

**PRÁCTICA EMPRESARIAL: DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA DE  
MUESTRAS DE NÚCLEOS DE PERFORACIÓN.**

**JULIÁN MAURICIO HERRERA GELVEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS  
ESCUELA DE GEOLOGÍA.  
BUCARAMANGA**

**2017**

**PRÁCTICA EMPRESARIAL: DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA DE  
MUESTRAS DE NÚCLEOS DE PERFORACIÓN.**

**JULIÁN MAURICIO HERRERA GELVEZ**

**Trabajo de grado para optar al título de Geólogo**

**DIRECTOR:**

**GUILLERMO VARGAS PIESCHACÓN**

**Geólogo**

**CODIRECTOR:**

**ALFONSO PALACIO CASTILLA**

**Geólogo**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS  
ESCUELA DE GEOLOGÍA.  
BUCARAMANGA**

**2017**

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCION.....	18
1. OBJETIVOS.....	19
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	19
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	19
2. LOCALIZACIÓN.....	20
3. JUSTIFICACIÓN.....	22
4. METODOLOGÍA.....	23
4.1 FASE 1 – TOMA DE MUESTRAS.....	23
4.2 FASE 2 – DESCRIPCION DE MUESTRAS.....	24
4.3 FASE 3 – TRATAMIENTO DE DATOS.....	25
5. MARCO TEORICO.....	26
5.1 RECUPERACIÓN (RECOVERY).....	26
5.2 LOGUEO GEOTÉCNICO.....	27
5.2.1 Meteorización.....	28
5.2.2 Dureza.....	30
5.2.3 Rock Mass joiting.....	31
5.2.3.1 Densidad aproximada de diaclasas.....	31
5.2.3.2 Índice de familia de diaclasas – Joint Number (Jn).....	32
5.2.3.3 Rock Quality Designation (RQD). .....	33

5.2.4 Condición de las fracturas.....	34
5.2.4.1 Condiciones de las discontinuidades .....	35
5.2.5 Condición de las fracturas – clasificación del sistema Q. ....	37
5.2.5.1 Jr – Joint Roughness .....	38
5.2.5.2 Ja – Joint Alteration .....	39
5.2.6. Condiciones In – Situ .....	39
5.2.6.1. Jw - Acción de reducción por la presencia de aguas .....	40
5.2.6.2. SRF - Estado tensional del macizo rocoso .....	41
5.3 GEOLOGÍA.....	47
5.3.1 logueo geológico.....	49
5.3.1.1 Logueo litológico .....	49
5.3.1.2 Logueo mineralógico.....	58
5.3.1.3 Logueo Redox.....	63
5.3.1.4 Logueo de estructuras .....	64
5.3.1.5 Logueo de alteraciones.....	64
6. RESULTADOS.....	69
6.1 DESCRIPCION DE LA GEOTECNICA.....	69
6.1.1 Análisis geotécnico .....	75
6.1.1.1 Dominio A .....	75
6.1.1.2 Dominio B .....	76
6.1.1.3 Dominio C .....	77
6.1.1.4 Comportamiento geo mecánico de los pozos a profundidades mayores A 79 M.....	79

6.1.1.5 Análisis de sostenimiento.....	84
6.2 LOGUEO GEOLÓGICO POZOS GWY054, GWY057 y GWY059 .....	88
6.2.1 Litología .....	89
6.2.2 Alteraciones .....	93
6.2.3 Estructuras.....	94
6.2.4 Mineralización .....	95
6.3 COLUMNAS GEOLÓGICA .....	98
7. CONCLUSIONES .....	100
8. RECOMENDACIONES.....	102
BIBLIOGRAFÍA.....	103
ANEXOS.....	105

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Localización de los pozos GWY054, GWY057 y GWY059.....	21
Figura 2. Mapa geológico de la zona, donde se observan los pozos GWY054, GWY057 y GWY059 y la litología de la zona circundante. ....	48
Figura 3. Principales texturas presentes en las brechas.....	57
Figura 4. Diagrama de sostenimiento y calidad de la roca, con sus respectivas categorías donde se observa la distribución de los dominios A, B y C de acuerdo a el valor de De y de los Q promedio (QX). ....	87

## LISTA DE FOTOGRAFÍAS

	<b>Pág.</b>
Fotografía 1. Se observa la distribución de los diferentes grados de meteorización; Ejemplos fotográficos de núcleos de perforación .....	30
Fotografía 2. Ejemplo fotográfico del WJD. ....	32
Fotografía 3. Procedimiento para medir adecuadamente el RQD, aplicado a un sondeo de roca. El RQD es medido desde 126.49, hasta 128,01 m (1,5 m), se observa un RQD del 86%, que según los datos de la tabla 5, equivale a una roca de calidad buena.....	34
Fotografía 4. Ejemplos fotográficos de la clasificación de la rugosidad de las fracturas.....	36
Fotografía 5. Ejemplos fotográficos del Jw. Se seleccionaron tramos de roca correspondientes a los valores de Jw usados en el proyecto, es decir, 1, 0,66 y 0,33.....	41
Fotografía 6. Logueo del SRF en zonas de debilidad y roca compresiva .....	44
Fotografía 7. Logueo del SRF en zonas de debilidad y zonas estables .....	45
Fotografía 8. Logueo del SRF en múltiples zonas de debilidad, roca suelta e intenso fracturamiento. ....	46
Fotografía 9. Logueo del SRF en zonas de debilidad y roca expansiva .....	47
Fotografía 10. VN-SBVN-PYVN; Vena de pirita y cuarzo cortando un Neis. ....	52
Fotografía 11. VN-SBVN-MOVN. Vena de cuarzo con molibdenita.....	52
Fotografía 12. Brecha hidrotermal de clorita.....	53
Fotografía 13. (FT - MFT) Zona de falla matriz soportada por arcilla con caolinita principalmente.....	53
Fotografía 14. THBX-QCBX-CMBX. Brecha tectónica-hidrotermal, clasto soportada, monomíctica con clastos leucocráticos, cuarzo cementada con pirita, marcasita y esfalerita. Textura, Jigsaw fit. ....	54

Fotografía 15: THBX-QCBX-CPBX. Brecha tectónica-hidrotermal polimíctica clasto soportada.....	55
Fotografía 16. THBX-ACBX-AQBX. Brecha tectónica-hidrotermal con predominio de alunita en el cemento, monomíctica con clastos de leucogranito y cavidades rellenas de caolinita. ....	55
Fotografía 17. Corresponde a un neis silicificado con presencia de alunita y pirita gruesa diseminada y en venillas .....	62
Fotografía 18. Corresponde a una zona de venas, mineralizadas con pirita .....	62
Fotografía 19. Zona mineralizada con sílica Vuggy, se puede observar contenido de pirita y alunita (color blanco) en algunas venas.....	63
Fotografía 20. Dacita con alteración propilitica, donde la epidota (Ep) reemplaza parcialmente la plagioclasa y cloritas (Cl). ....	65
Fotografía 21. Neis con fuerte alteración fílica. Ocurrencia abundante de sericita con diseminación y vetillas de pirita .....	66
Fotografía 22. Neis con fuerte alteración argílica, caracterizada por ocurrencia de illita en los halos cercanos a la alteración argílica avanzada.....	66
Fotografía 23. Zona de falla, rica en minerales como caolinita y arcillas. ....	67
Fotografía 24. Neis con alteración argílica avanzada, se pueden observar zonas con presencia de alunita y zonas con vetilleo de sílica .....	67
Fotografía 25. Se observa que la roca entre los tacos 35,90 y 37,70, presenta una calidad buena, según el sistema Q (Barton, 1974; actualización 1994).....	71
Fotografía 26. Ejemplo fotográfico donde se observa la distribución de algunas diaclasas, estas se ubican de la siguiente manera; color amarillo corresponde a diaclasas comprendidas entre 31° - 60° y en rojo a diaclasas > 60°, la X hace referencia a fractura mecánica.....	76
Fotografía 27. Ejemplo fotográfico, donde se observa la disminución de la calidad de la roca. Nótese que la roca se encuentra altamente fracturada y meteorizada. ....	77
Fotografía 28. Ejemplo fotográfico correspondiente al pozo GWY059, donde se observa el alto fracturamiento de la roca, nótese que la roca en sí, no presenta	

altos niveles de alteración ni evidencia flujos de agua subterránea, por lo que su valor negativo (malo) se debe a un bajo RQD, producto del alto número de diaclasas que presenta .....	78
Fotografía 29. Roca cuya calidad es buena, presenta valores altos de RQD, JW y SRF.....	79
Fotografía 30. Ejemplos fotográficos del Pozo GWY054, donde se observa que la roca se encuentra altamente fracturada y alterada .....	80
Fotografía 31. Roca perteneciente al pozo GWY054, cuya calidad según el sistema Q, es buena. ....	81
Fotografía 32. Zona de falla que confiere a la roca una caldiad según el Q de Barton “mala”. ....	82
Fotografía 33. Se pueden observar tramos de roca correspondientes a zonas de debilidad y alto fracturamiento, debido a un elevado tensor de esfuerzo .....	82
Fotografía 34. Zona de roca favorable y con calificación según el sistema Q (Buena). ....	83
Fotografía 35. Zona de falla que afecta la calidad de la roca. ....	84
Fotografía 36. A) Pórfido correspondiente al pozo GWY054, donde se observa claramente una vena de cuarzo (qzv) y pequeñas venas de pirita fina (fpv). B) Pórfido correspondiente al pozo GWY057, en este se observan venas de cuarzo (qzv), venas de pirita fina (fpv) y una que otra venilla de molibdenita (mov) alrededor de la roca. Tambien se puede observar un fenocristal de plagioclasa cortado por multiples estructuras mineralizadas (mineralizacion epigenetica) .....	90
Fotografía 37. Pórfido correspondiente al pozo GWY059, en donde se observan claramente los cristales Euhedrales de plagioclasa y a su vez, es posible notar como una venilla de cuarzo (qzv) los corta, indicando, que la mineralización es posterior a la formación de la roca (Epignetico).....	91
Fotografía 38. THBX – QCBX – VQBX, Brecha con textura vuggy (Vgg) perteneciente al pozo GWY054. Presenta alunita en el cemento y minerales de cobre en poca cantidad (bornita y covelita). Ejemplo fotográfico del núcleo GWY054. ....	92

Fotografía 39. THBX – QCBX – CMBX, Brecha con textura craquelada (Crl), clasto soportada monomítica perteneciente al pozo GWY057.....	92
Fotografía 40. Alteración argílica fuerte (tipo 3, porcentaje de illita mayor al 25%) en un pórfido del pozo GWY057, nótese el color verde correspondiente a la illita que está reemplazando los cristales de plagioclasa.....	93
Fotografía 41. Alteración Supergénica (SPK), caracterizada por la ocurrencia de caolinita y otros minerales arcillosos, producida principalmente por la presencia de aguas superficiales, típica en zonas de falla.....	94
Fotografía 42. Alteración Silica o Argilica avanzada (SIL), caracterizada por la <i>ocurrencia de alunita y sílica</i> acompañada por lo general de sulfuros. Típica de zonas brechadas, se puede observar claramente la textura vuggy. ....	94
Fotografía 43. Pórfido cortado por múltiples estructuras, entre estas, venas de pirita cristalina (cpv) y de molibdenita (mov). Ejemplo observado en el pozo GWY057. ....	95
Fotografía 44. Principales mineralizaciones observadas con la lupa de mano a un aumento de 20x. Se observan zonas de mineralización de cobre, principalmente bornita (BN), covelita (CV) y calcosita (CC) también se puede observar Mineralización de Zinc en “forma” de esfalerita (ZN), zonas ricas en pirita (PY) y minerales de uranio (UTV) torbentita o uranita. ....	96
Fotografía 45. Mineralización de Molibdeno (Molibdenita - Mov), se encuentra relleno de venas, esta, se caracteriza por su color azulado y dureza muy baja (1 – 1,5 en la escala de dureza de Mohs). También es posible observar venas de pirita gruesa (CPV) .....	97
Fotografía 46. Mineralización de cobre en vena de pirita gruesa. Al aplicar el zoom 20x se puede notar las coloraciones morado – azul características de las mineralizaciones de bornita (BN), sulfuro rico en cobre (CU <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub> ). ....	97

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Coordenadas Gauss Krueger (origen central) y Elipsoidales de los pozos GWY054, GWY057 y GWY059.....	20
Tabla 2. Calidad de la roca dependiendo de la cantidad de la misma que es recuperada de la extracción.....	27
Tabla 3. Descripción de los diferentes grados de meteorización presentes en la roca.....	28
Tabla 4. Descripción de los diferentes grados de dureza de la roca.....	31
Tabla 5. Índice de familias de diaclasas .....	33
Tabla 6. Clasificación de la calidad del macizo rocoso, según el RQD.....	34
Tabla 7. Clasificación RMR de las condiciones de las fracturas .....	35
Tabla 8. Clasificación del sistema Q, indica la calidad de la roca. ....	38
Tabla 9. Índice de Rugosidad de las discontinuidades .....	39
Tabla 10. Índice de alteración de las discontinuidades.....	40
Tabla 11. Factor de reducción de agua, Se tomaron únicamente los valores utilizados en el proyecto. ....	41
Tabla 12. Factor de reducción de esfuerzos (SRF), se tienen en cuenta los valores usados para el proyecto. ....	43
Tabla 13. Clasificación litológica, donde se incluye, la litología principal (LITH), tipo de roca (RKT) y el sub tipo de roca (RKST).....	50
Tabla 14. Clasificación textural de las brechas (figura 3).....	56
Tabla 15. Diagrama de estimación de porcentajes .....	58
Tabla 16. Principales minerales mena presentes en los cuerpos mineralizados. ...	59
Tabla 17. Estilos de mineralización y sus minerales mena dominantes. Se muestran también los códigos usados en los diferentes anexos (E, F y G).....	60

Tabla 18. Tipos de estructuras y sus códigos representativos usados en los anexos. ....	64
Tabla 19. Principales tipos de alteraciones con los minerales representativos de cada una y los códigos usados en los anexos .....	68
Tabla 20. Intensidad de alteración, según el porcentaje de cada mineral representativo según el tipo de alteración .....	68
Tabla 21. Valores de Q, se muestran los colores y los valores que indican la calidad de la roca, el índice de calidad Q de la roca depende de varios factores, como: Jn, Ja, Jw, Jr, RQD y SRF. ....	70
Tabla 22. Calidad de la roca según el sistema Q para el pozo GWY054. ....	72
Tabla 23. Calidad de la roca según el sistema Q para el pozo GWY057. ....	73
Tabla 24. Calidad de la roca según el sistema Q para el pozo GWY059 .....	74
Tabla 25. Valores de Q, del dominio A, con sus respectivos datos estadísticos ...	84
Tabla 26. Valores de Q, del dominio B, con sus respectivos datos estadísticos ...	85
Tabla 27. Valores de Q, del dominio C, con sus respectivos datos estadísticos ...	85

## **LISTA DE ANEXOS\***

**ANEXO A.** Logueo geotécnico pozo GWY054

**ANEXO B.** Logueo geotécnico pozo GWY057

**ANEXO C.** Logueo geotécnico pozo GWY059

**ANEXO D.** Logueo geológico pozo GWY054

**ANEXO E.** Logueo geológico pozo GWY057

**ANEXO F.** Logueo geológico pozo GWY059

**ANEXO G.** Columna geológica generalizada pozo GWY054

**ANEXO H.** Columna geológica generalizada pozo GWY057

**ANEXO I.** Columna geológica generalizada pozo GWY059

---

\* Ver documentos adjuntos en el CD-ROM

## RESUMEN

**TITULO:** PRÁCTICA EMPRESARIAL: DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA DE MUESTRAS DE NÚCLEOS DE PERFORACIÓN\*

**AUTOR:** Julián Mauricio Herrera Gelvez\*\*

**PALABRAS CLAVE:** Logueo geológico, Logueo geotécnico y Núcleos de perforación

### DESCRIPCIÓN:

El logueo consiste en la descripción tanto geológica como geotécnica de muestras de núcleos de perforación, esta es llevada a cabo por profesionales de geología, los cuales realizan dichos análisis mediante diversos parámetros. Para el caso del logueo geotécnico, se aplican los métodos propuestos por Bieniawski, 1976 y 1989 y Barton, 1974; actualización 1994, los cuales incluyen; meteorización, dureza, índice de rugosidad (Jr), alteraciones de la pared de la diaclasa (Ja), como del cuerpo de la roca en sí, flujo de aguas subterráneas (Jw), tensores de esfuerzo (SRF), grado de fracturamiento (RQD) y la cantidad de familias de diaclasas presentes en la roca (Jn), para finalmente obtener un valor de calidad. Para el caso del logueo geológico, se identifican las principales litologías, mineralizaciones, alteraciones y estructuras, caracterizando la geología general de la roca. Es necesario prestar especial cuidado a las zonas de brechas y venas, pues es en estas donde se concentran las mineralizaciones principales.

Para el caso, se estudiaron 3 pozos, el GWY054, el GWY057 y el GWY059, los cuales corresponden litológicamente a una granodiorita porfírica perteneciente al Batolito de Rio Negro (TRtgd), según Royero y Clavijo, 2001 y con concentración de diversos minerales menas, como óxidos de hierro, bornita, covelita, calcosita, wolframita, esfalerita y uranita, entre otros, también se llevó a cabo el análisis geotécnico según el Q de Barton, 1974, esto último, con el fin de identificar las zonas malas, regulares y buenas de la roca.

---

\* Proyecto de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Geología. Director: Guillermo Vargas Pieschacón Geólogo Codirector: Alfonso Palacio Castilla

## ABSTRACT

**TITLE:** BUSINESS PRACTICE: GEOLOGICAL AND GEOTECHNICS DESCRIPTION OF DRILLING NUCLEUS SAMPLES\*.

**AUTHOR:** Julian Mauricio Herrera Gelvez\*\*

**KEYWORDS:** Geological logging, Geotechnical logging and Drilling cores

### DESCRIPTION:

The logging consists in the geological and geotechnical description of samples of drilling cores. This is carried out by professionals of geology, who realize these analyzes by means of diverse parameters. For the case of geotechnical logging are applied, the methods proposed by Bieniawski, 1976 and 1989 and Barton, 1974; 1994 update. Which include; Weathering, hardness, roughness index (Jr), alterations of the wall of the joint (Ja), and of the body of the rock itself, groundwater flow (Jw), stress tensors (SRF), fracturing degree (RQD) and the number of families of joints present in the rock (Jn), to finally obtain a quality value. For the case of the geological logging, it's necessary to identified the main lithologies, mineralizations, alterations and structures how characterizing the general geology of the rock. It is necessary to pay special attention to the areas of breccias and veins, because it is in these where the main mineralizations are concentrated.

For this case, three wells, GWY054, GWY057 and GWY059 were studied, which corresponded lithologically to a porphyritic granodiorite belonging to the Rio Negro Batolite (TRtgd), according to Royero and Clavijo, 2001 and with concentration of various ore minerals: Such as iron oxides, bornite, covelite, calcosite, wolframite, sphalerite and uranite, among others, Also the geotechnical analysis was carried out according to the Q of Barton, 1974, the latter, in order to identify the bad, regular and good areas of the rock.

---

\* Project of grade

\*\* Faculty of Engineering Physical Chemical. School of Geology. Director: Guillermo Vargas Pieschacón Geólogo Codirector: Alfonso Palacio Castilla

## INTRODUCCION

La empresa Sociedad Minera de Santander S.A.S. – Minesa, es una empresa colombiana de minería de oro establecida en noviembre del año 2015, hoy por hoy, se enfocada en el desarrollo del proyecto aurífero Soto Norte, ubicado en el departamento de Santander, Colombia. Actualmente, se encuentra en etapa de exploración, adelantando los estudios técnicos y ambientales necesarios para el desarrollo del proyecto y se prepara para iniciar el proceso de licenciamiento ante la ANLA, a partir del segundo trimestre del 2017, con miras a iniciar la etapa de explotación en el año 2021.

La presente práctica empresarial, se enfoca en la descripción de muestras de núcleos de perforación, mediante logueo geológico y geotécnico. Para llevar a cabo dichas descripciones, *se toma como referencia, el Manual de logueo de núcleos de perforación de la Sociedad Minera de Santander S.A.S*, con el fin de facilitar y estandarizar el trabajo realizado en el tiempo de desarrollo de la práctica.

Por medio del presente plan, se pretende ilustrar previamente las especificaciones del proyecto de grado como modalidad de práctica empresarial realizada con la empresa Sociedad Minera de Santander S.A.S. además de dar una descripción previa de los objetivos, justificación, metodología y actividades realizadas durante su desarrollo.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Realizar la descripción geológica y geotécnica mediante logueo de muestras de núcleos de roca.

### **1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Identificar los tramos de roca buenos, regulares y malos, de los pozos GWY054, GWY057 y GWY059, mediante logueo geotécnico.
- Describir la geología de los pozos GWY054, GWY057 y GWY059. Desde el punto de vista del logueo geológico.
- Realizar la columna generalizada de los pozos GWY054, GWY057 y GWY059 por medio de los datos obtenidos del logueo geológico.

## 2. LOCALIZACIÓN

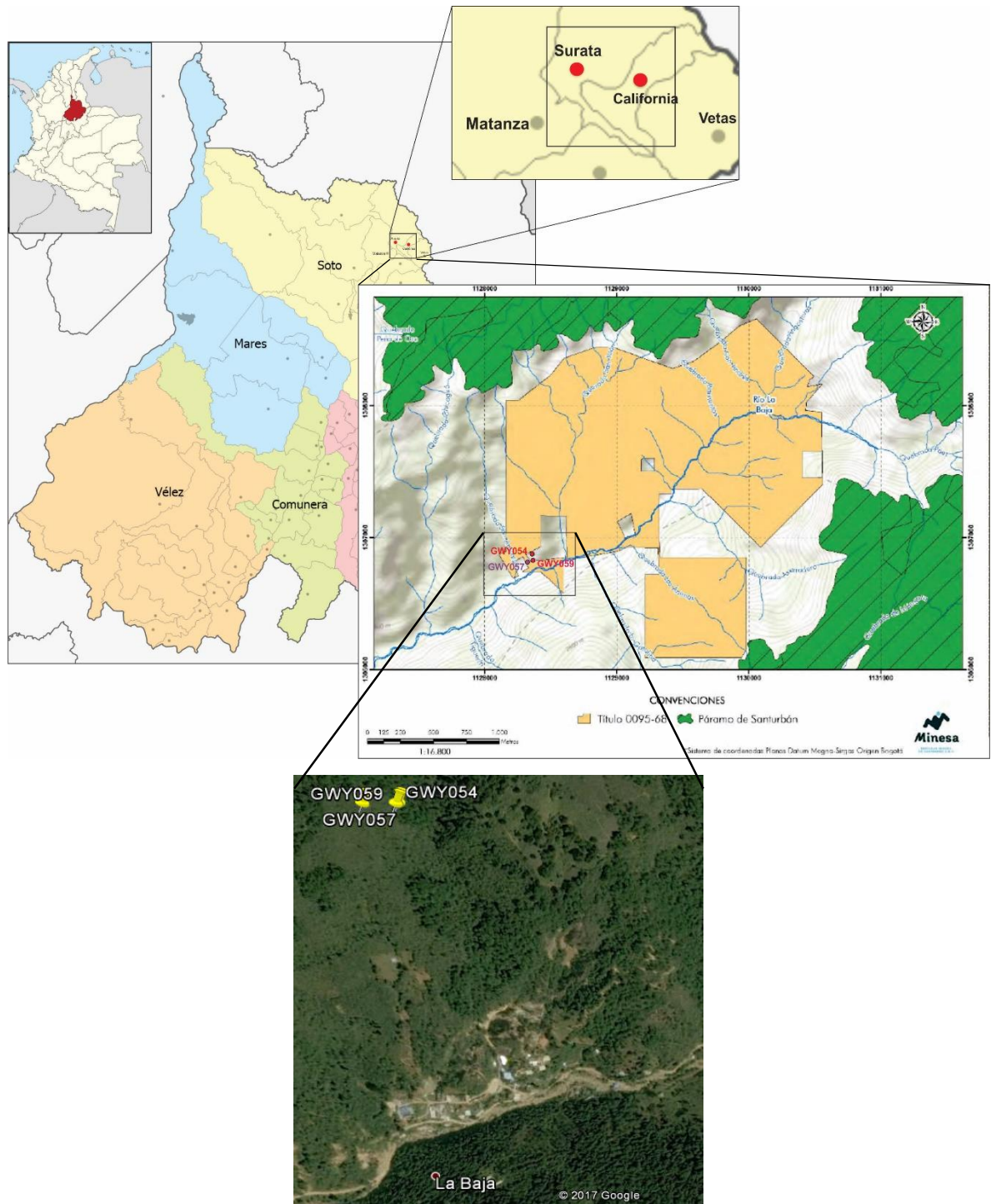
La provincia de Soto en el departamento de Santander, está conformada por los municipios de Bucaramanga, California, Charta, Lebrija, Matanza, Rionegro, Surata y Vetas, entre otros. El proyecto minero aurífero Soto Norte llevado a cabo por la empresa Minesa, se desarrolla principalmente en los municipios de California y Surata. Los pozos tomados para el desarrollo del libro, corresponden a GWY054, GWY057 y GWY059. En la **tabla 1**, se pueden observar las coordenadas de cada uno de los pozos y en la **figura 1**, se observa la ubicación de estos.

**Tabla 1. Coordenadas Gauss Krueger (origen central) y Elipsoidales de los pozos GWY054, GWY057 y GWY059.**

Pozos	Gauss Krueger		Elipsoidal		Altura (m)
	Norte (m)	Este (m)	Latitud (N)	Longitud (W)	
<b>GWY054</b>	1128373.5	1306852.94	7°22'10,02''	72°54'53,29'	2459.95
<b>GWY057</b>	1128321.64	1306827.65	7°22'9,207''	72°54'54,98''	2439.12
<b>GWY059</b>	1128370.13	1306848.25	7°22'9,873''	72°54'53,40''	2451.46

Los pozos se ubican sobre la unidad ígnea plutónica JRcgp que corresponde a un porfido de composición Cuarzo Monzonítico, estos se encuentran a su vez suprayaciendo al Neis de Bucaramanga. Estas rocas afloran al nororiente del departamento y constituyen el Batolito granodiorítico de Rionegro, compuesta por andesina, cuarzo y microclina según lo evidenciado por Royero & Clavijo. Esto se puede evidenciar más claramente en la **figura 2** “Mapa geológico de la zona” que se encuentra en la página 46 de este documento.

**Figura 1. Localización de los pozos GWY054, GWY057 y GWY059.**



Fuente: Imagen tomada y modificada de Presentación Corporativa Minesa, Enero 2017 y Google Earth 2017.

### **3. JUSTIFICACIÓN**

Como parte de las labores de exploración y caracterización que se llevan a cabo en el Proyecto Soto Norte propiedad de la Sociedad Minera de Santander, se realizan sondeos diamantinos con recuperación de núcleos. Estos constituyen el insumo principal para el modelamiento geológico/geomecánico y los diseños geotécnicos de un proyecto minero, por lo tanto la cuidadosa descripción de sus propiedades geológicas y geomecánicas, es de suma importancia.

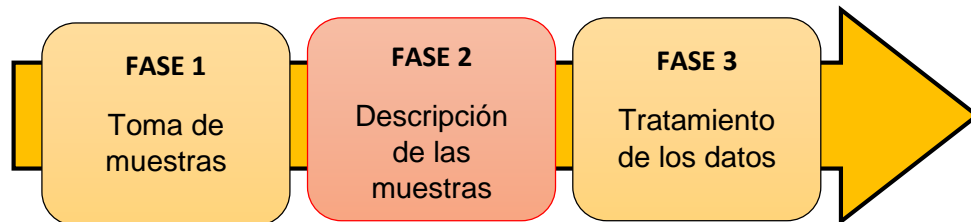
El logueo de núcleos de perforación y otras actividades asociadas, hacen parte de las labores que comúnmente realizan los geólogos en proyectos mineros y de infraestructura. El presente proyecto de práctica empresarial, se ha pensado como un medio de fortalecer y aplicar los conocimientos adquiridos en la formación universitaria a través de una experiencia global que incluye el entrenamiento en labores de logueo geológico & geomecánico, siguiendo metodologías estándares y referentes en la industria a nivel mundial.

## 4. METODOLOGÍA

El proyecto Soto Norte, desarrollado por la empresa Sociedad Minera de Santander S.A.S (Minesa), es un proyecto que engloba una gran cantidad de áreas del conocimiento, entre estas, el área de geología.

Los datos tomados y tratador por parte de esta área (geología) engloban 3 etapas principales, tal y como se ilustra en el **diagrama 1**.

**Diagrama 1. Distribución general de las labores realizadas por parte del área de geología en el desarrollo del Proyecto Soto Norte. La Fase 2 Se resalta en rojo, debido a que es la que se desarrolla durante la práctica.**



### 4.1 FASE 1 – TOMA DE MUESTRAS

Consiste en la toma y recolección de las muestras de roca, esto, se lleva a cabo por parte de una empresa contratista externa a Minesa.

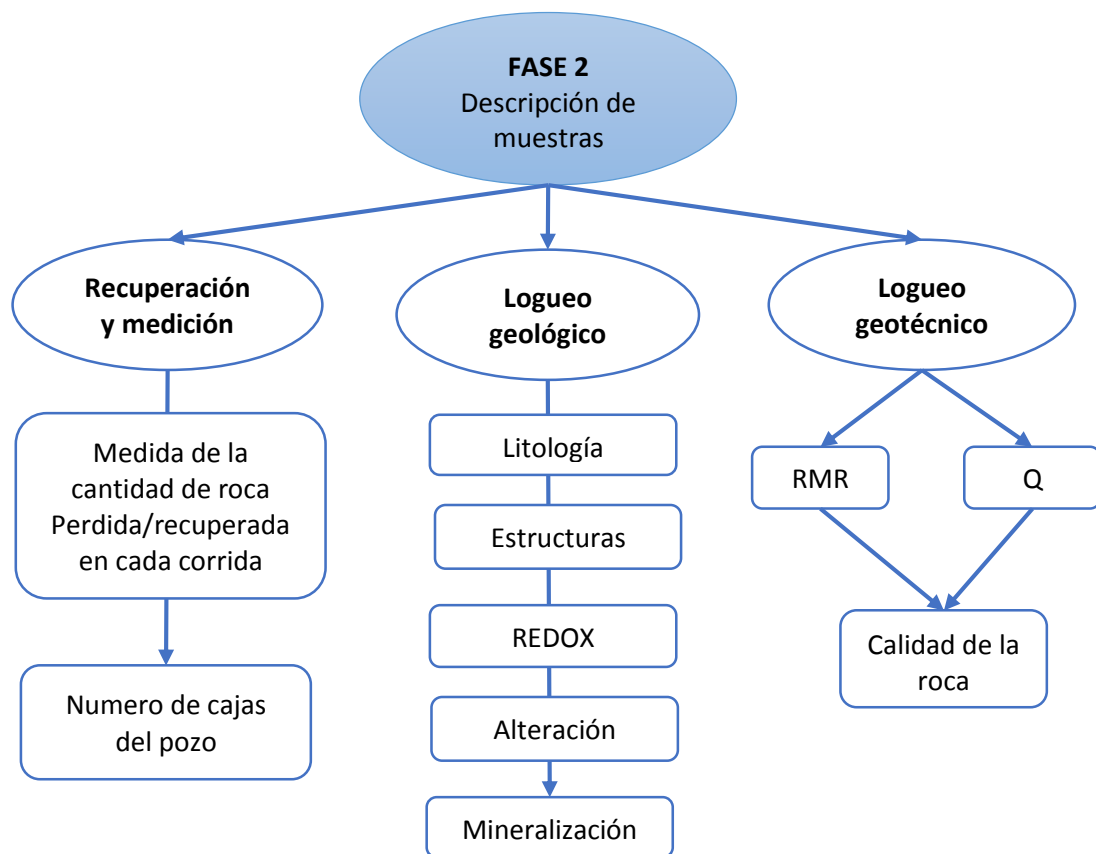
Las muestras se toman y se trasladan hasta el punto de descripción (mesas de logueo), donde la roca es tratada y analizada por el personal de geología encargado de Minesa S.A.S.

## 4.2 FASE 2 – DESCRIPCION DE MUESTRAS

Corresponde a la descripción de los sondeos de roca. Esta etapa es realizada por parte de los practicantes y geólogos Jr.

La fase 2, tiene varias labores a realizar, como se ilustra en el **diagrama 2**.

**Diagrama 2. Distribución generalizada de las actividades de descripción de los sondeos de roca. Actividades realizadas en esta fase.**



Una vez terminada la fase 2, las muestras de roca, se etiquetan con base a la información que se suministra por la medida de la recuperación, para su posterior fotografiado y almacenado.

Cada empresa, presenta una forma característica de realizar las descripciones de las muestras de roca, en este caso, se tomara como guía el Manual de logueo de núcleos de perforación de la Sociedad Minera de Santander S.A.S.

### **4.3 FASE 3 – TRATAMIENTO DE DATOS**

La tercera etapa corresponde al tratamiento de los datos obtenidos de la fase 2. Dichos datos son tratados por parte de los geólogos más experimentados y capacitados.

Es en esta fase, donde los datos son usados para la elaboración de los diferentes modelos (geológico y geotécnico), así como para la estimación de recursos, análisis geoquímicos y diseño de mina.

Estos datos, por ser los más importantes para el desarrollo del proyecto Soto Norte, son considerados **confidenciales**. Es por ello que no se tienen en cuenta.

## 5. MARCO TEORICO

El logueo consiste en la descripción de sondeos de roca (Núcleos), este puede ser de tres tipos, logueo geológico, geotécnico e hidrogeológico. Para nuestro caso, solo trataremos los dos primeros, pues, estos son usados con fines de exploración de yacimientos minerales, siendo su base fundamental<sup>1</sup>.

Es importante diferenciar entre estos dos tipos de logueo, para poder realizar una correcta descripción del depósito mineral y así obtener el modelo más aproximado de la forma del yacimiento.

Cada empresa, presenta una forma característica de realizar las descripciones de las muestras de roca, en este caso, se tomara como guía el Manual de logueo de núcleos de perforación de la Sociedad Minera de Santander S.A.S.

### 5.1 RECUPERACIÓN (RECOVERY)

La medida de la recuperación, se realiza con el fin de indicar la cantidad de roca recuperada/perdida durante una corrida, *cuantificada en valores de 0 a 100%*. Esta debe medir el testigo de roca en su totalidad obviando los espacios que pueden existir entre los trozos de roca que no han podido ser unidos. Dependiendo del porcentaje de roca recuperada de la extracción, se clasifica su calidad como: core lost, muy pobre, pobre, buena, muy buena y excelente, esto se ilustra en la **Tabla 2**.

---

<sup>1</sup> CARRERA, L., MARISELL D. 2014. Logueo geológico, geotécnico e hidrogeológico. Universidad privada del norte, ingeniería de minas.

Si la roca se presenta muy fracturada o triturada y no es posible tener una idea clara de la forma del núcleo, se deben juntar todos los pedazos con el fin de realizar un acercamiento a lo que sería el testigo si estuviera completo. Una vez ajustado esto, se procede a realizar la medición de la recuperación. Procedimiento de logueo geotécnico Bieniawski, gran nacional minera, (2014)

**Tabla 2. Calidad de la roca dependiendo de la cantidad de la misma que es recuperada de la extracción.**

<b>PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN</b>	<b>CALIDAD</b>
<b>0,00%</b>	Core lost
<b>0,01% - 40%</b>	Muy pobre
<b>40% - 60%</b>	Pobre
<b>60% - 80%</b>	Buena
<b>80% - 90%</b>	Muy buena
<b>90% - 100%</b>	Excelente

Fuente: SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER S.A.S Manual de logueo de núcleos de perforación de la. 2015.

Dicha información será de gran utilidad a la hora de etiquetar, fotografiar, almacenar y describir los núcleos.

## **5.2 LOGUEO GEOTÉCNICO**

El logueo geotécnico de núcleos de perforación se realiza mediante parámetros geomecánicos, esto, con el fin de caracterizar la capacidad de los bloques de roca, las discontinuidades y la distribución de las estructuras. Se realiza para entender la naturaleza del cuerpo rocoso y clasificarlo para un posterior análisis de estabilidad.

Para la realización de dicho logueo, se usaran los códigos y rangos establecidos correspondientes a los dos sistemas de clasificación geomecánica que se utilizaran

en el análisis posterior de los resultados: el Sistema de Clasificación del Macizo Rocosos RMR<sup>2 3</sup> y el Índice Q de Calidad de Roca para Túneles<sup>4</sup>. “Manual de logueo de núcleos de perforación de la Sociedad Minera de Santander S.A.S. 2015.”

Para la elaboración adecuada y estandarizada del logueo geotécnico, es necesario consignar la información en los formatos establecidos por la empresa, “Geotechnical Logging Template” (Formato de logueo geotécnico) en formato Excel, sobre los cuales, se realizaron los **anexos A, B y C**

**5.2.1 Meteorización.** La meteorización corresponde al grado de pérdida de competitividad física de la roca debido a agentes exteriores como el intemperismo o flujos de aguas subterráneas, los cuales cambian la composición mineralógica original de esta. Para medir la intensidad de la meteorización se usa la **Tabla 3**, la cual se ha estandarizado por la ISRM (International Society for Rock Mechanics) e incluye una escala que varía desde la roca fresca, no meteorizada (1) hasta los Suelos residuales (6), como se ilustra en la **Fotografía 1**. Manual de logueo de núcleos de perforación, sociedad minera de Santander 2015.

**Tabla 3. Descripción de los diferentes grados de meteorización presentes en la roca**

GRADO DE METEORIZACIÓN	DESCRIPCIÓN	CLASIFICACIÓN
<b>Roca fresca, no meteorizada</b>	La roca no presenta decoloración, pérdida de dureza o ningún efecto de la meteorización.	1
<b>Levemente meteorizada</b>	La roca puede estar levemente descolorida, cerca de las discontinuidades, las cuales estarán	2

<sup>2</sup> BIENIAWSKI, Z. T. Rock mass classification in rock engineering. *In exploration rock engineering, proc. Of the symp.* 1976. 97 – 106.

<sup>3</sup> BIENIAWSKI, Z.T. *Engineering rock mass classifications*. New York: Wiley1989

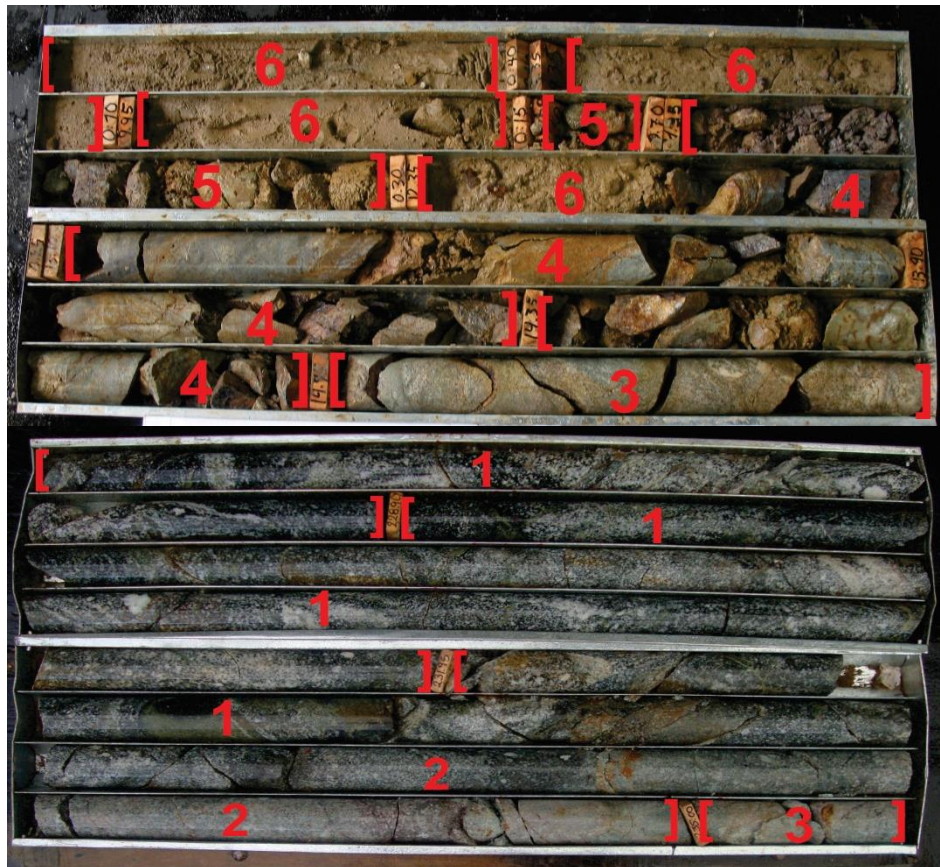
<sup>4</sup> BARTON, N., LIEN, R., LUNDE, J. Engineering Classification of rock masses for the design of tunnel support rock mechanics 6, 1974. 189 - 236

<b>GRADO DE METEORIZACIÓN</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CLASIFICACIÓN</b>
	abiertas y tendrán superficies levemente descoloridas.	
<b>Moderadamente meteorizada</b>	La roca está descolorida; las discontinuidades abiertas con superficies descoloridas y alteración empezando a penetrar hacia dentro.	3
<b>Intensamente meteorizada</b>	La roca está descolorida; las discontinuidades abiertas y superficies descoloridas, y la textura de la roca cerca de las discontinuidades se encuentra alterada; la alteración penetra profundamente hacia dentro.	4
<b>Completamente meteorizada</b>	La roca está descolorida y descompuesta o transformada totalmente a suelo, pero la textura original es aún visible.	5
<b>Suelo residual</b>	La textura original de la roca se encuentra completamente destruida.	6

Fuente: SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER S.A.S. Manual de logueo, 2015.

Hay que tener en cuenta que el índice de meteorización aumenta a medida que la roca pierde su competitividad física y no al grado de alteración por sí mismo. En algunos casos, donde la corrida sea heterogénea, puede darse una clasificación doble de meteorización (ej.:1 – 4, que indica la predominancia de 1 y 4 y NO un rango de 1 a 4)

**Fotografía 1. Se observa la distribución de los diferentes grados de meteorización; Ejemplos fotográficos de núcleos de perforación**



Fuente: SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER S.A.S. Base de datos de la

**5.2.2 Dureza.** Corresponde a una medida de la resistencia física de la roca mediante métodos sencillos como golpes del martillo, rayador, punzón y navaja. En este caso se asignan valores que varían de 0 – 6 donde 0 es el valor más bajo correspondiente a una roca extremadamente débil (puede ser marcada por la uña) y 6 corresponde a la roca fresca (extremadamente fuerte) como se indica en la **Tabla 4**.

Para esta medida, se aplica también el concepto de heterogeneidad del núcleo, donde al igual que en el caso anterior (meteorización) es posible dar valores mixtos (1-3, 0-6, 5-6...).

**Tabla 4. Descripción de los diferentes grados de dureza de la roca**

DESCRIPCION	IDENTIFICACIÓN EN CAMPO	GRADO
Extremadamente débil	Marcada por la uña.	0
Muy débil	Se disgrega por un golpe firme con la punta del martillo geológico; puede ser pelada por la navaja.	1
Débil	Puede ser pelada por la navaja con dificultad; leve penetración causada por un golpe firme del extremo puntudo del martillo geológico	2
Moderadamente fuerte	No puede pelarse o raspase con la navaja; puede ser fracturada con un solo golpe firme con el extremo plano del martillo geológico.	3
Fuerte	La muestra requiere más de un golpe firme del extremo plano del martillo geológico para ser fracturada.	4
Muy fuerte	La muestra requiere muchos golpes del extremo plano del martillo geológico para ser fracturada.	5
Extremadamente fuerte	La muestra sólo puede ser astillada por el extremo plano del martillo geológico.	6

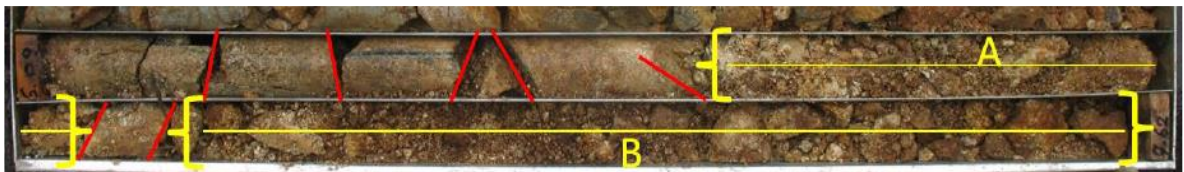
Fuente: SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER S.A.S. Manual de logueo, 2015.

**5.2.3 Rock Mass jointing.** El rock mass jointing, corresponde a la cantidad, frecuencia, disposición y orientación de las diaclasas dispuestas en el núcleo. Este factor da una idea de los volúmenes y forma de los bloques que pueden existir in – situ. Esto se describe a continuación.

**5.2.3.1 Densidad aproximada de diaclasas** Con el fin de unificar los conceptos y datos, este parámetro es realizado mediante el método de “Weighted Joint Density” (WJD), introducido por Palmstrom (1995). Para el cálculo WJD se realiza el conteo de las fracturas en cinco categorías de acuerdo a su ángulo de intersección con el eje del núcleo; < 16°, 16° - 30°, 31° - 60°, > 60° y Broken/Crushed Core. Donde este último representa las zonas donde el núcleo se encuentra altamente fracturado, triturado o terroso, o en donde no se pueda determinar el Angulo de dirección de las

fracturas. Para su conteo se divide la sumatoria longitudinal de éstos tramos, entre el espaciamiento representativo que se estime visualmente a partir de los trozos de núcleo fracturado, de esta forma se deduce el valor del “Broken/Crushed core” como se observa en la **Fotografía 2**. Manual de logeo de núcleos de perforación Sociedad minera de Santander S.A.S. 2015

**Fotografía 2. Ejemplo fotográfico del WJD.**



Fuente: SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER S.A.S. Manual de logeo, 2015.

El conteo de fracturas se registra así: 6 (> 60°), 1 (31°- 60°) y 120 (broken/crushed core). El conteo de la última categoría se obtiene:

$$\frac{A + B}{S_a} = \frac{0,30 \text{ m} + 0,90 \text{ m}}{0,01 \text{ m}} = 120$$

**5.2.3.2 Índice de familia de diaclasas – Joint Number (Jn).** Corresponde al número de familias de diaclasas definido por Barton (1974, actualización 1994). Para definir las familias se deben considerar las diaclasas orientadas de forma paralela o sub-paralela entre sí. En este apartado, también se tienen en cuenta las diaclasas aleatorias, las cuales presentan una orientación particular que no pertenece a ninguna familia.

El índice de familias de diaclasas (Jn) puede tomar valores de: 0.5, 1, 2, 3, 4, 6, 9, 12, 15 y 20, donde 0,5 corresponde a la roca Masiva, sin diaclasas y 20 a la roca terrosa o triturada, como se observa en la **Tabla 5**.

**Tabla 5. Índice de familias de diaclasas**

<b>ÍNDICE DE FAMILIAS DE DIACLASAS</b>	<b>Jn</b>
Roca masiva, sin diaclasas.	0,5 - 1
Una familia de diaclasas.	2
Una familia + aleatorias.	3
Dos familias de diaclasas.	4
Dos familias + diaclasas aleatorias.	6
Tres familias de diaclasas.	9
Tres familias + diaclasas aleatorias.	12
Cuatro o más familias, diaclasas aleatorias, roca muy fracturada, roca en terrones.	15
Roca triturada, convertida en suelo.	20

Fuente: SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER S.A.S. Manual de logueo, 2015

**5.2.3.3 Rock Quality Designation (RQD).** Este factor es definido por Deere, 1989, quien lo estableció para obtener una noción del grado de fracturamiento de la roca. Este es definido de la siguiente manera “longitud total de los trozos de núcleo *no meteorizados* mayores o iguales a 10 cm, expresada como un porcentaje”.

En la **Fotografía 3** se observa la manera adecuada de medir el RQD, aplicada a un núcleo real, para este, se usa el eje del núcleo como referencia. Cabe aclarar que los trozos de núcleos a medir, deben estar comprendidos entre fracturas naturales. Las fracturas mecánicas deben ser ignoradas en el cálculo del RQD.

El RQD, se usa como una manera de medir un estimado cuantitativo de la calidad de la roca, de acuerdo a su índice de fracturamiento, esto, con base en la **Tabla 6**.

**Fotografía 3. Procedimiento para medir adecuadamente el RQD, aplicado a un sondeo de roca. El RQD es medido desde 126.49, hasta 128,01 m (1,5 m), se observa un RQD del 86%, que según los datos de la tabla 5, equivale a una roca de calidad buena.**



Longitud total del núcleo: 150 Cm

Longitud de trozos mayores a 10 Cm: 129 Cm

$$\text{RQD: } \frac{129 \text{ Cm}}{150 \text{ Cm}} \times 100\% = 86\%$$

**Tabla 6. Clasificación de la calidad del macizo rocoso, según el RQD.**

RQD	CLASIFICACIÓN
<25%	Muy pobre
25 – 50%	Pobre
50 – 75%	Moderado
75 – 90%	Bueno
>90 %	Excelente

Fuente: Tomada y modificada de Deere 1989.

**5.2.4 Condición de las fracturas.** La clasificación geomecánica de las fracturas RMR (Rock Mass Rating) fue planteada por el ingeniero Bieniawski en 1973 y modificada sucesivamente en varias ocasiones hasta llegar a su versión final en 1989. Esta clasificación utiliza 5 parámetros fundamentales para la caracterización de las condiciones de las fracturas: separación, rugosidad, meteorización de la pared, relleno y longitud. Como al realizar el logueo, no es posible apreciar la continuidad de las fracturas, este último factor (longitud), no es tenido en cuenta a la hora de describir el sondeo de roca. Los otros 4 factores contemplados en el RMR

son consignados en la **Tabla 7**, estos toman valores que varían desde 0 como valor más desfavorable y 7.5 como valor más favorable.

**Tabla 7. Clasificación RMR de las condiciones de las fracturas**

CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES RMR					
Separación	Ninguna	< 0.1mm	0.1 – 1 mm	1 – 5 mm	>5mm
<b>Clasificación</b>	7,5	6	5	1	1
Rugosidad	Muy rugosa	rugosa	Ligeramente rugosa	liso	Pulida o con estrías de falla
<b>Clasificación</b>	7,5	6	3,5	1,5	0
Relleno	Ninguna	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm
<b>Clasificación</b>	7,5	5	2,5	2,5	0
Meteorización de la pared	Sin alteración	Ligeramente meteorizada	Moderadamente meteorizada	Fuertemente meteorizada	descompuesta
<b>Clasificación</b>	7,5	6	3,5	1	0

Fuente: SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER S.A.S. Manual de logueo, 2015.

#### 5.2.4.1 Condiciones de las discontinuidades

- **Separación**

Como su nombre lo indica, corresponde al espacio que se encuentra entre las caras de las discontinuidades, respetando el espacio de los materiales de relleno. Su clasificación es asignada de acuerdo a los valores de la **Tabla 7**.

- **Rugosidad**

Corresponde a una valoración de las irregularidades presentes en las caras de las fracturas. Es importante tenerlo en cuenta pues es necesario al momento de evaluar la resistencia al cizallamiento de la columna de roca. La rugosidad se comporta de manera proporcional con la ondulación, es decir que los valores más altos

corresponden a fracturas con caras onduladas y los valores más bajos a fracturas lisas o casi lisas, ver **Fotografía 4**.

En esta clasificación, es importante notar que la rugosidad es despreciada si las fracturas de la roca presentan algún tipo de relleno o separación mayor a 5 mm, pues en estos casos ante un movimiento de cizalla, cabe la posibilidad que no se produzca contacto entre las caras de la fractura, afectando directamente la estabilidad de la roca.

**Fotografía 4. Ejemplos fotográficos de la clasificación de la rugosidad de las fracturas**



Fuente: SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER S.A.S. Manual de logueo, 2015.

- **Meteorización de la pared**

Cuando los bloques de roca presentan alteraciones por agentes exteriores en las caras de las fracturas. En este parámetro se describe el nivel de alteración presente por dichos agentes, el cual varía desde una roca descompuesta cuyo valor es de 0 hasta la roca fresca y sin alteraciones cuyo valor es de 7.5 como se observa en la **Tabla 7.**

- **Relleno**

Corresponde al material que se encuentra entre las caras de las discontinuidades, estos pueden ser: materiales duros con poca cohesión y alta fricción como cuarzo, pirita, óxidos y partículas arenosas o limosas, los cuales toman valores de 3 en adelante; y materiales blandos cohesivos con poca fricción como clorita, sericita, esmectita, illita y cualquier otro material arcilloso cuyos valores son inferiores a 2.5. **Tabla 7.**

Es importante diferenciar entre las características de materiales de relleno que se presentan entre las caras de las discontinuidades, los cuales pueden ser, coberturas, parciales o rellenos y varían dependiendo de la cantidad del material en estas.

**5.2.5 Condición de las fracturas – clasificación del sistema Q.** La clasificación del sistema Q fue desarrollada por Barton, Lien y Lunde en 1974, a partir de estudio de gran número de túneles, este constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite estimar parámetros geotécnicos del macizo y diseñar sostenimientos para túneles. Esta clasificación se define mediante la siguiente expresión:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} * \frac{J_w}{SRF}$$

Donde:

- RQD: Calidad de la roca
- J<sub>n</sub>: Numero de familia de discontinuidades
- J<sub>r</sub>: Índice de rugosidad
- J<sub>a</sub>: Índice de alteración de las paredes de las discontinuidades
- J<sub>w</sub>: Acción de reducción por la presencia de aguas
- SRF: Estado tensional del macizo rocoso

Los datos obtenidos mediante el método Q, son consignados en la **Tabla 8**, donde se observan los valores de Q vs la calidad del Patrón geomecánico del macizo. Es de acuerdo a esta tabla, que se realiza la clasificación geomecánica de la roca.

**Tabla 8. Clasificación del sistema Q, indica la calidad de la roca.**

Patrón geomecánico del macizo	Valores de Q
Excelente	>400
Excepcionalmente bueno	100 – 400
Muy bueno	40 – 100
Bueno	10 – 40
Regular	4 – 1
Malo	1 – 4
Muy malo	0.1 – 1
Extremadamente malo	0.01 – 0.1
Pésimo	0.0001 – 0.01

Fuente: PARIZZI María Giovana “Mecánica das rochas” Universidad federal de Minas Feráis (UFMG). 2016

**5.2.5.1 Jr – Joint Roughness.** Consiste en la clasificación de la rugosidad de las fracturas según el sistema Q de Barton. De forma similar a la clasificación RMR, el Jr desprecia la rugosidad cuando no existe contacto entre las paredes de las

fracturas ante un movimiento de cizalla. En este caso se manejan valores desde 0.5 como valor más bajo (Diaclasas planas, perfectamente lisas con slickensides) hasta 4, como valor más alto (Diaclasas discontinuas). **Tabla 9**

**Tabla 9. Índice de Rugosidad de las discontinuidades**

ÍNDICE DE RUGOSIDAD DE LAS DISCONTINUIDADES	Jr
Diaclasas Discontinuas.	4
Diaclasas onduladas, rugosas o irregulares.	3
Diaclasas lisas.	2
Diaclasas onduladas, perfectamente lisas.	1.5
Diaclasas planas, Lisas.	1.5
Diaclasas planas, perfectamente lisas con slickensides.	0,5
Zona que contiene minerales arcillosos, arenosos o de gravas con espesor suficiente para impedir el contacto de las caras de la discontinuidad.	1

Fuente: SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER S.A.S. Manual de logueo, 2015.

**5.2.5.2 Ja – Joint Alteration.** Corresponde al grado de alteración de las fracturas, para este parámetro se tienen en cuenta 3 características; **Tabla 10.**

- A. Si tiene contacto entre las paredes.
- B. Si llega a existir contacto entre las paredes de la fractura ante un movimiento de cizalla, separación continua menor a 5 mm; rellenos en pequeños espesores.
- C. No llega a existir contacto entre las paredes de la fractura ante un movimiento de cizalla, separación continua mayor a 5 mm; rellenos de espesores considerables.

**5.2.6. Condiciones In – Situ.** Corresponde a factores externos que pueden afectar la estabilidad de la excavación tales como la orientación de las fracturas, la presión del agua y la condición de los esfuerzos en el Q de Barton<sup>5</sup>. En este caso se tienen en cuenta:

---

<sup>5</sup> Ibíd.

**Tabla 10. Índice de alteración de las discontinuidades.**

ÍNDICE DE ALTERACIÓN DE LAS DIACLASAS	Ja
<i>Contacto entre los planos de las discontinuidades (sin minerales de relleno)</i>	
Discontinuidad cerrada, dura, sin reblandecimientos.	0,75
Planos de discontinuidad inalterados, superficies ligeramente manchadas.	1
Planos de discontinuidades ligeramente alterados. Presentan minerales no blandos, partículas arenosas, roca desintegrada libre de arcillas, etc	2
Recubrimientos de arcillas limosas o arenosas. Fracción pequeña de arcilla (no blanda)	3
Recubrimientos de arcillas blandas o de baja fricción, es decir, caolinita o mica. También clorita, talco, yeso, grafito, etc	4
<i>Contacto entre los planos de la discontinuidad ante un desplazamiento (minerales de relleno en pequeños espesores)</i>	
Partículas arenosas, roca desintegrada libre de arcilla, etc.	4
Fuertemente consolidados, con rellenos de minerales arcillosos no blandos (continuos, pero con espesores menores a 5 mm)	6
Consolidación media a baja, con reblandecimiento, rellenos de minerales arcillosos (continuos, pero de espesores inferiores a 5 mm)	8
Rellenos de arcillas expansivas, como montmorillonita, esmectita (continuos, pero con espesores inferiores a 5 mm). El valor de Ja depende del porcentaje de partículas con tamaños similares a los de las arcillas expansivas	8 - 12
<i>No se produce contacto entre los planos de la discontinuidad ante un desplazamiento cortante (rellenos de mineral de gran espesor)</i>	
Zonas o bandas de roca desintegrada o triturada y arcillas	8 - 12
Zonas o bandas continuas de arcillas, de espesor grueso	10, 12 13 20

Fuente: SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER S.A.S. Manual de logueo, 2015.

**5.2.6.1. Jw - Acción de reducción por la presencia de aguas.** Este índice mide el grado de humedad del macizo, este actúa de forma que reduce el esfuerzo normal efectivo sobre la masa de roca, además de esto, la presencia de agua, puede reblandecer y/o lavar los rellenos de las diaclasas generando inestabilidad. Manual de logueo Sociedad Minera de Santander S. A. S. Para este parámetro, solo se

tuvieron en cuenta los valores: 0.33, 066 y 1 como se observa en la **Fotografía 5**. Donde, 1 el valor más favorable, indicando condiciones secas o de poco flujo de agua. Y 0.33 el valor más desfavorable indicando condiciones de grandes flujos de agua. **Tabla 11**

**Fotografía 5. Ejemplos fotográficos del  $J_w$ . Se seleccionaron tramos de roca correspondientes a los valores de  $J_w$  usados en el proyecto, es decir, 1, 0,66 y 0,33.**



Fuente: SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER S.A.S.Base de datos

**Tabla 11. Factor de reducción de agua, Se tomaron únicamente los valores utilizados en el proyecto.**

FACTOR DE REDUCCIÓN DE AGUA	$J_w$
Excavaciones secas o con flujo menor < 5 l/min localmente	1
Flujo o presión media, lavado ocasional de los rellenos en las fracturas	0,66
Flujo grande o presión alta, lavado considerable de los rellenos en las fracturas	0,33

Fuente: SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER S.A.S. Manual de logueo, 2015.

**5.2.6.2. SRF - Estado tensional del macizo rocoso.** Corresponde al estado de tensión del macizo rocoso y a la cantidad de esfuerzos que pueden llegar a

ocasionar problemas. Para el proyecto, se tiene en cuenta valores que varían dependiendo de ciertas características, pero por síntesis se toman valores que varían desde 1 hasta 20, siendo este último el más desfavorable. Otros valores contemplados no se tienen en cuenta debido a las características del proyecto que se está realizando. El SRF, contempla 4 estadios diferentes:

- A. Zonas de debilidad que intersectan la excavación, lo cual puede causar desprendimientos en la masa rocosa una vez se excave el túnel.** Esta, corresponde a zonas de roca falladas, intensamente fracturadas o con diaclasas abiertas. Algunos de estos factores están ligados a la profundidad, para el caso del proyecto “Soto Norte” se usara siempre condiciones mayores a 50 m.
  
- B. Roca competente, problemas relacionados a esfuerzos.** Los datos obtenidos mediante la clasificación del sistema Q de Barton no encontró casos especiales que correspondieran a ésta categoría, por lo que únicamente se tiene en cuenta el valor “1” para indicar roca competente, poco fracturada y en condiciones generales que favorecen la excavación. Como se indica en la **tabla 12**.
  
- C. Roca compresiva.** Zonas de roca incompetente. Aquí se incluyen sectores con altos contenidos de gouge y/o arcillas deformables con comportamiento plástico. La calificación se hará de acuerdo a la cantidad en que éstos materiales se encuentren en las corridas.
  
- D. Roca expansiva.** Zonas con actividad química expansiva ligada a la presencia de agua. Aquí se incluyen los sectores con contenidos de materiales expansivos, siendo la esmectita el mineral de este tipo característico en el proyecto. La calificación se hará de acuerdo a la cantidad de arcillas expansivas que se observen.

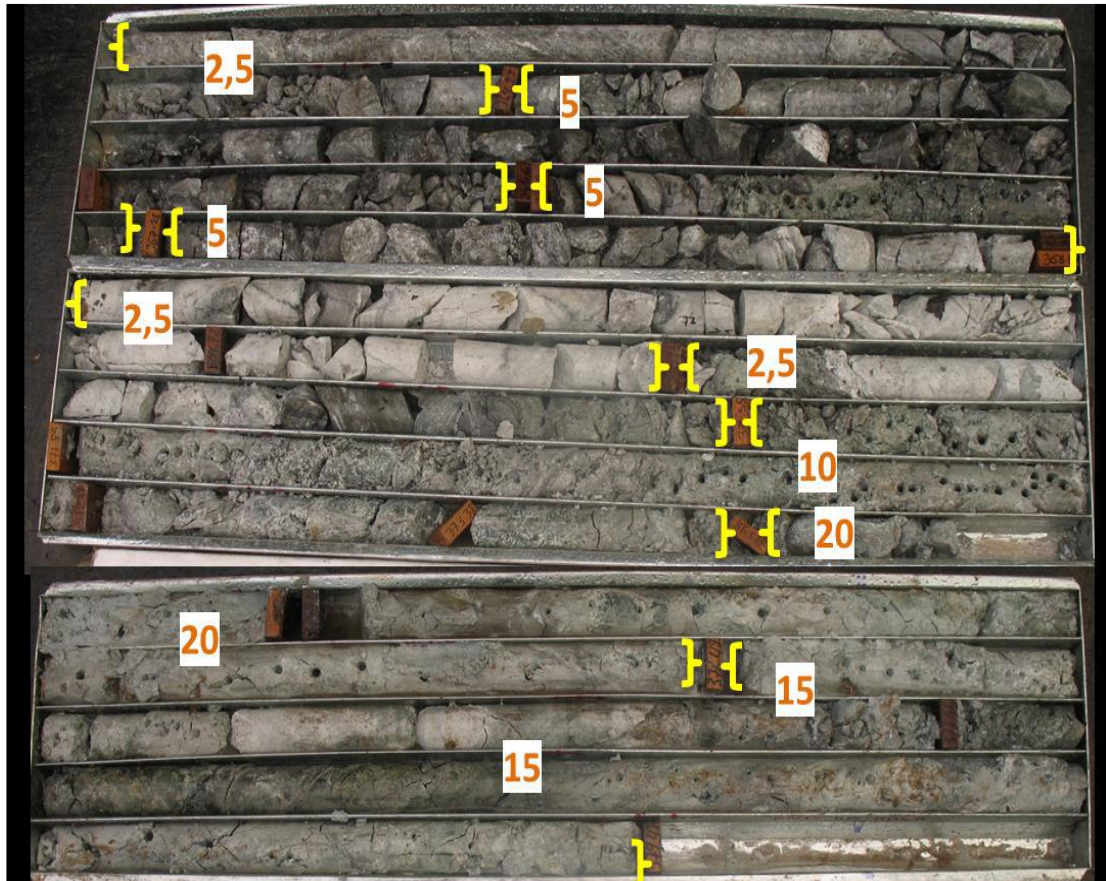
Esto anterior se resume a continuación en la **Tabla 12**, la cual, ha sido modificada según las necesidades del proyecto, tomando únicamente, los valores necesarios y utilizados. En las **fotografía 6, fotografía 7, fotografía 8 y fotografía 9**, se observan los ejemplos del SRF del proyecto Soto Norte. Manual de logueo, sociedad Minera de Santander S.A.S

**Tabla 12. Factor de reducción de esfuerzos (SRF), se tienen en cuenta los valores usados para el proyecto.**

<b>FACTOR DE REDUCCIÓN DE ESFUERZOS</b>	<b>SRF</b>
<b>Zonas de debilidad intersectando la excavación, que podrían causar desprendimiento de rocas cuando se excave el túnel</b>	
Múltiples ocurrencias de zonas de debilidad conteniendo arcilla o roca químicamente desintegrada, roca circundante muy suelta.	10
Zona de debilidad conteniendo arcilla o roca químicamente desintegrada (profundidad > 50 m).	2,5
Múltiples zonas de cizalla en roca competente (sin arcilla), roca circundante suelta.	7,5
Zona de cizalla en roca competente (sin arcilla) (profundidad > 50 m).	2,5
Zona suelta, diaclasas abiertas, intenso fracturamiento.	5
<b>Roca competente, problemas causados por esfuerzos</b>	
Esfuerzos moderados, condición de esfuerzos favorable.	1
<b>Roca compresiva</b>	
Leve presión de roca compresiva.	5 – 10
Fuerte presión de roca compresiva.	10 – 20
<b>Roca expansiva</b>	
Leve presión de roca compresiva.	5 – 10
Fuerte presión de roca compresiva.	10 – 15

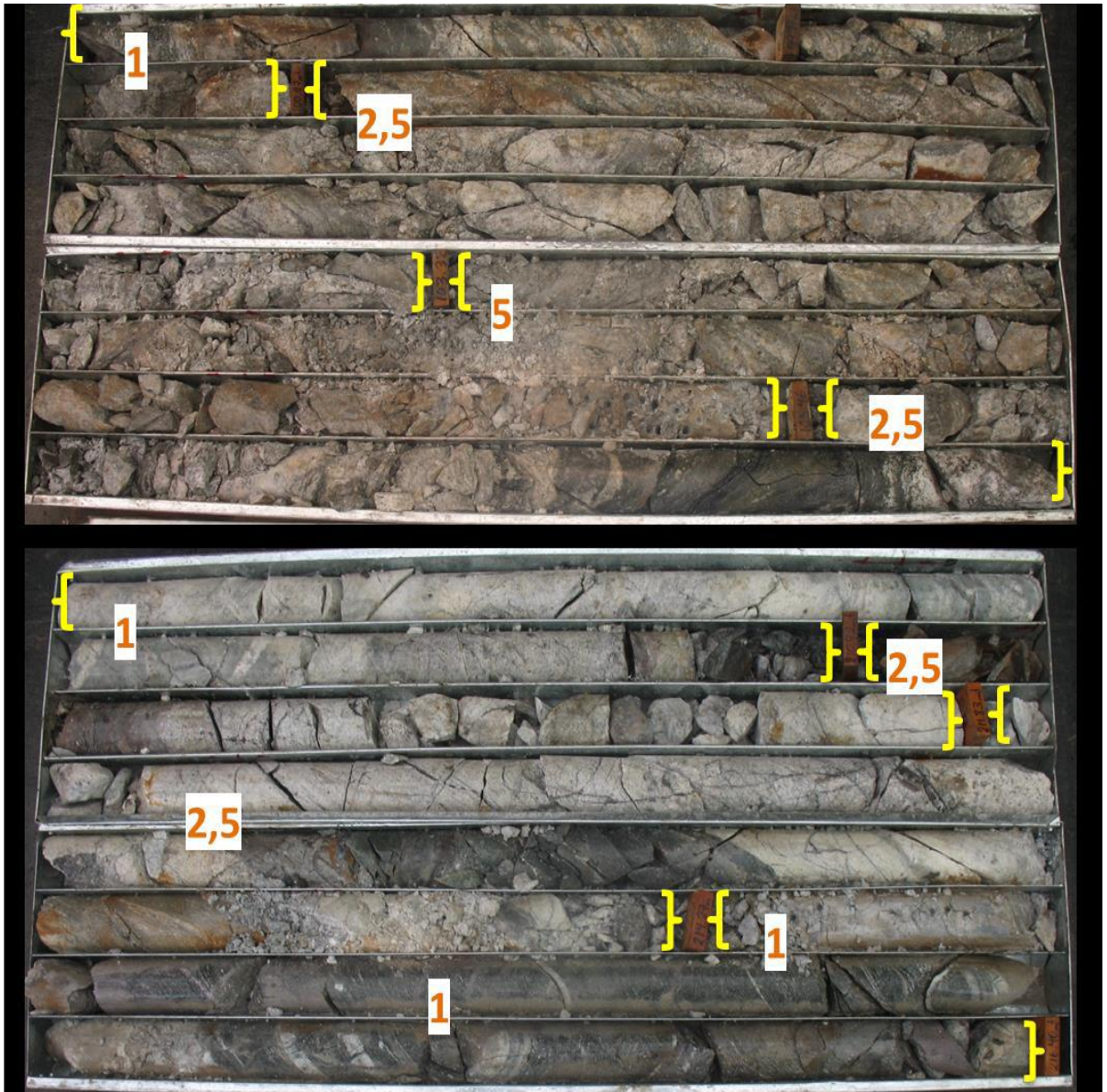
Fuente: SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER S.A.S. Manual de logueo, 2015.

Fotografía 6. Logueo del SRF en zonas de debilidad y roca compresiva



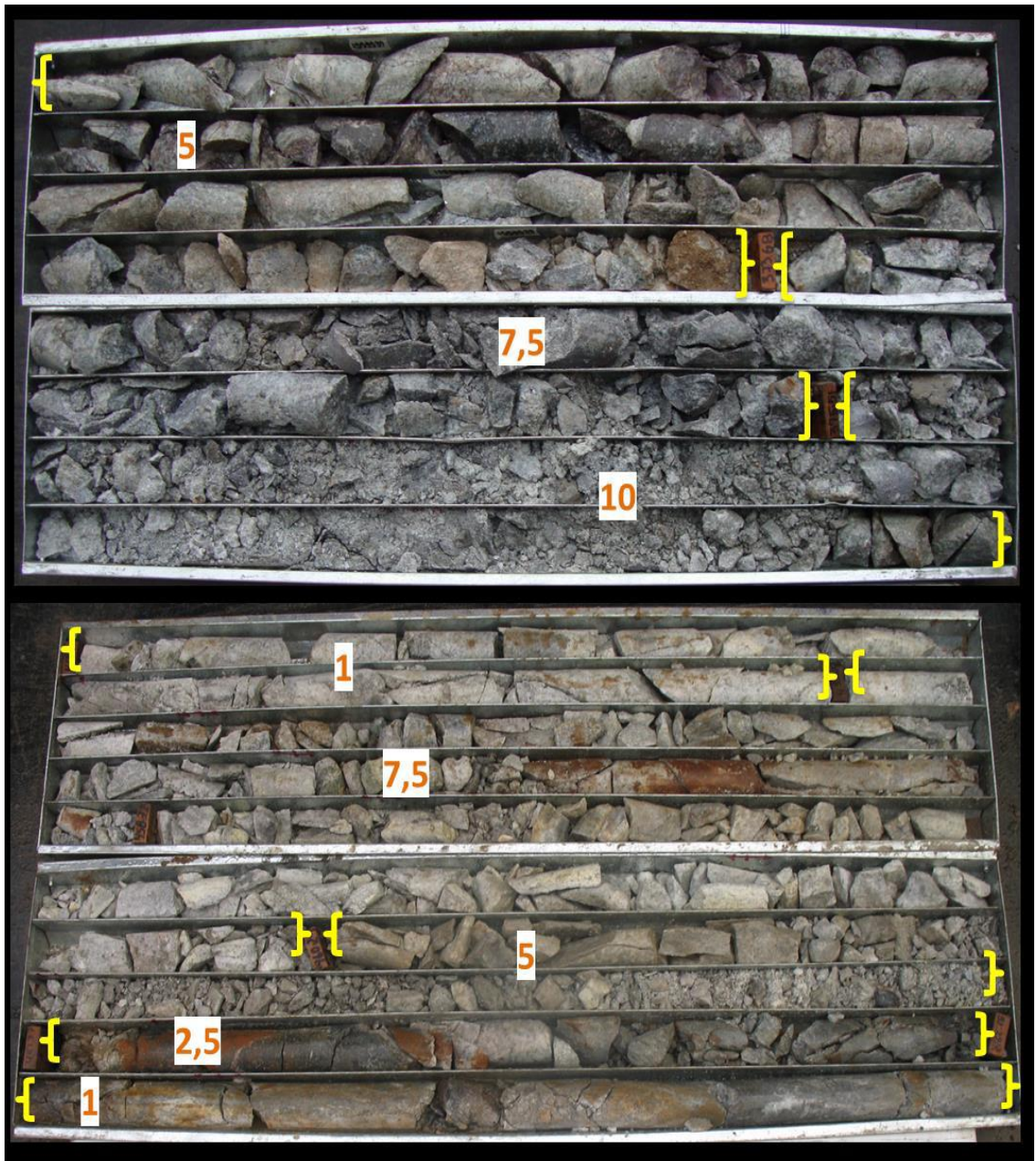
Fuente: SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER S.A.S. Manual de logueo, 2015.

Fotografía 7. Logueo del SRF en zonas de debilidad y zonas estables



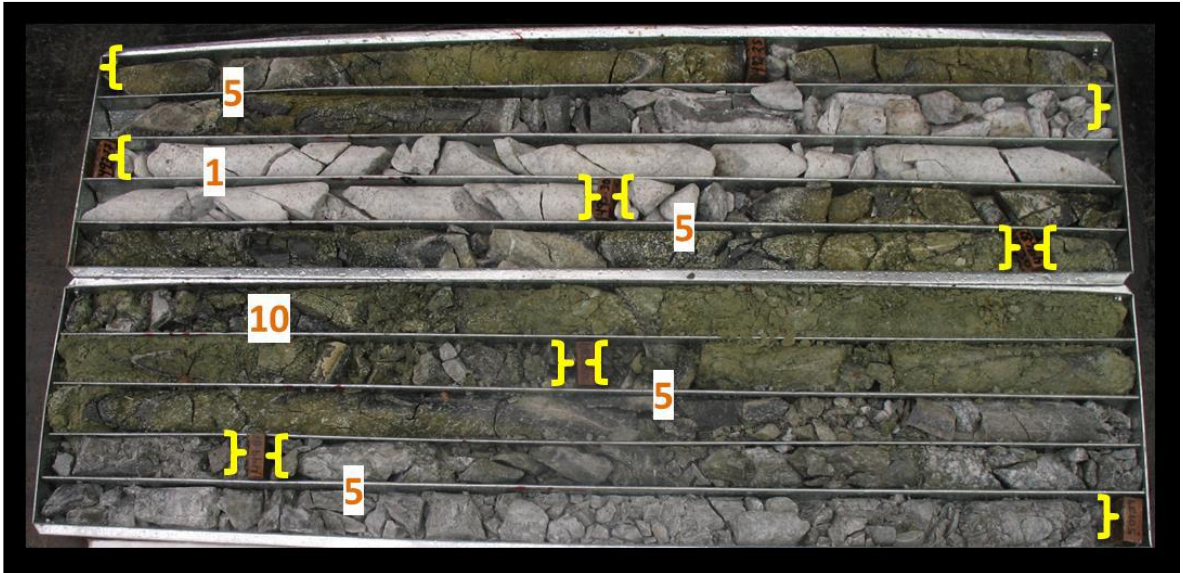
Fuente: SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER S.A.S. Manual de logueo, 2015.

Fotografía 8. Logueo del SRF en múltiples zonas de debilidad, roca suelta e intenso fracturamiento.



Fuente: SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER S.A.S. Manual de logueo, 2015.

**Fotografía 9. Logue del SRF en zonas de debilidad y roca expansiva**



Fuente: SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER S.A.S. Manual de logueo, 2015.

### 5.3 GEOLOGÍA

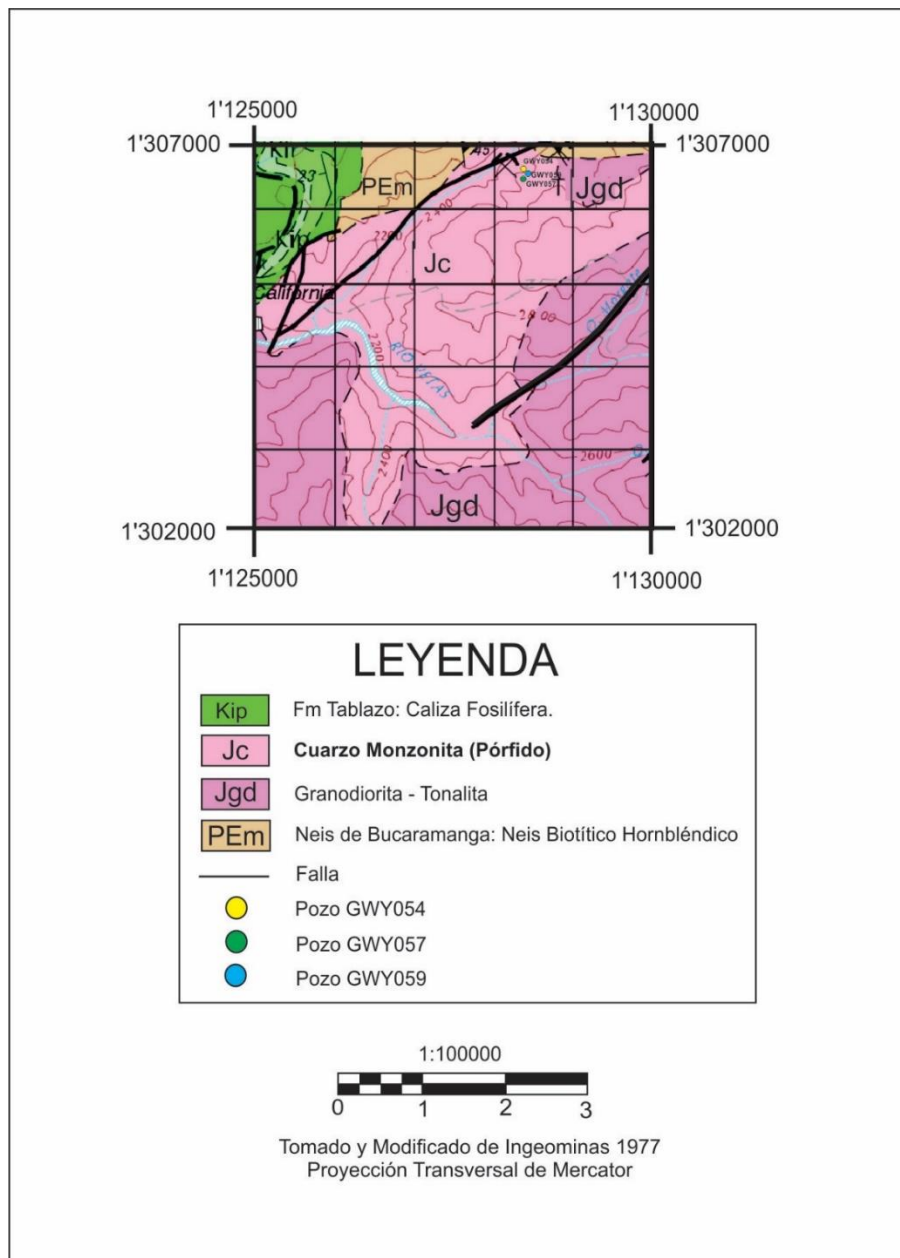
Los pozos estudiados en el presente informe, GWY054, GWY057 y GWY059 corresponden a una roca ígnea plutónica, las cual suprayace al Neis de Bucaramanga (PEm), como se observa en la **figura 2**. En esta figura, también se puede observar que dichos pozos se ubican sobre la unidad Jc, la cual corresponde a una Pórfido de composición Cuarzo Monzonita.

Según lo descrito por Royero & Clavijo<sup>6</sup>, en la memoria explicativa del departamento de Santander, Estas rocas afloran al nororiente del departamento y constituyen el Batolito granodiorítico de Rionegro, este, es de color gris, de grano medio a grueso, porfirítico, compuesta por andesina, cuarzo y microclina, como se evidenciara posteriormente en los resultados.

<sup>6</sup> ROYERO, J., CLAVIJO, J..Mapa geológico generalizado de Santander: *Memoria explicativa*, INGEOMINAS. 2001

En la **figura 2**, también podemos observar que hacia al norte, de donde se realizaron las perforaciones de los pozos, se observa una falla inferida, la cual, es la posible responsable de la deformación y fracturamiento observados en dichas rocas, esto, se evidenciara más adelante en los resultados.

**Figura 2. Mapa geológico de la zona, donde se observan los pozos GWY054, GWY057 y GWY059 y la litología de la zona circundante.**



**5.3.1 logueo geológico.** El logueo geológico tiene como principal objetivo caracterizar las litologías, alteraciones, estructuras y mineralización presente en las muestras de roca. Este muestreo sirve como insumo junto con la información suministrada mediante el logueo geotécnico, para la posterior elaboración del modelo geológico del proyecto, el sistema de explotación y el cálculo de reservas.

A diferencia que en el logueo geotécnico, este no se realiza de “taco a taco”, sino que por el contrario, se analiza dependiendo del tipo de logueo que se esté realizando, pues, en ocasiones, como en el caso de el logueo litológico o de alteraciones es más conveniente analizar los tramos donde se observan diferencias en la tendencia que se tenía anteriormente, por ejemplo, cuando se pasa de una litología a otra. Para el caso de las zonas mineralizadas o brechas, si es necesario un análisis más detallado donde se caracteriza tanto el tipo de brecha o mineralización como la profundidad y espesor que se tiene.

La caracterización geológica de los cuerpos de roca, se basa principalmente en los datos de la zona de trabajo, por lo que se presta especial atención a la identificación de venas y brechas, pues son las unidades litológicas que presentan las mineralizaciones principales. Para este logueo, se incluyen 5 etapas diferentes, cada una con sus características específicas, estas son: litología, mineralización, redox, alteraciones y estructuras, los cuales se describen a continuación

**5.3.1.1 Logueo litológico.** Para obtener una clasificación ordenada y estándar en el proyecto, esta se debe realizar en base a la unidad litológica principal, al tipo de roca y al sub tipo de roca según sea el caso; a su vez, esta clasificación se realiza siempre desde lo más general a lo más específico, tal y como se observa en la **Tabla 13.**

Según el manual de logueo, sociedad Minera de Santander S.A.S. 2015, las unidades que se caracterizan en el logueo litológico del proyecto comprenden:

- **Core lost (LOST):** Indica corridas con pérdida total del núcleo, donde su recuperación equivale al 0%.
- **Anfibolita (AMF):** Roca metamórfica presente en el proyecto, compuesta por minerales del grupo de los anfíboles (Principalmente Hornblenda) y plagioclasas.

**Tabla 13. Clasificación litológica, donde se incluye, la litología principal (LITH), tipo de roca (RKT) y el sub tipo de roca (RKST).**

Litología unidad primaria (LITH)	Código (LITH)	Tipo de roca (RKT)	Código (RKT)	Sub – tipo de roca (RSKT)	Código (RKST)
Core lost	<b>LOST</b>	–	<b>LOST</b>	–	<b>LOST</b>
Overburden	<b>OB</b>	–	<b>OB</b>	–	<b>OB</b>
Neis	<b>GN</b>	–	<b>GN</b>	–	<b>GN</b>
Intrusivo	<b>INT</b>	–	<b>INT</b>	–	<b>INT</b>
Pórfido	<b>POR</b>	–	<b>POR</b>	–	<b>POR</b>
Vena	<b>VN</b>	Vena de cuarzo	<b>QZVN</b>	–	<b>QZVN</b>
		Vena de sulfuros	<b>SBVN</b>	Pirita	<b>PYVN</b>
Brecha tectónica/ hidrotermal	<b>THBX</b>	Brecha cementada Cuarzo/silica	<b>QCBX</b>	Molibdenita	<b>MOVN</b>
				Brecha dominada por cemento	<b>CCBX</b>
				Brecha clasto soportada polimictica	<b>CPBX</b>
				Brecha clasto soportada monomictica	<b>CMBX</b>
				Brecha dominada por matriz Cuarzo/silica	<b>MDBX</b>
				Cuarzo – Vuggy	<b>VQBX</b>

Litología unidad primaria (LITH)	Código (LITH)	Tipo de roca (RKT)	Código (RKT)	Sub – tipo de roca (RSKT)	Código (RKST)
		Brecha cementada por Alunita	<b>ACBX</b>	Alunita – Cuarzo	<b>AQBX</b>
				Clastos con bordes re absorbidos	<b>REBX</b>
Brecha hidrotermal de clorita	<b>CHBX</b>	–	<b>CHBX</b>	–	<b>CHBX</b>
Zona de Falla	<b>FT</b>	Dominada por matriz	<b>MFT</b>	–	<b>MFT</b>
		Dominada por clastos	<b>CFT</b>	–	<b>CFT</b>

Fuente: SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER S.A.S Manual de logueo de núcleos de perforación 2015.

- **Intrusivo (INT):** Corresponde a rocas ígneas intrusivas.
- **Overburden (OB):** Indica cobertura de suelo.
- **Neis (GN):** Es la roca metamórfica más abundante en el proyecto, se presenta en variedades Biotítico, Hornblendico, Biotítico – Hornblendico y cuarzo feldespático. La unidad principal aflorante en la zona, corresponde al Neis de Bucaramanga.
- **Vena (VN):** Corresponde a venas mayores a 0.1 m (10 cm), si estas son de menor tamaño, deben incluirse en el logueo de estructuras. Las venas, se dividen en dos tipos: vena de cuarzo con un bajo o ningún porcentaje de sulfuros (**QZVN**) y vena con contenido alto o moderado de sulfuros (**SBVN**). Éste último tipo a su vez se subdivide de acuerdo a la predominancia de pirita (**PYVN**) o molibdenita (**MOVN**). Ver fotografías 10 y 11

**Fotografía 10. VN-SBVN-PYVN; Vena de pirita y cuarzo cortando un Neis.**



Fuente: SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER S.A.S Manual de logueo de núcleos de perforación 2015.

**Fotografía 11. VN-SBVN-MOVN. Vena de cuarzo con molibdenita**



Fuente: SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER S.A.S Manual de logueo de núcleos de perforación 2015.

- Brecha hidrotermal de clorita (CHBX): Corresponde a brechas cementadas por clorita. **Fotografía 12.**

**Fotografía 12. Brecha hidrotermal de clorita.**



Fuente: SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER S.A.S Manual de logeo de núcleos de perforación 2015.

- Pórfido (POR): Corresponden principalmente a Granodioritas y Andesitas. Se presentan localmente a modo de diques.
- Zona de falla (FT): Corresponde a zonas de falla mayores a 0.1 m. se dividen en Matriz dominante (MFT) y clasto dominantes (CFT). Ver **Fotografía 13**.

**Fotografía 13. (FT - MFT) Zona de falla matriz soportada por arcilla con caolinita principalmente.**



Fuente: SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER S.A.S Manual de logeo de núcleos de perforación 2015.

- Brecha tectónica/ hidrotermal (THBX): Corresponde a una de las mineralizaciones más importantes presentes en el proyecto, por lo que debe ser muy bien detallada al momento de describirla. Se incluyen las brechas generadas principalmente por componentes tectónicos y cementados por fluidos hidrotermales. La división de los tipos se hace de acuerdo al cemento de la brecha: cuarzo – sílica (QCBX) y alunita – cuarzo (ACBX). Esto a su vez presentan otras divisiones; véase **Tabla 13. fotografía 14, fotografía 15 y fotografía16**

**Fotografía 14. THBX-QCBX-CMBX. Brecha tectónica-hidrotermal, clasto soportada, monomítica con clastos leucocráticos, cuarzo cementada con pirita, marcasita y esfalerita. Textura, Jigsaw fit.**



Fuente: SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER S.A.S Manual de logeo de núcleos de perforación 2015.

**Fotografía 15: THBX-QCBX-CPBX. Brecha tectónica-hidrotermal polimíctica clasto soportada.**



Fuente: SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER S.A.S Manual de logueo de núcleos de perforación 2015.

**Fotografía 16. THBX-ACBX-AQBX. Brecha tectónica-hidrotermal con predominio de alunita en el cemento, monomíctica con clastos de leucogranito y cavidades rellenas de caolinita.**



Fuente: SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER S.A.S Manual de logueo de núcleos de perforación 2015.

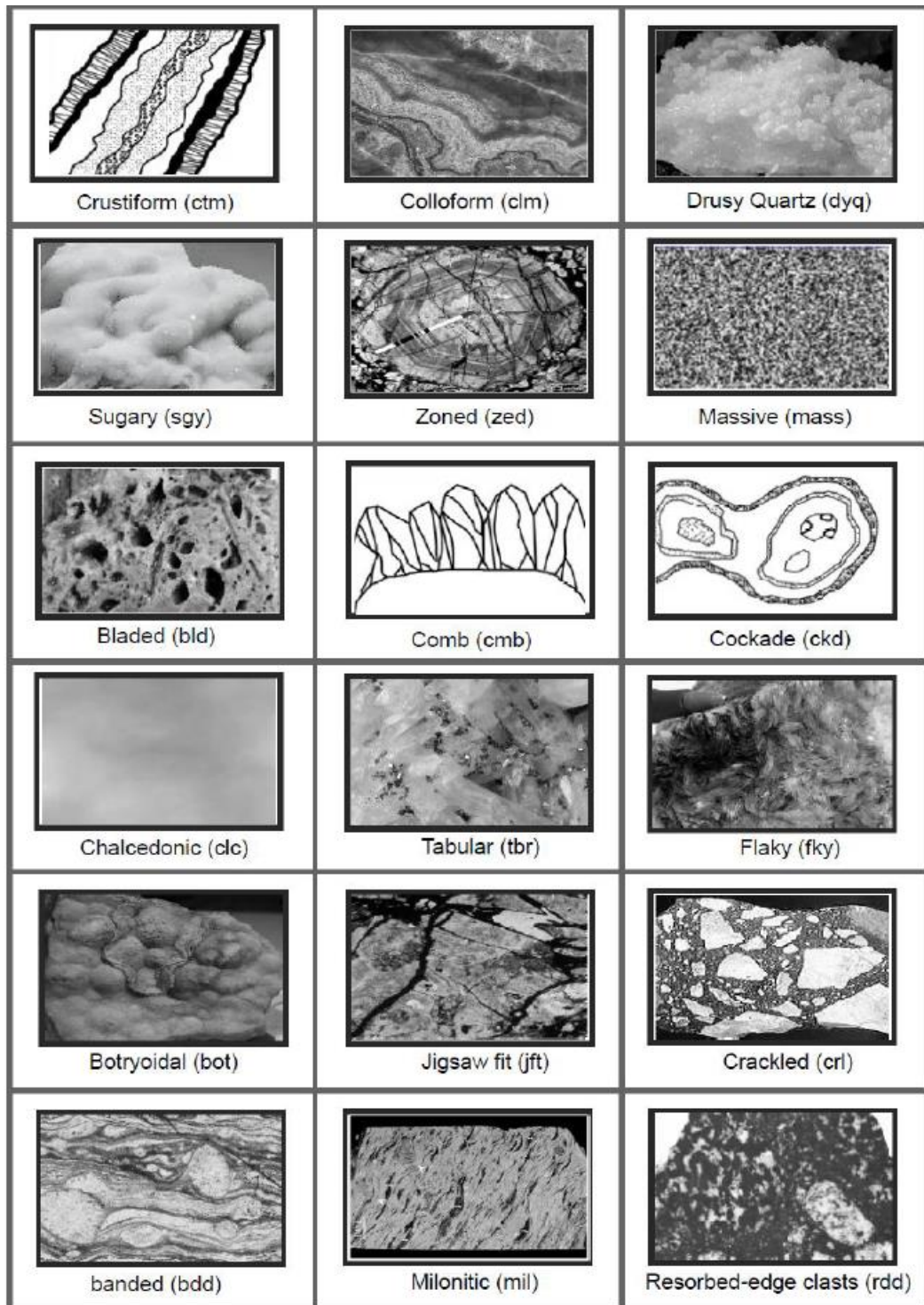
A la hora de describir las brechas, y dado que en estas se concentra la mayor parte de la mineralización del proyecto, hay que tener en cuenta, los diferentes tipos de texturas que se pueden presentar, estas se presentan a continuación en la **Tabla 14 y figura 3.**

**Tabla 14. Clasificación textural de las brechas (figura 3)**

<b>Textura</b>	<b>Código</b>	<b>Textura</b>	<b>Código</b>
Clastos angulares	agl	Flaky	fky
Bandeada	bdd	Jigsaw fit	Jft
Bladed	bld	Masiva	Mass
Boxwork	bwk	Milonitica	Mil
Agrietado (Crackled)	crl	Resorbed edge clast	rbd
Calcedonico	clc	Terroso (Sugary)	sgy
Colloform	clm	Tabular	Tbr
Peine (Comb)	cmb	Vuggy quartz	vgg
Cockade	ckd	Zonado	Zed
Crustiforme	ctm	Drusy Quartz	dyq
Rounded Clast	rdd	Botroidal	bot

Fuente: SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER S.A.S Manual de logeo de núcleos de perforación 2015.

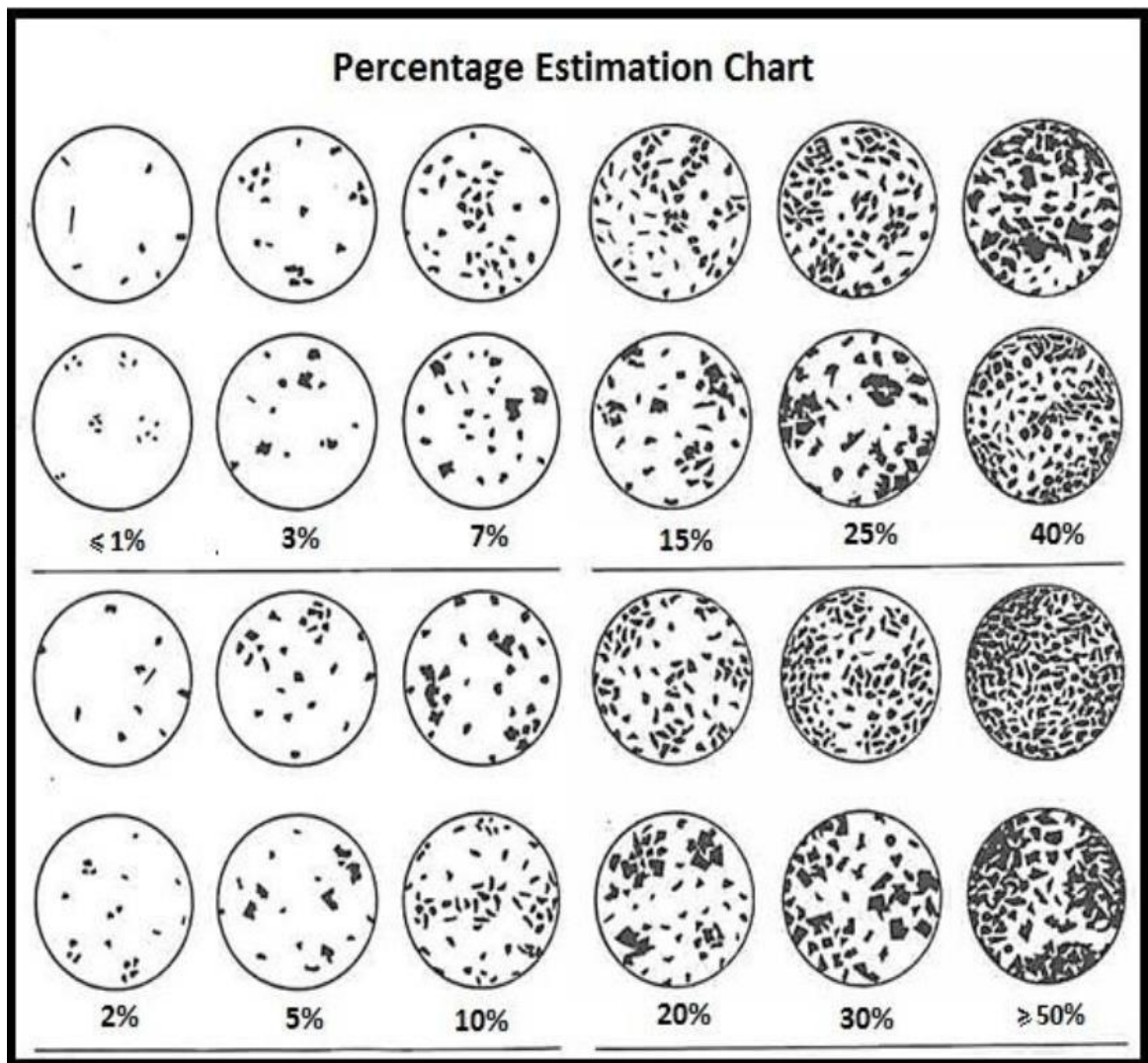
**Figura 3. Principales texturas presentes en las brechas**



Fuente: SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER S.A.S Manual de logueo de núcleos de perforación 2015.

**5.3.1.2 Logueo mineralógico.** El logueo mineralógico consiste en caracterizar los intervalos mineralizados presentes en el núcleo, describiendo detalladamente el estilo de la mineralización, los minerales presentes, la profundidad a la que se encuentran y los porcentajes estimados de las ocurrencias de los minerales, este porcentaje, se calcula según la **figura 4**.

**Tabla 15. Diagrama de estimación de porcentajes**



Fuente: SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER S.A.S Manual de logueo de núcleos de perforación 2015.

Para comenzar con esta caracterización, es necesario primero observar detalladamente el núcleo, para así, identificar las zonas de interés y localizar en ella los principales minerales mena. Los minerales mena se observan en la **tabla 15**. Existen 5 estilos de mineralización principales presentes en el proyecto Soto Norte, cada uno sub dividido de acuerdo con el mineral dominante como se observa en la **Tabla 16** y según los datos del Manual de logueo, sociedad Minera de Santander S.A.S. 2015

**Tabla 16. Principales minerales mena presentes en los cuerpos mineralizados.**

<b>MINERALES MENA</b>	<b>CODIGO</b>
Óxidos de Hierro (Goethita, limonita, Hematita)	FO
Sulfosales de Plata	AG
Oro visible	AU
Hematita especular	SP
Pirita fina	FPY
Pirita cristalina	CPY
Calcopirita	CP
Calcosita	CC
Covelita	CV
Bornita	BN
Wolframita (Hübnerita)	WO
Enargita	EN
Esfalerita	ZN
Galena	PB
Marcasita	MR
Arsenopirita	APY
Teluros	TE
Minerales de antimonio (stibnita, Bismutina)	SB
Minerales de Uranio (Pechblenda, Torbentita)	UB

Fuente: SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER S.A.S Manual de logueo de núcleos de perforación 2015.

**Tabla 17. Estilos de mineralización y sus minerales mena dominantes. Se muestran también los códigos usados en los diferentes anexos (E, F y G).**

<b>ESTILO DE MINERALIZACIÓN</b>	<b>CÓDIGO</b>	<b>MINERALES MENA DOMINANTES</b>	<b>CÓDIGO</b>
<b>ZONA DE VENAS</b>	VNZ	Venas de Óxidos	<b>VNFO</b>
		Pirita +/- venas de Cuarzo	<b>VNPY</b>
		Molibdenita +/- venas de Cuarzo	<b>VNMO</b>
		Sulfuros de cobre +/- cuarzo +/- zona de venas de pirita	<b>VNCU</b>
		Wolframita +/- cuarzo +/- zona de venas de pirita	<b>VNWO</b>
		Enargita +/- cuarzo +/- zona de venas de pirita	<b>VNEN</b>
<b>SILICIFICACIÓN (MASIVA) ASOCIADA A SULFUROS</b>	SIS	Silicificación con sulfuros, principalmente pirita	<b>SIPY</b>
		Silicificación, pirita y sulfuros de cobre	<b>SICU</b>
		Silicificación, pirita, enargita	<b>SIEN</b>
		Silicificación, pirita, esfalerita	<b>SIZN</b>
		Silicificación rica en óxidos, textura boxwork	<b>SIFO</b>
		Silicificación, pirita, Marcasita	<b>SIMR</b>
<b>SILICIFICACIÓN (VUGGY) ASOCIADA A SULFUROS</b>	SVS	Fuerte Silicificación, pirita fina diseminada	<b>VSPY</b>
		Fuerte Silicificación, ocurrencia de sulfuros de cobre	<b>VSCU</b>
		Fuerte Silicificación, ocurrencia de enargita	<b>VSEN</b>
		Fuerte Silicificación, ocurrencia de esfalerita	<b>VSZN</b>
		Sílica vuggy oxidada, textura boxwork	<b>VSFO</b>
		Fuerte Silicificación, ocurrencia de marcasita	<b>VSMR</b>
<b>ZONA DE FALLA ASOCIADA A SULFUROS</b>	FTS	Zona de falla con fuerte oxidación	<b>FTSP</b>
		Zona de falla asociada a pirita gruesa	<b>FTPY</b>
		Zona de falla con clastos silificados	<b>FTSI</b>

ESTILO DE MINERALIZACIÓN	CÓDIGO	MINERALES MENA DOMINANTES	CÓDIGO
		Zona de falla con sulfuros de cobre	<b>FTCU</b>
		Zona de falla con clastos de brecha mineralizados	<b>FTBX</b>
		Zona de falla con clastos de venas de cuarzo	<b>FTQZ</b>
<b>BRECHA MINERALIZADA</b>	MBX	FeO, brecha oxidada, textura boxwork	<b>BXFO</b>
		Brecha piritizada	<b>BXPY</b>
		Brecha con Sulfuros de cobre +/- pirita.	<b>BXCU</b>
		Brecha asociada a tungtenos +/- pirita	<b>BXWO</b>
		Brecha asociada a enargita y sulfosales de As	<b>BXEN</b>
		Brecha asociada a esfalerita	<b>BXZN</b>
		Brecha asociada a minerales de uranio	<b>BXUB</b>

Fuente: SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER S.A.S. Manual de logueo de núcleos de perforación 2015.

- **Silicificación masiva (SIS):** Hace alusión a zonas donde la roca caja se encuentra silicificada y donde la mineralización puede encontrarse diseminada o en venas. **fotografía 17.** No debe ser confundido con la mineralización de brechas

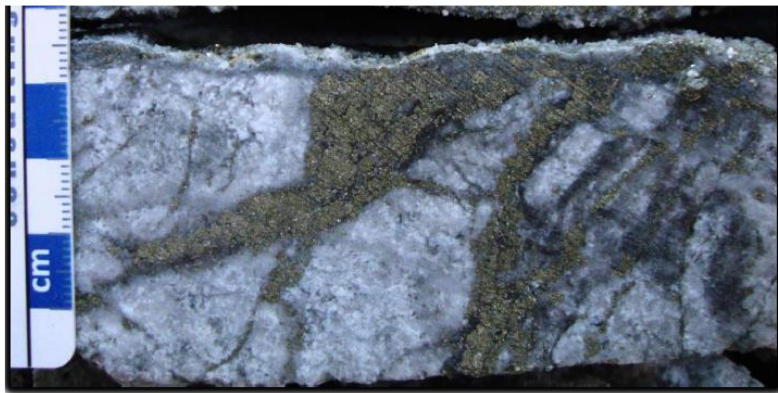
**Fotografía 17. Corresponde a un neis silicificado con presencia de alunita y pirita gruesa diseminada y en venillas**



Fuente: SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER S.A.S. Manual de logueo de núcleos de perforación 2015.

- **Venas y zonas de vetillas (VNZ):** Corresponde a zonas mineralizadas, con predominio de venas o vetillas. **Ver fotografía 18**

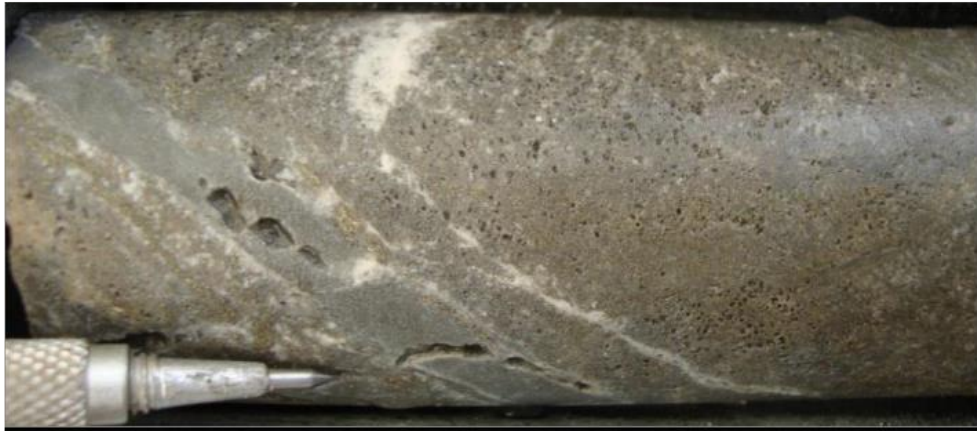
**Fotografía 18. Corresponde a una zona de venas, mineralizadas con pirita**



Fuente: SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER S.A.S. Manual de logueo de núcleos de perforación 2015.

- **Silica vuggy asociada con sulfuros (SVS):** Zonas en donde predomina la silica vuggy. Ver **fotografía 19**.

**Fotografía 19. Zona mineralizada con silica Vuggy, se puede observar contenido de pirita y alunita (color blanco) en algunas venas**



Fuente: SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER S.A.S. Manual de logueo de núcleos de perforación 2015.

- **Brecha Tectónica – Hidrotermal mineralizada (MBX):** Como su nombre lo indica, corresponden a brechas tectónicas – hidrotermales definidas en litología, de acuerdo a la mineralización principal presente.
- **Zonas de falla con sulfuros (FTM):** Zonas de falla mineralizadas con sulfuros, principalmente de cobre (covelita, bornita, calcopirita...)

**5.3.1.3 Logueo Redox.** Corresponde al porcentaje de oxidación supergénica observada en el núcleo (oxidación debido a soluciones descendentes como aguas lluvia). Esta es evidente por la presencia de óxidos oscuros como de hierro y manganeso.

Este análisis, se realiza únicamente, en muestras de roca que evidencien tal comportamiento y en cuyos tramos de roca, se observe uniformidad de la oxidación.

Información tomada del: Manual de logueo de núcleos de perforación de la Sociedad Minera de Santander S.A.S.

**5.3.1.4 Logueo de estructuras.** En este tipo de muestreo se registran las estructuras principales presentes en la roca (exceptuando las diaclasas, las cuales son caracterizadas en el logueo geotécnico), dichas estructuras, deben ser menores o iguales a 0.1 m (10 Cm) de espesor, pues si son mayores, deben ser descritas en el logueo litológico. Las estructuras principales se describen a continuación en la **Tabla 17.**

Las estructuras, deben ser descritas según la profundidad de ocurrencia, así como el tipo de estructura, orientación (Angulo con respecto al eje del núcleo) y espesor en m de cada una de ellas.

**5.3.1.5 Logueo de alteraciones.** Este parámetro corresponde a las alteraciones hidrotermales principales en el área de estudio y se describen de acuerdo a la intensidad con la que se presenten (fuerte, moderada o débil), y al Manual de Logueo de núcleos de perforación de la Sociedad Minera de Santander S.A.S 2015 y corresponden a:

**Tabla 18. Tipos de estructuras y sus códigos representativos usados en los anexos.**

<b>Tipo de Estructura</b>	<b>código</b>
Vena de alunita	alv
Vena con carbonatos	cbv
Vena con clorita	chv
Venas de pirita cristalina y de cuarzo con pirita	cpv
Venas con sulfuros de cober (covelita, calcocita, bornita, calcopirita)	cuv
Venas de alunita con enargita	eav
Venas con epidota	epv
Venas de cuarzo con enargita	eqv

Tipo de Estructura	código
Venas de cuarzo, pirita y pirita fina	fpv
Venas de goetita	gtv
Venas de limonita	liv
Venas de cuarzo con milibdenita	mov
Venas de Cuarzo/Silica	qzv
Venas con hematita especularita	shv
Venas con esfalerita	spv
Venas con tenantita-tetrahedrita	ttv
Venas con torbenita/uranio	utv
Venas de cuarzo con volframita/hubnerita	wqv
Brecha tectónica hidotermal	thbx
Brecha hidrotermal con cemento clorítico	chbx
Falla menor <10 cm	f1
Contacto litológico	lc
Foliación tectónica	tfl
Foliación	fl

Fuente: SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER S.A.S. Manual de logueo de núcleos de perforación 2015.

- **Propilítica (PRO):** Se caracteriza por la presencia de Clorita y/o Epidota principalmente, con asociaciones de hematita, especularita, esfena, albita, calcita, pirita y carbonatos. Por lo general está asociado a zonas estériles como se observa en la **Fotografía 20**.

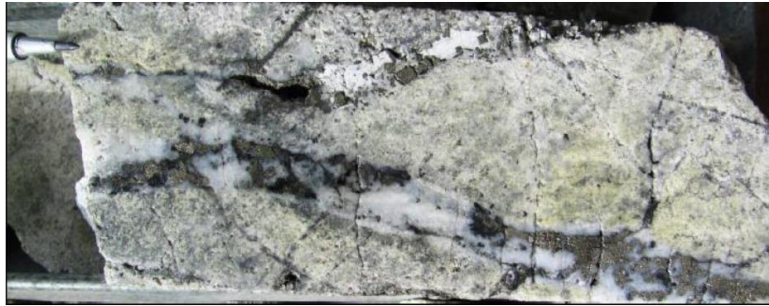
**Fotografía 20. Dacita con alteración propilítica, donde la epidota (Ep) reemplaza parcialmente la plagioclasa y cloritas (Cl).**



Fuente: Gomez, D. & Molano, J. (2009)

- **Fílica (PHY):** Se caracteriza por la ocurrencia de sericita y pirita, como se evidencia en la **fotografía 21**.

**Fotografía 21. Neis con fuerte alteración fílica. Ocurrencia abundante de sericita con diseminación y vetillas de pirita**



Fuente: SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER S.A.S. Manual de logueo de núcleos de perforación 2015.

- **Argílica (ARG):** Se caracteriza por la ocurrencia de illita, montmorillonita y sericita en menor cantidad, principalmente, reemplazando a pagioclasas. Esta alteración esta se encuentra ocasionalmente asociada de sulfuros. Se presenta comúnmente hacia los halos de los cuerpos mineralizados principales reemplazando a las plagioclasas. Ver **fotografía 22**.

**Fotografía 22. Neis con fuerte alteración argílica, caracterizada por ocurrencia de illita en los halos cercanos a la alteración argílica avanzada.**



Fuente: SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER S.A.S. Manual de logueo de núcleos de perforación 2015.

- **Supergénica (SPK):** Se caracteriza por la presencia de caolinita y otros minerales arcillosos, producto de la interacción con aguas superficiales. Corresponde en la mayoría de los casos, a zonas de falla. **Ver fotografía 23.**

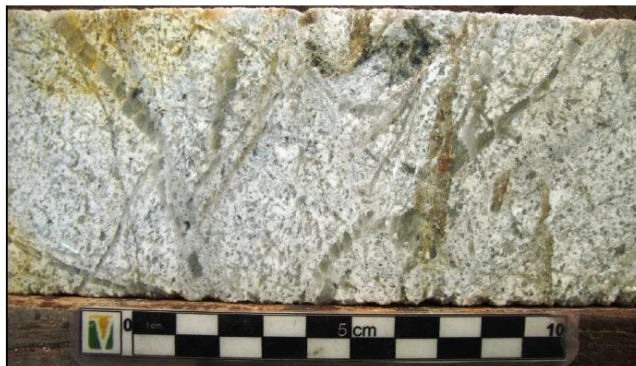
**Fotografía 23. Zona de falla, rica en minerales como caolinita y arcillas.**



Fuente: SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER S.A.S. Manual de logueo de núcleos de perforación 2015.

- **Argílica Avanzada (SIL):** Se caracteriza por la presencia de alunita y sílica, usualmente asociados con sulfuros. Se encuentra usualmente en las zonas mineralizadas principales. Se caracteriza por la destrucción total de feldespatos bajo condiciones de hidrólisis fuerte. **Ver fotografía 24.**

**Fotografía 24. Neis con alteración argílica avanzada, se pueden observar zonas con presencia de alunita y zonas con vetilleo de sílica**



Fuente: SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER S.A.S. Manual de logueo de núcleos de perforación 2015.

Lo anterior se resume en la **tabla 18**, donde se observan los tipos de alteración presentes en el proyecto, junto a sus principales asociaciones minerales. Estas, a su vez, son clasificadas de acuerdo a su intensidad de ocurrencia, que puede ser alta media y baja según los valores consignados en la **tabla 19**

**Tabla 19. Principales tipos de alteraciones con los minerales representativos de cada una y los códigos usados en los anexos**

Principales asociaciones minerales	Tipo de alteración	Código
Roca fresca	Ninguna	NONE
Clorita + Epidota + Carbonato	Propilítica	PRO
Muscovita (Sericita de grano fino)	Fílica	PHY
Cuarzo (sílica) + Alunita + Caolinita	Argílica avanzada (silica)	SIL
Ilita + sericita/Caolinita	Argílica	ARG
Caolinita supergénica	Supergénica	SPK

Fuente: SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER S.A.S. Manual de logueo de núcleos de perforación 2015.

**Tabla 20. Intensidad de alteración, según el porcentaje de cada mineral representativo según el tipo de alteración**

Grado de la alteración	Porcentaje	Código
Alta	>15%	3
Media	10 – 15%	2
Baja	<10%	1

Fuente: SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER S.A.S. Manual de logueo de núcleos de perforación 2015.

## 6. RESULTADOS

Los resultados obtenidos, corresponden a las descripciones geotécnicas y geológicas de los sondeos de roca analizados. Estos, corresponden a los pozos GWY054, GWY057 y GWY059, cuyos datos, serán consignados en los anexos A, B, C, D, E y F.

- **Anexo A:** Logueo Geotécnico del pozo GWY054
- **Anexo B:** Logueo Geotécnico del pozo GWY057
- **Anexo C:** Logueo Geotécnico del pozo GWY059
- **Anexo D:** Logueo Geológico del pozo GWY054
- **Anexo E:** Logueo Geológico del pozo GWY057
- **Anexo F:** Logueo Geológico del pozo GWY059

Por medio de la información obtenida de dichas descripciones, se dará luz, para la *elaboración de las columnas* y a la identificación de la calidad de la roca *por medio del sistema clasificatorio Q (Barton, 1974; actualización 1994)*.

- **Anexo G:** Columna geológica pozo GWY054
- **Anexo H:** Columna geológica pozo GWY057
- **Anexo I:** Columna geológica pozo GWY059

### 6.1 DESCRIPCION DE LA GEOTECNICA

Se realizó el logueo geotécnico de los pozos **GWY054, GWY057 y GWY059** consignados en los **anexos A, B y C** respectivamente. Para estos, se realizaron los apartados: Recovery (recuperación), Dureza, Meteorización, Rock Mass Jointing (Wjd, RQD, Jn), RMR, Ja, Jr, Q, Jw y SRF.

Se tomaron intervalos considerados de interés económico, por parte de la empresa, según los estudios de geoquímica realizados por ellos, estudios que por su naturaleza confidencial, no se pueden dar a conocer.

En estos anexos, se observa la descripción geotécnica detallada de cada uno de los pozos y cuyo principal fin, es ilustrar de manera general, los tramos de roca que presenten calidades muy buenas, buenas, regulares, malas o muy malas. Estas zonas se marcan por colores, según los valores dados por el sistema Q (Barton, 1974; actualización 1994). Donde los rojos, indican las zonas más desfavorables, las naranjas, zonas intermedias, las amarillas, zonas buenas y las verdes y azules, zonas muy buenas como se indica en la **Tabla 20**.

**Tabla 21. Valores de Q, se muestran los colores y los valores que indican la calidad de la roca, el índice de calidad Q de la roca depende de varios factores, como: Jn, Ja, Jw, Jr, RQD y SRF.**

Logeo geomecánico del sondeo	Valores de Q	Color
Excelente	>400	Azul
Extremadamente bueno	100 – 400	Verde
Muy bueno	40 - 100	Amarillo
Bueno	10 – 40	Naranja
Regular	4 - 10	Rojo claro
Malo	1 - 4	Rojo
Muy Malo	0,1 – 1	Rojo oscuro
Excepcionalmente malo	0,01 – 0,1	Rojo muy oscuro
Pésimo	0,0001 – 0,01	Rojo negro

Fuente: Barton y Grimstad (1994)

Los valores de Q, se obtienen mediante la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{RQD}{Jn} * \frac{Jr}{Ja} * \frac{Jw}{SRF}$$

Para ilustrar mejor la forma en que se manejan los datos en esta, se anexa un ejemplo representativo según los datos tomados del pozo GWY057 (35,90 – 37,30 m).

- **RQD:** 80%
- **Jn:** 4
- **Jr:** 2
- **Ja:** 3
- **Jw:** 1
- **SRF:** 1

$$Q = \frac{80}{4} * \frac{2}{3} * \frac{1}{1} = \frac{160}{12} = 13,333$$

Se observa que el valor de Q es de 13,333, el cual, según la **tabla 19**, corresponde a una roca de calidad *buena*, esto se puede constatar según la **fotografía 25** y los datos del **anexo B**, donde se consignan todos los datos analizados.

**Fotografía 25.** Se observa que la roca entre los tacos 35,90 y 37,70, presenta una calidad buena, según el sistema Q (Barton, 1974; actualización 1994).



Fuente: Minesa S.A.S.

En las **tablas 21, 22 Y 23** se puede observar el resumen de lo consignado en los **anexos A, B y C**, principalmente, los valores de Q y la calidad de la roca, según la variación de la profundidad. Estas tablas se analizan a continuación.

**Tabla 22. Calidad de la roca según el sistema Q para el pozo GWY054.**

<b>CALIDAD DE LA ROCA SEGÚN EL SISTEMA Q PARA EL POZO GWY054</b>							
<b>From</b>	<b>To</b>	<b>Q</b>	<b>Calidad de la roca</b>	<b>From</b>	<b>To</b>	<b>Q</b>	<b>Calidad de la roca</b>
34,00	35,50	4,963	Regular	85,00	86,50	0,155	Muy Mala
35,50	37,00	5,111	Regular	86,50	88,00	0,299	Muy Mala
37,00	38,50	4,222	Regular	88,00	89,50	0,056	Extrem Mala
38,50	40,00	4,167	Regular	89,50	91,00	0,167	Muy Mala
40,00	41,50	6,500	Regular	91,00	92,50	0,417	Muy Mala
41,50	43,00	0,286	Muy Mala	92,50	94,00	0,417	Muy Mala
43,00	44,50	0,056	Extrem Mala	94,00	95,50	0,625	Muy Mala
44,50	46,00	0,056	Extrem Mala	95,50	97,00	5,926	Regular
46,00	47,50	0,167	Muy Mala	97,00	98,50	13,333	Buena
47,50	49,00	0,048	Extrem Mala	98,50	100,00	22,500	Buena
49,00	50,50	0,018	Extrem Mala	100,00	101,50	21,667	Buena
50,50	52,00	0,317	Muy Mala	101,50	103,00	15,000	Buena
52,00	53,50	0,435	Muy Mala	103,00	104,50	4,688	Regular
53,50	55,00	12,000	Buena	104,50	106,00	0,167	Muy Mala
55,00	56,50	14,500	Buena	106,00	107,50	0,119	Muy Mala
56,50	58,00	18,667	Buena	107,50	109,00	2,273	Mala
58,00	59,50	4,833	Regular	109,00	110,50	0,278	Muy Mala
59,50	61,00	5,000	Regular	110,50	112,00	0,417	Muy Mala
61,00	62,50	9,667	Regular	112,00	113,50	0,417	Muy Mala
62,50	64,00	5,000	Regular	113,50	115,00	0,625	Muy Mala
64,00	65,50	5,000	Regular	115,00	116,50	4,056	Regular
65,50	67,00	4,167	Regular	116,50	118,00	15,000	Buena
67,00	68,50	26,889	Buena	118,00	119,50	14,500	Buena
68,50	70,00	12,667	Buena	119,50	121,00	21,500	Buena
70,00	71,50	6,333	Regular	121,00	122,50	31,556	Buena
71,50	73,00	6,167	Regular	122,50	124,00	24,500	Buena
73,00	74,50	0,222	Muy Mala	124,00	125,50	0,817	Muy Mala

CALIDAD DE LA ROCA SEGÚN EL SISTEMA Q PARA EL POZO GWY054							
From	To	Q	Calidad de la roca	From	To	Q	Calidad de la roca
74,50	76,00	0,398	Muy Mala	125,50	127,00	0,089	Extrem Mala
76,00	77,50	5,000	Regular	127,00	128,50	0,116	Muy Mala
77,50	79,00	7,000	Regular	128,50	130,00	0,021	Extrem Mala
79,00	80,50	0,074	Extrem Mala	130,00	131,50	0,021	Extrem Mala
80,50	82,00	0,056	Extrem Mala	131,50	133,00	0,021	Extrem Mala
82,00	83,50	0,056	Extrem Mala	133,00	134,50	0,312	Muy Mala
83,50	85,00	0,056	Extrem Mala	134,50	136,00	0,152	Muy Mala

Fuente: Anexo A.

Tabla 23. Calidad de la roca según el sistema Q para el pozo GWY057.

CALIDAD DE LA ROCA SEGÚN EL SISTEMA Q PARA EL POZO GWY057							
From	To	Q	Calidad de la roca	From	To	Q	Calidad de la roca
35,9	37,3	13,333	Buena	74,8	76,3	29,025	Buena
37,3	38,8	17,037	Buena	76,3	77,8	12,444	Buena
38,8	40,3	1,688	Mala	77,8	79,3	0,367	Muy Mala
40,3	41,8	20,167	Buena	79,3	80,8	3,937	Mala
41,8	43,3	11,702	Buena	80,8	82,3	2,000	Mala
43,3	44,8	0,244	Muy Mala	82,3	83,8	20,946	Buena
44,8	46,3	0,098	Extrem Mala	83,8	85,3	7,889	Regular
46,3	47,8	0,049	Extrem Mala	85,3	86,8	10,135	Buena
47,8	49,3	0,173	Muy Mala	86,8	88,3	8,448	Regular
49,3	50,8	2,690	Mala	88,3	89,8	6,667	Regular
50,8	52,3	3,596	Mala	89,8	91,3	4,578	Regular
52,3	53,8	9,000	Regular	91,3	92,8	5,733	Regular
53,8	55,3	17,759	Buena	92,8	94,3	6,000	Regular
55,3	56,8	4,778	Regular	94,3	95,8	1,063	Mala
56,8	58,3	13,063	Buena	95,8	97,3	0,931	Muy Mala

<b>CALIDAD DE LA ROCA SEGÚN EL SISTEMA Q PARA EL POZO GWY057</b>							
<b>From</b>	<b>To</b>	<b>Q</b>	<b>Calidad de la roca</b>	<b>From</b>	<b>To</b>	<b>Q</b>	<b>Calidad de la roca</b>
58,3	59,6	5,444	Regular	97,3	98,8	1,095	Mala
59,6	61,2	7,500	Regular	98,8	100,3	1,244	Mala
61,2	62,8	7,527	Regular	100,3	101,8	1,440	Mala
62,8	64,3	21,333	Buena	101,8	103,3	1,393	Mala
64,3	65,8	16,441	Buena	103,3	104,1	0,500	Muy Mala
65,8	67,3	30,000	Buena	104,1	105,3	0,333	Muy Mala
67,3	68,8	14,833	Buena	105,3	106,3	2,667	Mala
68,8	70,3	20,750	Buena	106,3	107,1	0,500	Muy Mala
70,3	71,8	21,021	Buena	107,1	107,6	0,333	Muy Mala
71,8	73,3	25,556	Buena	107,6	108,9	2,278	Mala
73,3	74,8	27,556	Buena	108,9	109,3	0,500	Muy Mala

Fuente: Anexo B.

**Tabla 24. Calidad de la roca según el sistema Q para el pozo GWY059**

<b>CALIDAD DE LA ROCA SEGÚN EL SISTEMA Q PARA EL POZO GWY059</b>							
<b>From</b>	<b>To</b>	<b>Q</b>	<b>Calidad de la roca</b>	<b>From</b>	<b>To</b>	<b>Q</b>	<b>Calidad de la roca</b>
38,50	40,00	5,083	Regular	70,00	71,50	12,415	Buena
40,00	41,50	7,250	Regular	71,50	73,00	5,856	Regular
41,50	43,00	16,167	Buena	73,00	74,50	4,111	Regular
43,00	44,50	14,833	Buena	74,50	76,00	6,667	Regular
44,50	46,00	4,000	Mala	76,00	77,50	4,778	Regular
46,00	47,50	1,756	Mala	77,50	79,00	1,333	Mala
47,50	49,00	0,111	Muy Mala	79,00	80,50	0,574	Muy Mala
49,00	50,50	0,200	Muy Mala	80,50	82,00	1,852	Mala
50,50	52,00	0,358	Muy Mala	82,00	83,50	11,556	Buena
52,00	53,50	0,622	Muy Mala	83,50	85,00	12,500	Buena
53,50	55,00	14,667	Buena	85,00	86,50	5,667	Regular
55,00	56,50	18,500	Buena	86,50	88,00	1,667	Mala
56,50	58,00	4,063	Regular	88,00	89,50	2,133	Mala
58,00	59,50	2,500	Mala	89,50	91,00	1,368	Mala
59,50	61,00	2,000	Mala	91,00	92,50	0,222	Muy Mala
61,00	62,50	1,625	Mala	92,50	94,00	1,114	Mala
62,50	64,00	3,802	Mala	94,00	95,50	6,697	Regular

CALIDAD DE LA ROCA SEGÚN EL SISTEMA Q PARA EL POZO GWY059							
From	To	Q	Calidad de la roca	From	To	Q	Calidad de la roca
64,00	65,50	9,833	Regular	95,50	97,00	12,833	Buena
65,50	67,00	7,914	Regular	97,00	98,50	9,805	Regular
67,00	68,50	23,111	Buena	98,50	100,00	4,824	Regular
68,50	70,00	18,272	Buena	100,00	101,50	0,074	Extrem Mala

Fuente. Anexo C.

**6.1.1 Análisis geotécnico.** Para estos pozos, se realizó el logueo geotécnico aproximadamente para las mismas profundidades, para el pozo GWY054, se tomo desde 34,00 hasta 136,00 m de profundidad; para el pozo GWY057, desde 35,90 hasta 109,3 m y para el GWY059, desde 38,50 hasta 101,50 m de profundidad.

De manera general, se tienen principalmente 3 “dominios” geotécnicos, seleccionados cada uno de acuerdo a la calidad de la roca obtenida por el análisis de calidad Q (Barton, 1974; actualización 1994).

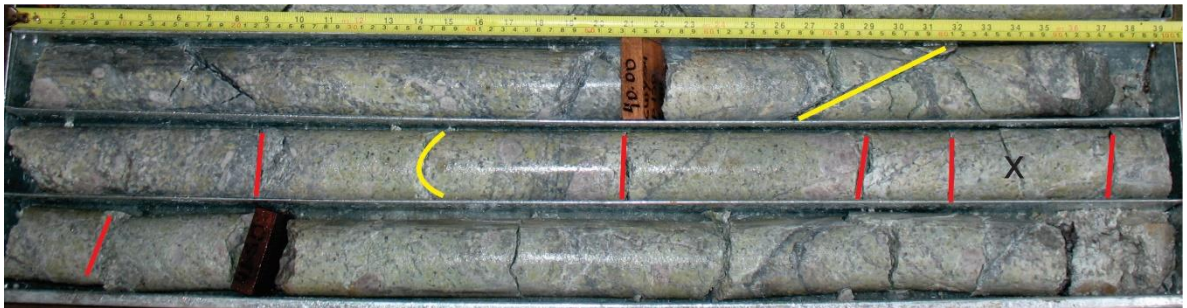
Estos “Dominios”, se repiten en todos los pozos con algunas variaciones leves, hasta aproximadamente 79 m de profundidad, a la cual, su comportamiento geotécnico dista un poco. Estas similitudes ocurren, pues los 3 pozos se encuentran a pocos metros de diferencia, entre ellos y la roca presenta condiciones muy similares de esfuerzos y flujos subterráneos de aguas.

**6.1.1.1 Dominio A.** De manera general, se ubica entre las profundidades de 34,00 hasta 44,50 m, abarcando unos 10 metros de espesor, corresponde de acuerdo a la clasificación geomecánica del sistema Q de Barton, a roca Regular/buena.

En esta profundidad, la roca, se encuentra poco meteorizada y con poca pérdida de su dureza original y presenta dos familias principales de diaclasas orientadas entre  $31^\circ - 60^\circ$  y  $> 60^\circ$  según el método Weighted Joint Density (wJd), introducido por

Palmstrom (1995) como se ilustra en la **fotografía 26**, en algunos casos se presentan diaclasas aleatorias.

**Fotografía 26. Ejemplo fotográfico donde se observa la distribución de algunas diaclasas, estas se ubican de la siguiente manera; color amarillo corresponde a diaclasas comprendidas entre  $31^{\circ}$  -  $60^{\circ}$  y en rojo a diaclasas  $> 60^{\circ}$ , la X hace referencia a fractura mecánica**



Fuente: SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER. Base de datos

La roca presenta un alto índice de rugosidad ( $J_r$ ) que varía entre 3 y 4 (Diaclasas onduladas, rugosas o irregulares – diaclasas discontinuas) y un índice de alteración considerablemente bajo ( $J_a = 3 - 4$ ), que corresponde a rocas con pequeños recubrimientos arcillosos.

En cuanto al SRF y al  $J_w$ , la roca no presenta evidencias de grandes esfuerzos, ni altos flujos de agua subterráneas, que demuestren un estado de tensión alto en la roca.

**6.1.1.2 Dominio B.** Corresponde según los valores del Q de Barton, a roca muy desfavorable (mala – muy mala – excepcionalmente mala). Se ubica entre 44,50 y 53,50 m aproximadamente, abarcando un espesor de unos 9 m. En este caso, se observa que la calidad de la roca ha disminuido, ver **fotografía 27**.

**Fotografía 27. Ejemplo fotográfico, donde se observa la disminución de la calidad de la roca. Nótese que la roca se encuentra altamente fracturada y meteorizada.**



Fuente: SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER. Base de datos de la 2015.

La roca en este intervalo, presenta entre 2 y 3 familias de diaclasas, por lo que presenta un  $J_n$  que varía entre 6 y 9 según el método Weighted Joint Density (wJd), introducido por Palmstrom (1995).

En este dominio, la roca se encuentra un poco más meteorizada, y alterada, pues la roca ha perdido un poco de su competitividad física, presentando un índice de alteración un poco más desfavorable que en el caso anterior, con una cantidad más alta de arcillas y partículas arenosas.

**6.1.1.3 Dominio C** Este dominio se ubica entre 53,50 hasta aproximadamente 77,80 m, abarcando un espesor de unos 25 m. En este, se encuentra roca cuya calidad es predominantemente buena, salvo algunos intervalos regulares o malos como en el caso del GWY059. Estos últimos tramos de roca “Mala”, se deben a que los valores correspondientes al RQD, dan porcentajes inferiores al 20%. Como se observa en la **fotografía 28**. Esto, en sí, no significa que la roca sea mala como tal, sino que esta se encuentra altamente fracturada.

**Fotografía 28. Ejemplo fotográfico correspondiente al pozo GWY059, donde se observa el alto fracturamiento de la roca, nótese que la roca en sí, no presenta altos niveles de alteración ni evidencia flujos de agua subterránea, por lo que su valor negativo (malo) se debe a un bajo RQD, producto del alto número de diaclasas que presenta**



Fuente: SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER. base de datos de la 2015.

Según el método Weighted Joint Density (wJd), introducido por Palmstrom (1995), en este intervalo predominan 2 familias de diaclasas, orientadas entre  $31^{\circ}$  -  $60^{\circ}$  y  $> 60^{\circ}$  con algunas aleatorias como se observa en la **fotografía 28**, por lo que se presentan valores de  $J_n$  (número de familias de diaclasas) entre 4 y 6.

Con respecto al índice de alteración ( $J_a$ ), la roca presenta planos de discontinuidad ligeramente alterados acompañados ocasionalmente con algunas partículas arenosas. En cuanto al índice de rugosidad ( $J_r$ ), las diaclasas, son predominantemente onduladas, rugosas e irregulares, con lo cual, se brinda un alto grado de resistencia al macizo ante algún desplazamiento cortante.

Como se puede observar en los **anexos A, B y C**, la roca presenta una condición de esfuerzos favorables (esfuerzos moderados) y un flujo de agua seco o muy

mínimo para este intervalo lo cual le confiere un alto grado de competitividad física y por ende una buena clasificación de acuerdo al Q de Barton, como se evidencia en la **fotografía 29**.

**Fotografía 29. Roca cuya calidad es buena, presenta valores altos de RQD, JW y SRF**



Fuente: SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER Base de datos 2015.

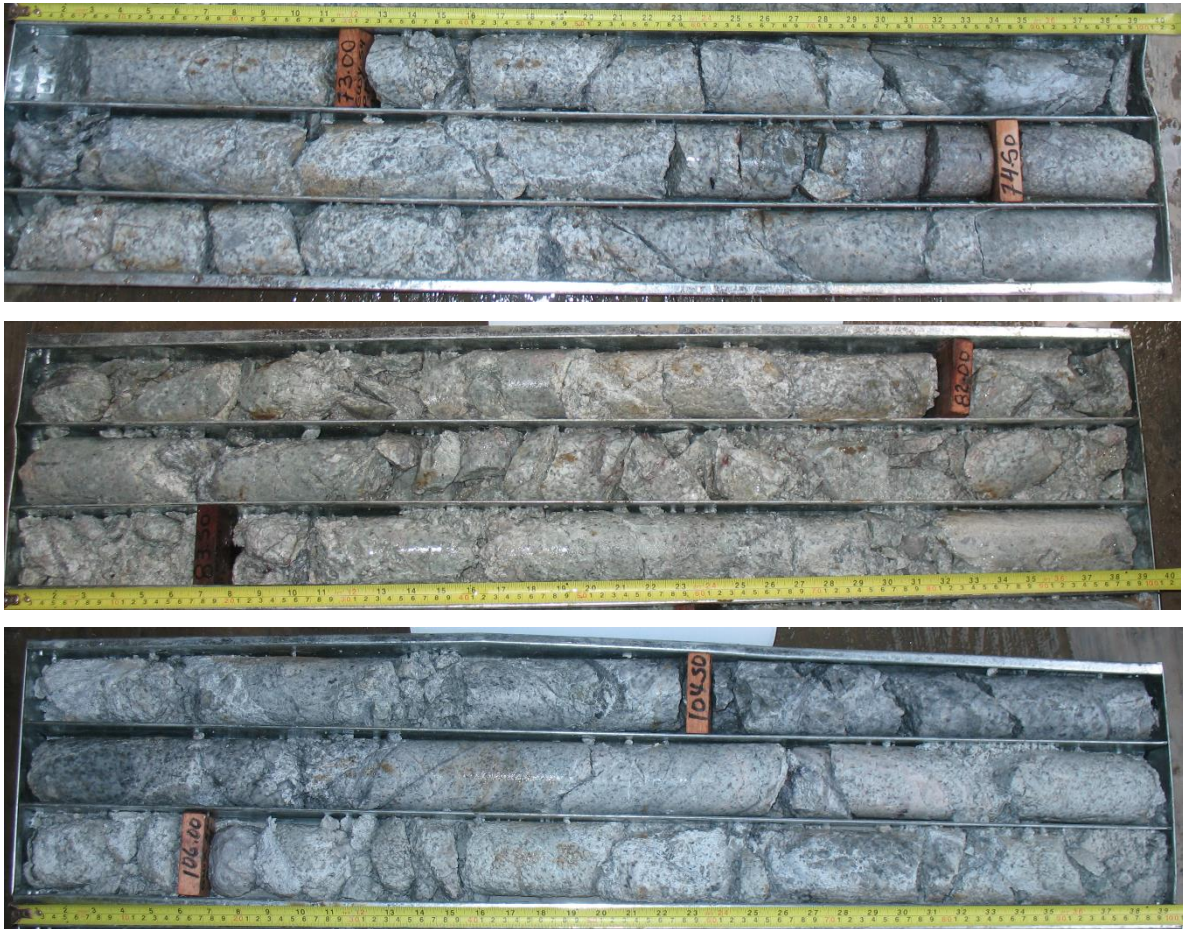
**6.1.1.4 Comportamiento geo mecánico de los pozos a profundidades mayores A 79 M**

**A. POZO GWY054**

El pozos GWY054 entre los intervalos de 78,00 – 95,00; 104,50 – 115,00 y 124,00 – 136,00 la roca presenta valores malos a muy malos de calidad de la roca.

En la **fotografía 30**, esto se puede evidenciar, pues la roca se encuentra altamente fracturada, por lo que no presenta valores favorables de RQD y SRF, también, se puede evidenciar, que esta, se encuentra alterada, presentando partículas de arcilla entre sus discontinuidades.

**Fotografía 30. Ejemplos fotográficos del Pozo GWY054, donde se observa que la roca se encuentra altamente fracturada y alterada**

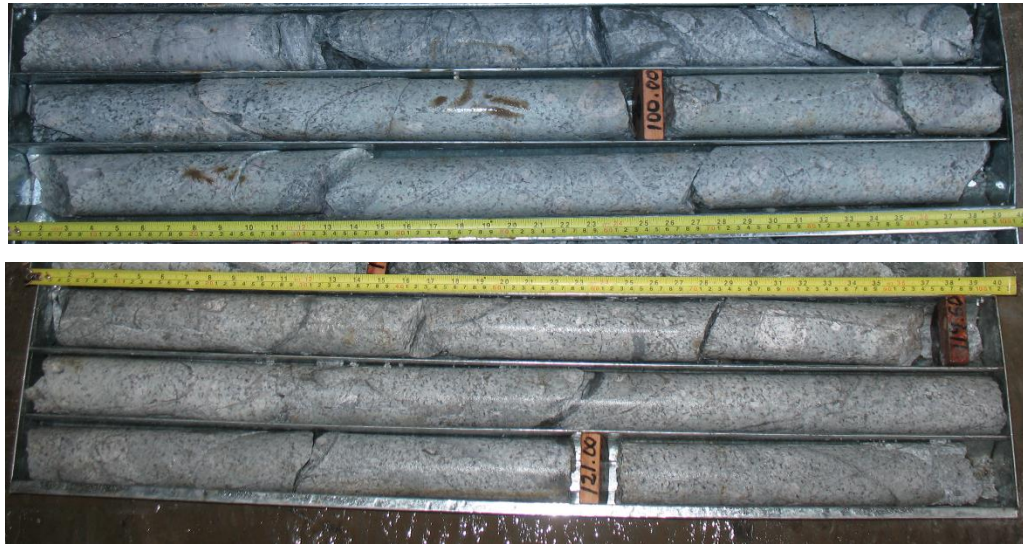


Fuente: SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER Base de datos 2015.

A pesar de encontrarse fracturada la roca, es posible notar que la influencia del agua es mínima, por lo que posiblemente, en estas profundidades, se encuentre una zona de cizalla.

Para las profundidades de 95,50 – 104,50 y 115,00 – 127,00 la roca mejora su calidad, en esta, predominan 2 familias de diaclasas y un tensor de esfuerzos moderado, como se observa en la **fotografía 31**.

**Fotografía 31. Roca perteneciente al pozo GWY054, cuya calidad según el sistema Q, es buena.**



Fuente: SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER Base de datos de la

Aquí, es posible notar que la roca no presenta ningún material de relleno entre sus discontinuidades, por lo que se considera que presenta un índice de alteración (Ja) favorable, que le brinda a la roca alta competitividad.

## **B. POZO GWY057**

Este pozo presenta una calidad de roca mala entre los tramos 77,80 – 82,30 m y 94,30 – 109,30 m y una calidad buena entre 82,30 – 94,30 m de profundidad.

Para la profundidad que se comprende entre 77,80 y 82,30m, la roca se encuentra afectada por una falla menor como se observa en la **fotografía 32**, esta, ocasiona que la roca se encuentre altamente fracturada, y confiere una alta cantidad de pequeños rellenos de arcilla y partículas arenosas a la roca. Debido a esto, la calidad de la roca se ve altamente afectada.

**Fotografía 32. Zona de falla que confiere a la roca una caldiad según el Q de Barton “mala”.**



Fuente: SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER. Base de datos 2015.

Hacia los metros finales, se puede observar una zona altamente diaclasada y fracturada, que a pesar de no presentar gran cantidad de presión de agua, o ser una zona de falla, es considerada como una zona de debilidad y de alto esfuerzo, por lo que en este caso, los valores de Q de calidad de la roca arrojaron valores desfavorables como se observa en la **fotografía 33**.

En estos casos (alto diaclasamiento y fracturamiento) también se puede observar que la roca no presenta tramos favorables para realizar mediciones de RQD, es decir, trozos de núcleo no meteorizados mayores o iguales a 10 cm. Por lo que se ajusta dicho valor al 10% con el fin de no alterar los resultados obtenidos para el Q de Barton.

**Fotografía 33. Se pueden observar tramos de roca correspondientes a zonas de debilidad y alto fracturamiento, debido a un elevado tensor de esfuerzo**



Fuente: SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER Base de datos 2015.

### C. POZO GWY059

El pozo, presenta pocas partes de roca favorable, como sucede entre los tacos de 83.50 – 85.00 o 95,50 – 97,00 m, como se observa en la **fotografía 34**, pues, en este caso, la roca presenta un tensor de esfuerzos muy reducido ( $SRF = 1$ ), se encuentra muy poco alterada y presenta un RQD considerablemente alto (~75%).

**Fotografía 34. Zona de roca favorable y con calificación según el sistema Q (Buena).**



Fuente: SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER Base de datos 2015.

Los otros tramos de roca de este pozo, corresponden a rocas regulares a muy malas, esto porque en varias zonas, la roca se encuentra afectada por fallas menores que confieren a la roca una calidad mala, como se ve en la **fotografía 35**.

**Fotografía 35. Zona de falla que afecta la calidad de la roca.**



Fuente: SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER Base de datos 2015.

**6.1.1.5 Análisis de sostenimiento.** Con base a los datos obtenidos de la clasificación del sistema Q, para los dominios A, B y C, se realizó el análisis de sostenimiento para *el supuesto* de elaborar un túnel de 5 m de alto por 4 m de ancho, para extracción de mineral, tomando como referencia a Grimstad y Barton 1994. Para esto, se realizó un pequeño análisis estadístico consignado en las **tablas 24, 25 y 26** respectivamente.

**Tabla 25. Valores de Q, del dominio A, con sus respectivos datos estadísticos**

VALORES DE Q DEL DOMINIO A	
4,963	1,688
5,111	20,167
4,222	11,702
4,167	5,083
6,5	7,25
13,333	16,167
17,037	14,833
DATOS ESTADISTICOS	
<b>Q PROMEDIO (QX)</b>	<b>9,44</b>
<b>DESVIACION ESTÁNDAR (S)</b>	<b>5,91</b>
<b>QX + S</b>	<b>15,35</b>
<b>QX - S</b>	<b>3,53</b>

**Tabla 26. Valores de Q, del dominio B, con sus respectivos datos estadísticos**

<b>VALORES DE Q DEL DOMINIO B</b>	
0,286	0,049
0,056	0,173
0,056	2,69
0,167	3,596
0,048	4
0,018	1,756
0,317	0,111
0,435	0,2
0,244	0,358
0,098	0,622
<b>DATOS ESTADISTICOS</b>	
<b>Q PROMEDIO (QX)</b>	<b>0,764</b>
<b>DESVIACION ESTÁNDAR (S)</b>	<b>1,23</b>
<b>QX + S</b>	<b>1,99</b>
<b>QX - S</b>	<b>0,46</b>

**Tabla 27. Valores de Q, del dominio C, con sus respectivos datos estadísticos**

<b>VALORES DE Q DEL DOMINIO C</b>	
12	13,063
14,5	5,444
18,667	7,5
4,833	7,527
5	21,333
9,667	16,441
5	30
5	14,833
4,167	20,75
26,889	21,021
12,667	25,556
6,333	27,556
6,167	29,025
0,222	12,444
0,398	14,667
5	18,5
7	4,063

<b>VALORES DE Q DEL DOMINIO C</b>	
9	2,5
17,759	2
4,778	1,625
12,415	3,802
5,856	9,833
4,111	7,914
6,667	23,111
4,778	18,272
<b>DATOS ESTADISTICOS</b>	
<b>Q PROMEDIO (QX)</b>	<b>11,35</b>
<b>DESVIACION ESTÁNDAR (S)</b>	<b>8,16</b>
<b>QX + S</b>	<b>3,19</b>
<b>QX - S</b>	<b>19,5</b>

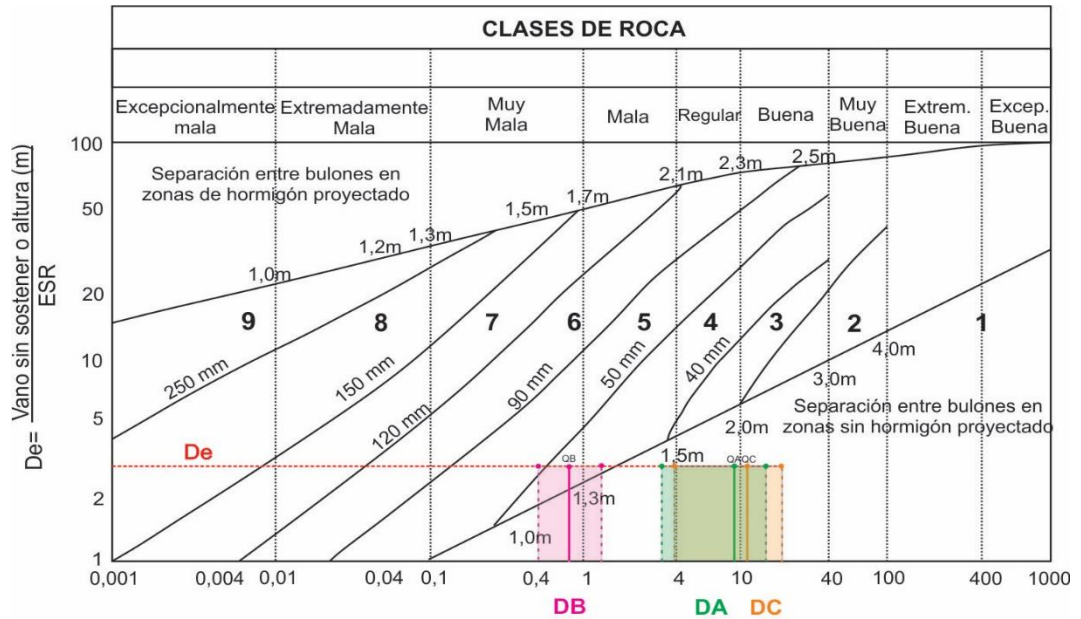
Antes de realizar dicho análisis, es necesario definir el diámetro equivalente del túnel ( $De$ ), con el fin de poderlo relacionar más fácilmente con el valor del  $Q$  promedio obtenido para cada dominio. Este diámetro equivalente se obtiene dividiendo el diámetro o la altura de la pared de la excavación con una cantidad llamada relación de sostenimiento (ESR) propuesta por Barton et. al., 1974. Para el caso, se toma el valor correspondiente a “Excavaciones mineras permanentes” cuyo ESR corresponde a 1,6. En consecuencia, para un túnel de 5m de alto por 4m de ancho, se tiene:

$$De = \frac{\text{Altura de la pared de la excavación}}{ESR} = \frac{5}{1,6} = 3,125$$

La “ $De$ ” es utilizada junto con los valores del  $Q$  promedio (QX) para cada dominio, para definir una serie de categorías de sostenimiento por medio de la gráfica publicada por Barton et al., 1974, actualizado por Grimstad y Barton 1993 para reflejar el uso de hormigón proyectado (o shotcrete) reforzado con fibras de acero para la elaboración del sostenimiento del túnel supuesto. Esto, se realizó para cada

dominio geotécnico encontrado en los 3 pozos analizados (GWY054, GWY057 y GWY059), esto se observa en la **figura 5**.

**Figura 4. Diagrama de sostenimiento y calidad de la roca, con sus respectivas categorías donde se observa la distribución de los dominios A, B y C de acuerdo a el valor de De y de los Q promedio (QX).**



- Categorías de sostenimiento
1. Sin Sostenimiento
  2. Bulonado puntual.
  3. Bulonado sistemático
  4. Bulonado sistemático con hormigón proyectado
  5. Hormigon proyectado con fibras 50 - 90 mm y bulonado
  6. Hormigon proyectado con fibras 90 - 120 mm y bulonado
  7. Hormigon proyectado con fibras 120 - 150 mm y bulonado
  8. Hormigon proyectado con fibras <150 mm con bulonado y cerchas metalicas
  9. Revestimiento de hormigón

Fuente: Barton y Grimstad 1994.

Según los datos de la figura anterior se tiene:

- **Dominio A (DA) – Roca Regular**

Se ubica dentro de la categoría 4 de la figura 4. Para este dominio se requiere un espaciamiento de pernos de roca espaciados entre 1,5 y 2,0 m fuera del área de concreto lanzado sin refuerzo y bulonado sistemático.

- **Dominio B (DB) – Roca Mala/Muy Mala**

Se ubica dentro de la categoría 6 de la figura 4. Para este dominio se requiere un espaciamiento de pernos de roca entre 1 y 1,3 m, 50 mm de hormigón reforzado con fibras de 90 a 120 mm y bulonado.

- **Dominio C (DC) – Roca Regular/Buena**

Se ubica dentro de las categorías 3 – 4 de la figura 4. Para este dominio se requiere un espaciamiento de pernos de roca espaciados 2,0 m fuera del área de concreto lanzado sin refuerzo y bulonado sistemático.

## **6.2 LOGUEO GEOLÓGICO POZOS GWY054, GWY057 y GWY059**

Se presenta una breve descripción de los **Anexos D, E y F**, los cuales corresponden al logueo geológico de los pozos GWY054, GWY057 y GWY059 en un área de interés, para el cual, se realizaron los apartados de: litología, mineralización, alteración y estructuras, descritas en el marco teórico.

Las áreas para las cuales se realizó este logueo, corresponden a las zonas donde el análisis geoquímico de espectrometría de masas realizado por parte de la empresa Sociedad Minera de Santander S.A.S. arrojó picos elevados de los minerales de interés para el proyecto, principalmente oro, para el cual, se tomó

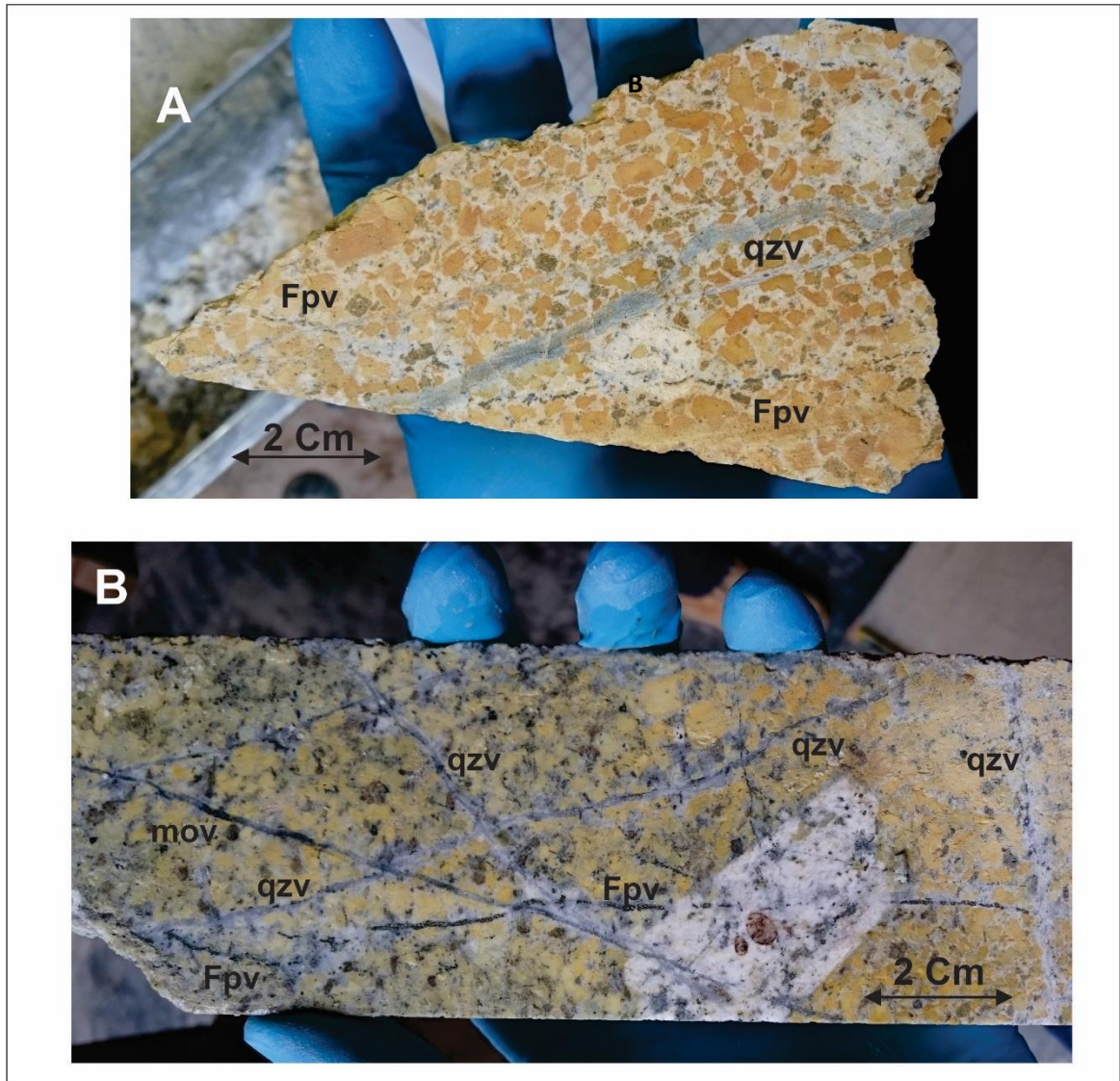
como valor base 1 Ppm. Este ensayo geoquímico, no se puede dar a conocer al lector, pues se considera información confidencial por parte de la empresa.

Con los datos de los sondeos geoquímicos y la observación directa del núcleo (logueo geológico), se obtiene la información consignada en los **anexos D, E y F** respectivamente.

Los pozos descritos, GWY054, GWY057 y GWY059 presentan características geológicas muy similares pues corresponden litológicamente a rocas intrusivas (Batolito granodiorítico de Rionegro; JRcgp, Royero y Clavijo, 2001), sus principales diferencias radican en las zonas mineralizadas y en las alteraciones presentes.

**6.2.1 Litología.** Litológicamente, los pozos corresponden a una granodiorita porfírica, donde se pueden observar fenocristales de feldespato y plagioclasas inmersos en una matriz micro cristalina con alto contenido de sílice y algunos aluminosilicatos, **ver fotografía 36**. Dichos fenocristales, presentan principalmente formas euhedrales de tamaños variados como se evidencia en la **Fotografía 37**.

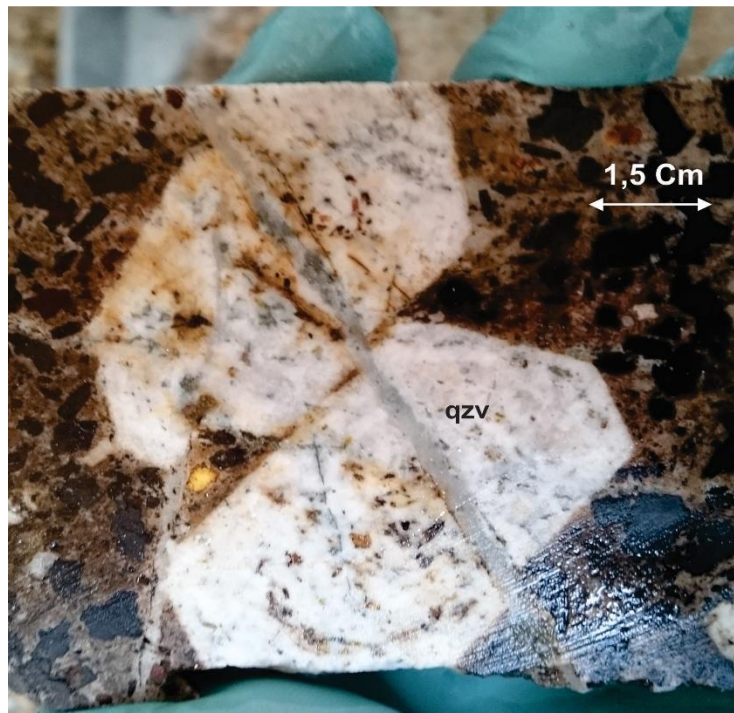
Fotografía 36. A) Pórfido correspondiente al pozo GWY054, donde se observa claramente una vena de cuarzo (qzv) y pequeñas venas de pirita fina (fpv). B) Pórfido correspondiente al pozo GWY057, en este se observan venas de cuarzo (qzv), venas de pirita fina (fpv) y una que otra venilla de molibdenita (mov) alrededor de la roca. También se puede observar un fenocristal de plagioclasa cortado por múltiples estructuras mineralizadas (mineralización epigenética)



Dicha descripción litológica, no solo incluye las zonas de roca fresca, en este, también se observan las zonas de fallas presentes, estas son clasificadas como

Zonas de falla matriz dominante y clasto dominante (MFT y CFT) donde en algunos casos, es posible encontrar valores considerables de minerales mena.

**Fotografía 37. Pórfido correspondiente al pozo GWY059, en donde se observan claramente los cristales Euhedrales de plagioclasa y a su vez, es posible notar como una venilla de cuarzo (qzv) los corta, indicando, que la mineralización es posterior a la formación de la roca (Epigenético).**



De igual forma las brechas, también se consideran en este estadio del logeo y representan una las zonas de mayor interés en el logeo geológico, si dichas brechas presentan valores de mineralización considerables, serán consignadas en el logeo mineralógico. Algunas brechas encontradas en este logeo se pueden observar en la **fotografías 38** correspondiente al pozo GWY054 y en la **fotografía 39** del pozo GWY057. Esta primera, corresponde a una brecha con textura vuggy (vgg) (THBX – QCBX – VQBX) y alteración sílica intermedia (grado 2), con presencia de alunita y sulfuros de cobre en poca cantidad. Por su parte, la segunda corresponde a una brecha clasto soportada monomictica (THBX – QCBX – CMBX)

con textura craquelada (Crl) y alteración Silica (argílica avanzada fuerte) (grado 3). Para el caso del pozo GWY059, no se identificaron brechas significativas.

**Fotografía 38. THBX – QCBX – VQBX, Brecha con textura vuggy (Vgg) perteneciente al pozo GWY054. Presenta alunita en el cemento y minerales de cobre en poca cantidad (bornita y covelita). Ejemplo fotográfico del núcleo GWY054.**



**Fotografía 39. THBX – QCBX – CMBX, Brecha con textura craquelada (Crl), clasto soportada monomítica perteneciente al pozo GWY057.**



**6.2.2 Alteraciones** En cuanto a las alteraciones de la roca presentes en estos pozos, se tiene principalmente, alteración argílica (ARG) en diferentes intensidades (baja, media o fuerte) como se observa en la **Fotografía 40**, que varían según donde se esté observando el tramo de roca. Dicha alteración se caracteriza principalmente, por la presencia de illita, reemplazando algunos fenocristales y de sericita y caolinita en menor proporción.

**Fotografía 40. Alteración argílica fuerte (tipo 3, porcentaje de illita mayor al 25%) en un pórfido del pozo GWY057, nótese el color verde correspondiente a la illita que está reemplazando los cristales de plagioclasa.**



A pesar de ser la alteración argílica la principal, en ocasiones se observa zonas con alteración supergénica (principalmente en zonas de falla donde predomina la caolinita) **Fotografía 41** y otras con alteración sílica (en zonas silisificadas o en brechas, ocasionalmente con presencia de alunita) **Fotografía 42**.

**Fotografía 41. Alteración Supergénica (SPK),** caracterizada por la ocurrencia de caolinita y otros minerales arcillosos, producida principalmente por la presencia de aguas superficiales, típica en zonas de falla.



**Fotografía 42. Alteración Silica o Argilica avanzada (SIL),** caracterizada por la *ocurrencia de alunita y silica* acompañada por lo general de sulfuros. Típica de zonas brechadas, se puede observar claramente la *textura vuggy*.

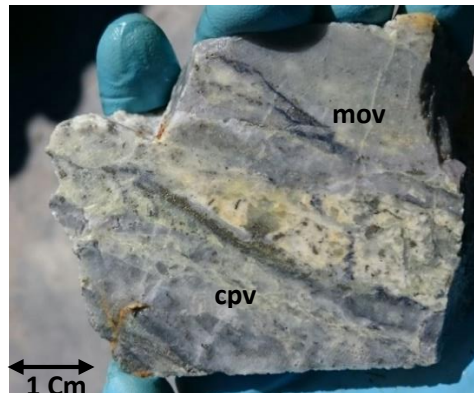


**6.2.3 Estructuras** Las estructuras principales corresponden a venas de pirita, tanto cristalina (cpv), como fina (fpv), aunque esta última es la que predomina. También

se observan venas de cuarzo/sílice (qzv), venas de molibdenita (mov), contactos litológicos (lc), fallas menores (f1) y algunas zonas brechadas (thbx). Como se evidencia en las **Figuras 38, 39 y 43**.

Estas estructuras, se presentan posteriormente a la formación de la roca, pues están dispuestas de manera que cortan a la roca caja, como se puede observar en las **Figuras 38 y 39**, es decir, la mineralización presente, es de tipo epigenética.

**Fotografía 43. Pórfido cortado por múltiples estructuras, entre estas, venas de pirita cristalina (cpv) y de molibdenita (mov). Ejemplo observado en el pozo GWY057.**



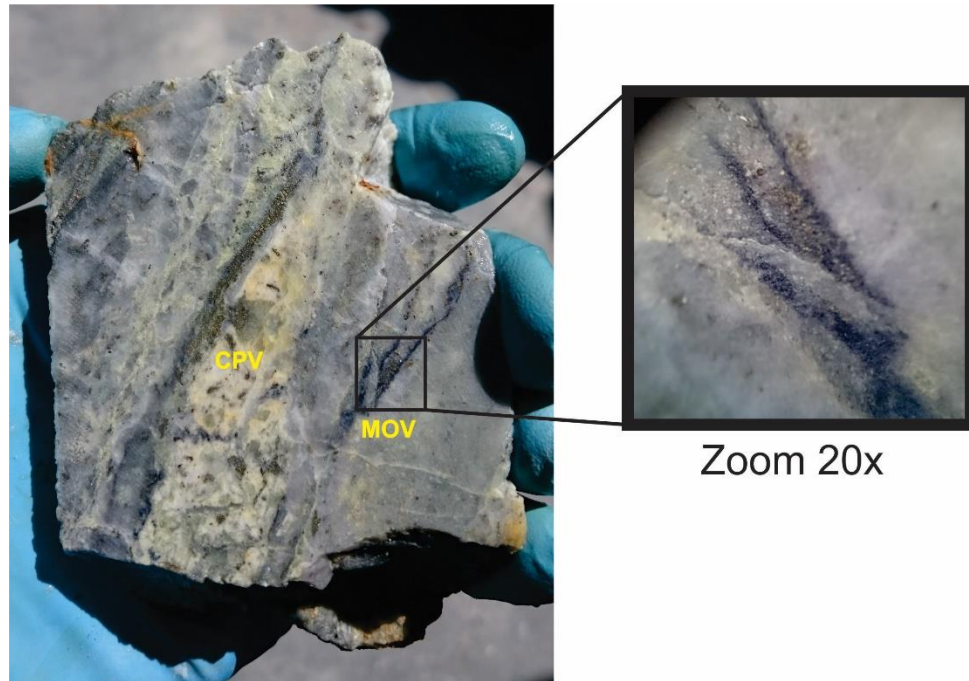
**6.2.4 Mineralización** En cuanto a la mineralización, estos pozos presentan principalmente, zonas ricas en minerales de cobre (covelita, calcosita, calcopirita y bornita), esfalerita, especularita, torbentita y enargita, entre otros, **Fotografía 44, Fotografía 45 y Fotografía 46**. Cabe mencionar, que en algunas zonas, los análisis geoquímicos realizados por parte de la empresa revelan la presencia de oro y plata, que en este caso, no son visibles, sino que se presentan diseminados y en concentraciones que varían entre 1 Ppm hasta 4 Ppm en el mejor de los casos. Dichas mineralizaciones se encuentran principalmente en zonas de brecha y venas, aunque, en ocasiones, se observan picos considerables de mineralización en las zonas de falla y en estructuras como es el caso de estos pozos.

Todo lo descrito anteriormente, puede ser revisado en los Anexos D, E y F donde se constata dicha información, de igual forma en las figuras adjuntas, se podrá corroborar.

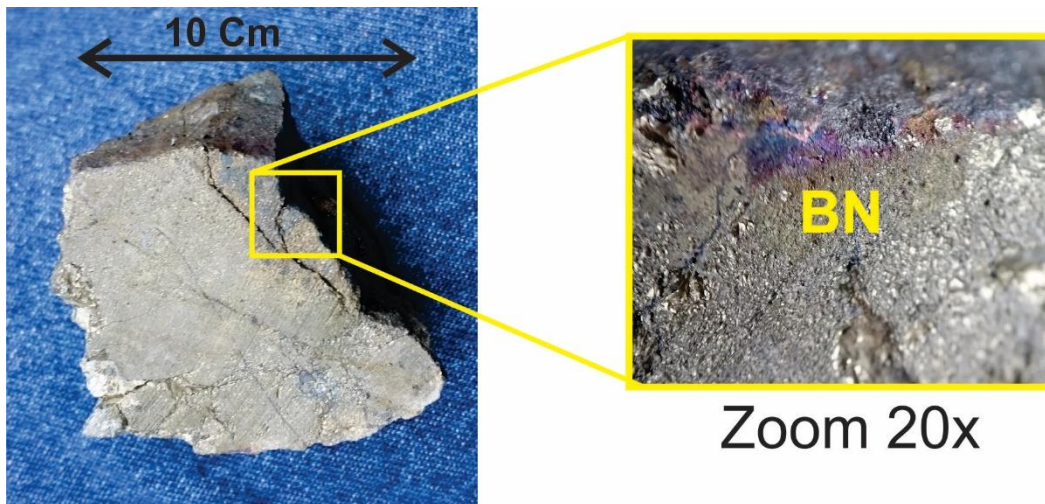
**Fotografía 44. Principales mineralizaciones observadas con la lupa de mano a un aumento de 20x. Se observan zonas de mineralización de cobre, principalmente bornita (BN), covelita (CV) y calcosita (CC) también se puede observar Mineralización de Zinc en “forma” de esfalerita (ZN), zonas ricas en pirita (PY) y minerales de uranio (UTV) torbentita o uranita.**



Fotografía 45. Mineralización de Molibdeno (Molibdenita - Mov), se encuentra rellenando venas, esta, se caracteriza por su color azulado y dureza muy baja (1 – 1,5 en la escala de dureza de Mohs). También es posible observar venas de pirita gruesa (CPV)



Fotografía 46. Mineralización de cobre en vena de pirita gruesa. Al aplicar el zoom 20x se puede notar las coloraciones morado – azul características de las mineralizaciones de bornita (BN), sulfuro rico en cobre ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ).



### 6.3 COLUMNAS GEOLÓGICA

Por medio de los datos obtenidos del logueo geológico (Anexos D, E y F) se realizaron las columnas geológicas de los pozos GWY054, GWY057 y GWY059, consignadas en los **anexos G, H e I** respectivamente, estas, con el fin de ilustrar mejor al lector, de la geología presente en el subsuelo de la zona, y corroborar la información observada en la **figura 2** “Mapa geológico de la zona”, la cual nos muestra que los pozos se ubican sobre una unidad ígnea plutónica porfirítica.

A su vez, en esta columna, se observan las principales zonas mineralizadas, con sus respectivos minerales mena y el tipo de mineralización presente, bien sea en venas, en brecha, en falla... también, se ilustra la alteración principal de la roca y la intensidad con que esta se presenta.

Para los 3 pozos, se observa en los anexo G, H e I, las columnas geológicas generalizadas correspondientes a cada uno, en estas, se puede notar, que litológicamente, corresponden a una roca porfirítica con múltiples ocurrencias de zonas brechadas y falladas, especialmente para el pozo GWY054. También, se puede observar que las principales mineralizaciones corresponden a sulfuros de cobre (covelita, bornita, calcosita, calcopirita...), óxidos de hierro (Hematita), esfalerita, marcasita y algunos minerales de uranio (Torbentita y uranita) concentrados principalmente en brechas, fallas y sistemas de vetillas y venas.

Con la observación y comparación de estas 3 columnas entre sí, es posible notar, como las zonas de brechas y minerales mena disminuyen de un pozo a otro y que a pesar de ser pozos vecinos, presentan características geológicas muy variadas. Para el caso del pozo GWY059, se observa en la columna, que este no presenta zonas de brecha significativas, a comparación con los otros dos, lo que nos da un indicio del comportamiento geológico de la zona.

En cuanto a las alteraciones, predomina la argílica (ARG) en diferentes grados, pues esta afecta de manera similar a los 3 pozos y se caracteriza por presentar cambios en los minerales que componen el cuerpo de la roca, como los feldespatos y plagioclasas, alterando estas, a illita y caolinita principalmente. En pequeñas zonas, principalmente donde hay presencia de zonas silicificadas o brechadas, la alteración predominante, es la argílica avanzada o sílica (SIL) y en zonas de falla, donde se presentan cambios en la mineralogía principal debido a agentes como el agua, se presenta alteración supergénica (SPK).

Continuación se adjuntan los anexos G, H e I que corresponden respectivamente, a las columnas geológicas generalizadas de los pozos GWY054, GWY057 y GWY059. Se realizaron en base a los datos obtenidos de los logueos geológicos tomado de los anexos E, F y G.

## 7. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos, tanto en las descripciones geotécnicas como geológicas llevadas a cabo en los pozos GWY054, GWY057 y GWY059, se puede concluir:

- Geotécnicamente, los 3 pozos, presentan características similares, estos, en su gran mayoría presentan zonas de calidad de roca mala a muy mala según los datos obtenidos mediante el Q de Barton, esto, quizá, debido a la cercanía que presentan con la falla circundante que se observa en la **figura 2**. La cual, puede ser la responsable de los esfuerzos y el fracturamiento presente en estos pozos.
- La clasificación del sistema Q de Barton, junto con parámetros como el RQD, permiten identificar las zonas de roca más aptas para la elaboración de túneles de explotación. A su vez, las condiciones de sostenimiento necesarias, las zonas que requieren bulonados o revestimientos de hormigón.

Para el caso de querer elaborar un túnel con fin de exploraciones mineras permanentes de 5m de alto por 4 m de ancho, que atravesase los pozos, es necesario aplicar por lo menos un bulonado sistemático, para las zonas de mejor calidad (zonas de roca buena) y para las zonas de calidad más desfavorable (roca mala, muy mala, excepcionalmente mala...), un recubrimiento de hormigón reforzado con fibras y bulonado.

- El área, de donde se tomaron los 3 pozos, corresponde, geológicamente, a una granodiorita porfírica, según lo indicado por Clavijo & Royero, 2001 y según lo ilustrado por Ingeominas, 1977, lo cual se comprobó, mediante la descripción geológica de las muestras de núcleos de perforación.

- Las mineralizaciones principales y más importantes, ocurren posteriormente a la formación de la roca, es decir, son procesos epigenéticos. Esto se evidencia, pues las estructuras mineralizadas, cortan las principales litologías de la roca.
- Las zonas con mayor presencia de mineralizaciones importantes (sulfuros de cobre, esfalerita, óxidos de hierro...) corresponden a zonas principalmente brechadas, falladas o de venas y vetillas, donde se concentran la mayor parte de dichos minerales.
- Las zonas de falla, presentan principalmente, alteraciones supergénicas, debido a la influencia del lavado por aguas superficiales, la cual, altera la composición original de la roca. Esta se caracteriza, por la presencia abundante de minerales arcillosos, principalmente caolinita.

## 8. RECOMENDACIONES

Para realizar cualquier procedimiento de descripción de muestras de núcleos de perforación (logueo geológico o geotécnico) es recomendable primero tener una visión amplia de lo que se va a realizar, es decir, conocer un poco de la geología de la zona, de las fallas que afectan tanto local como regionalmente el área o el flujo de aguas subterráneas presentes en el lugar, para así, facilitar y entender de manera más sencilla la situación que se tiene en el cuerpo de roca a analizar.

Para los procedimientos de logueo geotécnico, se recomienda agrupar las zonas de roca por dominios geomecánicos, lo cual facilitara la descripción geotécnica de la roca, pues, estas para un mismo dominio, presentan características geomecánicas similares.

En cuanto al logueo geológico, es necesario identificar las zonas donde la geología varíe su comportamiento, como cambios de litología (contactos litológicos), zonas de falla o zonas brechadas, así, a la hora de realizar las descripciones, se facilita la identificación de los diversos parámetros estudiados.

También es recomendable, describir adecuadamente las brechas, venas y zonas de falla, pues es en estas donde se concentran principalmente las mineralizaciones importantes.

## BIBLIOGRAFÍA

BARTON, Nick, GRIMSTAD, Eystein. The Q - System following twenty years of application in NMT support selection. herausberg: österreichische gesellschaft für geomechanik.. 1994.

BARTON, Nick, LIEN, Reidar, LUNDE, Johnny. Engineering Classification of rock masses for the design of tunnel support rock mechanics 6, 1974. 189 - 236.

BIENIAWSKI, Zbigniew. Rock mass classification in rock engineering. In exploration rock engineering, proc. Of the symp. 1976. 97 – 106.

BIENIAWSKI, Zbigniew. Engineering rock mass classifications. New York: Wiley. 1989.

CARRERA, Llaxa y MARISELL, Diana. Logueo geológico, geotécnico e hidrogeológico. Universidad privada del norte, ingeniería de minas. 2014.

DEERE, Don. Rock quality designation (RQD) after 20 years. U.S. Army Corps. Engrs Contract Report GL-89-1. Vicksburg, MS: Waterways Experimental Station. 1989.

GOMEZ, Diego y MOLANO, Juan. Evaluación de zonas de alteración hidrotermal y fases intrusivas, para el prospecto "Stock Porfirítico de Piedra Sentada" (Vereda Santa Lucía) Cauca, Colombia. Departamento de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. 2009.

GOOGLE EARTH, Julio del 2017

GRAN NACIONAL MINERA. Procedimiento de logeo geotécnico de Bieniawski. 2014.

INGEOMINAS. Geología del cuadrángulo. Pamplona H13 a escala 1:100000. Instituto de investigación e información geocientífica minero - ambiental y nuclear. 1977

SOCIEDAD MINERA DE SANTANDER S.A.S. Manual de logeo de núcleos de perforación V2 2015

PALMSTROM, Arild. Rmi – A rock mass characterization system for rock engineering purposes. PhD thesis, University of Oslo, Department of Geology, 1995. 400 p.

PARIZZI, Maria. Presentación PPT: Mecânica das rochas. Universidad Federal de Minas Gerais. 2016.

PRESENTACIÓN CORPORATIVA MINESA, Enero 2017.

ROYERO, José y CLAVIJO, Jairo. Mapa geológico generalizado de Santander: Memoria explicativa, INGEOMINAS. 2001.

# **ANEXOS**