0,170	0,167	0,53	0,91	1,74	0,140	0,383	0,53	0,91	1,32	0,244
0,079	0,53	0,91	1,42	0,054	2,428	0,53	0,91	1,42	1,662	0,344	0,53	0,91	1,74	0,288	0,000	0,53	0,91	1,32	0,000
0,129	0,53	0,91	1,42	0,088	0,149	0,53	0,91	1,42	0,102	0,000	0,53	0,91	1,74	0,000	0,206	0,53	0,91	1,32	0,132
0,773	0,53	0,91	1,42	0,529	0,198	0,53	0,91	1,42	0,136	1,689	0,53	0,91	1,74	1,417	0,491	0,53	0,91	1,32	0,313
0,248	0,53	0,91	1,42	0,170	0,297	0,53	0,91	1,42	0,204	0,216	0,53	0,91	1,74	0,181	0,570	0,53	0,91	1,32	0,363
0,347	0,53	0,91	1,42	0,237	1,962	0,53	0,91	1,42	1,343	1,532	0,53	0,91	1,74	1,285	0,069	0,53	0,91	1,32	0,044
0,109	0,53	0,91	1,42	0,075	0,545	0,53	0,91	1,42	0,373	0,079	0,53	0,91	1,74	0,066	0,118	0,53	0,91	1,32	0,075
0,198	0,53	0,91	1,42	0,136	0,268	0,53	0,91	1,42	0,183	0,049	0,53	0,91	1,74	0,041	0,177	0,53	0,91	1,32	0,113
0,129	0,53	0,91	1,42	0,088	0,198	0,53	0,91	1,42	0,136	0,481	0,53	0,91	1,74	0,404	0,442	0,53	0,91	1,32	0,282
0,218	0,53	0,91	1,42	0,149	0,000	0,53	0,91	1,42	0,000	1,080	0,53	0,91	1,74	0,906	0,000	0,53	0,91	1,32	0,000
0,168	0,53	0,91	1,42	0,115	1,288	0,53	0,91	1,42	0,882	0,177	0,53	0,91	1,74	0,148	0,344	0,53	0,91	1,32	0,219
0,129	0,53	0,91	1,42	0,088	0,347	0,53	0,91	1,42	0,237	0,471	0,53	0,91	1,74	0,395	0,147	0,53	0,91	1,32	0,094
0,664	0,53	0,91	1,42	0,455	1,833	0,53	0,91	1,42	1,255	0,521	0,53	0,91	1,74	0,437	0,413	0,53	0,91	1,32	0,263
0,030	0,53	0,91	1,42	0,020	0,644	0,53	0,91	1,42	0,441	0,511	0,53	0,91	1,74	0,428	0,049	0,53	0,91	1,32	0,031
0,079	0,53	0,91	1,42	0,054	0,347	0,53	0,91	1,42	0,237	0,373	0,53	0,91	1,74	0,313	0,275	0,53	0,91	1,32	0,175
0,050	0,53	0,91	1,42	0,034	0,178	0,53	0,91	1,42	0,122	1,139	0,53	0,91	1,74	0,955	0,246	0,53	0,91	1,32	0,157
0,188	0,53	0,91	1,42	0,129	0,198	0,53	0,91	1,42	0,136	2,740	0,53	0,91	1,74	2,298	0,177	0,53	0,91	1,32	0,113
0,575	0,53	0,91	1,42	0,394	0,099	0,53	0,91	1,42	0,068	0,432	0,53	0,91	1,74	0,362	0,413	0,53	0,91	1,32	0,263
0,496	0,53	0,91	1,42	0,339	0,059	0,53	0,91	1,42	0,041	0,147	0,53	0,91	1,74	0,124	0,147	0,53	0,91	1,32	0,094
0,287	0,53	0,91	1,42	0,197	0,050	0,53	0,91	1,42	0,034	0,570	0,53	0,91	1,74	0,478	0,167	0,53	0,91	1,32	0,107
0,129	0,53	0,91	1,42	0,088	0,654	0,53	0,91	1,42	0,448	0,393	0,53	0,91	1,74	0,329	0,521	0,53	0,91	1,32	0,332
0,198	0,53	0,91	1,42	0,136	0,277	0,53	0,91	1,42	0,190	0,196	0,53	0,91	1,74	0,165	0,069	0,53	0,91	1,32	0,044
0,040	0,53	0,91	1,42	0,027	<b>banco 2</b>					0,334	0,53	0,91	1,74	0,280	0,098	0,53	0,91	1,32	0,063
0,248	0,53	0,91	1,42	0,170	0,108	0,53	0,91	1,74	0,091	1,876	0,53	0,91	1,74	1,573	0,049	0,53	0,91	1,32	0,031
0,198	0,53	0,91	1,42	0,136	0,776	0,53	0,91	1,74	0,651	0,000	0,53	0,91	1,74	0,000	0,609	0,53	0,91	1,32	0,388
0,099	0,53	0,91	1,42	0,068	0,177	0,53	0,91	1,74	0,148	0,491	0,53	0,91	1,74	0,412	0,177	0,53	0,91	1,32	0,113
0,089	0,53	0,91	1,42	0,061	0,295	0,53	0,91	1,74	0,247	0,442	0,53	0,91	1,74	0,371	0,226	0,53	0,91	1,32	0,144
0,139	0,53	0,91	1,42	0,095	0,471	0,53	0,91	1,74	0,395	0,344	0,53	0,91	1,74	0,288	0,049	0,53	0,91	1,32	0,031
0,149	0,53	0,91	1,42	0,102	0,295	0,53	0,91	1,74	0,247	0,029	0,53	0,91	1,74	0,025	0,088	0,53	0,91	1,32	0,056
0,030	0,53	0,91	1,42	0,020	0,815	0,53	0,91	1,74	0,684	0,088	0,53	0,91	1,74	0,074	0,059	0,53	0,91	1,32	0,038
0,099	0,53	0,91	1,42	0,068	0,265	0,53	0,91	1,74	0,222	0,069	0,53	0,91	1,74	0,058	0,246	0,53	0,91	1,32	0,157
0,476	0,53	0,91	1,42	0,326	0,383	0,53	0,91	1,74	0,321	0,118	0,53	0,91	1,74	0,099	0,197	0,53	0,91	1,32	0,125
0,317	0,53	0,91	1,42	0,217	0,196	0,53	0,91	1,74	0,165	0,805	0,53	0,91	1,74	0,675	0,531	0,53	0,91	1,32	0,338
0,307	0,53	0,91	1,42	0,210	0,403	0,53	0,91	1,74	0,338	0,196	0,53	0,91	1,74	0,165	0,373	0,53	0,91	1,32	0,238
0,496	0,53	0,91	1,42	0,339	0,265	0,53	0,91	1,74	0,222	0,363	0,53	0,91	1,74	0,305	0,255	0,53	0,91	1,32	0,163
0,416	0,53	0,91	1,42	0,285	0,177	0,53	0,91	1,74	0,148	<b>banco 3</b>					0,383	0,53	0,91</		



**Tabla A4. 9: Vb para la combinación de familias 1-2-5, en función del espaciamiento de la Familia 5. Se incluye: espaciamiento de la Familia 5, media de la FDP asociada al espaciamiento de las Familias 1 y 2 y la constante geométrica  $\omega$  de las familias 1-2-5. Por banco.**

Esp5 (m)	$\bar{S1}$	$\bar{S2}$	$\omega$	Vb125(5) (m <sup>3</sup> )	Esp5 (m)	$\bar{S1}$	$\bar{S2}$	$\omega$	Vb125(5) (m <sup>3</sup> )	Esp5 (m)	$\bar{S1}$	$\bar{S2}$	$\omega$	Vb125(5) (m <sup>3</sup> )	Esp5 (m)	$\bar{S1}$	$\bar{S2}$	$\omega$	Vb125(5) (m <sup>3</sup> )
<b>banco 1</b>					<b>banco 2</b>					<b>banco 3</b>									
0,629	0,53	0,36	1,42	0,170	0,418	0,53	0,36	1,74	0,139	0,138	0,53	0,36	1,74	0,046	0,691	0,53	0,36	1,32	0,174
2,242	0,53	0,36	1,42	0,607	0,776	0,53	0,36	1,74	0,258	0,302	0,53	0,36	1,74	0,100	1,500	0,53	0,36	1,32	0,378
0,544	0,53	0,36	1,42	0,147	0,515	0,53	0,36	1,74	0,171	0,369	0,53	0,36	1,74	0,122	0,053	0,53	0,36	1,32	0,013
0,557	0,53	0,36	1,42	0,151	0,737	0,53	0,36	1,74	0,245	<b>banco 3</b>					0,234	0,53	0,36	1,32	0,059
1,632	0,53	0,36	1,42	0,442	0,248	0,53	0,36	1,74	0,082	0,149	0,53	0,36	1,32	0,038	0,128	0,53	0,36	1,32	0,032
0,459	0,53	0,36	1,42	0,124	2,179	0,53	0,36	1,74	0,723	0,308	0,53	0,36	1,32	0,078	0,330	0,53	0,36	1,32	0,083
0,419	0,53	0,36	1,42	0,114	0,881	0,53	0,36	1,74	0,292	1,697	0,53	0,36	1,32	0,428	0,436	0,53	0,36	1,32	0,110
0,380	0,53	0,36	1,42	0,103	0,620	0,53	0,36	1,74	0,206	2,048	0,53	0,36	1,32	0,517	0,351	0,53	0,36	1,32	0,089
1,029	0,53	0,36	1,42	0,279	2,603	0,53	0,36	1,74	0,864	0,452	0,53	0,36	1,32	0,114	0,000	0,53	0,36	1,32	0,000
0,885	0,53	0,36	1,42	0,240	1,011	0,53	0,36	1,74	0,335	0,399	0,53	0,36	1,32	0,101	0,133	0,53	0,36	1,32	0,034
0,505	0,53	0,36	1,42	0,137	0,855	0,53	0,36	1,74	0,284	0,372	0,53	0,36	1,32	0,094	1,143	0,53	0,36	1,32	0,288
5,008	0,53	0,36	1,42	1,356	0,718	0,53	0,36	1,74	0,238	0,160	0,53	0,36	1,32	0,040	3,829	0,53	0,36	1,32	0,966
1,966	0,53	0,36	1,42	0,533	0,587	0,53	0,36	1,74	0,195	1,957	0,53	0,36	1,32	0,494	0,372	0,53	0,36	1,32	0,094
0,813	0,53	0,36	1,42	0,220	0,489	0,53	0,36	1,74	0,162	2,218	0,53	0,36	1,32	0,559					
										0,213	0,53	0,36	1,32	0,054					

**Tabla A4. 10: Vb para la combinación de familias 2-4-8, en función del espaciamiento de la Familia 2. Se incluye: espaciamiento de la Familia 2, media de la FDP asociada al espaciamiento de las Familias 4 y 8 y la constante geométrica  $\omega$  de las familias 2-4-8. Por banco.**

Esp2 (m)	$\bar{S4}$	$\bar{S8}$	$\omega$	Vb248(2) (m <sup>3</sup> )	Esp2 (m)	$\bar{S4}$	$\bar{S8}$	$\omega$	Vb248(2) (m <sup>3</sup> )	Esp2 (m)	$\bar{S4}$	$\bar{S8}$	$\omega$	Vb248(2) (m <sup>3</sup> )	Esp2 (m)	$\bar{S4}$	$\bar{S8}$	$\omega$	Vb248(2) (m <sup>3</sup> )
<b>banco 1</b>					<b>banco 2</b>					<b>banco 3</b>									
0,198	0,43	0,30	1,11	0,028	0,129	0,43	0,30	1,11	0,018	0,248	0,43	0,30	1,11	0,035	0,304	0,43	0,30	1,05	0,041
0,347	0,43	0,30	1,11	0,049	0,198	0,43	0,30	1,11	0,028	2,428	0,43	0,30	1,11	0,346	0,088	0,43	0,30	1,05	0,012
1,823	0,43	0,30	1,11	0,260	0,040	0,43	0,30	1,11	0,006	0,149	0,43	0,30	1,11	0,021	0,108	0,43	0,30	1,05	0,015
0,178	0,43	0,30	1,11	0,025	0,248	0,43	0,30	1,11	0,035	0,198	0,43	0,30	1,11	0,028	0,226	0,43	0,30	1,05	0,031
0,932	0,43	0,30	1,11	0,133	0,198	0,43	0,30	1,11	0,028	0,297	0,43	0,30	1,11	0,042	0,167	0,43	0,30	1,05	0,023
0,149	0,43	0,30	1,11	0,021	0,099	0,43	0,30	1,11	0,014	1,962	0,43	0,30	1,11	0,280	0,196	0,43	0,30	1,05	0,027
0,168	0,43	0,30	1,11	0,024	0,089	0,43	0,30	1,11	0,013	0,545	0,43	0,30	1,11	0,078	0,255	0,43	0,30	1,05	0,035
0,099	0,43	0,30	1,11	0,014	0,139	0,43	0,30	1,11	0,020	0,268	0,43	0,30	1,11	0,038	0,059	0,43	0,30	1,05	0,008
0,109	0,43	0,30	1,11	0,016	0,149	0,43	0,30	1,11	0,021	0,198	0,43	0,30	1,11	0,028	0,295	0,43	0,30	1,05	0,040
0,377	0,43	0,30	1,11	0,054	0,030	0,43	0,30	1,11	0,004	0,000	0,43	0,30	1,11	0,000	0,246	0,43	0,30	1,05	0,033
0,149	0,43	0,30	1,11	0,021	0,099	0,43	0,30	1,11	0,014	1,288	0,43	0,30	1,11	0,184	0,275	0,43	0,30	1,05	0,037
1,219	0,43	0,30	1,11	0,174	0,476	0,43	0,30	1,11	0,068	0,347	0,43	0,30	1,11	0,049	0,265	0,43	0,30	1,05	0,036
0,129	0,43	0,30	1,11	0,018	0,317	0,43	0,30	1,11	0,045	1,833	0,43	0,30	1,11	0,262	0,373	0,43	0,30	1,05	0,051
0,159	0,43	0,30	1,11	0,023	0,307	0,43	0,30	1,11	0,044	0,644	0,43	0,30	1,11	0,092	0,933	0,43	0,30	1,05	0,126
0,198	0,43	0,30	1,11	0,028	0,496	0,43	0,30	1,11	0,071	0,347	0,43	0,30	1,11	0,049	1,395	0,43	0,30	1,05	0,189
0,525	0,43	0,30	1,11	0,075	0,416	0,43	0,30	1,11	0,059	0,178	0,43	0,30	1,11	0,025	0,275	0,43	0,30	1,05	0,037
0,941	0,43	0,30	1,11	0,134	0,446	0,43	0,30	1,11	0,064	0,198	0,43	0,30	1,11	0,028	1,473	0,43	0,30	1,05	0,199
1,586	0,43	0,30	1,11	0,226	0,000	0,43	0,30	1,11	0,000	0,099	0,43	0,30	1,11	0,014	0,216	0,43	0,30	1,05	0,029
0,248	0,43	0,30	1,11	0,035	0,842	0,43	0,30	1,11	0,120	0,059	0,43	0,30	1,11	0,008	0,118	0,43	0,30	1,05	0,016
0,258	0,43	0,30	1,11	0,037	0,297	0,43	0,30	1,11	0,042	0,050	0,43	0,30	1,11	0,007	0,678	0,43	0,30	1,05	0,092
0,079	0,43	0,30	1,11	0,011	0,565	0,43	0,30	1,11	0,081	0,654	0,43	0,30	1,11	0,093	0,167	0,43	0,30	1,05	0,023
0,129	0,43	0,30	1,11	0,018	0,327	0,43	0,30	1,11	0,047	0,277	0,43	0,30	1,11	0,040	0,344	0,43	0,30	1,05	0,047
0,773	0,43	0,30	1,11	0,110	0,496	0,43	0,30	1,11	0,071	<b>banco 2</b>					0,000	0,43	0,30	1,05	0,000
0,248	0,43	0,30	1,11	0,035	0,773	0,43	0,30	1,11	0,110	0,108	0,43	0,30	1,05	0,015	1,689	0,43	0,30	1,05	0,229
0,347	0,43	0,30	1,11	0,049	0,159	0,43	0,30	1,11	0,023	0,776	0,43	0,30	1,05	0,105	0,216	0,43	0,30	1,05	0,029
0,109	0,43	0,30	1,11	0,016	0,852	0,43	0,30	1,11	0,122	0,177	0,43	0,30	1,05	0,024	1,532	0,43	0,30	1,05	0,207
0,198	0,43	0,30	1,11	0,028	0,129	0,43	0,30	1,11	0,018	0,295	0,43	0,30	1,05	0,040	0,079	0,43	0,30	1,05	0,011
0,129	0,43	0,30	1,11	0,018	0,089	0,43	0,30	1,11	0,013	0,471	0,43	0,30	1,05	0,064	0,049	0,43	0,30	1,05	0,007
0,218	0,43	0,30	1,11	0,031	0,238	0,43	0,30	1,11	0,034	0,295	0,43	0,30	1,05	0,040	0,481	0,43	0,30	1,05	0,065
0,168	0,43	0,30	1,11	0,024	1,605	0,43	0,30	1,11	0,229	0,815	0,43	0,30	1,05	0,110	1,080	0,43	0,30	1,05	0,146
0,129	0,43	0,30	1,11	0,018	0,297	0,43	0,30	1,11	0,042	0,265	0,43	0,30	1,05	0,036	0,177	0,43	0,30	1,05	0,024
0,664	0,43	0,30	1,11	0,095	0,545	0,43	0,30	1,11	0,078	0,383	0,43	0,30	1,05	0,052	0,471	0,43	0,30	1,05	0,064
0,030	0,43	0,30	1,11	0,004	0,059	0,43	0,30	1,11	0,008	0,196	0,43	0,30	1,05	0,027	0,521	0,43	0,30	1,05	0,070
0,079	0,43	0,30	1,11	0,011	0,367	0,43	0,30	1,11	0,052	0,403	0,43	0,30	1,05	0,054	0,511	0,43	0,30	1,05	0,069
0,050	0,43	0,30	1,11	0,007	0,099	0,43	0,30	1,11	0,014	0,265	0,43	0,30	1,05	0,036	0,373	0,43	0,30	1,05	0,051
0,188	0,43	0,30	1,11	0,027	0,446	0,43	0,30	1,11	0,064	0,177	0,43	0,30	1,05	0,024	1,139	0,43	0,30	1,05	0,154
0,575	0,43	0,30	1,11	0,082	0,396	0,43	0,30	1,11	0,057	0,246	0,43	0,30	1,05	0,033	2,740	0,43	0,30	1,05	0,371
0,496	0,43	0,30	1,11	0,071	0,565	0,43	0,30	1,11	0,081	0,196	0,43	0,30	1,05	0,027	0,432	0,43	0,30	1,05	0,058
0,287	0,43	0,30	1,11	0,041	2,151	0,43	0,30	1,11	0,307	0,098	0,43	0,30	1,05	0,013	0,147	0,43	0,30	1,05	0,020
					0,496	0,43	0,30	1,11	0,071	0,157	0,43	0,30	1,05	0,021	0,570	0,43	0,30	1,05	0,077

Esp2 (m)	S4	S8	ω	Vb248(2) (m³)	Esp2 (m)	S4	S8	ω	Vb248(2) (m³)	Esp2 (m)	S4	S8	ω	Vb248(2) (m³)	Esp2 (m)	S4	S8	ω	Vb248(2) (m³)
0,393	0,43	0,30	1,05	0,053	0,38	0,43	0,30	1,03	0,051	0,07	0,43	0,30	1,03	0,009	0,31	0,43	0,30	1,03	0,042
0,196	0,43	0,30	1,05	0,027	0,00	0,43	0,30	1,03	0,000	0,09	0,43	0,30	1,03	0,012	0,12	0,43	0,30	1,03	0,016
0,334	0,43	0,30	1,05	0,045	0,21	0,43	0,30	1,03	0,027	0,08	0,43	0,30	1,03	0,010	0,00	0,43	0,30	1,03	0,000
1,876	0,43	0,30	1,05	0,254	0,49	0,43	0,30	1,03	0,065	0,50	0,43	0,30	1,03	0,066	0,49	0,43	0,30	1,03	0,065
0,000	0,43	0,30	1,05	0,000	0,57	0,43	0,30	1,03	0,075	0,06	0,43	0,30	1,03	0,008	0,28	0,43	0,30	1,03	0,036
0,491	0,43	0,30	1,05	0,066	0,07	0,43	0,30	1,03	0,009	0,07	0,43	0,30	1,03	0,009	0,29	0,43	0,30	1,03	0,039
0,442	0,43	0,30	1,05	0,060	0,12	0,43	0,30	1,03	0,016	0,03	0,43	0,30	1,03	0,004	0,43	0,43	0,30	1,03	0,057
0,344	0,43	0,30	1,05	0,047	0,18	0,43	0,30	1,03	0,023	0,10	0,43	0,30	1,03	0,013	0,08	0,43	0,30	1,03	0,010
0,029	0,43	0,30	1,05	0,004	0,44	0,43	0,30	1,03	0,059	0,20	0,43	0,30	1,03	0,026	0,67	0,43	0,30	1,03	0,088
0,088	0,43	0,30	1,05	0,012	0,00	0,43	0,30	1,03	0,000	0,43	0,43	0,30	1,03	0,057	0,08	0,43	0,30	1,03	0,010
0,069	0,43	0,30	1,05	0,009	0,34	0,43	0,30	1,03	0,046	0,59	0,43	0,30	1,03	0,078	0,07	0,43	0,30	1,03	0,009
0,118	0,43	0,30	1,05	0,016	0,15	0,43	0,30	1,03	0,020	0,42	0,43	0,30	1,03	0,056	1,13	0,43	0,30	1,03	0,150
0,805	0,43	0,30	1,05	0,109	0,41	0,43	0,30	1,03	0,055	0,25	0,43	0,30	1,03	0,033	0,88	0,43	0,30	1,03	0,117
0,196	0,43	0,30	1,05	0,027	0,05	0,43	0,30	1,03	0,007	0,05	0,43	0,30	1,03	0,007	0,25	0,43	0,30	1,03	0,033
0,363	0,43	0,30	1,05	0,049	0,28	0,43	0,30	1,03	0,036	0,35	0,43	0,30	1,03	0,047	0,44	0,43	0,30	1,03	0,059
<b>banco 3</b>					0,25	0,43	0,30	1,03	0,033	0,00	0,43	0,30	1,03	0,000	0,17	0,43	0,30	1,03	0,022
0,54	0,43	0,30	1,03	0,072	0,18	0,43	0,30	1,03	0,023	0,27	0,43	0,30	1,03	0,035	0,11	0,43	0,30	1,03	0,014
0,11	0,43	0,30	1,03	0,014	0,41	0,43	0,30	1,03	0,055	0,06	0,43	0,30	1,03	0,008	0,31	0,43	0,30	1,03	0,042
0,33	0,43	0,30	1,03	0,044	0,15	0,43	0,30	1,03	0,020	0,10	0,43	0,30	1,03	0,013	0,34	0,43	0,30	1,03	0,046
0,00	0,43	0,30	1,03	0,000	0,17	0,43	0,30	1,03	0,022	0,16	0,43	0,30	1,03	0,021	0,10	0,43	0,30	1,03	0,013
0,00	0,43	0,30	1,03	0,000	0,52	0,43	0,30	1,03	0,069	0,10	0,43	0,30	1,03	0,013	0,03	0,43	0,30	1,03	0,004
0,22	0,43	0,30	1,03	0,029	0,07	0,43	0,30	1,03	0,009	0,13	0,43	0,30	1,03	0,017	0,24	0,43	0,30	1,03	0,031
0,18	0,43	0,30	1,03	0,023	0,10	0,43	0,30	1,03	0,013	0,24	0,43	0,30	1,03	0,031	0,07	0,43	0,30	1,03	0,009
0,13	0,43	0,30	1,03	0,017	0,05	0,43	0,30	1,03	0,007	0,16	0,43	0,30	1,03	0,021	0,06	0,43	0,30	1,03	0,008
0,27	0,43	0,30	1,03	0,035	0,61	0,43	0,30	1,03	0,081	0,05	0,43	0,30	1,03	0,007	0,49	0,43	0,30	1,03	0,065
0,10	0,43	0,30	1,03	0,013	0,18	0,43	0,30	1,03	0,023	0,15	0,43	0,30	1,03	0,020	0,44	0,43	0,30	1,03	0,059
0,10	0,43	0,30	1,03	0,013	0,23	0,43	0,30	1,03	0,030	1,46	0,43	0,30	1,03	0,194	0,79	0,43	0,30	1,03	0,104
0,10	0,43	0,30	1,03	0,013	0,05	0,43	0,30	1,03	0,007	0,11	0,43	0,30	1,03	0,014	0,15	0,43	0,30	1,03	0,020
0,00	0,43	0,30	1,03	0,000	0,09	0,43	0,30	1,03	0,012	0,17	0,43	0,30	1,03	0,022	1,50	0,43	0,30	1,03	0,199
0,10	0,43	0,30	1,03	0,013	0,06	0,43	0,30	1,03	0,008	0,42	0,43	0,30	1,03	0,056	0,49	0,43	0,30	1,03	0,065
0,10	0,43	0,30	1,03	0,013	0,25	0,43	0,30	1,03	0,033	0,81	0,43	0,30	1,03	0,107	0,31	0,43	0,30	1,03	0,042
0,20	0,43	0,30	1,03	0,026	0,20	0,43	0,30	1,03	0,026	1,28	0,43	0,30	1,03	0,169	0,27	0,43	0,30	1,03	0,035
0,25	0,43	0,30	1,03	0,033	0,53	0,43	0,30	1,03	0,070	0,88	0,43	0,30	1,03	0,117	0,10	0,43	0,30	1,03	0,013
0,20	0,43	0,30	1,03	0,026	0,37	0,43	0,30	1,03	0,049	0,10	0,43	0,30	1,03	0,013	0,13	0,43	0,30	1,03	0,017
0,08	0,43	0,30	1,03	0,010	0,26	0,43	0,30	1,03	0,034	1,06	0,43	0,30	1,03	0,140	0,08	0,43	0,30	1,03	0,010
0,46	0,43	0,30	1,03	0,061	0,38	0,43	0,30	1,03	0,051	0,48	0,43	0,30	1,03	0,064	0,12	0,43	0,30	1,03	0,016
0,03	0,43	0,30	1,03	0,004	0,00	0,43	0,30	1,03	0,000	0,02	0,43	0,30	1,03	0,003	0,79	0,43	0,30	1,03	0,104
0,13	0,43	0,30	1,03	0,017	0,28	0,43	0,30	1,03	0,036	0,16	0,43	0,30	1,03	0,021					
0,06	0,43	0,30	1,03	0,008	0,05	0,43	0,30	1,03	0,007	0,16	0,43	0,30	1,03	0,021					
0,03	0,43	0,30	1,03	0,004	0,31	0,43	0,30	1,03	0,042	0,76	0,43	0,30	1,03	0,100					

Tabla A4. 11: Vb para la combinación de familias 2-4-8, en función del espaciamiento de la Familia 4. Se incluye: espaciamiento de la Familia 4, media de la FDP asociada al espaciamiento de las Familias 2 y 8 y la constante geométrica ω de las familias 2-4-8. Por banco.

Esp4 (m)	S2	S8	ω	Vb248(4) (m³)	Esp4 (m)	S2	S8	ω	Vb248(4) (m³)	Esp4 (m)	S2	S8	ω	Vb248(4) (m³)	Esp4 (m)	S2	S8	ω	Vb248(4) (m³)
<b>banco 1</b>					0,088	0,36	0,30	1,11	0,011	0,017	0,36	0,30	1,05	0,002	<b>banco 3</b>				
0,190	0,36	0,30	1,11	0,023	0,287	0,36	0,30	1,11	0,034	0,977	0,36	0,30	1,05	0,111	0,135	0,36	0,30	1,03	0,015
0,387	0,36	0,30	1,11	0,046	0,797	0,36	0,30	1,11	0,095	0,416	0,36	0,30	1,05	0,047	0,124	0,36	0,30	1,03	0,014
0,571	0,36	0,30	1,11	0,068	0,322	0,36	0,30	1,11	0,039	0,519	0,36	0,30	1,05	0,059	0,035	0,36	0,30	1,03	0,004
0,428	0,36	0,30	1,11	0,051	0,161	0,36	0,30	1,11	0,019	0,277	0,36	0,30	1,05	0,031	1,547	0,36	0,30	1,03	0,171
0,044	0,36	0,30	1,11	0,005	1,137	0,36	0,30	1,11	0,136	0,426	0,36	0,30	1,05	0,048	0,202	0,36	0,30	1,03	0,022
1,234	0,36	0,30	1,11	0,147	<b>banco 2</b>					0,215	0,36	0,30	1,05	0,024	0,048	0,36	0,30	1,03	0,005
0,032	0,36	0,30	1,11	0,004	0,245	0,36	0,30	1,05	0,028	0,059	0,36	0,30	1,05	0,007	0,199	0,36	0,30	1,03	0,022
0,753	0,36	0,30	1,11	0,090	0,245	0,36	0,30	1,05	0,028	1,062	0,36	0,30	1,05	0,120	0,234	0,36	0,30	1,03	0,026
0,548	0,36	0,30	1,11	0,065	0,081	0,36	0,30	1,05	0,009	0,193	0,36	0,30	1,05	0,022	1,308	0,36	0,30	1,03	0,145
0,097	0,36	0,30	1,11	0,012	0,049	0,36	0,30	1,05	0,006	0,024	0,36	0,30	1,05	0,003	0,986	0,36	0,30	1,03	0,109
0,147	0,36	0,30	1,11	0,018	0,034	0,36	0,30	1,05	0,004	0,098	0,36	0,30	1,05	0,011	0,141	0,36	0,30	1,03	0,016
0,733	0,36	0,30	1,11	0,088	0,169	0,36	0,30	1,05	0,019	0,110	0,36	0,30	1,05	0,012	0,728	0,36	0,30	1,03	0,081

**Tabla A4. 12: Vb para la combinación de familias 2-4-8, en función del espaciamiento de la Familia 8. Se incluye: espaciamiento de la Familia 8, media de la FDP asociada al espaciamiento de las Familias 2 y 4 y la constante geométrica  $\omega$  de las familias 2-4-8. Por banco.**

Esp8 (m)	$\overline{S2}$	$\overline{S4}$	$\omega$	Vb248(8) (m <sup>3</sup> )	Esp8 (m)	$\overline{S2}$	$\overline{S4}$	$\omega$	Vb248(8) (m <sup>3</sup> )	Esp8 (m)	$\overline{S2}$	$\overline{S4}$	$\omega$	Vb248(8) (m <sup>3</sup> )	Esp8 (m)	$\overline{S2}$	$\overline{S4}$	$\omega$	Vb248(8) (m <sup>3</sup> )
<b>banco 1</b>					<b>banco 3</b>					<b>banco 2</b>									
0,394	0,36	0,43	1,11	0,068	0,114	0,36	0,43	1,05	0,019	0,098	0,36	0,43	1,03	0,016	0,575	0,36	0,43	1,03	0,091
0,138	0,36	0,43	1,11	0,024	0,325	0,36	0,43	1,05	0,053	0,032	0,36	0,43	1,03	0,005	0,138	0,36	0,43	1,03	0,022
0,110	0,36	0,43	1,11	0,019	1,266	0,36	0,43	1,05	0,206	0,052	0,36	0,43	1,03	0,008	0,811	0,36	0,43	1,03	0,129
0,136	0,36	0,43	1,11	0,023	0,152	0,36	0,43	1,05	0,025	0,040	0,36	0,43	1,03	0,006	0,719	0,36	0,43	1,03	0,114
0,460	0,36	0,43	1,11	0,079	0,147	0,36	0,43	1,05	0,024	0,104	0,36	0,43	1,03	0,016	0,072	0,36	0,43	1,03	0,011
0,042	0,36	0,43	1,11	0,007	2,077	0,36	0,43	1,05	0,337	0,374	0,36	0,43	1,03	0,059	0,124	0,36	0,43	1,03	0,020
0,090	0,36	0,43	1,11	0,015	0,084	0,36	0,43	1,05	0,014	0,115	0,36	0,43	1,03	0,018	0,000	0,36	0,43	1,03	0,000
0,256	0,36	0,43	1,11	0,044	0,505	0,36	0,43	1,05	0,082	0,642	0,36	0,43	1,03	0,102	0,402	0,36	0,43	1,03	0,064
0,572	0,36	0,43	1,11	0,098	0,230	0,36	0,43	1,05	0,037	0,058	0,36	0,43	1,03	0,009	0,502	0,36	0,43	1,03	0,080
0,848	0,36	0,43	1,11	0,145	0,207	0,36	0,43	1,05	0,034	0,662	0,36	0,43	1,03	0,105	0,207	0,36	0,43	1,03	0,033
0,320	0,36	0,43	1,11	0,055	0,185	0,36	0,43	1,05	0,030	0,075	0,36	0,43	1,03	0,012	0,393	0,36	0,43	1,03	0,062
0,491	0,36	0,43	1,11	0,084	0,104	0,36	0,43	1,05	0,017	0,112	0,36	0,43	1,03	0,018	0,143	0,36	0,43	1,03	0,023
0,302	0,36	0,43	1,11	0,052	0,045	0,36	0,43	1,05	0,007	0,834	0,36	0,43	1,03	0,132	0,223	0,36	0,43	1,03	0,035
0,160	0,36	0,43	1,11	0,027	0,125	0,36	0,43	1,05	0,020	0,696	0,36	0,43	1,03	0,111	0,265	0,36	0,43	1,03	0,042
0,185	0,36	0,43	1,11	0,032	0,054	0,36	0,43	1,05	0,009	0,506	0,36	0,43	1,03	0,080	0,097	0,36	0,43	1,03	0,015
0,276	0,36	0,43	1,11	0,047	0,391	0,36	0,43	1,05	0,063	0,052	0,36	0,43	1,03	0,008	0,266	0,36	0,43	1,03	0,042
0,201	0,36	0,43	1,11	0,034	<b>banco 3</b>					0,164	0,36	0,43	1,03	0,026	0,131	0,36	0,43	1,03	0,021
0,135	0,36	0,43	1,11	0,023	0,098	0,36	0,43	1,03	0,016	0,089	0,36	0,43	1,03	0,014	0,422	0,36	0,43	1,03	0,067
0,181	0,36	0,43	1,11	0,031	0,288	0,36	0,43	1,03	0,046	0,383	0,36	0,43	1,03	0,061	0,045	0,36	0,43	1,03	0,007
0,330	0,36	0,43	1,11	0,057	0,935	0,36	0,43	1,03	0,148	0,058	0,36	0,43	1,03	0,009	0,288	0,36	0,43	1,03	0,046
					0,288	0,36	0,43	1,03	0,046	0,302	0,36	0,43	1,03	0,048	0,122	0,36	0,43	1,03	0,019
					0,078	0,36	0,43	1,03	0,012	0,374	0,36	0,43	1,03	0,059					

**Tabla A4. 13: Vb para la combinación de familias 1-3-8, en función del espaciamiento de la Familia 1. Se incluye: espaciamiento de la Familia 1, media de la FDP asociada al espaciamiento de las Familias 3 y 8 y la constante geométrica  $\omega$  de las familias 1-3-8. Por banco.**

Esp1 (m)	$\overline{S3}$	$\overline{S8}$	$\omega$	Vb138(1) (m <sup>3</sup> )	Esp1 (m)	$\overline{S3}$	$\overline{S8}$	$\omega$	Vb138(1) (m <sup>3</sup> )	Esp1 (m)	$\overline{S3}$	$\overline{S8}$	$\omega$	Vb138(1) (m <sup>3</sup> )	Esp1 (m)	$\overline{S3}$	$\overline{S8}$	$\omega$	Vb138(1) (m <sup>3</sup> )
<b>banco 1</b>					<b>banco 2</b>					<b>banco 3</b>									
0,199	1,2	0,30	1,10	0,079	0,350	1,2	0,30	1,10	0,139	0,613	1,2	0,30	1,10	0,244	2,177	1,2	0,30	1,07	0,841
0,029	1,2	0,30	1,10	0,012	0,234	1,2	0,30	1,10	0,093	0,321	1,2	0,30	1,10	0,128	1,354	1,2	0,30	1,07	0,523
0,058	1,2	0,30	1,10	0,023	0,175	1,2	0,30	1,10	0,070	0,584	1,2	0,30	1,10	0,232	0,508	1,2	0,30	1,07	0,196
0,689	1,2	0,30	1,10	0,274	1,647	1,2	0,30	1,10	0,655	0,380	1,2	0,30	1,10	0,151	1,563	1,2	0,30	1,07	0,604
1,039	1,2	0,30	1,10	0,413	0,707	1,2	0,30	1,10	0,281	0,601	1,2	0,30	1,10	0,239	0,384	1,2	0,30	1,07	0,148
0,368	1,2	0,30	1,10	0,146	0,391	1,2	0,30	1,10	0,156	<b>banco 2</b>					0,463	1,2	0,30	1,07	0,179
0,426	1,2	0,30	1,10	0,169	0,134	1,2	0,30	1,10	0,053	0,281	1,2	0,30	1,08	0,110	0,299	1,2	0,30	1,07	0,116
1,518	1,2	0,30	1,10	0,604	0,321	1,2	0,30	1,10	0,128	0,517	1,2	0,30	1,08	0,202	0,942	1,2	0,30	1,07	0,364
0,105	1,2	0,30	1,10	0,042	0,234	1,2	0,30	1,10	0,093	0,000	1,2	0,30	1,08	0,000	0,976	1,2	0,30	1,07	0,377
0,070	1,2	0,30	1,10	0,028	0,076	1,2	0,30	1,10	0,030	1,408	1,2	0,30	1,08	0,550	0,733	1,2	0,30	1,07	0,283
0,485	1,2	0,30	1,10	0,193	0,053	1,2	0,30	1,10	0,021	0,164	1,2	0,30	1,08	0,064	1,128	1,2	0,30	1,07	0,436
0,304	1,2	0,30	1,10	0,121	0,146	1,2	0,30	1,10	0,058	0,429	1,2	0,30	1,08	0,168	0,745	1,2	0,30	1,07	0,288
0,169	1,2	0,30	1,10	0,067	0,082	1,2	0,30	1,10	0,033	0,241	1,2	0,30	1,08	0,094	2,640	1,2	0,30	1,07	1,020
0,000	1,2	0,30	1,10	0,000	0,058	1,2	0,30	1,10	0,023	0,353	1,2	0,30	1,08	0,138	0,288	1,2	0,30	1,07	0,111
0,677	1,2	0,30	1,10	0,269	0,029	1,2	0,30	1,10	0,012	1,452	1,2	0,30	1,08	0,567	0,192	1,2	0,30	1,07	0,074
0,672	1,2	0,30	1,10	0,267	0,000	1,2	0,30	1,10	0,000	0,092	1,2	0,30	1,08	0,036	0,705	1,2	0,30	1,07	0,272
0,339	1,2	0,30	1,10	0,135	1,174	1,2	0,30	1,10	0,467	0,950	1,2	0,30	1,08	0,371	0,338	1,2	0,30	1,07	0,131
0,561	1,2	0,30	1,10	0,223	0,128	1,2	0,30	1,10	0,051	0,088	1,2	0,30	1,08	0,034	0,423	1,2	0,30	1,07	0,163
0,450	1,2	0,30	1,10	0,179	0,426	1,2	0,30	1,10	0,169	2,021	1,2	0,30	1,08	0,789	0,508	1,2	0,30	1,07	0,196
0,315	1,2	0,30	1,10	0,125	0,467	1,2	0,30	1,10	0,186	0,954	1,2	0,30	1,08	0,373	0,395	1,2	0,30	1,07	0,153
0,362	1,2	0,30	1,10	0,144	0,175	1,2	0,30	1,10	0,070	2,021	1,2	0,30	1,08	0,789	0,395	1,2	0,30	1,07	0,153
0,672	1,2	0,30	1,10	0,267	0,175	1,2	0,30	1,10	0,070	0,056	1,2	0,30	1,08	0,022	0,226	1,2	0,30	1,07	0,087
0,187	1,2	0,30	1,10	0,074	0,642	1,2	0,30	1,10	0,255	0,084	1,2	0,30	1,08	0,033	0,113	1,2	0,30	1,07	0,044
0,181	1,2	0,30	1,10	0,072	0,893	1,2	0,30	1,10	0,355	0,557	1,2	0,30	1,08	0,218	0,479	1,2	0,30	1,07	0,185
0,298	1,2	0,30	1,10	0,118	0,245	1,2	0,30	1,10	0,098	<b>banco 3</b>					0,733	1,2	0,30	1,07	0,283
0,152	1,2	0,30	1,10	0,060	0,193	1,2	0,30	1,10	0,077	0,338	1,2	0,30	1,07	0,131	0,384	1,2	0,30	1,07	0,148
0,088	1,2	0,30	1,10	0,035	0,450	1,2	0,30	1,10	0,179	0,637	1,2	0,30	1,07	0,246	0,463	1,2	0,30	1,07	0,179
					0,158	1,2	0,30	1,10	0,063	1,472	1,2	0,30	1,07	0,569	0,169	1,2	0,30	1,07	0,065

**Tabla A4. 14: Vb para la combinación de familias 1-3-8, en función del espaciamiento de la Familia 3. Se incluye: espaciamiento de la Familia 3, media de la FDP asociada al espaciamiento de las Familias 1 y 8 y la constante geométrica  $\omega$  de las familias 1-3-8. Por banco.**

Esp3 (m)	$\overline{S1}$	$\overline{S8}$	$\omega$	Vb138(3) (m <sup>3</sup> )	Esp3 (m)	$\overline{S1}$	$\overline{S8}$	$\omega$	Vb138(3) (m <sup>3</sup> )	Esp3 (m)	$\overline{S1}$	$\overline{S8}$	$\omega$	Vb138(3) (m <sup>3</sup> )	Esp3 (m)	$\overline{S1}$	$\overline{S8}$	$\omega$	Vb138(3) (m <sup>3</sup> )
<b>banco 1</b>					<b>banco 2</b>					<b>banco 3</b>									
1,066	0,53	0,30	1,10	0,187	0,289	0,53	0,30	1,10	0,051	0,789	0,53	0,30	1,07	0,135	2,644	0,53	0,30	1,07	0,451
0,479	0,53	0,30	1,10	0,084	0,620	0,53	0,30	1,10	0,109	0,118	0,53	0,30	1,07	0,020	0,126	0,53	0,30	1,07	0,022
1,793	0,53	0,30	1,10	0,315	<b>banco 2</b>					3,868	0,53	0,30	1,07	0,660	0,781	0,53	0,30	1,07	0,133
1,214	0,53	0,30	1,10	0,213	0,545	0,53	0,30	1,08	0,094	1,816	0,53	0,30	1,07	0,310	0,474	0,53	0,30	1,07	0,081
0,041	0,53	0,30	1,10	0,007	1,612	0,53	0,30	1,08	0,278	0,568	0,53	0,30	1,07	0,097	2,052	0,53	0,30	1,07	0,350
0,149	0,53	0,30	1,10	0,026	0,207	0,53	0,30	1,08	0,036	0,063	0,53	0,30	1,07	0,011	1,302	0,53	0,30	1,07	0,222
1,355	0,53	0,30	1,10	0,238	2,916	0,53	0,30	1,08	0,503	1,918	0,53	0,30	1,07	0,327	0,276	0,53	0,30	1,07	0,047
1,487	0,53	0,30	1,10	0,261	1,650	0,53	0,30	1,08	0,285	0,237	0,53	0,30	1,07	0,040	0,395	0,53	0,30	1,07	0,067
1,999	0,53	0,30	1,10	0,351	1,366	0,53	0,30	1,08	0,236	3,292	0,53	0,30	1,07	0,562	0,316	0,53	0,30	1,07	0,054
3,486	0,53	0,30	1,10	0,612	0,537	0,53	0,30	1,08	0,093	1,342	0,53	0,30	1,07	0,229	0,142	0,53	0,30	1,07	0,024
0,975	0,53	0,30	1,10	0,171	2,164	0,53	0,30	1,08	0,373	1,105	0,53	0,30	1,07	0,189	0,079	0,53	0,30	1,07	0,013
4,255	0,53	0,30	1,10	0,747	0,499	0,53	0,30	1,08	0,086	0,197	0,53	0,30	1,07	0,034	1,673	0,53	0,30	1,07	0,286
0,107	0,53	0,30	1,10	0,019	2,157	0,53	0,30	1,08	0,372	0,276	0,53	0,30	1,07	0,047					
1,338	0,53	0,30	1,10	0,235	<b>banco 3</b>					0,237	0,53	0,30	1,07	0,040					
					1,973	0,53	0,30	1,07	0,337	2,210	0,53	0,30	1,07	0,377					

**Tabla A4. 15: Vb para la combinación de familias 1-3-8, en función del espaciamiento de la Familia 8. Se incluye: espaciamiento de la Familia 8, media de la FDP asociada al espaciamiento de las Familias 1 y 3 y la constante geométrica  $\omega$  de las familias 1-3-8. Por banco.**

Esp8 (m)	$\overline{S1}$	$\overline{S3}$	$\omega$	Vb138(8) (m <sup>3</sup> )	Esp8 (m)	$\overline{S1}$	$\overline{S3}$	$\omega$	Vb138(8) (m <sup>3</sup> )	Esp8 (m)	$\overline{S1}$	$\overline{S3}$	$\omega$	Vb138(8) (m <sup>3</sup> )	Esp8 (m)	$\overline{S1}$	$\overline{S3}$	$\omega$	Vb138(8) (m <sup>3</sup> )
<b>banco 1</b>					<b>banco 3</b>														
0,394	0,53	1,20	1,10	0,277	0,114	0,53	1,20	1,08	0,079	0,098	0,53	1,20	1,07	0,067	0,575	0,53	1,20	1,07	0,393
0,138	0,53	1,20	1,10	0,097	0,325	0,53	1,20	1,08	0,224	0,032	0,53	1,20	1,07	0,022	0,138	0,53	1,20	1,07	0,094
0,110	0,53	1,20	1,10	0,077	1,266	0,53	1,20	1,08	0,873	0,052	0,53	1,20	1,07	0,035	0,811	0,53	1,20	1,07	0,554
0,136	0,53	1,20	1,10	0,095	0,152	0,53	1,20	1,08	0,105	0,040	0,53	1,20	1,07	0,027	0,719	0,53	1,20	1,07	0,491
0,460	0,53	1,20	1,10	0,323	0,147	0,53	1,20	1,08	0,101	0,104	0,53	1,20	1,07	0,071	0,072	0,53	1,20	1,07	0,049
0,042	0,53	1,20	1,10	0,029	2,077	0,53	1,20	1,08	1,433	0,374	0,53	1,20	1,07	0,255	0,124	0,53	1,20	1,07	0,084
0,090	0,53	1,20	1,10	0,063	0,084	0,53	1,20	1,08	0,058	0,115	0,53	1,20	1,07	0,079	0,000	0,53	1,20	1,07	0,000
0,256	0,53	1,20	1,10	0,180	0,505	0,53	1,20	1,08	0,348	0,642	0,53	1,20	1,07	0,438	0,402	0,53	1,20	1,07	0,275
0,572	0,53	1,20	1,10	0,402	0,230	0,53	1,20	1,08	0,159	0,058	0,53	1,20	1,07	0,039	0,502	0,53	1,20	1,07	0,342
0,848	0,53	1,20	1,10	0,596	0,207	0,53	1,20	1,08	0,143	0,662	0,53	1,20	1,07	0,452	0,207	0,53	1,20	1,07	0,142
0,320	0,53	1,20	1,10	0,225	0,185	0,53	1,20	1,08	0,128	0,075	0,53	1,20	1,07	0,051	0,393	0,53	1,20	1,07	0,268
0,491	0,53	1,20	1,10	0,345	0,104	0,53	1,20	1,08	0,072	0,112	0,53	1,20	1,07	0,077	0,143	0,53	1,20	1,07	0,097
0,302	0,53	1,20	1,10	0,212	0,045	0,53	1,20	1,08	0,031	0,834	0,53	1,20	1,07	0,570	0,223	0,53	1,20	1,07	0,152
0,160	0,53	1,20	1,10	0,112	0,125	0,53	1,20	1,08	0,086	0,696	0,53	1,20	1,07	0,475	0,265	0,53	1,20	1,07	0,181
0,185	0,53	1,20	1,10	0,130	0,054	0,53	1,20	1,08	0,037	0,506	0,53	1,20	1,07	0,346	0,097	0,53	1,20	1,07	0,066
0,276	0,53	1,20	1,10	0,194	0,391	0,53	1,20	1,08	0,270	0,052	0,53	1,20	1,07	0,035	0,266	0,53	1,20	1,07	0,181
0,201	0,53	1,20	1,10	0,142	<b>banco 3</b>					0,164	0,53	1,20	1,07	0,112	0,131	0,53	1,20	1,07	0,090
0,135	0,53	1,20	1,10	0,095	0,098	0,53	1,20	1,07	0,067	0,089	0,53	1,20	1,07	0,061	0,422	0,53	1,20	1,07	0,288
0,181	0,53	1,20	1,10	0,127	0,288	0,53	1,20	1,07	0,196	0,383	0,53	1,20	1,07	0,261	0,045	0,53	1,20	1,07	0,031
0,330	0,53	1,20	1,10	0,232	0,935	0,53	1,20	1,07	0,638	0,058	0,53	1,20	1,07	0,039	0,288	0,53	1,20	1,07	0,196
					0,288	0,53	1,20	1,07	0,196	0,302	0,53	1,20	1,07	0,206	0,122	0,53	1,20	1,07	0,083
					0,078	0,53	1,20	1,07	0,053	0,374	0,53	1,20	1,07	0,255					

Base de datos para el Volumen del bloque, obtenido de la medición directa en terreno del largo de los lados característicos que definen los bloques:

**Tabla A4. 16: Vb obtenido vía medición de bloques en terreno, para los casos en que  $\omega = 0$ ,  $\omega = 1,1$  y  $\omega = 1,8$ .**

Vb <sub>0</sub> (m <sup>3</sup> )					Vb <sub>0</sub> *1,1 (m <sup>3</sup> )					Vb <sub>0</sub> *1,8 (m <sup>3</sup> )				
0,006	0,014	0,024	0,006	0,009	0,006	0,015	0,026	0,007	0,010	0,010	0,025	0,042	0,011	0,016
0,002	0,001	0,003	0,003	0,002	0,002	0,001	0,003	0,004	0,003	0,004	0,002	0,005	0,006	0,004
0,264	0,003	0,001	0,001	0,010	0,290	0,004	0,001	0,001	0,012	0,475	0,006	0,002	0,002	0,019
0,003	0,004	0,010	0,002	0,001	0,003	0,004	0,011	0,003	0,001	0,006	0,007	0,018	0,004	0,002
0,026	0,004	0,005	0,002	0,002	0,029	0,004	0,006	0,002	0,003	0,048	0,006	0,009	0,004	0,004
0,004	0,026	0,007	0,003	0,038	0,005	0,029	0,008	0,003	0,042	0,008	0,048	0,012	0,005	0,069
0,002	0,001	0,015	0,001	0,004	0,002	0,001	0,016	0,001	0,004	0,003	0,002	0,026	0,002	0,007
0,012	0,001	0,003	0,057	0,002	0,013	0,001	0,004	0,062	0,002	0,022	0,001	0,006	0,102	0,004
0,035	0,002	0,001	0,007	0,001	0,038	0,002	0,001	0,008	0,001	0,062	0,004	0,002	0,012	0,001
0,001	0,004	0,004	0,005	0,001	0,001	0,004	0,005	0,005	0,001	0,002	0,006	0,007	0,009	0,002
0,005	0,010	0,005	0,006	0,002	0,006	0,011	0,006	0,006	0,002	0,010	0,017	0,009	0,010	0,003
0,039	0,017	0,004	0,001	0,009	0,042	0,019	0,005	0,002	0,010	0,069	0,030	0,008	0,003	0,016
0,010	0,001	0,011	0,010	0,004	0,011	0,001	0,012	0,011	0,004	0,019	0,002	0,020	0,019	0,007
0,006	0,001	0,004	0,001	0,004	0,007	0,001	0,004	0,001	0,005	0,011	0,002	0,007	0,002	0,008
0,002	0,004	0,001	0,006	0,001	0,002	0,005	0,002	0,006	0,001	0,003	0,008	0,003	0,010	0,002
0,002	0,003	0,001	0,001	0,001	0,002	0,003	0,002	0,001	0,001	0,003	0,005	0,003	0,002	0,002
0,003	0,009	0,032	0,001	0,001	0,004	0,010	0,036	0,001	0,001	0,006	0,017	0,058	0,002	0,002
0,001	0,003	0,001	0,004	0,001	0,002	0,004	0,001	0,004	0,002	0,003	0,006	0,002	0,007	0,003
0,004	0,002	0,006	0,004	0,004	0,005	0,002	0,006	0,005	0,004	0,008	0,003	0,010	0,007	0,006
0,018	0,002	0,006	0,001	0,004	0,019	0,002	0,007	0,002	0,004	0,032	0,003	0,011	0,003	0,007
0,001	0,003	0,000	0,002	0,001	0,001	0,003	0,000	0,002	0,001	0,002	0,005	0,001	0,003	0,002
0,011	0,002	0,007	0,004	0,008	0,012	0,002	0,008	0,004	0,008	0,020	0,004	0,013	0,006	0,014

## ANEXO 5. Manteo aparente

El manteo de un plano cualquiera —siendo como por ejemplo, el representativo de una discontinuidad o un estrato—, es el ángulo de inclinación de su línea de máxima pendiente. Cualquier otra línea contenida en el plano tendrá un ángulo de inclinación menor. Este ángulo es el denominado manteo aparente.

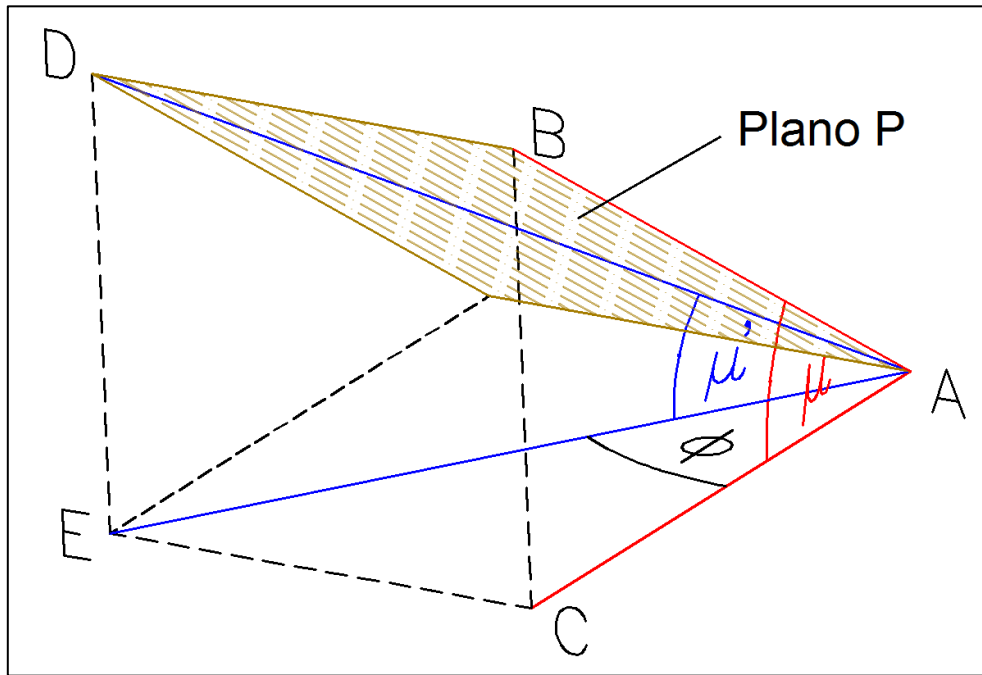


Figura A5. 1: Plano P inclinado  $\mu$ -grados respecto a la horizontal. Rectas AB y AD contenidas en el plano, donde la primera es la de máxima pendiente. En la figura  $\mu=34^\circ$ ,  $\mu'=29^\circ$ ,  $\phi=34^\circ$ .

La Figura A5. 1 muestra un plano (P) inclinado  $\mu$ -grados respecto a la horizontal. La recta AD representa una línea contenida en el plano P, siendo la  $\mu'$  la diferencia angular de ella respecto a su proyección horizontal. Sea  $\phi$  la diferencia angular entre los planos que contienen a  $\mu$  y  $\mu'$ . Se denomina a  $\mu$  el manteo real y a  $\mu'$  el manteo aparente del plano P.

De la figura en cuestión se desprenden las siguientes relaciones geométricas:

$$\tan \mu = \overline{BC} / \overline{AC}$$

$$\tan \mu' = \overline{DE} / \overline{AE}$$

$$\cos \phi = \overline{AC} / \overline{AE}$$

Y como  $\overline{BC} = \overline{DE}$ , se cumple:

$$\tan \mu' = \tan \mu \times \cos \phi$$

## ANEXO 6. Estereogramas por intervalos de mapeo

En los estereogramas se muestran las fracturas presentes en los tres bancos (según el mapeo efectuado mediante línea de detalle), por intervalo de mapeo. Se identifican las fallas (F) de las diaclasas (j). Los datos están con corrección de Terzaghi, utilizando Minimum Bias Angle = 15°.

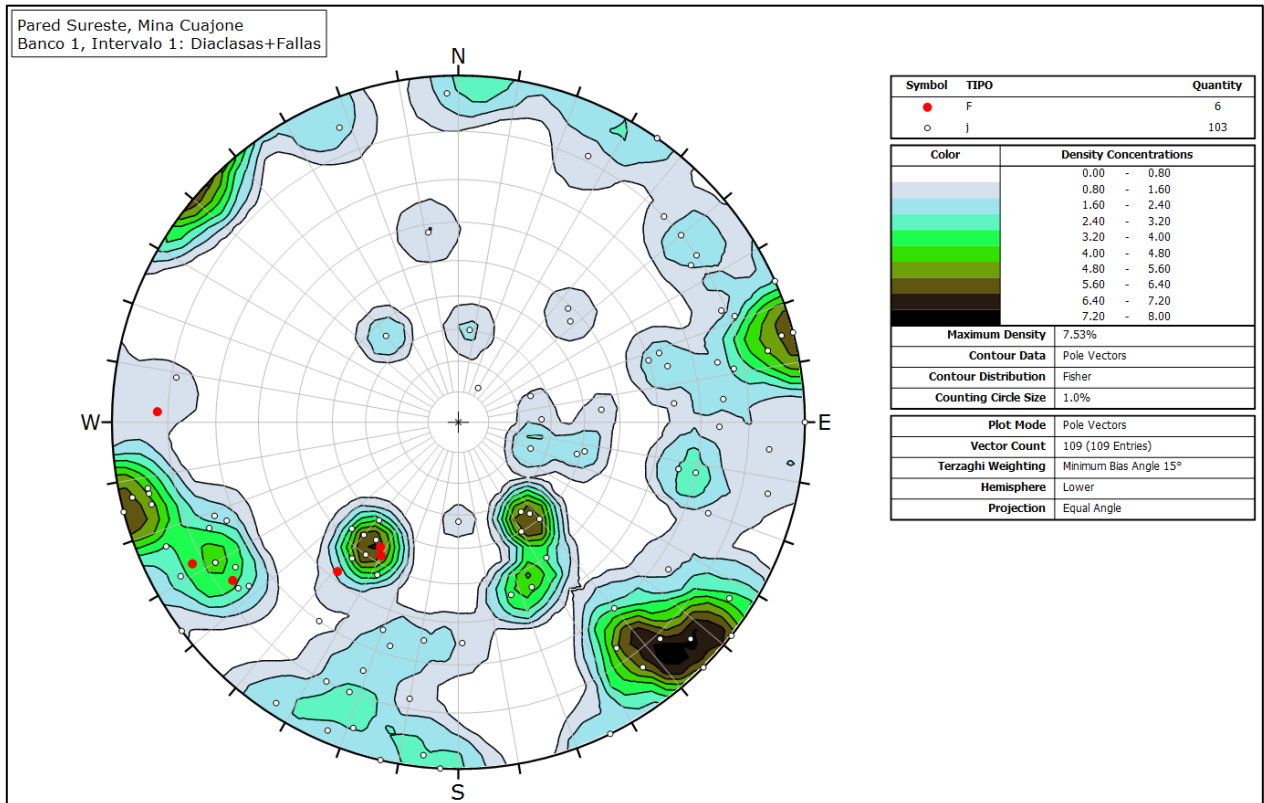


Figura A6. 1: Representación estereográfica de las fracturas presentes en el banco 1, intervalo 1.

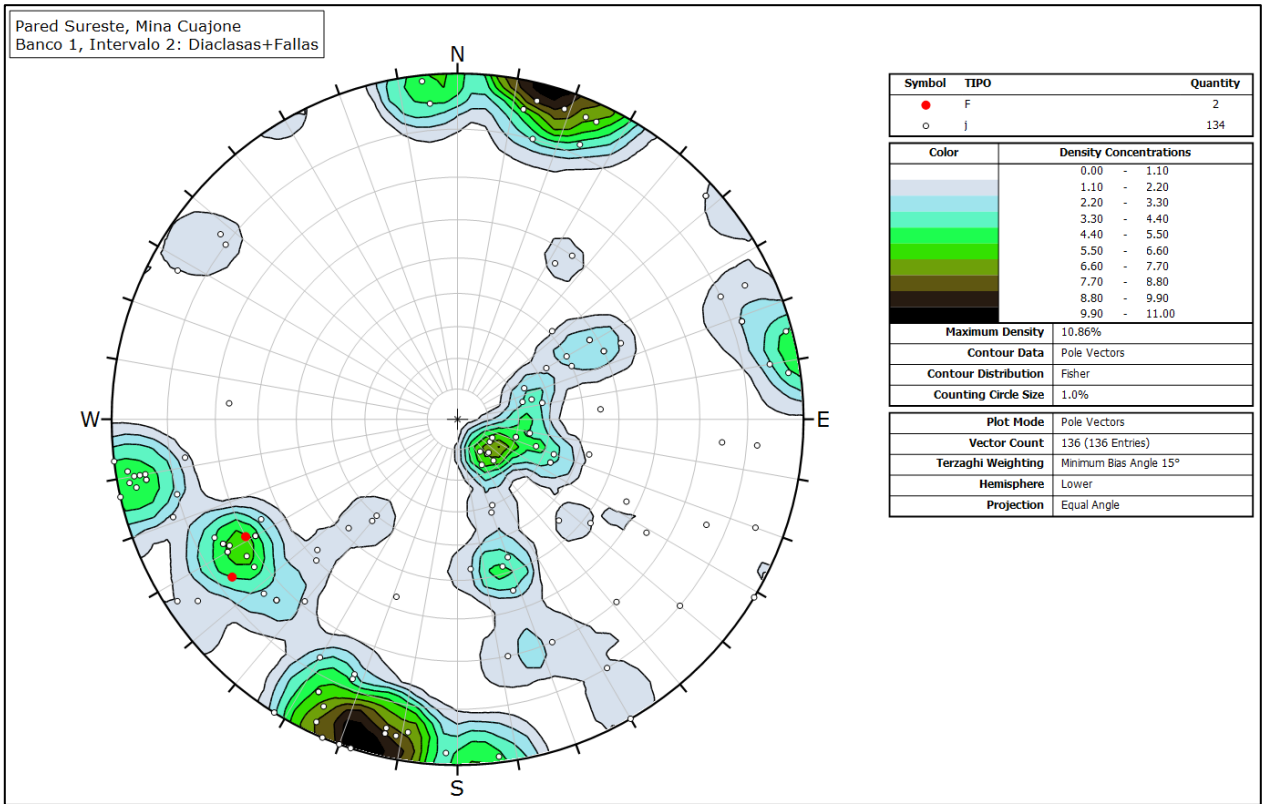


Figura A6. 2: Representación estereográfica de las fracturas presentes en el banco 1, intervalo 2.

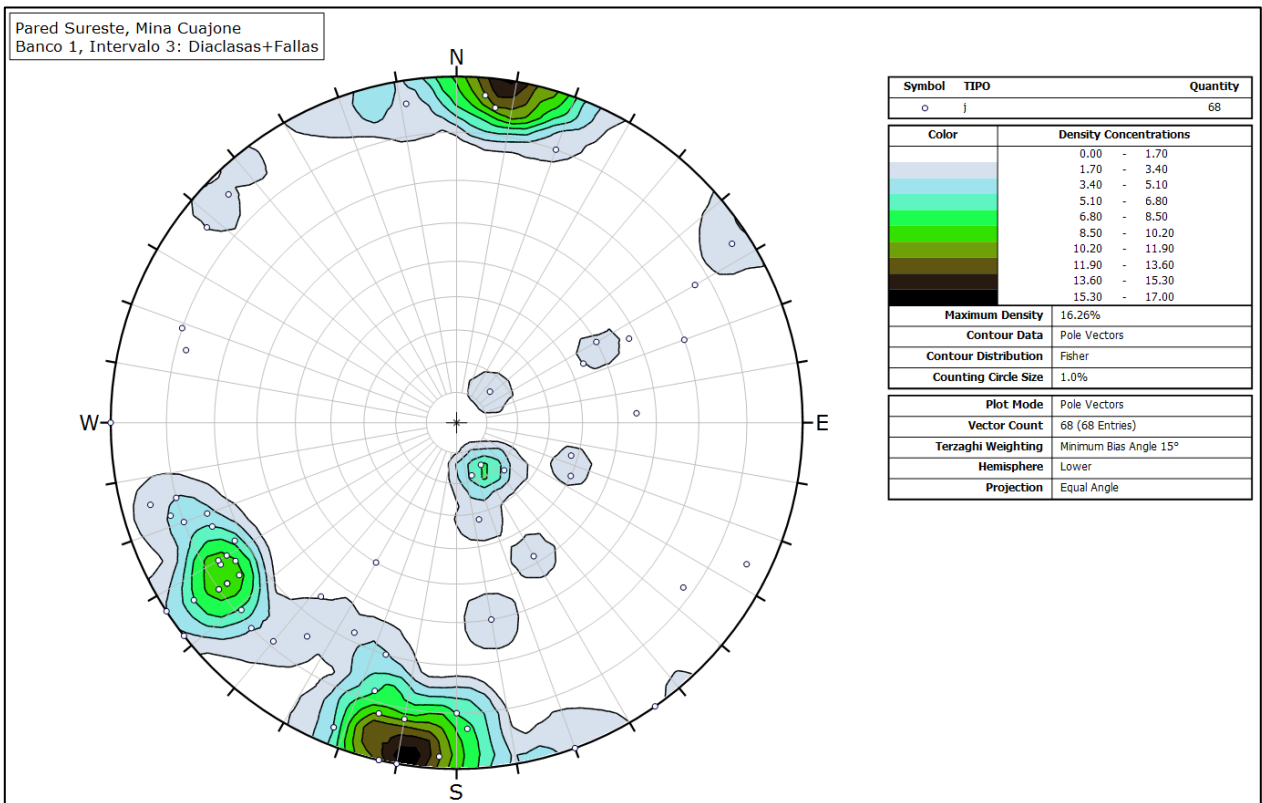


Figura A6. 3: Representación estereográfica de las fracturas presentes en el banco 1, intervalo 3.



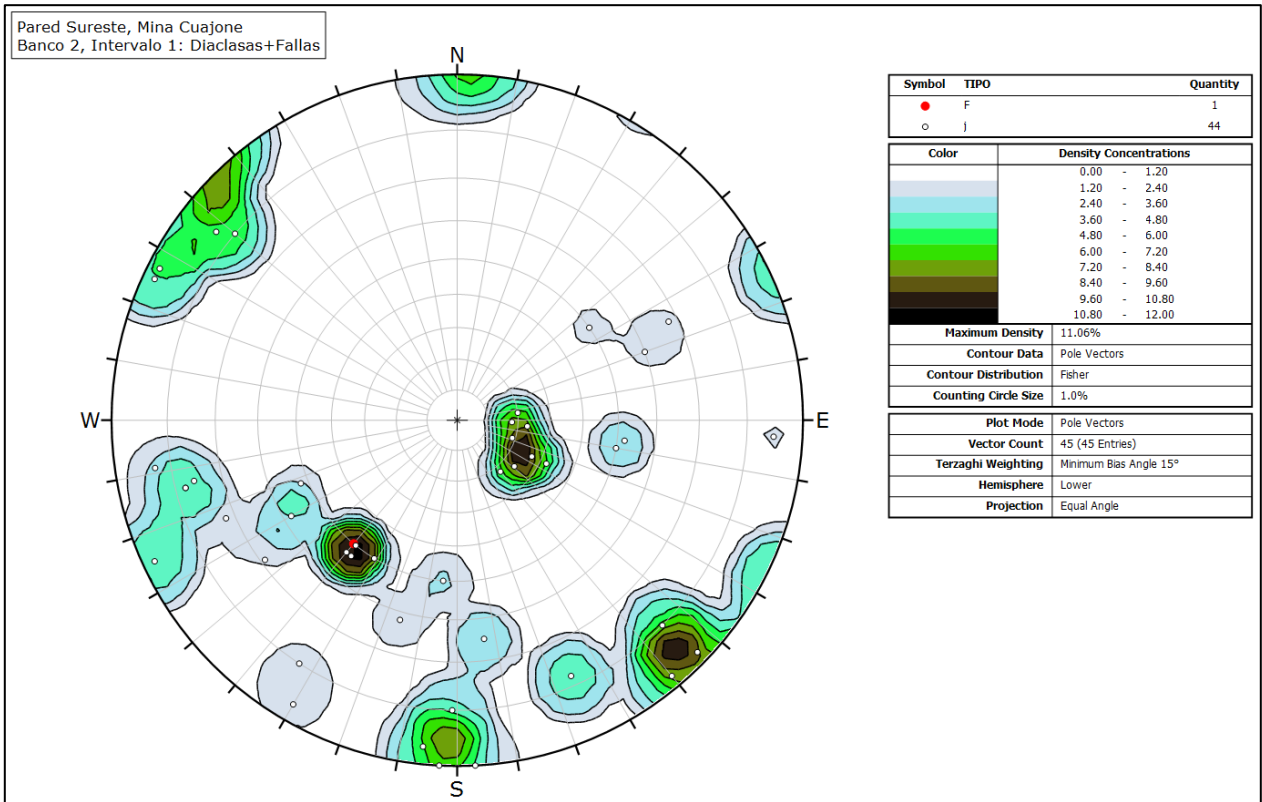


Figura A6. 4: Representación estereográfica de las fracturas presentes en el banco 2, intervalo 1.

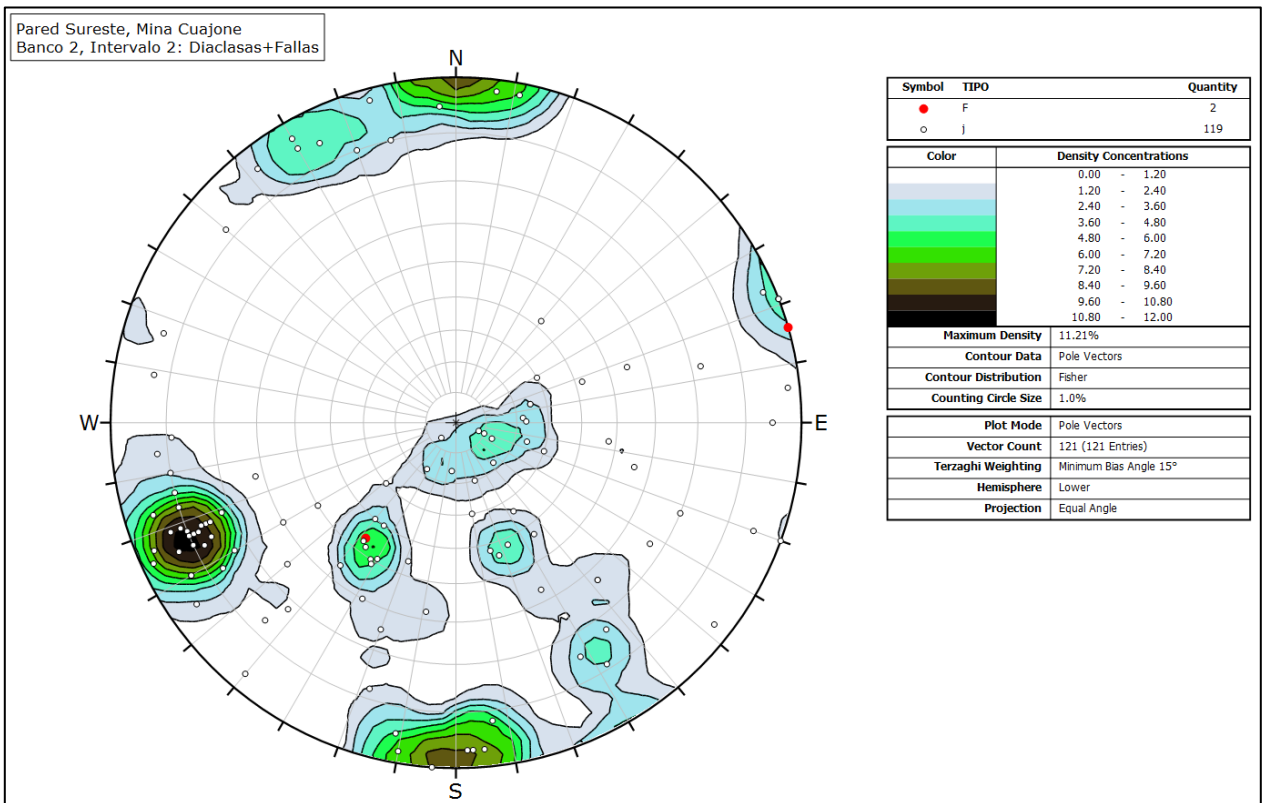


Figura A6. 5 Representación estereográfica de las fracturas presentes en el banco 2, intervalo 2.

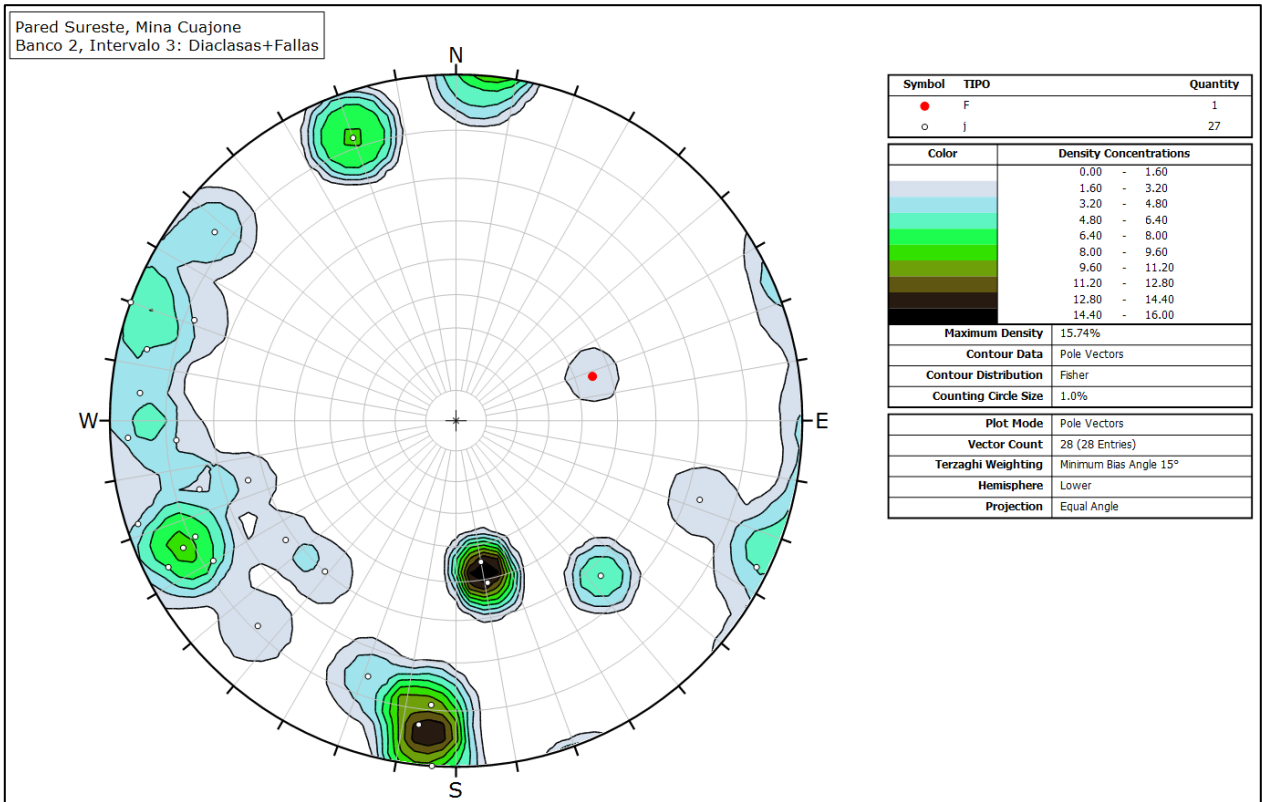


Figura A6. 6: Representación estereográfica de las fracturas presentes en el banco 2, intervalo 3.

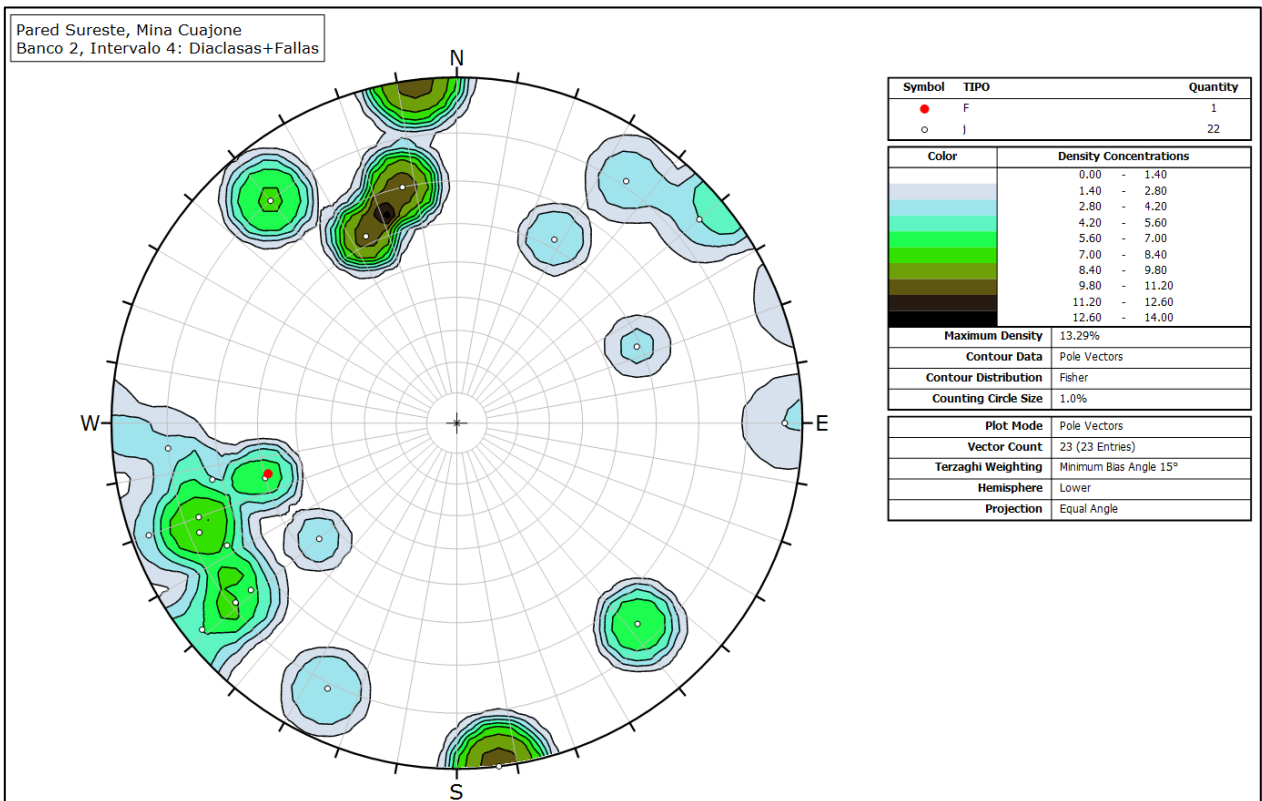


Figura A6. 7: Representación estereográfica de las fracturas presentes en el banco 2, intervalo 4.

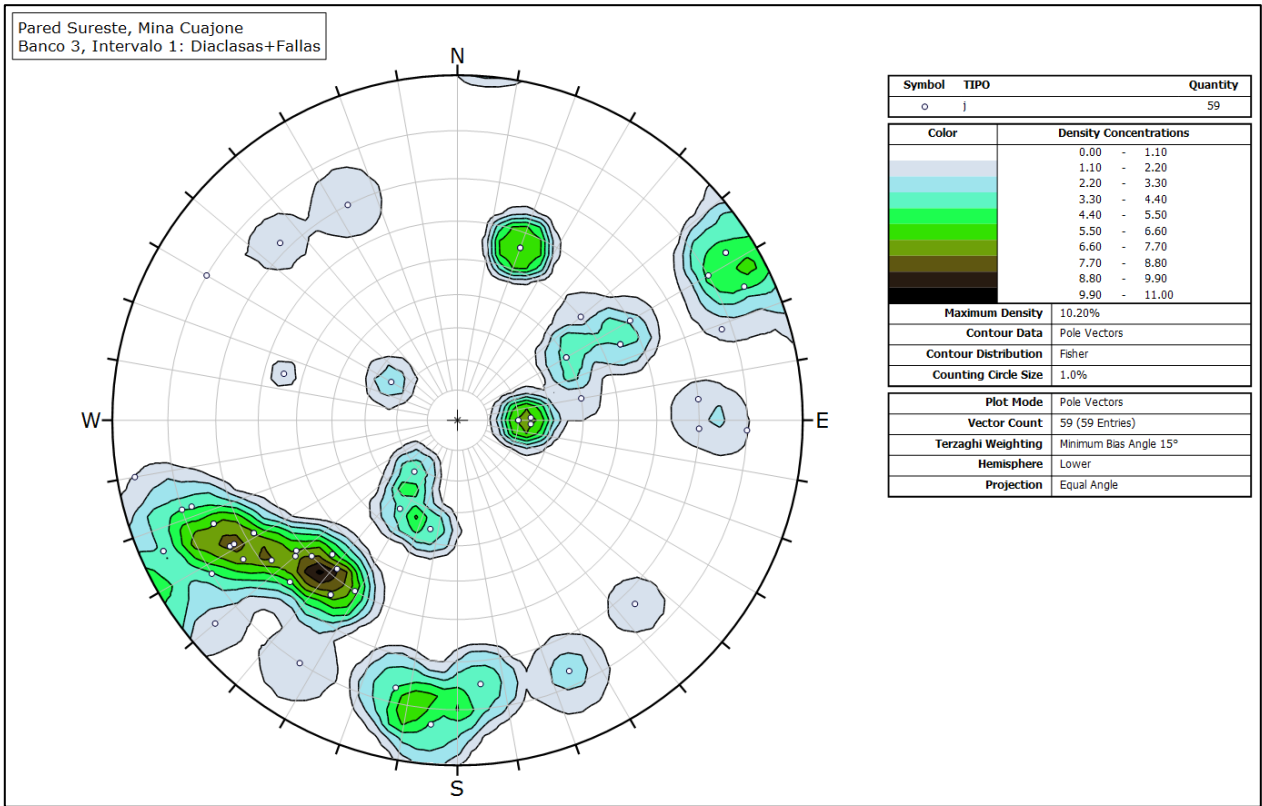


Figura A6. 8: Representación estereográfica de las fracturas presentes en el banco 3, intervalo 1.

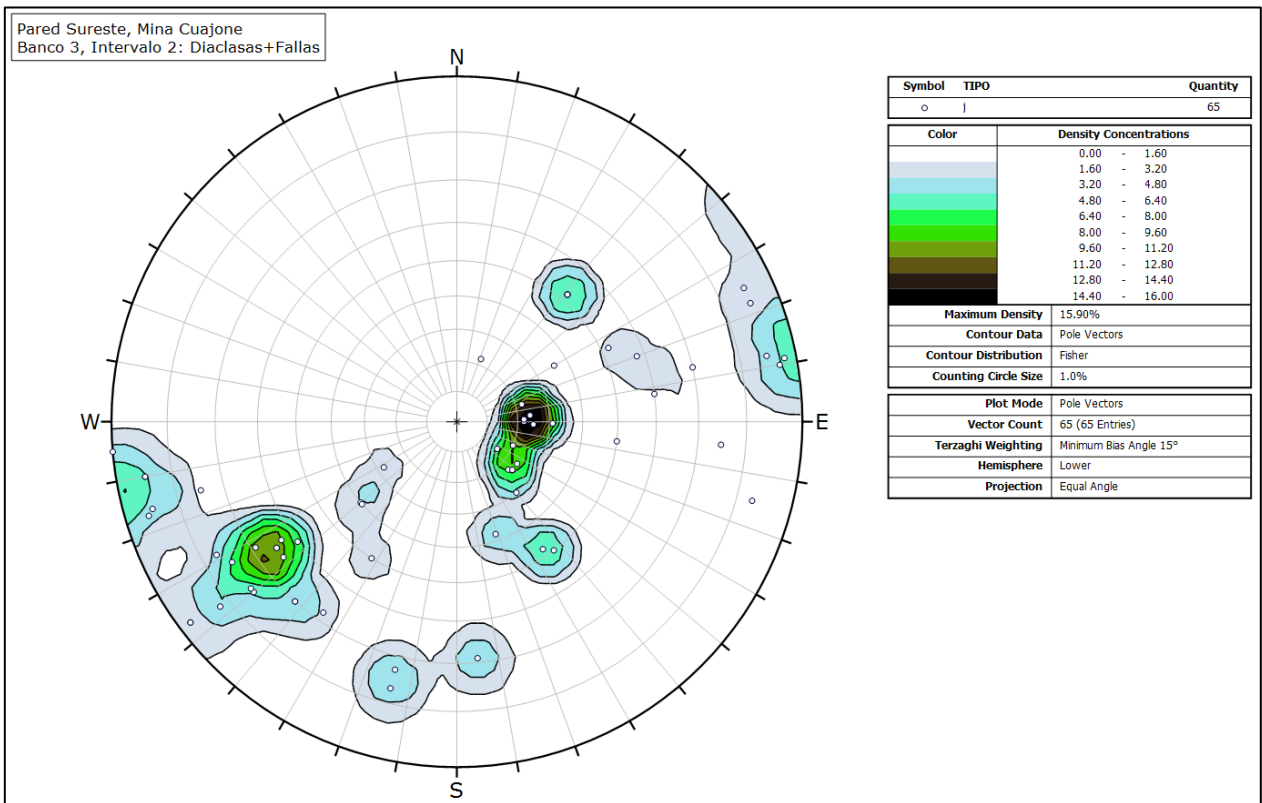


Figura A6. 9: Representación estereográfica de las fracturas presentes en el banco 3, intervalo 2.

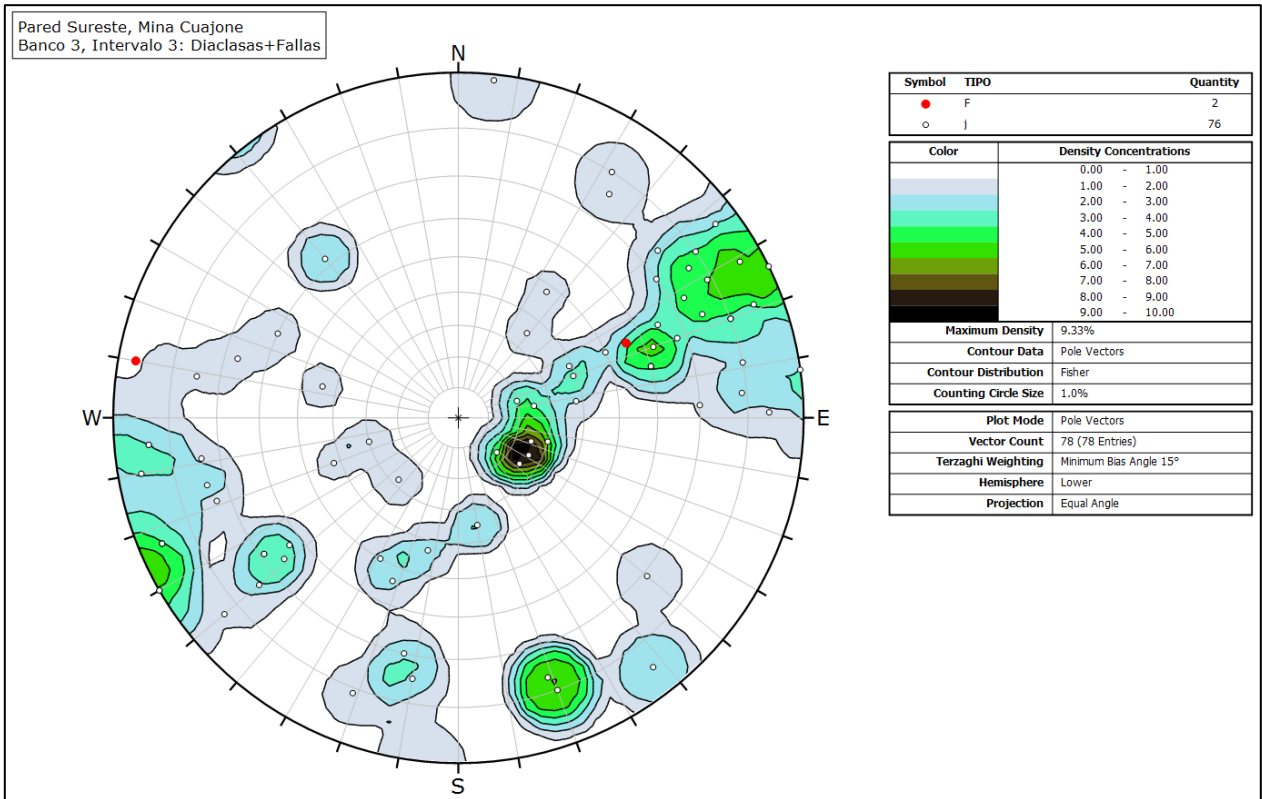


Figura A6. 10: Representación estereográfica de las fracturas presentes en el banco 3, intervalo 3.

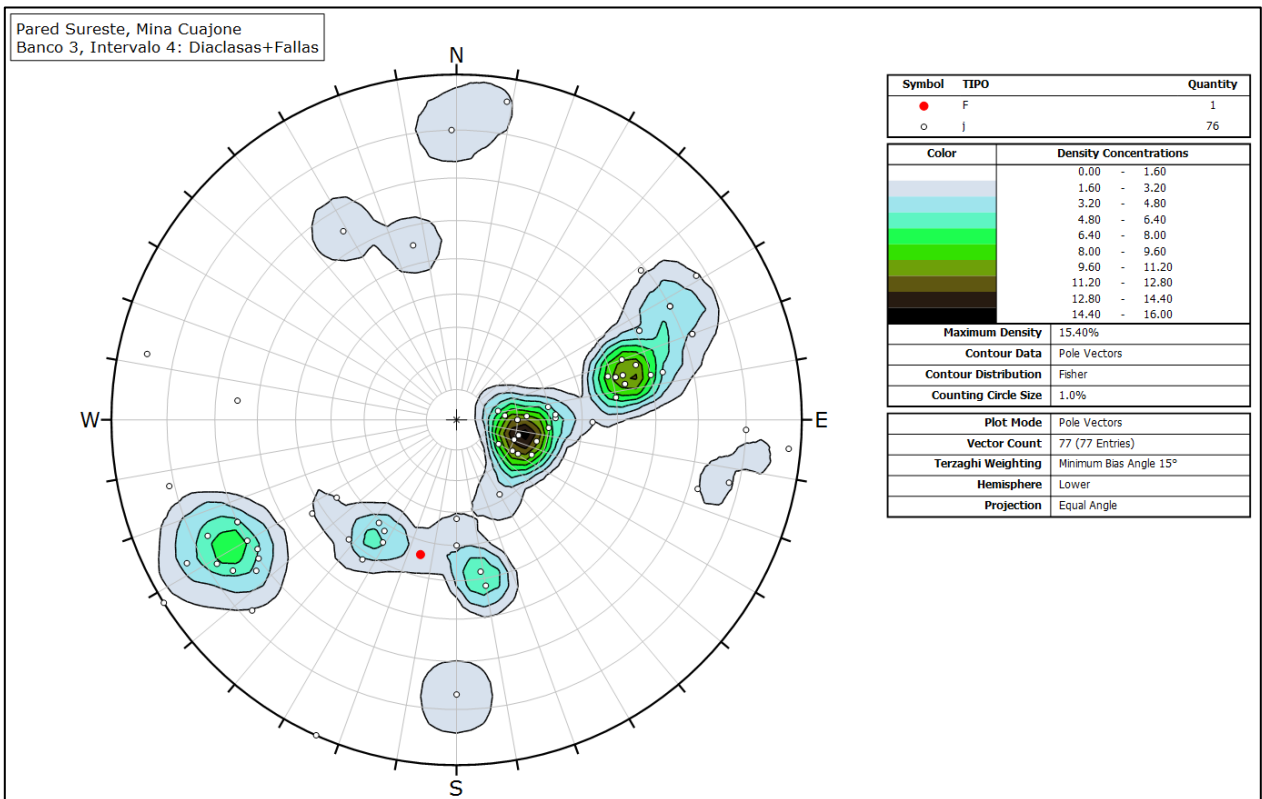


Figura A6. 11: Representación estereográfica de las fracturas presentes en el banco 3, intervalo 4.

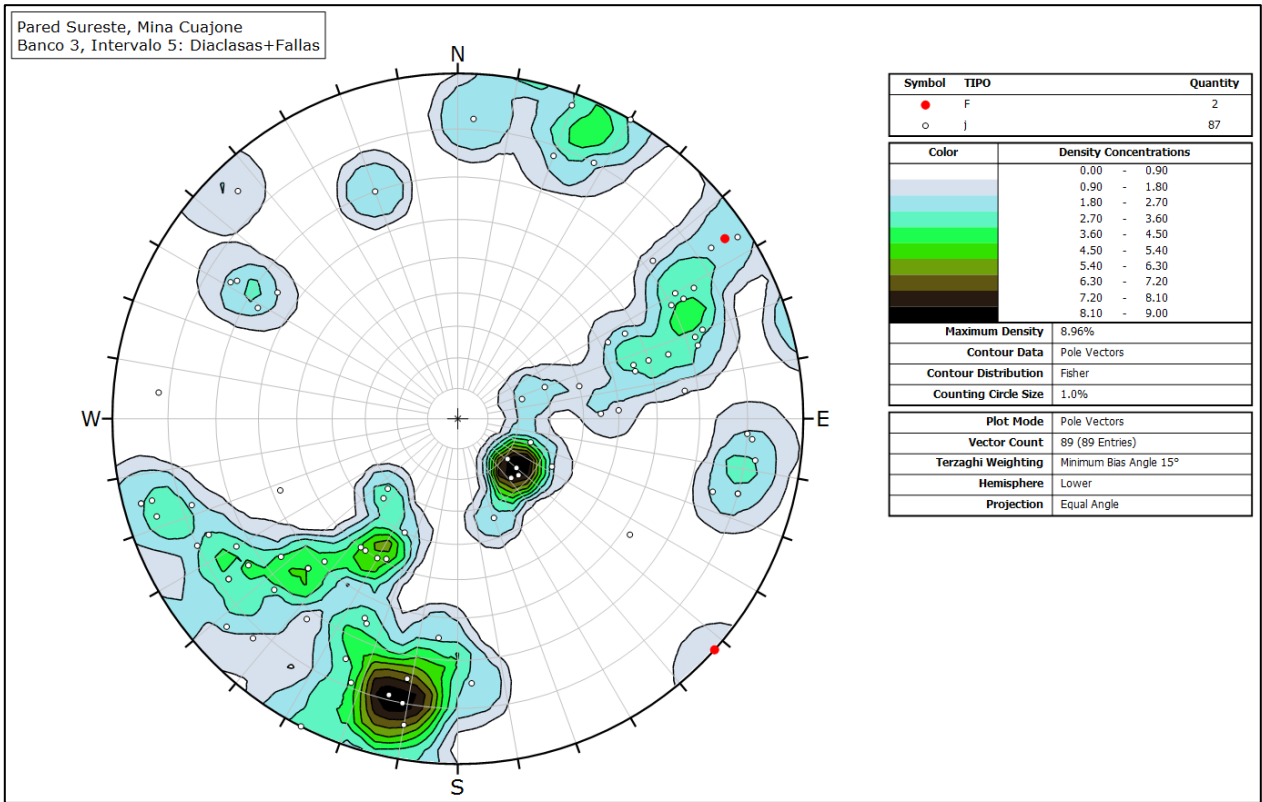


Figura A6. 12: Representación estereográfica de las fracturas presentes en el banco 3, intervalo 5.

## ANEXO 7. Distribuciones de probabilidad continua

A continuación se definen brevemente las distribuciones de probabilidad utilizadas en el presente trabajo.

### Distribución Exponencial

Una variable aleatoria  $X$  sigue una distribución exponencial con tasa  $\lambda > 0$ , si su FDP es:

$$f(x; \lambda) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$$

La media y varianza de  $X$  son respectivamente:

$$E(X) = \frac{1}{\lambda}$$

$$V(X) = \frac{1}{\lambda^2}$$

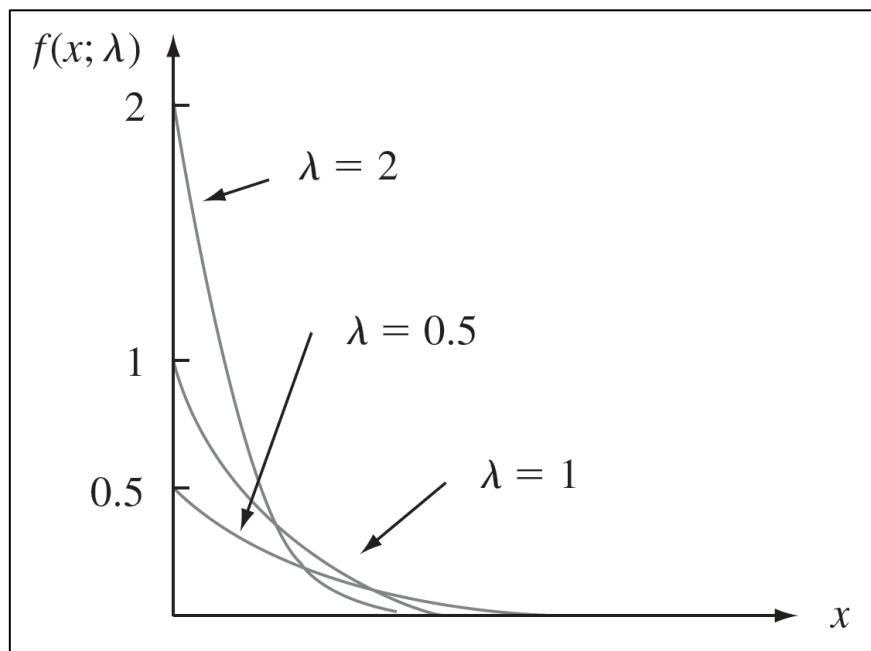


Figura A7. 1: Curvas de FDP exponencial.

## Distribución Gamma

Previamente se define la Función Gamma:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} x^{\alpha-1} e^{-x} dx$$

, con  $\alpha > 0$ . Y se cumplen las siguientes propiedades:

1. Dado cualquier  $\alpha > 1$ ,  $\Gamma(\alpha) = (\alpha - 1) \times \Gamma(\alpha - 1)$
2. Dado cualquier entero positivo  $n$ ,  $\Gamma(n) = (n - 1)!$
3.  $\Gamma\left(\frac{1}{2}\right) = \sqrt{\pi}$

Luego, una variable aleatoria continua  $X$  sigue una distribución gamma si su FDP es:

$$f(x; \alpha, \beta) = \begin{cases} \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$$

, con  $\alpha$  y  $\beta > 0$ . Si  $\beta = 1$ , se denomina distribución gamma estándar. Si  $\alpha = 1$  y  $\beta = 1/\lambda$  se obtiene la distribución exponencial. La media y varianza de  $X$ , que sigue una distribución gamma  $f(x; \alpha, \beta)$  son respectivamente:

$$E(X) = \alpha\beta$$

$$V(X) = \alpha\beta^2$$

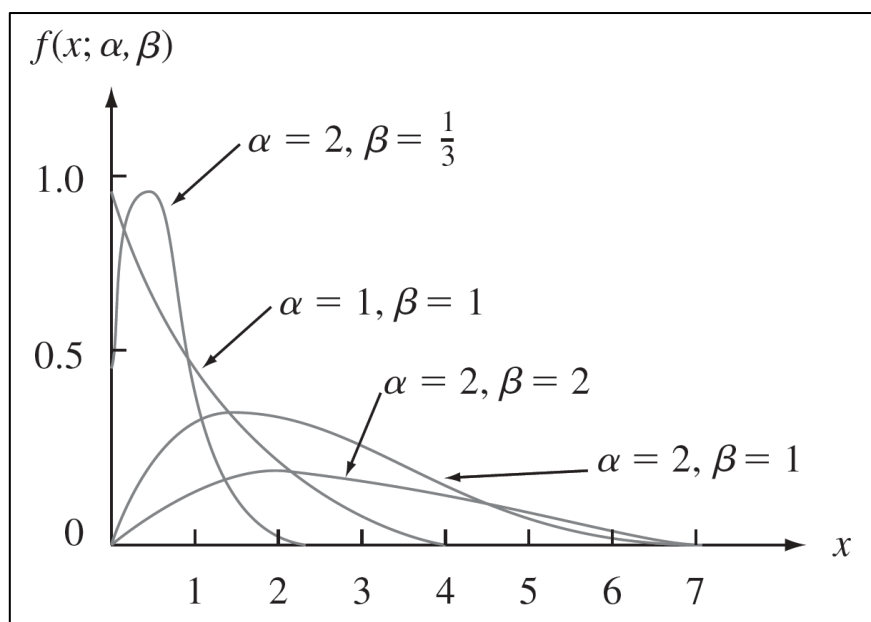


Figura A7. 2: Curvas de FDP gamma.

## Distribución Weibull

Una variable aleatoria  $X$  sigue una distribución Weibull si su FDP es:

$$f(x; \alpha, \beta) = \begin{cases} \frac{\alpha}{\beta^\alpha} x^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$$

, con  $\alpha$  y  $\beta > 0$ , forma y escala de la función respectivamente. La media y varianza de  $X$  son:

$$E(X) = \beta \times \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right) \quad V(X) = \beta^2 \times \left\{ \Gamma\left(1 + \frac{2}{\alpha}\right) - \left[ \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right) \right]^2 \right\}$$

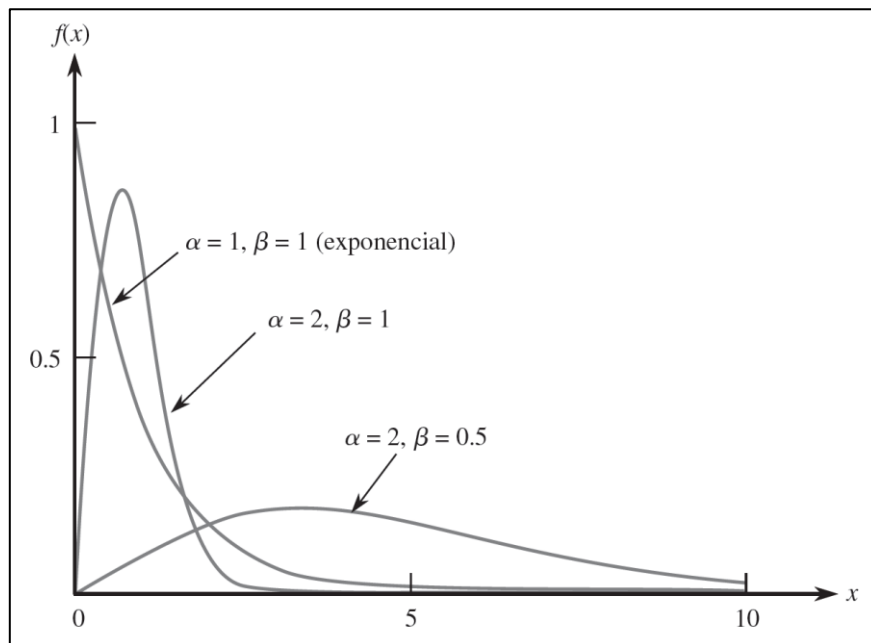


Figura A7. 3: Curvas de FDP Weibull.



## Distribución Log-normal

Una variable aleatoria no negativa  $X$  sigue una distribución log-normal si otra variable  $Y=\ln(X)$  sigue una distribución normal. La FDP de una variable aleatoria log-normal cuando  $\ln(X)$  está normalmente distribuido es:

$$f(x; \mu, \sigma) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma x} e^{-[\ln(x)-\mu]^2/(2\sigma^2)}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$$

, donde  $\mu$  y  $\sigma$  son la media y desviación estándar de  $\ln(X)$ . La media y varianza de  $X$  son respectivamente:

$$E(X) = e^{\mu+\sigma^2/2} \quad V(X) = e^{2\mu+\sigma^2} \times (e^{\sigma^2} - 1)$$

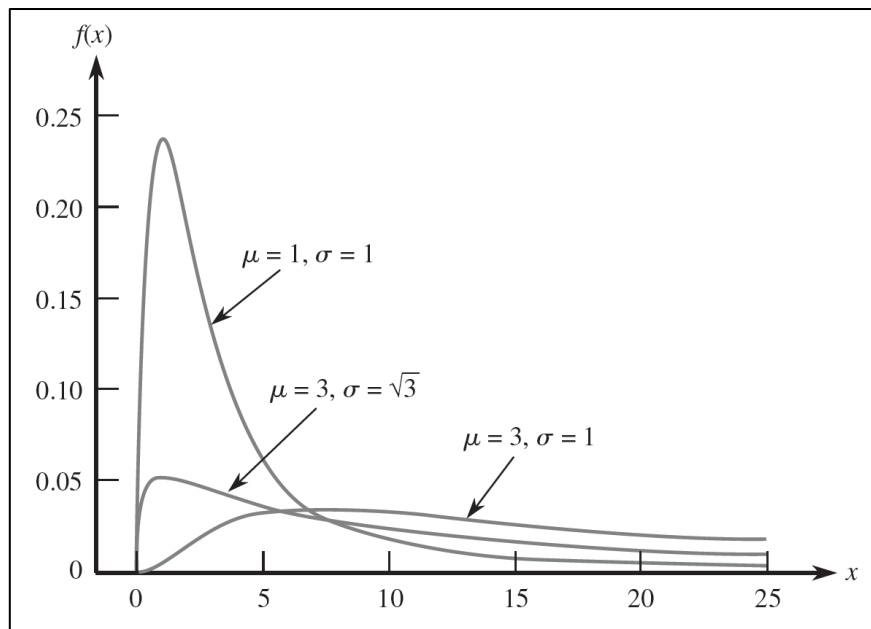


Figura A7. 4: Curvas de FDP log-normal.

## Distribución Beta

Una variable aleatoria  $X$  sigue una distribución Beta si su FDP es:

$$f(x; \alpha, \beta, A, B) = \begin{cases} \frac{1}{B-A} \times \frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha) \times \Gamma(\beta)} \left(\frac{x-A}{B-A}\right)^{\alpha-1} \left(\frac{B-x}{B-A}\right)^{\beta-1}, & A \leq x \leq B \\ 0, & \text{otro caso} \end{cases}$$

, con  $\alpha$  y  $\beta > 0$ ; y  $A, B$  las cotas del intervalo de valores que puede tomar la variable aleatoria. Si  $A = 0, B = 1$ , se denomina distribución beta estándar. La media y varianza de  $X$  son respectivamente:

$$E(X) = A + (B - A) \times \frac{\alpha}{\alpha + \beta} \quad V(X) = \frac{(B - A)^2 \times \alpha\beta}{(\alpha + \beta)^2 \times (\alpha + \beta + 1)}$$

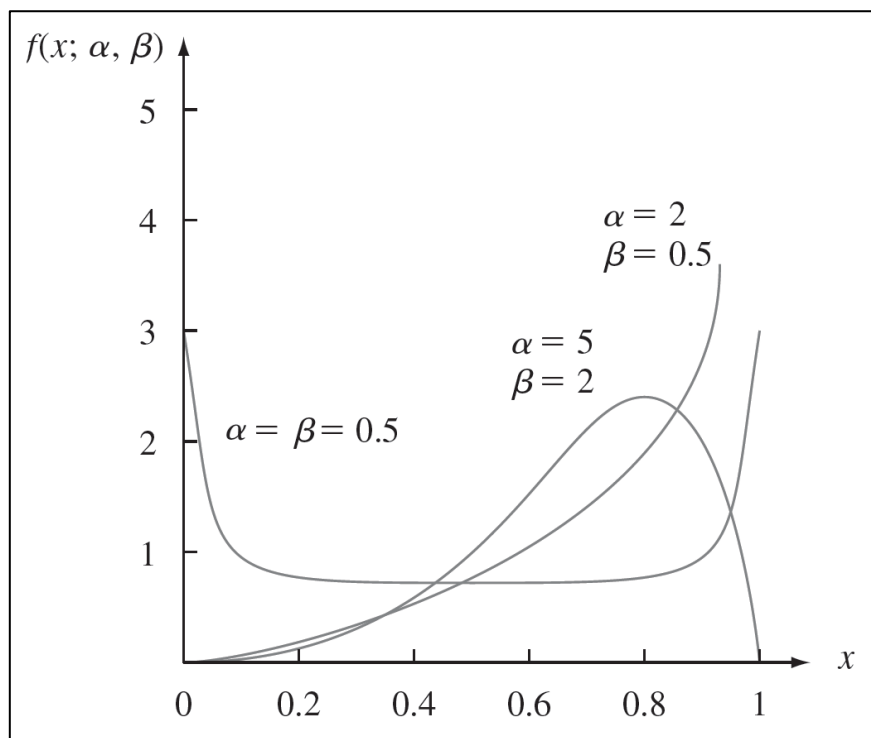


Figura A7. 5: Curvas de FDP beta estándar.

## ANEXO 8. Representaciones gráficas de las distribuciones de los parámetros de fracturamiento y FDP asociadas.

Representaciones gráficas, por familia, de la distribución de la persistencia en función de agrupaciones de éstas cada 0,5 metros, incluyendo la FDP asociada:

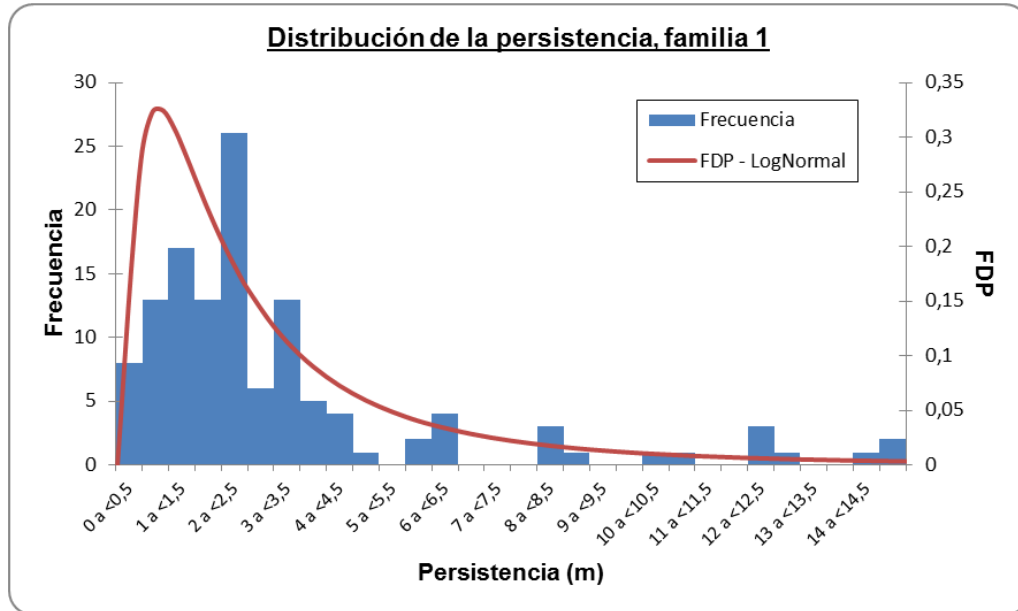


Figura A8. 1: Distribución de la persistencia de la Familia 1. Las agrupaciones de persistencias son cada 0,5 m y el eje de las abscisas está truncado a los 15 m. El truncamiento permite mostrar un total de 125 datos de un universo de 127. La FDP asociada sigue una distribución Log-normal con una media de 3,29 y parámetros de entrada  $\mu=0,7$  y  $\sigma=0,98$ .

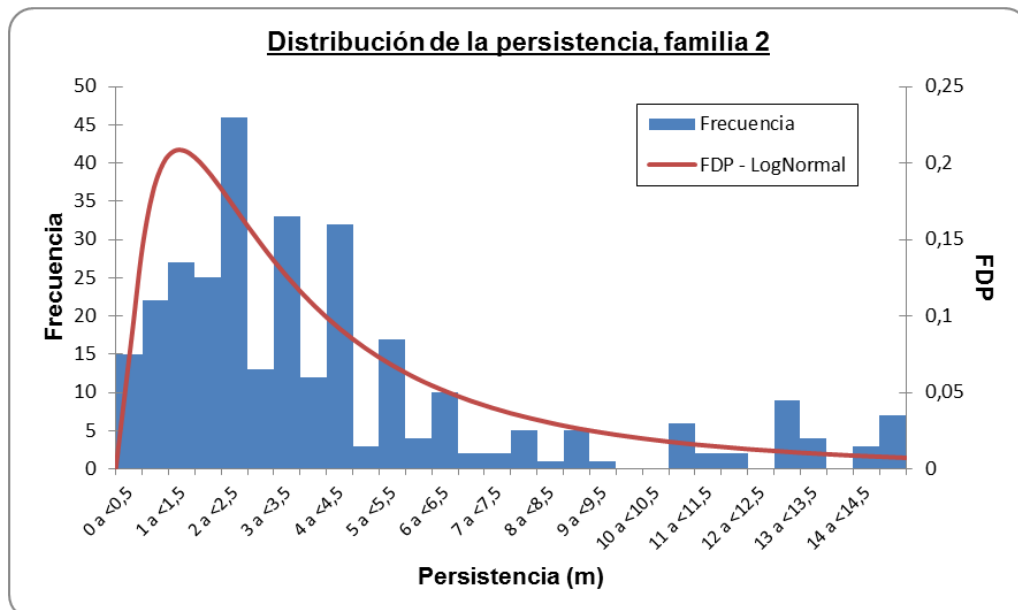


Figura A8. 2: Distribución de la persistencia de la Familia 2. Las agrupaciones de persistencias son cada 0,5 m y el eje de las abscisas está truncado a los 15 m. El truncamiento permite mostrar un total de 308 datos de un universo de 327. La FDP asociada sigue una distribución Log-normal con una media de 4,97 y parámetros de entrada  $\mu=1,15$  y  $\sigma=0,96$ .

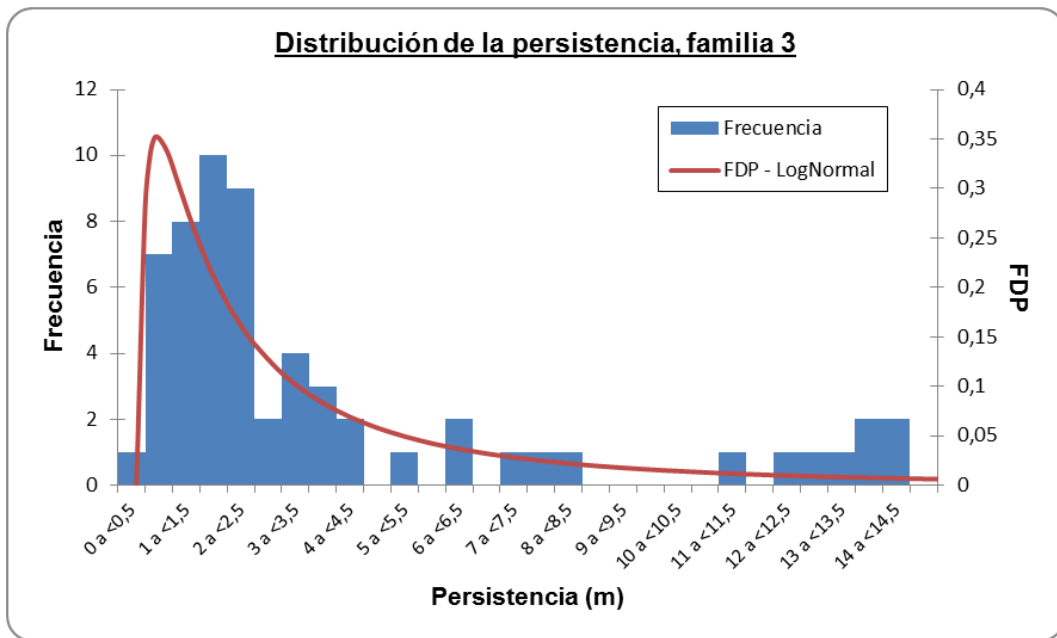


Figura A8. 3: Distribución de la persistencia de la Familia 3. Las agrupaciones de persistencias son cada 0,5 m y el eje de las abscisas está truncado a los 15 m. El truncamiento permite mostrar un total de 60 datos de un universo de 62. La FDP asociada sigue una distribución Log-normal con una media de 4,95 y parámetros de entrada  $\mu=0,7$  y  $\sigma=1,29$ .

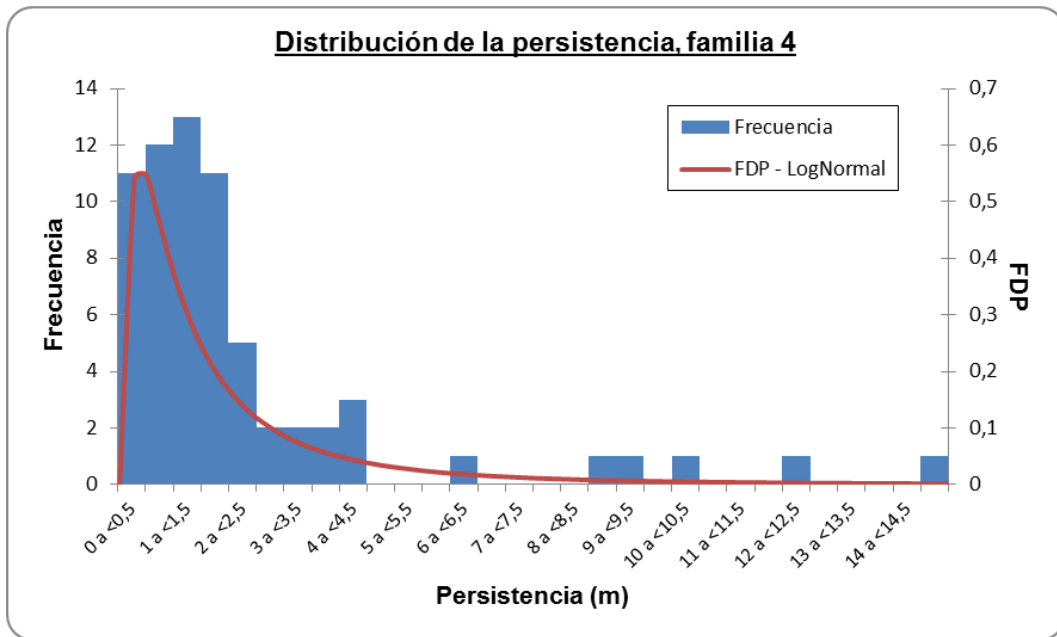


Figura A8. 4: Distribución de la persistencia de la Familia 4. Las agrupaciones de persistencias son cada 0,5 m y el eje de las abscisas está truncado a los 15 m. El total de datos que componen la distribución y se muestran en el gráfico es 67. La FDP asociada sigue una distribución Log-normal con una media de 2,14 y parámetros de entrada  $\mu=0,16$  y  $\sigma=1,08$ .

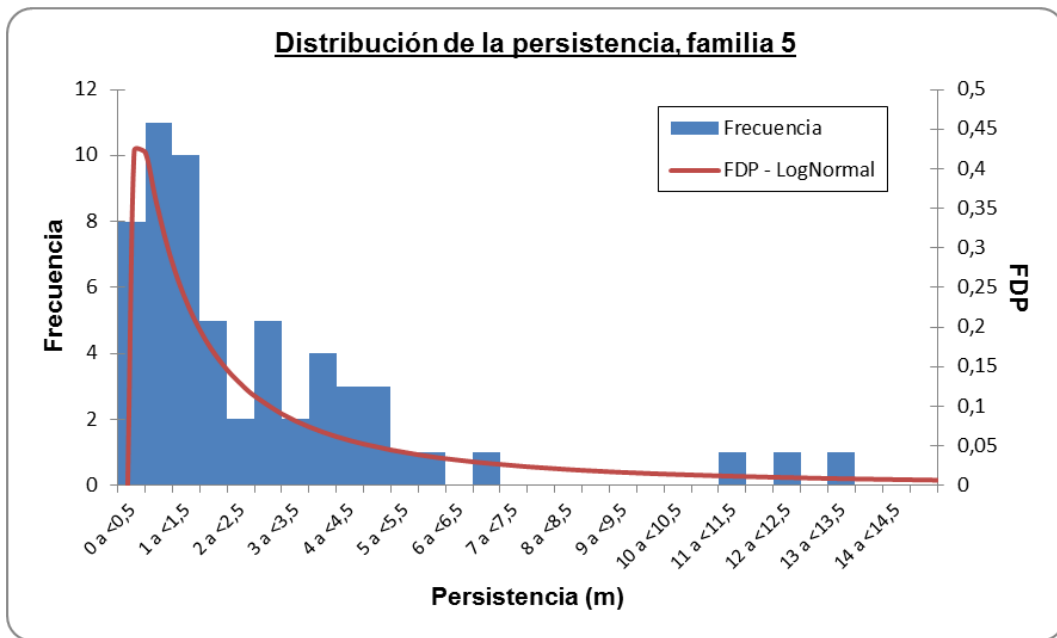


Figura A8. 5: Distribución de la persistencia de la Familia 5. Las agrupaciones de persistencias son cada 0,5 m y el eje de las abscisas está truncado a los 15 m. El truncamiento permite mostrar un total de 59 datos de un universo de 68. La FDP asociada sigue una distribución Log-normal con una media de 5,88 y parámetros de entrada  $\mu=0,61$  y  $\sigma=1,5$ .

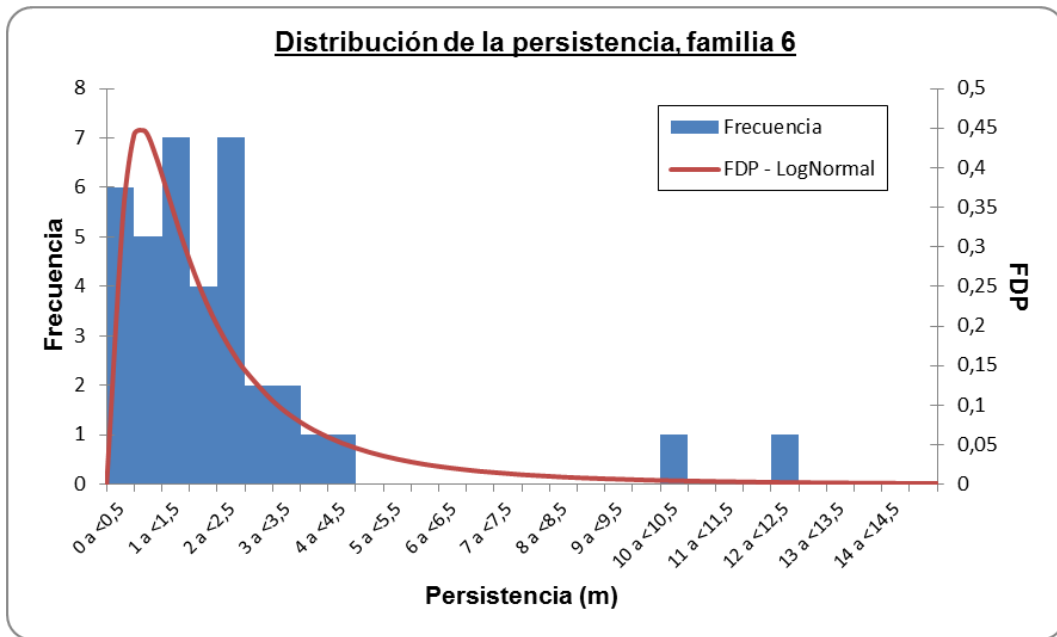


Figura A8. 6: Distribución de la persistencia de la Familia 6. Las agrupaciones de persistencias son cada 0,5 m y el eje de las abscisas está truncado a los 15 m. El truncamiento permite mostrar un total de 37 datos de un universo de 38. La FDP asociada sigue una distribución Log-normal con una media de 2,27 y parámetros de entrada  $\mu=0,38$  y  $\sigma=0,94$ .

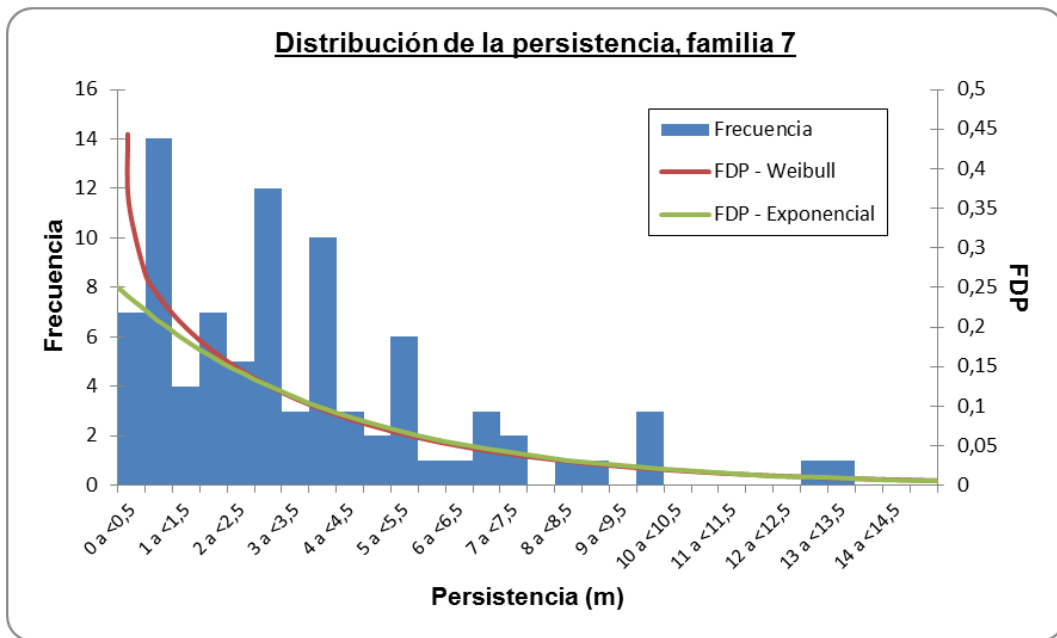


Figura A8. 7: Distribución de la persistencia de la Familia 7. Las agrupaciones de persistencias son cada 0,5 m y el eje de las abscisas está truncado a los 15 m. El truncamiento permite mostrar un total de 87 datos de un universo de 91. La FDP asociada sigue una distribución Weibull con una media de 4,04 y parámetros de entrada  $\alpha=0,93$  y  $\beta=3,73$ . También se le puede asociar una distribución Exponencial (le sigue en ranking según la prueba A-D, con un buen ajuste:  $\sim 0,8 < 1,5$ ) con una media de 4 y tasa=0,25.

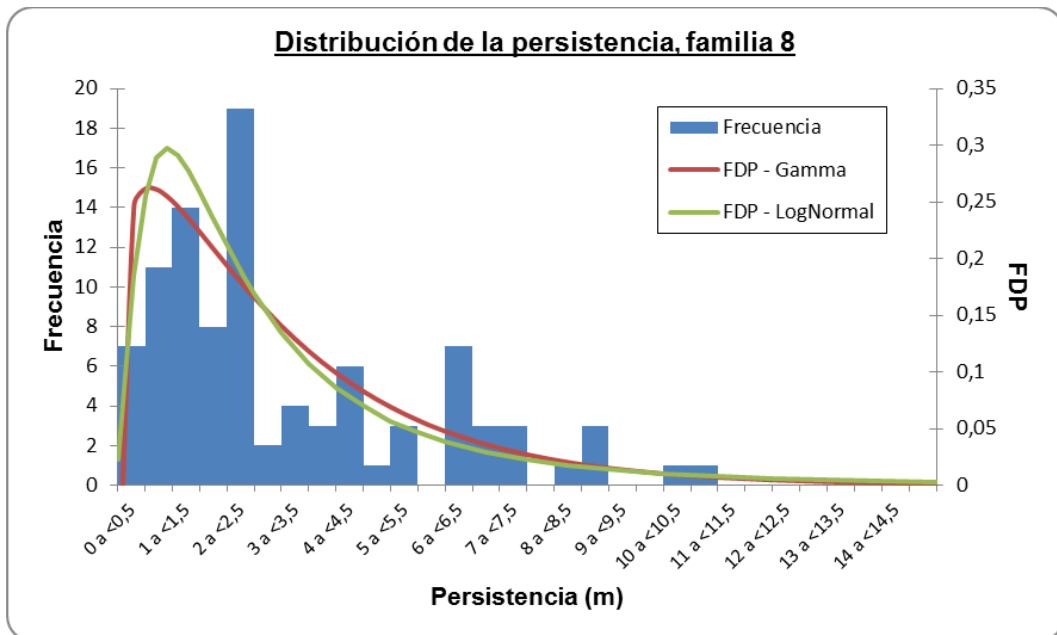


Figura A8. 8: Distribución de la persistencia de la Familia 8. Las agrupaciones de persistencias son cada 0,5 m y el eje de las abscisas está truncado a los 15 m. El total de datos que componen la distribución y se muestran en el gráfico es 97. La FDP asociada sigue una distribución Gamma con una media de 3,04 y parámetros de entrada  $\alpha=1,2$  y  $\beta=2,45$ . También se le puede asociar una distribución Log-normal (le sigue en ranking según la prueba A-D, con un buen ajuste:  $\sim 0,8 < 1,5$ ) con una media de 3,17 y parámetros de entrada  $\mu=0,81$  y  $\sigma=0,88$ .

Representaciones gráficas, por familia, de la distribución del espaciamiento en función de agrupaciones de éstas cada 0,1 metros, incluyendo la FDP asociada:

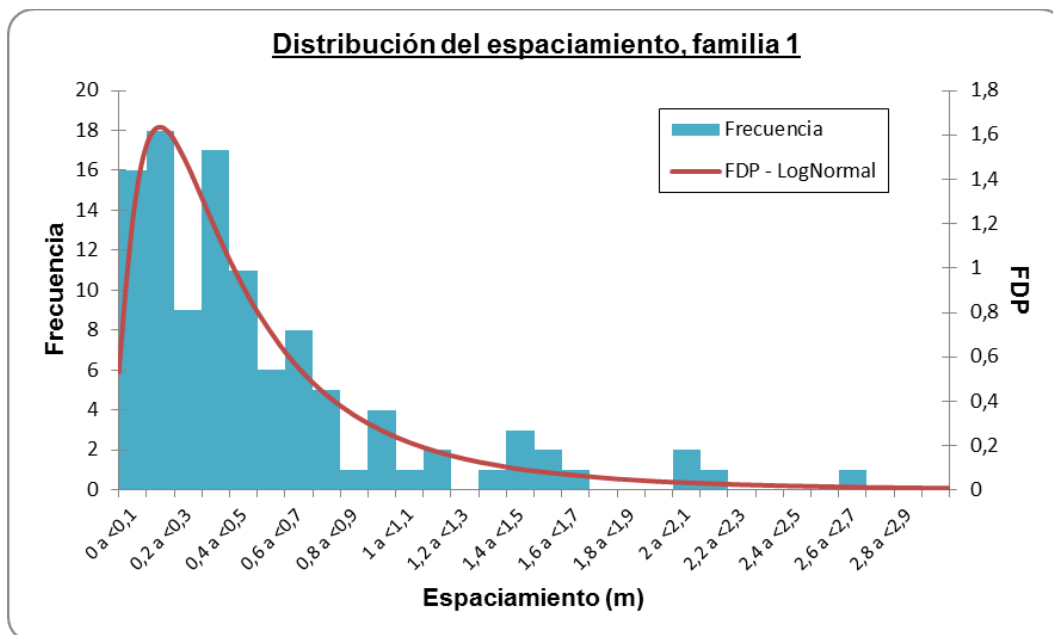


Figura A8. 9: Distribución del espaciamiento de la Familia 1. Las agrupaciones de espaciamientos son cada 0,1 m y el eje de las abscisas está truncado a los 3 m. El total de datos que componen la distribución y se muestran en el gráfico es 109. La FDP asociada sigue una distribución Log-normal con una media de 0,53 y parámetros de entrada  $\mu=-0,88$  y  $\sigma=0,83$ .

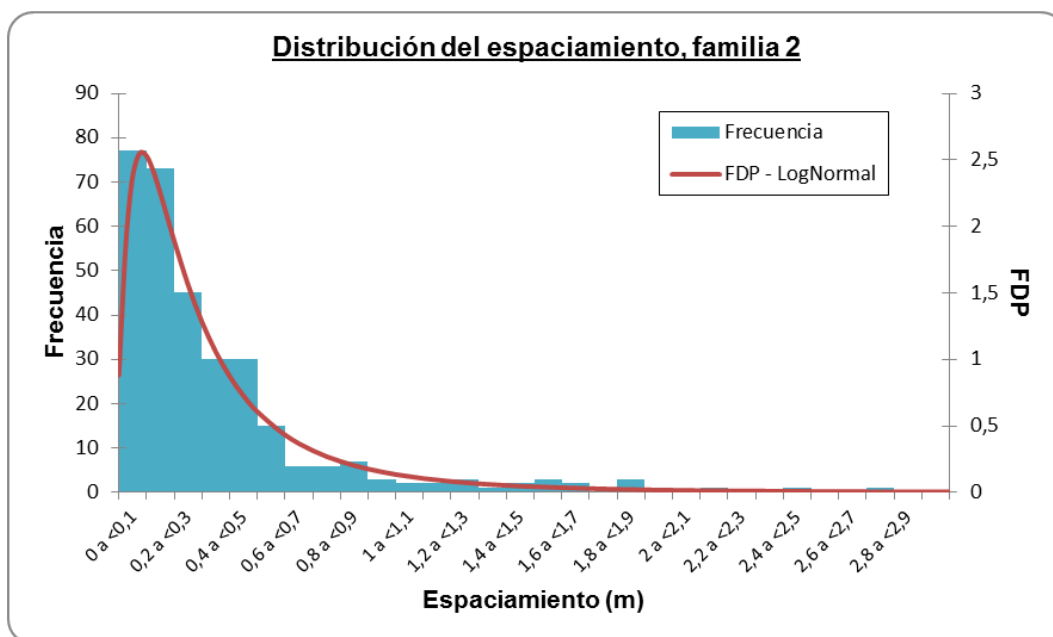


Figura A8. 10: Distribución del espaciamiento de la Familia 2. Las agrupaciones de espaciamientos son cada 0,1 m y el eje de las abscisas está truncado a los 3 m. El total de datos que componen la distribución y se muestran en el gráfico es 314. La FDP asociada sigue una distribución Log-normal con una media de 0,36 y parámetros de entrada  $\mu=-1,35$  y  $\sigma=0,91$ .

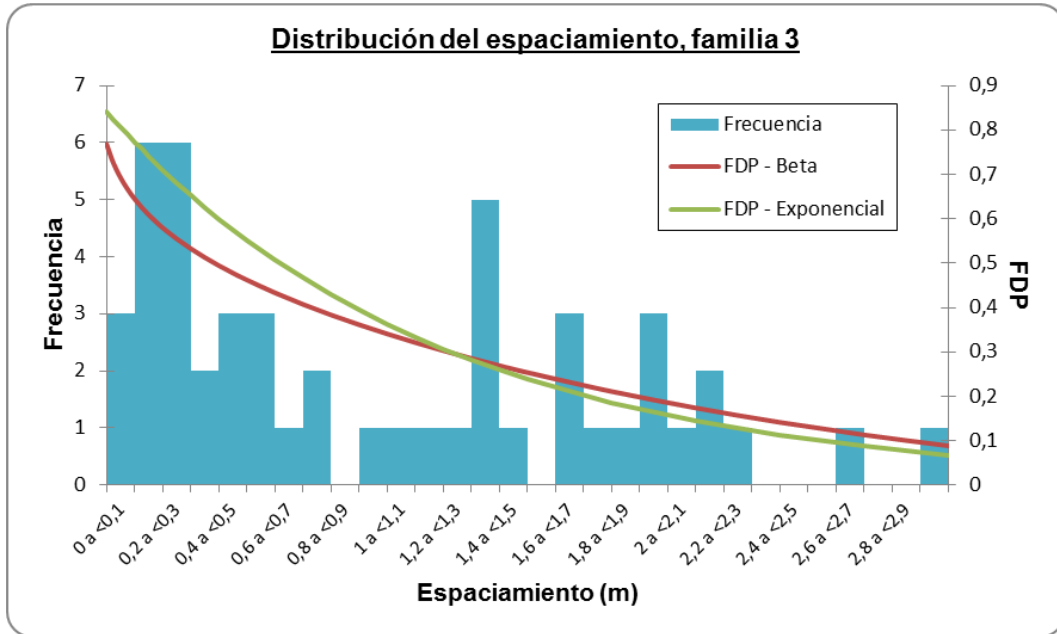


Figura A8. 11: Distribución del espaciamiento de la Familia 3. Las agrupaciones de espaciamientos son cada 0,1 m y el eje de las abscisas está truncado a los 3 m. El truncamiento permite mostrar un total de 50 datos de un universo de 54. La FDP asociada sigue una distribución Beta con parámetros de entrada mín=-0,03; máx=5,58;  $\alpha=0,86$  y  $\beta=3,07$ . También se le puede asociar una distribución Exponencial (le sigue en ranking según la prueba A-D, con un buen ajuste:  $\sim 0,5 < 1,5$ ) con tasa=0,84. Ambas distribuciones tienen una media de 1,2.

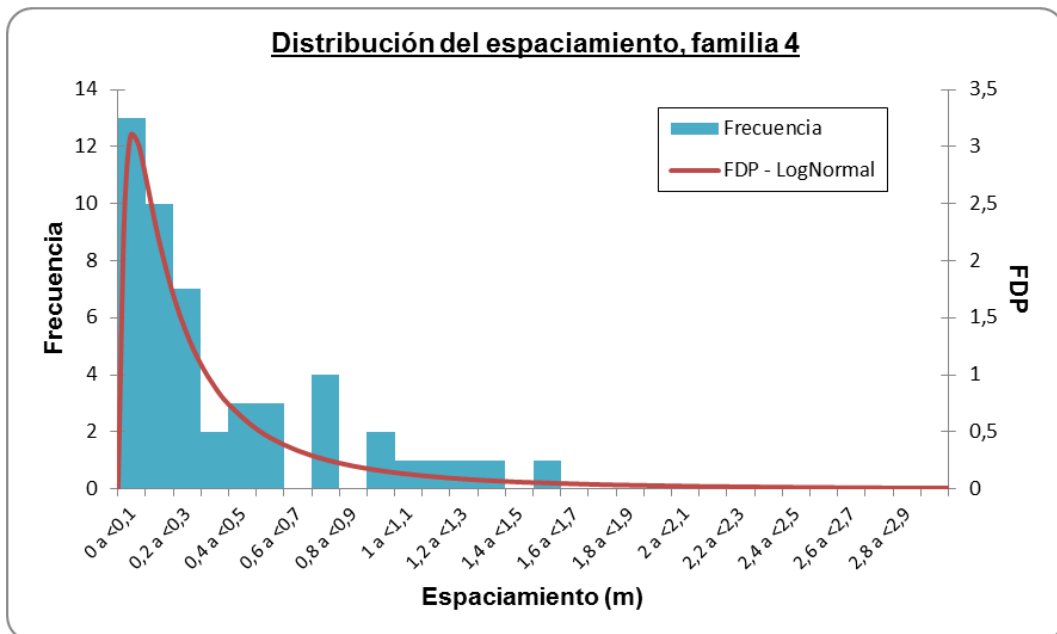


Figura A8. 12: Distribución del espaciamiento de la Familia 4. Las agrupaciones de espaciamientos son cada 0,1 m y el eje de las abscisas está truncado a los 3 m. El total de datos que componen la distribución y se muestran en el gráfico es 49. La FDP asociada sigue una distribución Log-normal con una media de 0,43 y parámetros de entrada  $\mu=-1,53$  y  $\sigma=1,17$ .



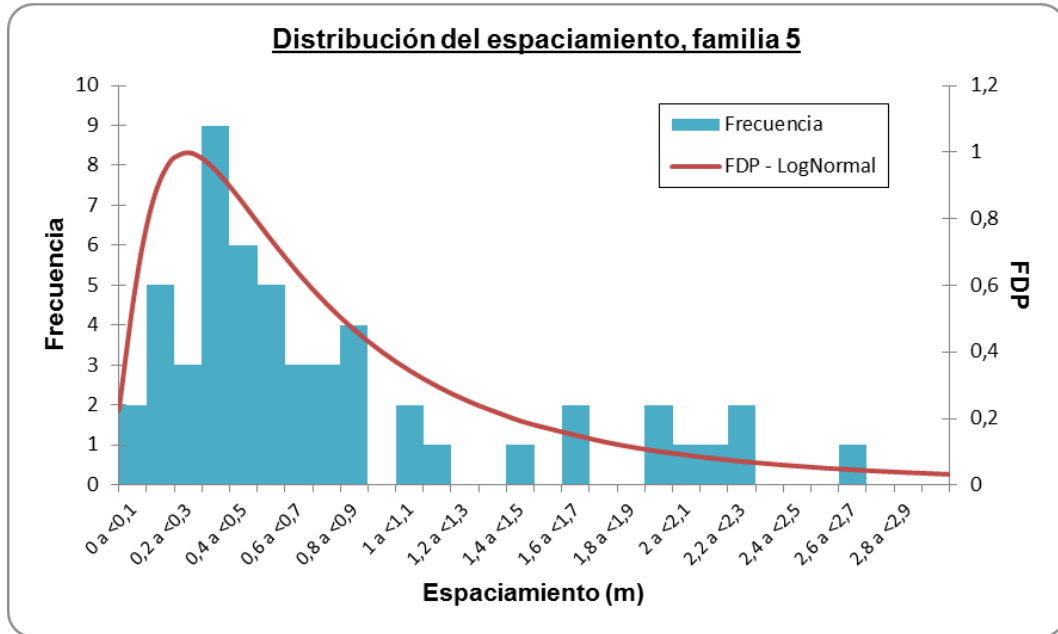


Figura A8. 13: Distribución del espaciamiento de la Familia 5. Las agrupaciones de espaciamientos son cada 0,1 m y el eje de las abscisas está truncado a los 3 m. El truncamiento permite mostrar un total de 53 datos de un universo de 55. La FDP asociada sigue una distribución Log-normal con una media de 0,91 y parámetros de entrada  $\mu=-0,4$  y  $\sigma=0,87$ .

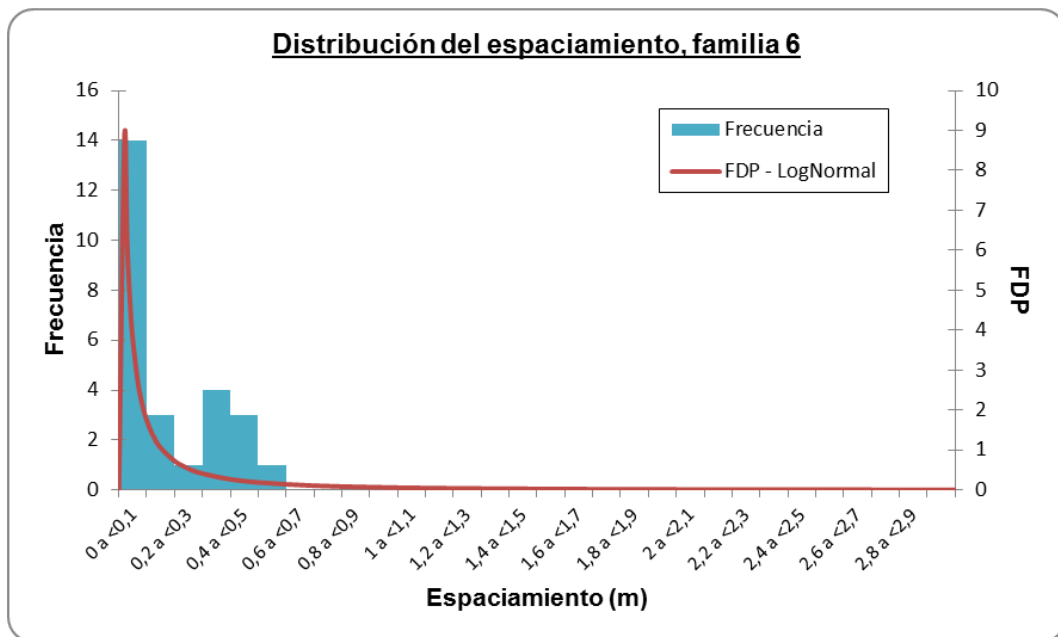


Figura A8. 14: Distribución del espaciamiento de la Familia 6. Las agrupaciones de espaciamientos son cada 0,1 m y el eje de las abscisas está truncado a los 3 m. El total de datos que componen la distribución y se muestran en el gráfico es 26. La FDP asociada sigue una distribución Log-normal con una media de 0,42 y parámetros de entrada  $\mu=-3,13$  y  $\sigma=2,12$ .

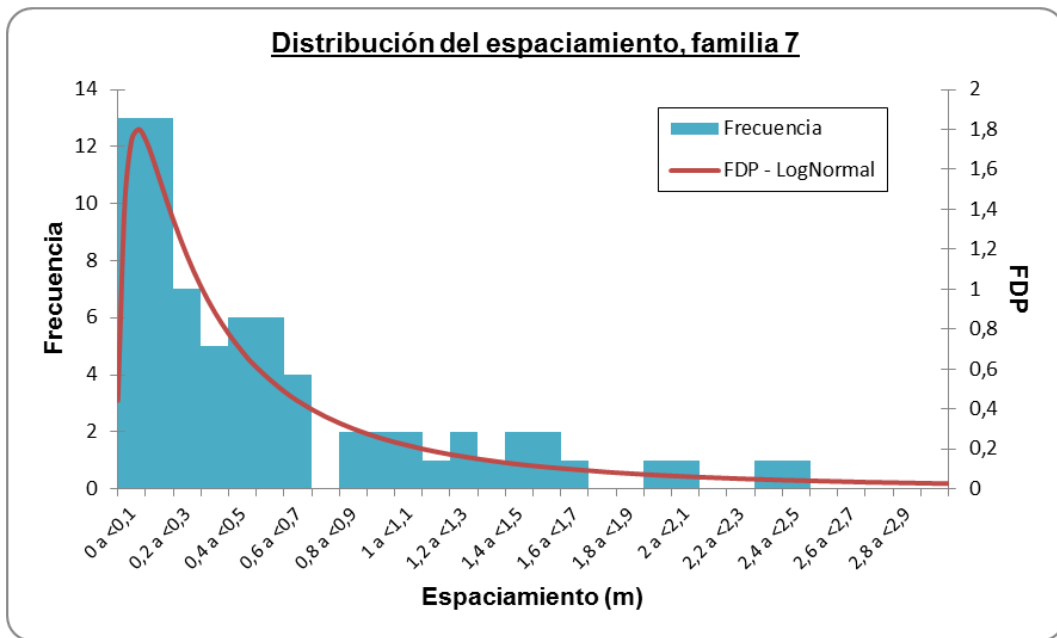


Figura A8. 15: Distribución del espaciamento de la Familia 7. Las agrupaciones de espaciamentos son cada 0,1 m y el eje de las abscisas está truncado a los 3 m. El truncamiento permite mostrar un total de 73 datos de un universo de 77. La FDP asociada sigue una distribución Log-normal con una media de 0,84 y parámetros de entrada  $\mu=-0,95$  y  $\sigma=1,25$ .

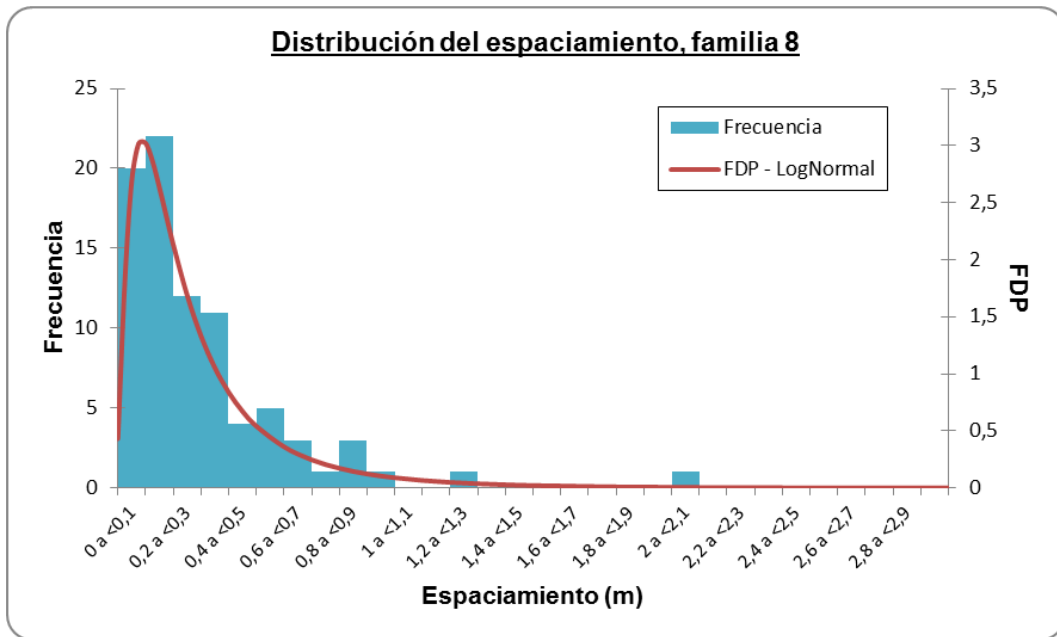


Figura A8. 16: Distribución del espaciamento de la Familia 8. Las agrupaciones de espaciamentos son cada 0,1 m y el eje de las abscisas está truncado a los 3 m. El total de datos que componen la distribución y se muestran en el gráfico es 84. La FDP asociada sigue una distribución Log-normal con una media de 0,3 y parámetros de entrada  $\mu=-1,51$  y  $\sigma=0,85$ .

Representaciones gráficas, para distintas combinaciones de familias, como se distribuye el volumen del bloque en función de agrupaciones cada 0,5 metros cúbicos, incluyendo la FDP asociada:

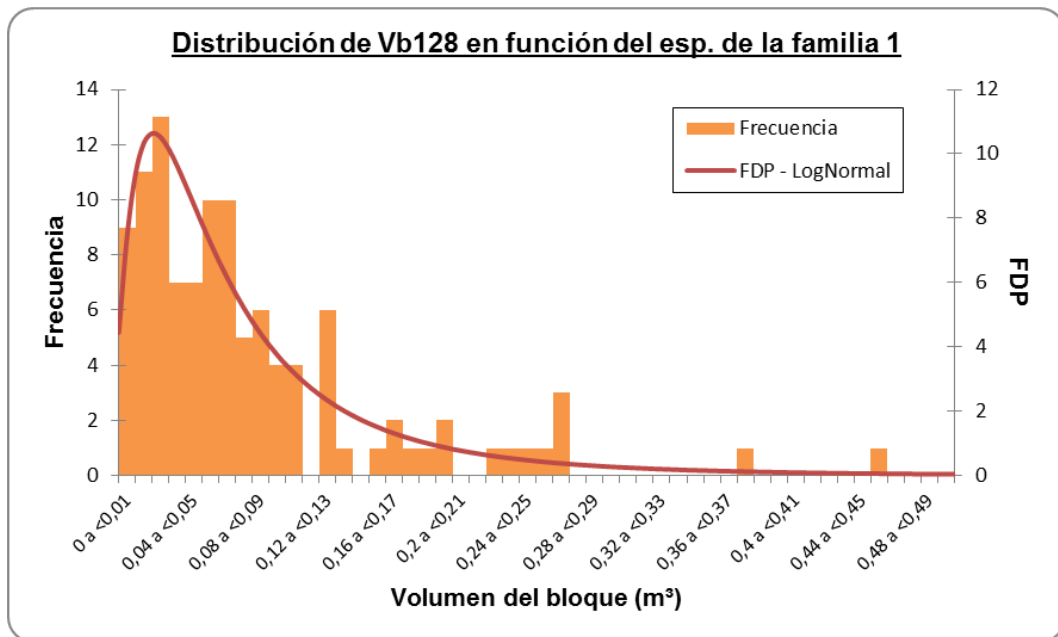


Figura A8. 17: Distribución del Volumen del bloque para la combinación de familias 1-2-8, en función del espaciamiento de la Familia 1. Las agrupaciones de Volumen del bloque son cada 0,01 m<sup>3</sup> y el eje de las abscisas está truncado a 0,5. El total de datos que componen la distribución y se muestran en el gráfico es 109. La FDP asociada sigue una distribución Log-normal con una media de 0,08.

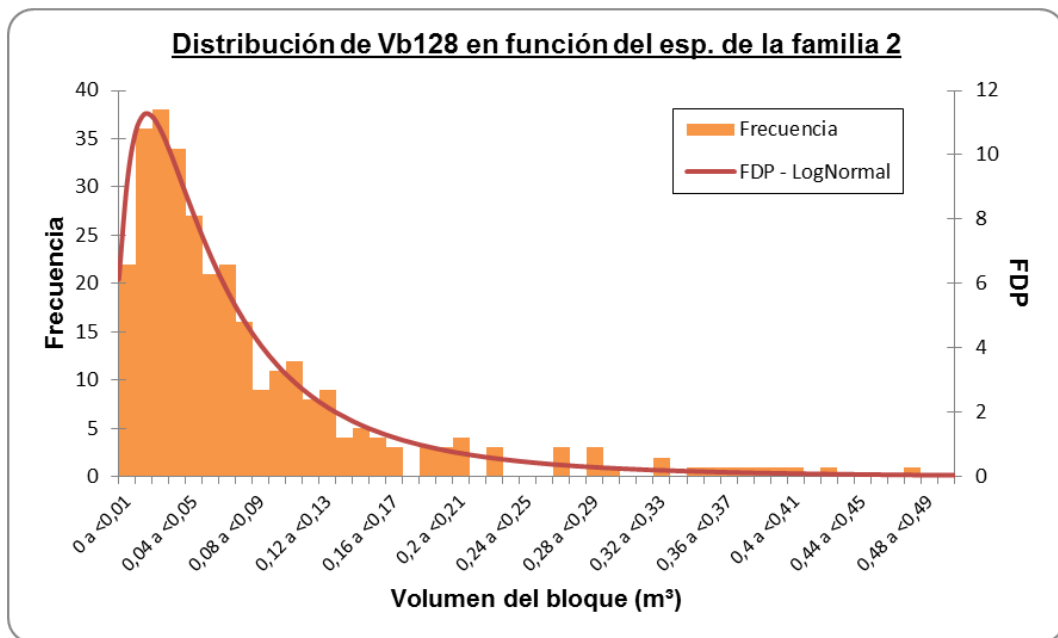


Figura A8. 18: Distribución del Volumen del bloque para la combinación de familias 1-2-8, en función del espaciamiento de la Familia 2. Las agrupaciones de Volumen del bloque son cada 0,01 m<sup>3</sup> y el eje de las abscisas está truncado a 0,5. El truncamiento permite mostrar un total de 312 datos de un universo de 314. La FDP asociada sigue una distribución Log-normal con una media de 0,08.

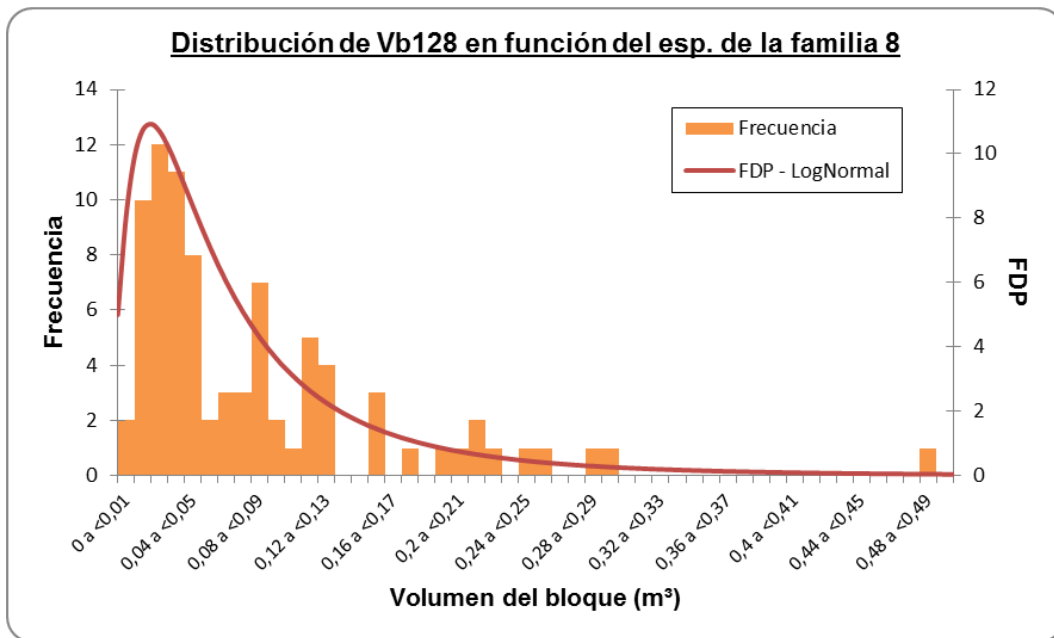


Figura A8. 19: Distribución del Volumen del bloque para la combinación de familias 1-2-8, en función del espaciamiento de la Familia 8. Las agrupaciones de Volumen del bloque son cada 0,01 m<sup>3</sup> y el eje de las abscisas está truncado a 0,5. El total de datos que componen la distribución y se muestran en el gráfico es 84. La FDP asociada sigue una distribución Log-normal con una media de 0,08.

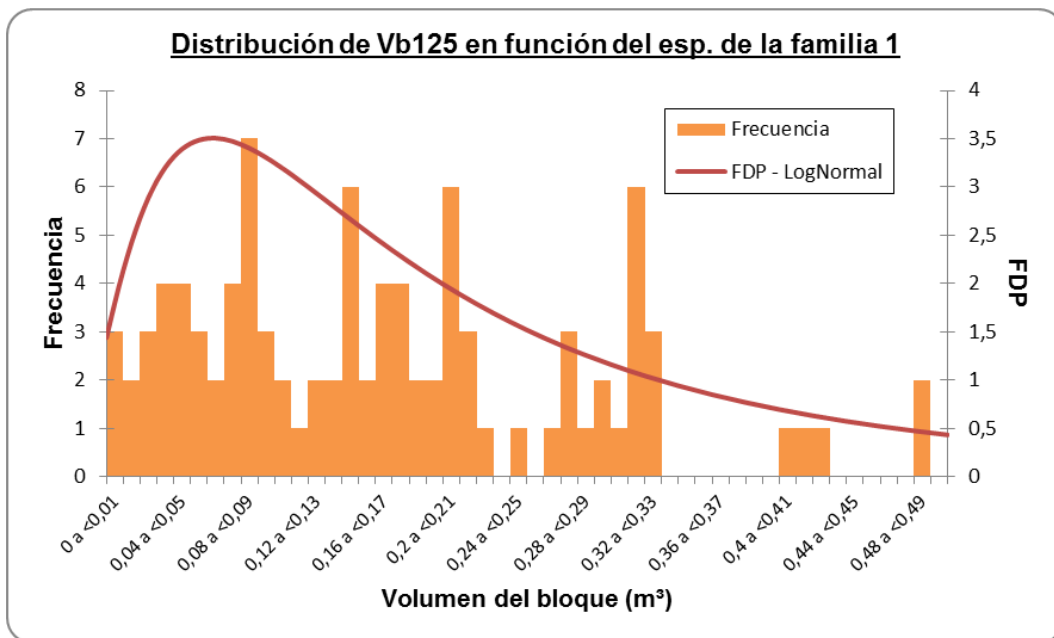


Figura A8. 20: Distribución del Volumen del bloque para la combinación de familias 1-2-5, en función del espaciamiento de la Familia 1. Las agrupaciones de Volumen del bloque son cada 0,01 m<sup>3</sup> y el eje de las abscisas está truncado a 0,5. El truncamiento permite mostrar un total de 95 datos de un universo de 109. La FDP asociada sigue una distribución Log-normal con una media de 0,25.

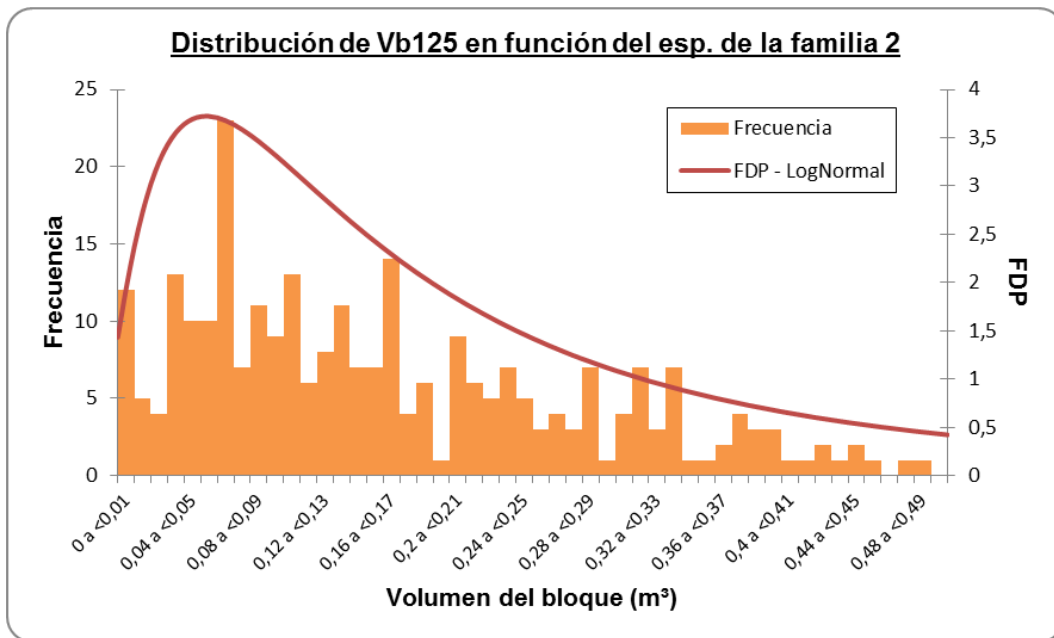


Figura A8. 21: Distribución del Volumen del bloque para la combinación de familias 1-2-5, en función del espaciamiento de la Familia 2. Las agrupaciones de Volumen del bloque son cada  $0,01 \text{ m}^3$  y el eje de las abscisas está truncado a 0,5. El truncamiento permite mostrar un total de 276 datos de un universo de 314. La FDP asociada sigue una distribución Log-normal con una media de 0,26.

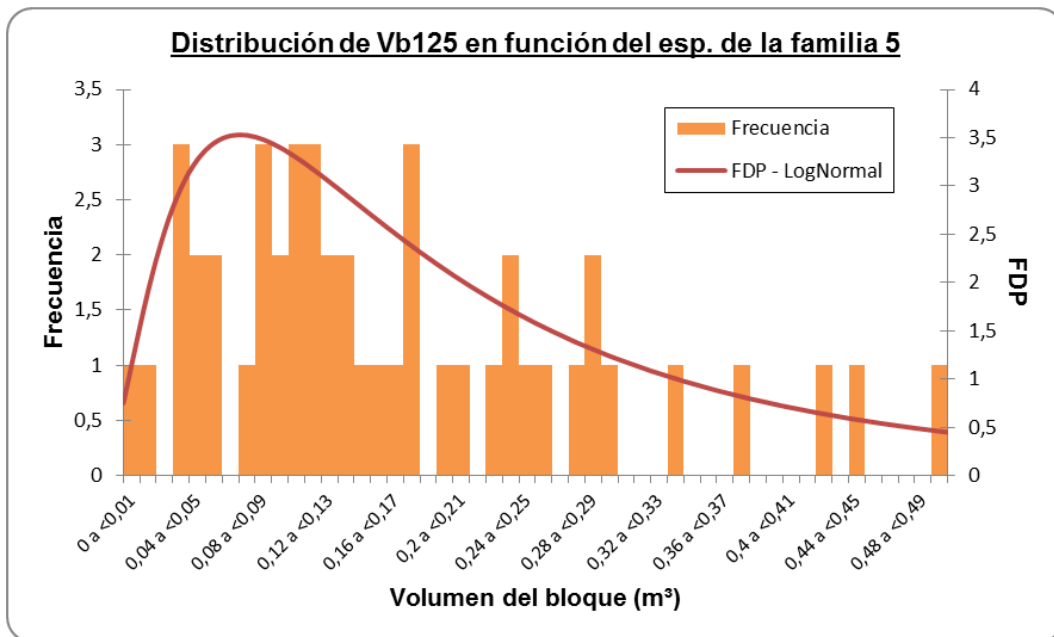


Figura A8. 22: Distribución del Volumen del bloque para la combinación de familias 1-2-5, en función del espaciamiento de la Familia 5. Las agrupaciones de Volumen del bloque son cada  $0,01 \text{ m}^3$  y el eje de las abscisas está truncado a 0,5. El truncamiento permite mostrar un total de 47 datos de un universo de 55. La FDP asociada sigue una distribución Log-normal con una media de 0,26.

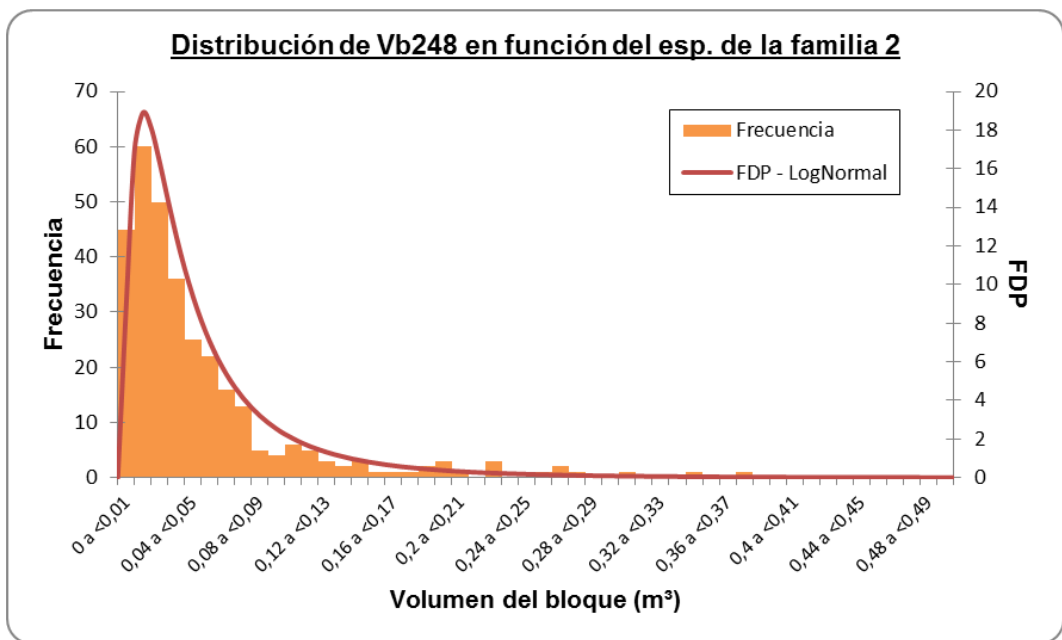


Figura A8. 23: Distribución del Volumen del bloque para la combinación de familias 2-4-8, en función del espaciamiento de la Familia 2. Las agrupaciones de Volumen del bloque son cada 0,01 m<sup>3</sup> y el eje de las abscisas está truncado a 0,5. El total de datos que componen la distribución y se muestran en el gráfico es 314. La FDP asociada sigue una distribución Log-normal con una media de 0,05.

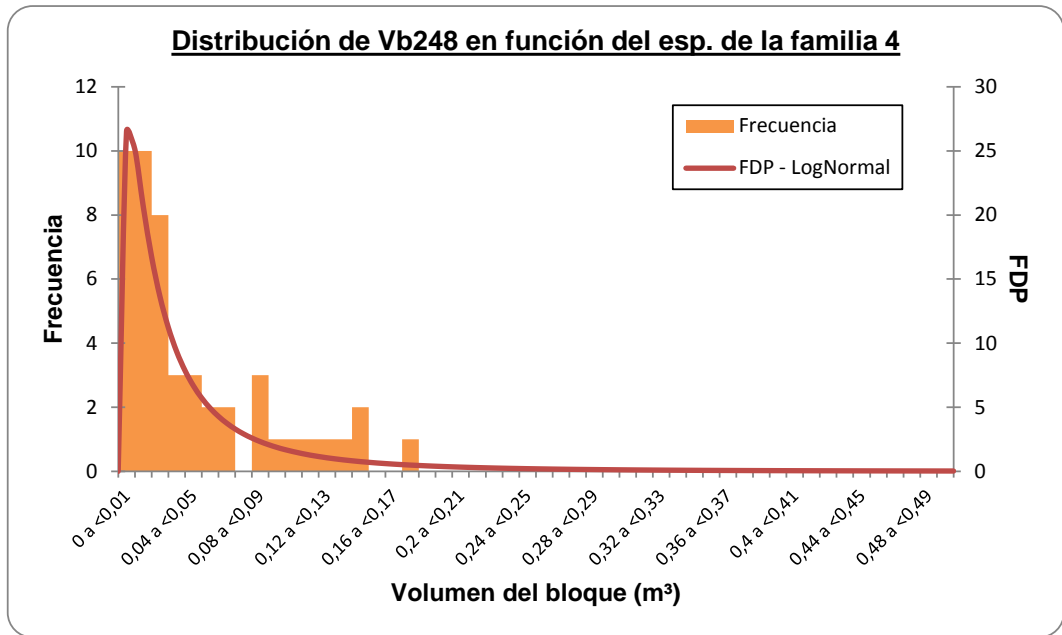


Figura A8. 24: Distribución del Volumen del bloque para la combinación de familias 2-4-8, en función del espaciamiento de la Familia 4. Las agrupaciones de Volumen del bloque son cada 0,01 m<sup>3</sup> y el eje de las abscisas está truncado a 0,5. El total de datos que componen la distribución y se muestran en el gráfico es 49. La FDP asociada sigue una distribución Log-normal con una media de 0,05.

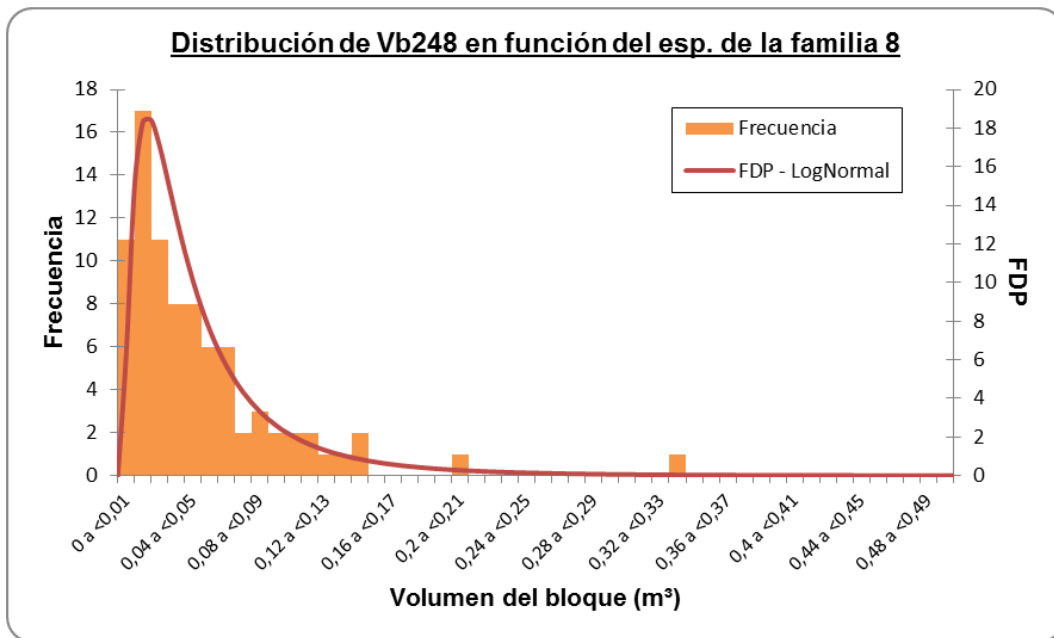


Figura A8. 25: Distribución del Volumen del bloque para la combinación de familias 2-4-8, en función del espaciamiento de la Familia 8. Las agrupaciones de Volumen del bloque son cada  $0,01 \text{ m}^3$  y el eje de las abscisas está truncado a 0,5. El total de datos que componen la distribución y se muestran en el gráfico es 84. La FDP asociada sigue una distribución Log-normal con una media de 0,05.

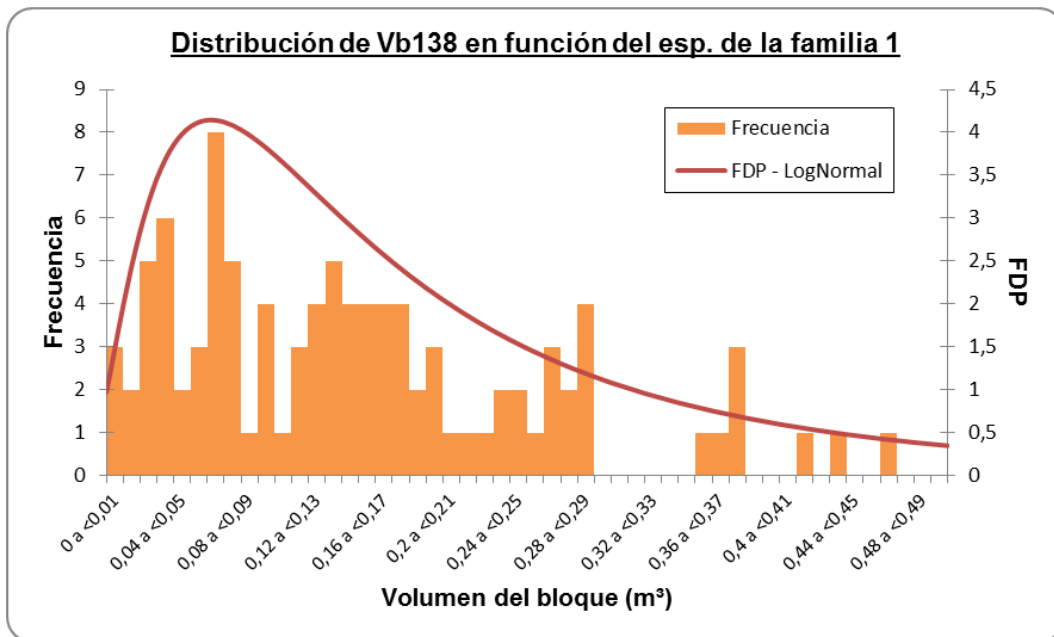


Figura A8. 26: Distribución del Volumen del bloque para la combinación de familias 1-3-8, en función del espaciamiento de la Familia 1. Las agrupaciones de Volumen del bloque son cada  $0,01 \text{ m}^3$  y el eje de las abscisas está truncado a 0,5. El truncamiento permite mostrar un total de 98 datos de un universo de 109. La FDP asociada sigue una distribución Log-normal con una media de 0,21.

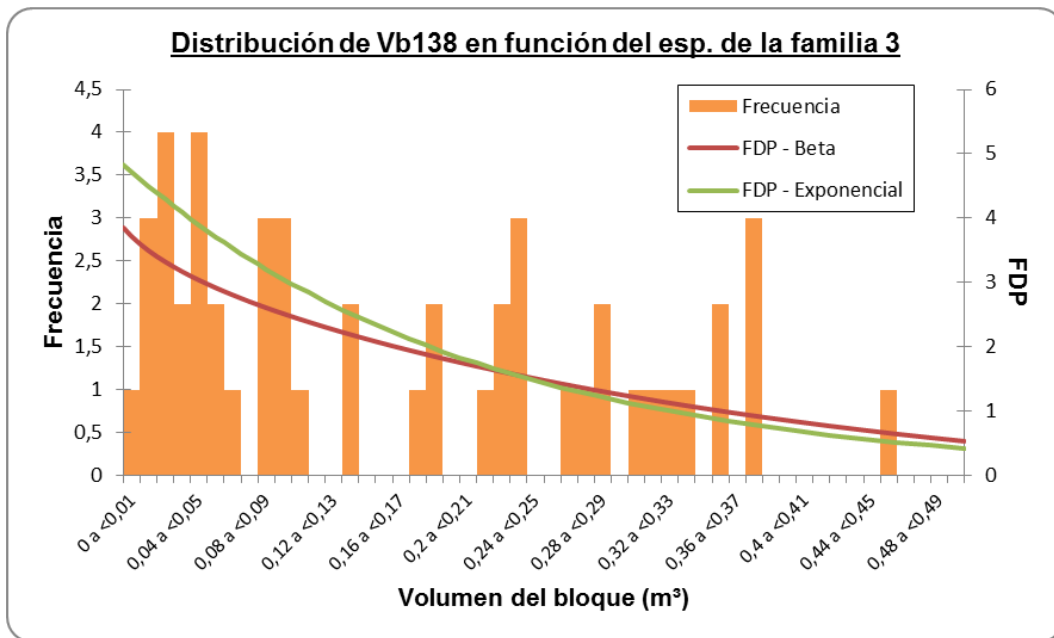


Figura A8. 27: Distribución del Volumen del bloque para la combinación de familias 1-3-8, en función del espaciamiento de la Familia 3. Las agrupaciones de Volumen del bloque son cada  $0,01 \text{ m}^3$  y el eje de las abscisas está truncado a 0,5. El truncamiento permite mostrar un total de 49 datos de un universo de 54. La FDP asociada sigue una distribución Beta y también se le puede asociar una distribución Exponencial (le sigue en ranking según la prueba A-D, con un buen ajuste:  $-0,5 < 1,5$ ). Ambas distribuciones tienen una media de 0,21.

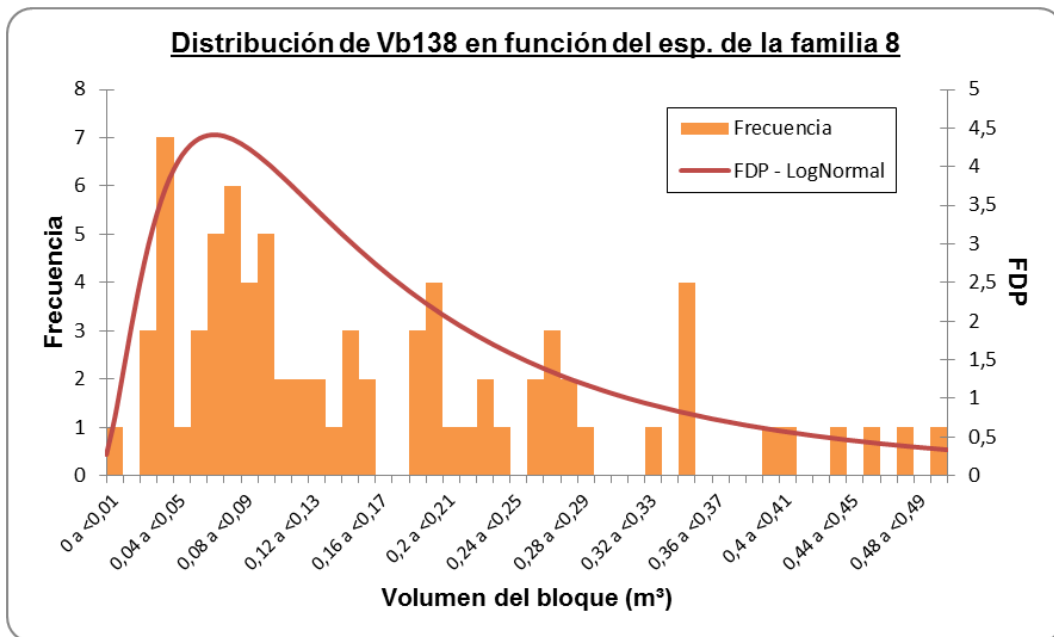


Figura A8. 28: Distribución del Volumen del bloque para la combinación de familias 1-3-8, en función del espaciamiento de la Familia 8. Las agrupaciones de Volumen del bloque son cada  $0,01 \text{ m}^3$  y el eje de las abscisas está truncado a 0,5. El truncamiento permite mostrar un total de 78 datos de un universo de 84. La FDP asociada sigue una distribución Log-normal con una media de 0,21.