

**PROPUESTA METODOLÓGICA PARA MAPEO GEOLÓGICO EN MINA OPEN
PIT Y ACTIVIDADES DE SOPORTE AL PROGRAMA DE ASEGURAMIENTO Y
CONTROL DE CALIDAD DE CERRO MATOSO S.A.**

GINA CORINA BUVOLI GÓMEZ

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

2014

**PROPUESTA METODOLÓGICA PARA MAPEO GEOLÓGICO EN MINA OPEN
PIT Y ACTIVIDADES DE SOPORTE AL PROGRAMA DE ASEGURAMIENTO Y
CONTROL DE CALIDAD DE CERRO MATOSO S.A.**

GINA CORINA BUVOLI GÓMEZ

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR TITULO DE GEÓLOGO.

MODALIDAD: PRÁCTICA EMPRESARIAL

Director (UIS)

LUIS CARLOS MANTILLA FIGUEROA

Geólogo PhD

Codirector (Externo: Cerro Matoso S.A)

RICARDO GARCÍA BARBAS.

Ingeniero Geologo.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS

ESCUELA DE GEOLOGÍA

BUCARAMANGA

2014

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a mis “papis” Alice y Kramer, por su interminable paciencia, sus sabios consejos y, por supuesto, el gigantesco apoyo que me brindaron durante todos mis años de vida universitaria; No tengo quejas, fueron espectaculares; También le dedico este logro a Michu; manita, mi primer sueldo es para ti. Un abrazo a todos.

Gina B.

AGRADECIMIENTOS.

Quiero ofrecer mis más sinceros agradecimientos a Cerro Matoso S.A por haberme brindado la oportunidad y el espacio dentro de su empresa para llevar a cabo mi proyecto; Especialmente agradezco el incondicional apoyo de todo el equipo de operación Mina, siempre prestos y orgullosos de su trabajo y con una calidez humana infinita.

A Otoniel Vergara y Ricardo García y a todos los miembros del equipo de geología de la Mina por apadrinarme y acompañarme durante todo el proceso, siempre con la mejor disposición para enseñarme lo que necesité y hasta un poco más.

Por último a la Universidad Industrial de Santander, y a todos y cada uno de los profesores de la Escuela de Geología con quienes tuve el honor de interactuar y que han contribuido enormemente en mi formación ética y profesional.

A todos, ¡Gracias!

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	18
2. OBJETIVOS.....	21
2.1.OBJETIVO GENERAL	21
2.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
3. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE LA MINA CERRO MATOSO.....	22
4. MARCO GEOLÓGICO.	23
5. MARCO TEÓRICO.....	28
5.1.CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE BANCOS.	28
5.2.EL MODELO DE CONTROL DE LEY (GRADE CONTROL MODEL).	30
5.3.TEORÍA DEL MUESTREO.....	33
5.4.EL PROGRAMA DE CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE CALIDAD (QAQC).....	41
5.5.MÉTODOS DE PERFORACIÓN.....	44
5.6 APUNTES SOBRE SEGURIDAD EN LA MINA DE CERRO MATOSO..	42
6 DESARROLLO DEL EI PROGRAMA DE PRÁCTICAS DE GEOLOGÍA.	47
6.1 CRONOGRAMA GENERAL DE ACTIVIDADES DEL PROGRAMA DE PRÁCTICAS	47
6.2 PROPUESTA METODOLÓGICA Y EJECUCIÓN DEL MAPEO GEOLÓGICO PIT 2	47
6.3 SOPORTE AL PROGRAMA QAQC	66
6.4 SISTEMATIZACIÓN DEL PROGRAMA QAQC.....	77
6.5 ACTIVIDADES AUXILIARES.....	87
7 RESULTADOS DEL PROGRAMA DE PRÁCTICAS.....	90
7.1 AVANCE DE ACTIVIDADES MES A MES.....	90
7.2 DETALLE DEL AVANCE MES A MES.	90
7.3 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	91
BIBLIOGRAFÍA.....	94

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Etapas del procesamiento de ferroníquel. El producto final de la mina son las pilas en especificación que pasan a los secadores y al resto del proceso. (Cerro Matoso S.A, 2005)</i>	19
<i>Figura 2. Construcción de la “Súper-Pila”</i>	20
<i>Figura 3. Localización geográfica de Cerro Matoso, Montelíbano, la apartada. Tomado de Vilorio de la Hoz, 2009.</i>	23
<i>Figura 4. Perfil generalizado de un depósito de lateritas níquelíferas. (Caballero Aguirre, 2012)</i>	25
<i>Figura 5. Representación esquemática de perfiles presentes en cerro matoso. (Caballero Aguirre, 2012)</i>	26
<i>Figura 6. Acumulación de elementos por litología (sectores mina cerro matoso). (Caballero Aguirre, 2012)</i>	27
<i>Figura 7. Bloque diagrama de un corte típico de una mina “Open pit”. Las rampas de accesos han sido omitidas. (Marjoribanks, 2010)</i>	28
<i>Figura 8. Mapeo de la cara de un banco activo de una mina open pit. Se ilustra el registro de la información de la pata del banco en el papel de graficar. (Marjoribanks, 2010)</i>	29
<i>Figura 9 Representación 3D de la configuración de los bloques diseñada para ajustarse a la geometría del depósito mineral. El tamaño de los bloques generalmente coincide con la “unidad de minado selectivo” (SMU, por sus siglas en ingles), es el volumen más pequeño para el cual se puede discriminar entre mineral y estéril y para el cual debe estimarse un la ley promedio. (Sinclair & Blackwell, 2004)</i>	31

<i>Figura 10 Representación 2D de un área de mineral. Una zona mineralizada definida por la geología es discretizada mediante un número de bloques (generalmente de tamaño uniforme, pero no necesariamente). Cada bloque se estima utilizando los datos cercanos dentro de un área de búsqueda (volumen), en este caso definido por un círculo centrado en el bloque a estimar. Los puntos negros son puntos de muestreo dentro del depósito; los puntos blancos son muestras por fuera de los límites del depósito (Sinclair & Blackwell, 2004).</i>	31
<i>Figura 11. El geólogo de pit decide a dónde enviar el material del frente de extracción en base al MCL y a su propia experiencia personal. Modificado de (Caballero Aguirre, 2012)</i>	32
<i>Figura 12. Muestreo estadístico y muestreo de minerales. (Alfaro Sironvalle, 2002)</i>	33
<i>Figura 13. a) El problema principal del muestreo. b) Muestro de minerales quebrados. (Alfaro Sironvalle, 2002)</i>	34
<i>Figura 14. El operador toma incrementos de la parte más accesible del lote. La suma de los incrementos constituye un espécimen.</i>	35
<i>Figura 15 Representación de la exactitud y precisión estadística.</i>	36
<i>Figura 16 Diferentes tipos de segregación. (Alfaro Sironvalle, 2002)</i>	37
<i>Figura 17. Incrementos para constituir una sola muestra, disminuyendo el efecto de segregación.</i>	37
<i>Figura 18 Segregación en cintas transportadoras. (Alfaro Sironvalle, 2002)</i>	38
<i>Figura 19. Palas de muestreo. Diseño incorrecto (izquierda), diseño correcto (derecha). (Alfaro Sironvalle, 2002)</i>	38
<i>Figura 20. La muestra debe representar al “banco”. (Alfaro Sironvalle, 2002)</i>	39
<i>Figura 21. Vista en planta. En una cinta transportadora la muestra correcta corresponde a un rectángulo o un paralelogramo. (Alfaro Sironvalle, 2002)</i>	40

<i>Figura 22. a) Comparación entre captador radial y no radial. b) El captador debe ser radial. Por ejemplo en una torta, un corte radial garantiza una repartición equitativa de las “cerezas”. c) Esquema para probar que el tubo de muestreo no es equiprobable. (Alfaro Sironvalle, 2002)</i>	40
<i>Figura 23. a) Protocolo de muestreo para mineral de oro. b) Gráfico log-log. (Alfaro Sironvalle, 2002)</i>	41
<i>Figura 24 a) Sección de una perforación de “blasthole” ilustrando la zona de material volado anteriormente y la cual afecta seriamente la perforación (Zona de “sloughing”) y zonas de sobreperforación anterior y actual (former subdrill y current subdrill, respectivamente) b) Reflujo de fragmentos gruesos y pérdidas de material en las fracturas. (Pitard, 2008)</i>	39
<i>Figura 25 Resumen de los problemas del maestreo con “blasthole” (pozo de voladura). (Pitard, 2008)</i>	39
<i>Figura 26. a) Cuarteador tipo riffle. b) Cuarteador tipo cono.</i>	41
<i>Figura 27. Algunos riesgos de la mina a cielo abierto. a) Desplome de cresta del talud. b) Proyección de partículas por detonación de voladura. c) Colisión de vehículos y equipos. d) Accidentes por fatiga laboral. e) atrapamiento de pies en barrenos o pozos. f) Caídas en escaleras al bajar o subir a un equipo.</i>	43
<i>Figura 28. Algunos controles para prevención de accidentes en mina Cerro Matoso. a) Señalizaciones de tráfico. b) Reductores de velocidad. c) Bloqueo de equipos con candado, tarjeta y cuñas. d) Bermas de seguridad. e) Avisos de cierre de vías. f) Senderos peatonales delimitados.</i>	44
<i>Figura 29. Elementos de protección personal obligatorios en el pit de Cerro Matoso.</i>	45
<i>Figura 30. Formato de dibujo para cartografía geológica de bancos metro a metro (escala 1:100). Aportado por la unidad de exploración de CMSA.</i>	48

<i>Figura 31. Definición del área de cartografía geológica en base al plan de minería del FY14.</i>	49
<i>Figura 32. Condiciones geotécnicas de los bancos y su control. a) Banco con buena condición geotécnica, el geólogo se acerca a él con seguridad. b) Talud muy fracturado y con evidente desprendimiento de material. El geólogo mantiene su distancia. c) Pared con mala condición geotécnica y berma de seguridad, el geólogo respeta la berma. d) Banco perfilado pero con perforadora trabajando a nivel superior. El geólogo no se puede acercar a la cara del banco.</i>	50
<i>Figura 33 Encabezado del formato para registro de puntos de control del mapeo de bancos</i>	53
<i>Figura 34 Encabezado del formato de registro de fotografías del mapeo de bancos</i>	53
<i>Figura 35 Formato para registrar las muestras de roca tomadas durante el mapeo. IDLims es el código interno de la empresa que va impreso en las etiquetas de identificación.</i>	53
<i>Figura 36. Convenciones para registro de información en formatos.</i>	54
<i>Figura 37. Sombrilla y punto de hidratación, lugar con sombra donde se pueden rectificar datos.</i>	55
<i>Figura 38 Definir, marcar, tomar coordenadas y registrar el Po.</i>	56
<i>Figura 39. Definición de paquetes por litología (1-2), identificables visualmente y mayores a 5 m (por la escala.) Marcar los puntos en el banco, tomar coordenadas y registrarlos en el formato correspondiente.</i>	56
<i>Figura 40. El geólogo dibuja la geología del banco en el formato guiándose de la cinta métrica.</i>	57
<i>Figura 41 . Dibujo en formato. Izquierda: Lo que el geólogo ve. Derecha: Lo que el geólogo dibuja.</i>	58

<i>Figura 42. Fotografías de detalles con su respectiva escala. Cada imagen se detalla en el formato correspondiente. De izquierda a derecha: Intrusión de fluido silíceo con evidente tectonismo. Relleno de fracturas con mineral precipitado. Venilla con deformación dúctil.</i>	58
<i>Figura 43. Proceso de importación de archivos de puntos .csv al proyecto en DataMine</i>	61
<i>.Figura 44. Ajuste de los puntos a la línea de la topografía, para esto, se deben modificar las coordenadas de los puntos en el archivo .csv</i>	61
<i>Figura 45. Segmentos identificados por colores según su litología.</i>	62
<i>Figura 46. Se relaciona la información de un banco con otro consecutivo y se crean strings cerrados en la base y en el techo del banco mapeado.</i>	63
<i>Figura 47. Banco 98 con los wireframes ya construidos. No olvide incluir las “tapas” superior e inferior.</i>	63
<i>Figura 48. Volúmenes generados a partir de los wireframes, representan la geología de la sección del banco 98.2 que se escogió para cartografiar.</i>	64
<i>Figura 49. Muestras de control preparadas por el geólogo para llevarlas al laboratorio diariamente. 1. Pulverizados para re-análisis. 2. CRM de distintas leyes de níquel. 3. Blancos finos. Los blancos gruesos se preparan en el laboratorio.</i>	67
<i>Figura 50. Implementos para preparar las muestras de control. 1. Sílice pulverizada. 2. Materiales de referencia certificados y sus respectivos rollos de etiquetas. 3. Rollo de etiquetas para los pulverizados a reanalizar. 4. Rollo de etiquetas para blancos finos. 5. Bolsa plástica pequeña. 6. Formato de registro de muestras. 7. Protector respiratorio. 8. Gafas protectoras. 9. Guantes de nitrilo.</i>	68
<i>Figura 51. Acceso a las Bases de datos del programa de QAQC. Existe un formulario para cada tipo de muestra de control.</i>	69

<i>Figura 52. Formato de registro de etiquetas de muestras “no tomadas”. Gráficas y porcentajes se calculan de manera automática a medida que se ingresa nueva información.</i>	<i>71</i>
<i>Figura 53. Algunas gráficas que se pueden obtener complementando la información del formato de muestras devueltas.</i>	<i>72</i>
<i>Figura 54. Evaluación de contaminación de los Blancos. Se considera contaminada una muestra cuando la ley del analito se encuentra 3 veces por encima del límite de detección de la técnica utilizada. Las gráficas han sido modificadas por políticas de privacidad de la empresa y para efectos didácticos.</i>	<i>74</i>
<i>Figura 55 análisis de los resultados para muestras duplicados. a) cálculo del error relativo medio y la precisión. b y c) ley de las muestras originales contra sus duplicados, idealmente la pendiente de la tendencia debe ser 1. Se identifican “outliers” fácilmente. d) porcentaje de datos con diferencia relativa menor al límite permisible (línea roja). e) Tendencia de las diferencias relativas a ser ligeramente más altas para leyes menores. Las gráficas han sido modificadas por políticas de privacidad de la empresa y para efectos didácticos.</i>	<i>75</i>
<i>Figura 56. Resultados de análisis para CRM ilustrando un sesgo negativo de aproximadamente 0,04 %. El caso ideal es donde los datos oscilen cerca de la línea negra. Las gráficas han sido modificadas por políticas de privacidad de la empresa y para efectos didácticos.</i>	<i>76</i>
<i>Figura 57. Códigos de las muestras duplicados. El sistema identifica muestras con las mismas coordenadas y las clasifica según su ID.</i>	<i>80</i>
<i>Figura 58. Ventana de registro de muestras. Se inserta con un lector de códigos de barra el ID original de la muestra en el campo “Banco”, los demás campos se llenan en orden descendente con las letras q, w, e, r, t. Se presiona “Registrar” para que el sistema genere los nuevos ID.</i>	<i>81</i>
<i>Figura 59. Plataforma de consultas para el programa QAQC de la mina. Para ejemplo, se muestra una consulta de Blancos Finos para el mes de Octubre.</i>	<i>83</i>

*Figura 60. Comparación de los procesos de manejos de datos antes y después de la sistematización. Se reducen significativamente las etapas con manipulación de datos. (BHP BILLITON. Cerro Matoso S.A, 2013)*_____ 86

Figura 61. Ejemplo de análisis de resultados de las pruebas de validación del factor de cargue de un camión CAT 777. Se observa que en general el factor de ajuste es mínimo, pero en el análisis de tonelaje individual se manifiestan valores muy por debajo del valor nominal y al menos la mitad de los ciclos medidos se encuentran por encima de este valor. _____ 89

Figura 62. Curva “S” ilustra el progreso del desarrollo de actividades de la práctica mes a mes respecto a lo planeado, las mayores desviaciones ocurren en Octubre y Noviembre. _____ 90

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Actividades generales y tareas específicas del programa de prácticas de geología de la unidad de negocio mina.</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 2. Análisis de riesgo llamado “what if”, trata de identificar los riesgos de la actividad evaluando las consecuencias de determinadas acciones y las probabilidades de que sucedan, además obliga a estar preparado y a tomar medidas preventivas y de control ante las eventualidades que se identificaron.</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 3. Porcentaje de inserción de las muestras de control del programa QAQC</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 4. Clasificación de las causas de la “no toma” de muestras durante las actividades de perforación.</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 5. Avance mensual detallado por actividad, nótese que las actividades 2, 4 y 7 no fueron completadas en su totalidad.</i>	<i>91</i>

RESUMEN

TITULO:

PROPUESTA METODOLÓGICA PARA MAPEO GEOLÓGICO EN MINA OPEN PIT Y ACTIVIDADES DE SOPORTE AL PROGRAMA DE ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE CALIDAD DE CERRO MATOSO S.A.*

AUTOR:

GINA CORINA BUVOLI GOMEZ**

PALABRAS CLAVES: Cerro Matoso, Mapeo geológico, Minería, Open pit, Control, Aseguramiento, Calidad, Prácticas.

Cerro Matoso S.A es una empresa dedicada a la explotación de lateritas níquelíferas y producción de ferroníquel mediante un proceso pirometalúrgico bajo estrictos controles de calidad. Esta empresa ofrece oportunidades laborales a estudiantes universitarios de ciencias de la tierra para desarrollar un programa de prácticas que complemente su formación académica e inicien su vida profesional.

Como parte del programa de prácticas de geología de la mina, se desarrolló un proyecto piloto de mapeo geológico en un sector del pit con el objetivo de crear volúmenes digitales, por litología, en un software minero para mejorar la exactitud de la estimación de las leyes de níquel del Modelo de Control de Ley (MCL); esta actividad dio como resultado una propuesta metodológica detallada que puede ser ejecutada fácilmente por cualquier persona con un mínimo de conocimiento técnico.

Por otro lado, el programa de prácticas también comprendió actividades de soporte al sistema de aseguramiento y control de calidad (QAQC) de los muestreos de la mina, tales como: preparación e inserción de muestras de control, actualización diaria de bases de datos, presentación de informes mensuales y seguimiento al proceso de sistematización informática del proceso de control de calidad. Todo esto enfocado a mantener un alto estándar de confiabilidad de los datos durante la planeación y el control de ley y al mejoramiento continuo de los procesos de muestreo y análisis de los materiales del pit.

* Proyecto de Grado.

** Facultad de ingenierías Físico – Químicas. Escuela de Geología. Director: Luis Carlos Mantilla Figueroa. Codirector: Ricardo García Barbas (externo).

ABSTRACT

TITLE:

METHODOLOGICAL PROPOSAL FOR GEOLOGICAL MAPPING IN OPEN PIT MINING AND SUPPORT ACTIVITIES FOR QUALITY ASSURANCE AND QUALITY CONTROL PROGRAM OF CERRO MATOSO SA *

AUTHOR:

GINA CORINA BUVOLI GOMEZ**

KEYWORDS: Cerro Matoso, Geological Mapping, Mining, Open pit, Control, Assurance, Quality, Practices.

Cerro Matoso SA is a company dedicated to the exploitation of a lateritic nickel deposit and production of ferronickel using a pyrometallurgical process under strict quality control policies. This company offers job opportunities to undergraduated students of earth sciences to develop an internship that complements their academic education and career.

As part of the Mine geology internship program, a pilot project of geological mapping was developed in a sector of the pit in order to create digital volumes, by lithology, using a mining software to improve the accuracy of the Grade Control Model (GCM) estimations; This activity resulted in a detailed methodological proposal for geological mine mapping which can be easily carried out by anyone with minimal technical knowledge.

Moreover, the internship program also included a variety of support activities related to mine's quality assurance and quality control system (QA/QC) for sampling protocols, such as: preparation and insertion of control samples, daily updating of QA/QC database, monthly reporting of the results and monitoring the systematization process for quality control data management. This, focused on maintaining a high standard of data reliability for short – term planning and grade control, and a continuous improvement of the sampling and analysis processes of materials extracted from the pits.

* Proyecto de Grado.

** Facultad de ingenierías Físico – Químicas. Escuela de Geología. Director: Luis Carlos Mantilla Figueroa. Codirector: Ricardo García Barbas (externo).

1. INTRODUCCIÓN

El yacimiento de Cerro Matoso fue descubierto en 1956, por geólogos de la compañía Richmond Petroleum Company (subsidiaria en ese entonces de la Standard Oil Company of California), ubicado a 22 km al Suroeste del municipio de Montelíbano, Córdoba. En 1979 se estableció Cerro Matoso S.A como sociedad bajo la ley Colombiana dedicada a la explotación de níquel y la producción de ferroníquel con participación de capital extranjero y del Estado colombiano e inició sus operaciones en junio de 1982. Cerro Matoso S.A. es actualmente el segundo productor de ferroníquel del mundo, pertenece a BHP Billiton, quien actualmente posee el 99.4% de la propiedad. (Cerro Matoso S.A, 2013)

Cerro Matoso es reconocido por la calidad del mineral del yacimiento y por el proceso piro-metalúrgico que hace posible proveer a los clientes de níquel de la más alta calidad. El proceso de producción de ferroníquel se realiza en las siguientes fases. (Cerro Matoso S.A, 2013)

- **Explotación Minera y homogenización del mineral:** el material es extraído, se le disminuye la granulometría, y se acumula en una “súper pila” que cumple ciertas especificaciones químicas para ser entregado a la planta.
- **Secado y almacenamiento:** En esta fase, el mineral que ha sido homogenizado y apilado, se seca parcialmente (10%), se clasifica retirando el mineral con grado de níquel menor a 1% y se almacena en silos.
- **Calcinación:** El mineral que ha sido clasificado y está parcialmente seco, se calcina a una temperatura de 800°.
- **Fundición:** se continúa con el procesamiento de la calcina “pre-reducida” para completar las reacciones químicas de “reducción”. La calcina se funde para entregar un metal líquido (con impurezas).

- **Refinación – Granulación:** El metal líquido es procesado hasta eliminar las impurezas, de acuerdo con las especificaciones comerciales, para entregar un ferroníquel granulado, pesado y almacenado en tolvas.
- **Manejo de producto terminado:** El ferroníquel se identifica, sella, y almacena para entregar lotes de ferroníquel al proceso de ventas y comercialización.

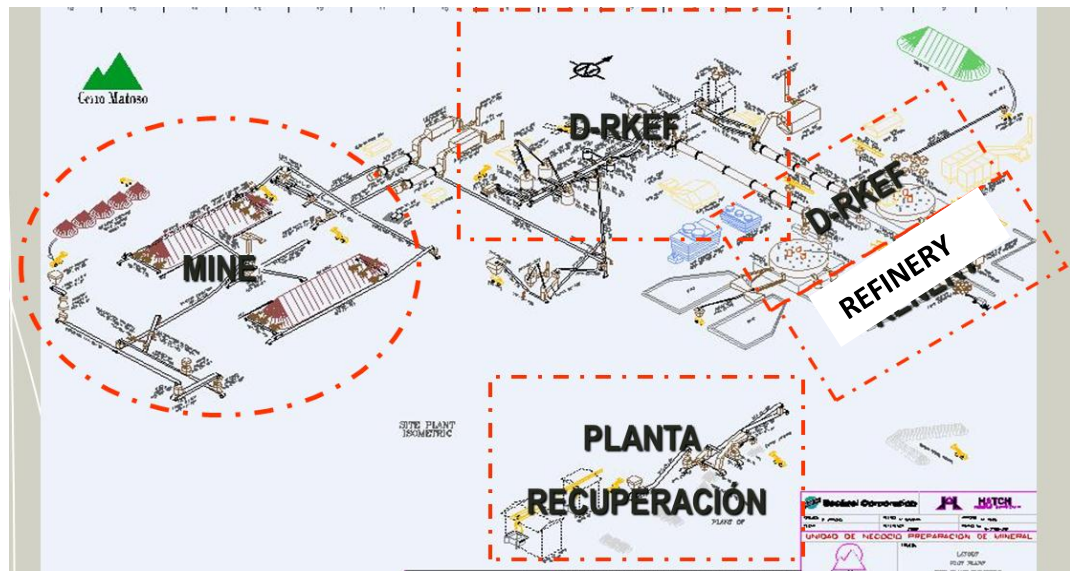


Figura 1. Etapas del procesamiento de ferroníquel. El producto final de la mina son las pilas en especificación que pasan a los secadores y al resto del proceso. (Cerro Matoso S.A, 2005)

La Mina constituye la primera etapa del proceso de producción de ferroníquel, en ella se evalúan, se seleccionan, se extraen, se clasifican y se disponen de todos los materiales que se encuentran en el yacimiento. La operación de la mina tiene como objetivo principal, la construcción de las Súper-pilas que alimentan la planta; Estas “súper- pilas” deben cumplir con una especificación química preestablecida para que el proceso piro-metalúrgico sea óptimo. Para cumplir con esta especificación química, los geólogos de pit deben controlar estrictamente la composición de los materiales extraídos del yacimiento y decidir cuidadosamente el destino de estos materiales; Trituración para la pila, stocks o botaderos.



Figura 2. Construcción de la “Súper-Pila”

Son muchos los procesos, los equipos, el personal y la logística que día a día integran su trabajo para lograr que la Mina construya las pilas de mineral bajo la especificación requerida; Toda la dinámica de la operación brinda un espacio de aprendizaje excelente para desarrollar programas de prácticas empresariales dirigidos a estudiantes de distintas áreas y niveles de conocimiento; En este orden de ideas, el programa de prácticas para estudiantes de geología en la unidad de mina, comprende un amplio rango de actividades que permiten al estudiante obtener una idea completa de la operación mediante la interacción con los diferentes equipos de trabajo.

2. OBJETIVOS

2.1.OBJETIVO GENERAL

- ✚ Proponer una metodología de mapeo de bancos que pueda ser ejecutada fácilmente y genere un producto digitalizado en 3D que permita complementar el modelo de control de ley (MCL) y mejorar el aseguramiento y control de calidad de la información del mismo.

2.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✚ Realizar un mapeo geológico a escala 1:100 de los bancos 98, 112 y 119 del pit 2 de la mina Cerro Matoso.
- ✚ Normalizar el proceso de mapeo de bancos creando un documento metodológico para futuras actividades.
- ✚ Digitalizar la información geológica obtenida creando volúmenes por litologías y de manera compatible con el Software Datamine.
- ✚ Realizar un análisis de riesgo y definir normas de seguridad específicas para la actividad de cartografía de bancos en Cerro Matoso.
- ✚ Realizar actividades del soporte del programa de aseguramiento y control de calidad (QA/QC); preparación de muestras, seguimientos de bases de datos, modelo control de ley, entre otros.
- ✚ Participar en el proceso de sistematización informática del programa QAQC de la mina y laboratorio.
- ✚ Realización de actividades varias asociadas a la operación minera.

3. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE LA MINA CERRO MATOSO.

El departamento de Córdoba está ubicado en las llanuras del Caribe, en el sector Nor-occidental de Colombia, y gran parte de su territorio se ubica en los valles de los ríos Sinú y San Jorge. Su orografía la componen las serranías de Abibe, al occidente, la de San Jerónimo, al centro, que separa los ríos Sinú y San Jorge, y la de Ayapel, al oriente, ubicada entre los ríos San Jorge y Cauca. Las tres serranías se desprenden de la Cordillera Occidental, en el sitio denominado Nudo de Paramillo, que alcanza una altitud cercana a los 4.000 metros, en los límites entre los departamentos de Antioquia y Córdoba. (Viloria de la Hoz, 2009)

El río San Jorge nace en el Nudo de Paramillo y tiene una longitud de 368 kilómetros. Este río recorre parte de los departamentos de Antioquia, Córdoba, Sucre y Bolívar, para desembocar en el río Magdalena, en la zona conocida como Brazo de Loba. El área total de la cuenca es de 9.900 kilómetros cuadrados, de los cuales el 42% pertenece a la jurisdicción de Córdoba (CVS, 2000: 41-42).

En la cuenca alta del río San Jorge se ubica Cerro Matoso, a 22 km al Suroeste del municipio de Montelíbano y bajo su jurisdicción. Además de Montelíbano, el Alto San Jorge lo conforman Puerto Libertador y La Apartada.

La principal vía de comunicación de la subregión es la Troncal de Occidente, que comunica a Montería con Medellín, pasando por Planeta Rica, Buenavista y La Apartada, de donde sale una carretera que entra a Montelíbano. Además, están los ejes viales Montelíbano – Puerto Libertador y Montelíbano – Uré. (Viloria de la Hoz, 2009)



Figura 3. Localización geográfica de Cerro Matoso, Montelíbano, la apartada. Tomado de Vilorio de la Hoz, 2009.

4. MARCO GEOLÓGICO.

El yacimiento de Cerro Matoso se encuentra asociado a un cuerpo aislado de rocas ultramáfica que está formando parte del Complejo Ofiolítico del Cauca (Durango & Mejía, 1981). El ambiente geológico para estos complejos litológicos en Colombia es una amplia franja localizada en el occidente del país de la cual forma parte la cordillera occidental y el límite entre ésta y la cordillera central. Este conjunto de rocas máficas y ultramáficas está ubicado dentro del denominado sistema de fallas cauca-romeral, sistema que presenta un estilo estructural de

fallamiento intrincado y de convergencia variable dentro del cual hay una secuencia estratigráfica incierta y fragmentos de corteza siálica - simática de edades que varían desde el paleozoico hasta el Cretácico. (Cerro Matoso S.A; Buelvas, Carlos;, 2001). Es posible describir la franja como una provincia tectónica específica; en los mapas de Terrenos Geológicos de Colombia es denominada como el Terreno Romeral (Cediel, Shaw, & Cáceres, 2003). En este Terreno se mezclan estructuralmente varias litologías que incluyen desde basaltos toleíticos, a veces con estructura en almohadilla, diabasas y sedimentos marinos, gabros, peridotitas y anfibolitas hasta esquistos muy variados a menudo cubiertas por rocas sedimentarias Cenozoicas; también se dan en él plutones calcoalcalinos e intrusivos subvolcánicos. (Cerro Matoso S.A; Buelvas, Carlos;, 2001) El sistema de fallas del Romeral, en toda su longitud, marca el trazo de la sutura de las asociaciones litotectónicas alóctonas acrecionadas durante el Jurásico (?) y cretácico. (Cediel, Shaw, & Cáceres, 2003)

Los depósitos de lateritas níquelíferas se generan por meteorización química excesiva de rocas ultra básicas en regiones tropicales. Básicamente son concentraciones residuales (enriquecimiento supérgeno) de óxidos y silicatos de níquel, con acumulaciones promedio entre 0,8 y 2,5% de níquel. Estos procesos cuentan con la presencia de una roca madre llamada peridotita, roca ígnea ultramáfica, la cual sufre cambios físico-químicos y mecánicos. (Caballero Aguirre, 2012)

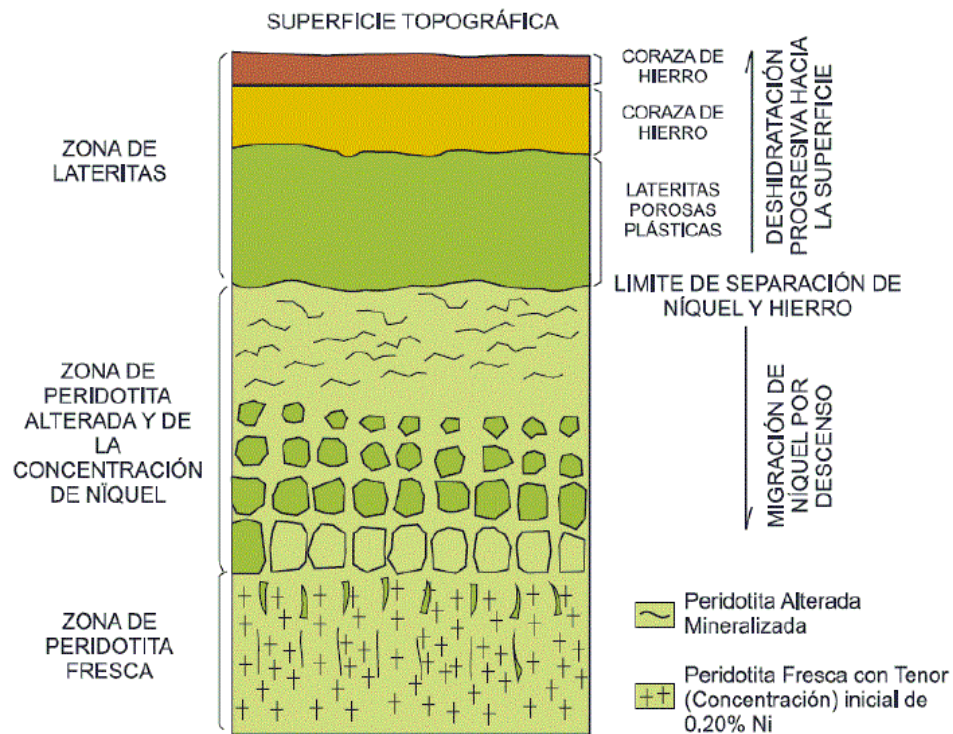


Figura 4. Perfil generalizado de un depósito de lateritas niquelíferas. (Caballero Aguirre, 2012)

En particular, el depósito de Cerro Matoso posee dos tipos de perfiles litológicos diferentes, provenientes de distintos sectores de la mina. El primero de ellos, con mayores leyes, presenta un perfil con peridotita, peridotita saprolitizada, saprolito verde, taquilita, saprolito negro, laterita amarilla y laterita roja. El segundo perfil, de menor interés económico, presenta peridotita serpentinizada, peridotita saprolitizada, saprolito café, laterita amarilla y laterita roja, con muy poca presencia de saprolito verde. (Caballero Aguirre, 2012)

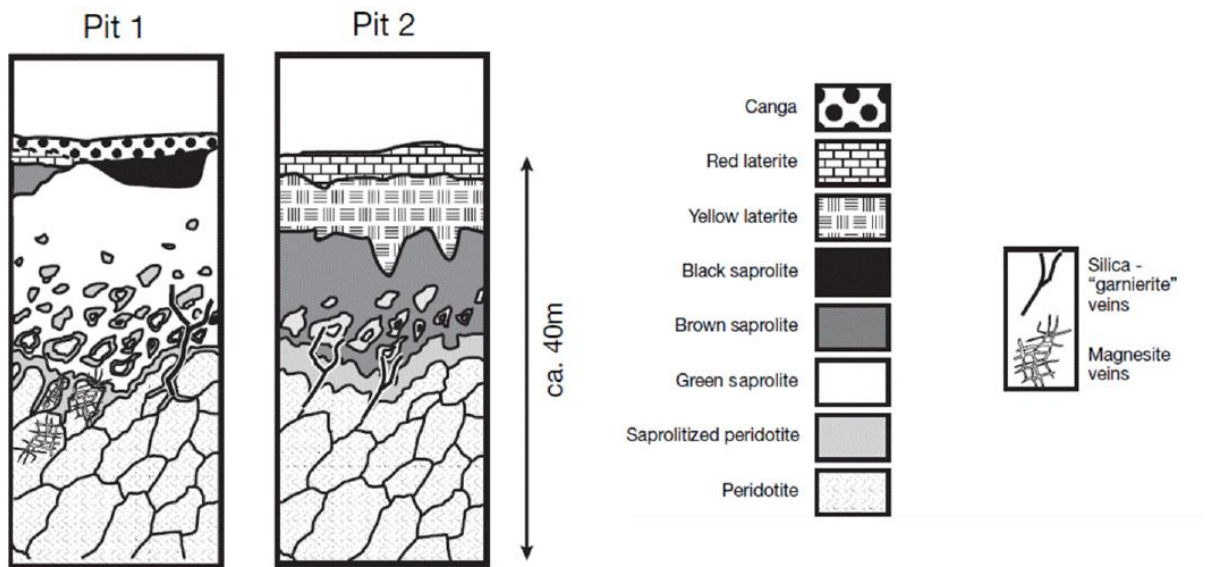


Figura 5. Representación esquemática de perfiles presentes en cerro matoso. (Caballero Aguirre, 2012)

- ✚ **Peridotita y peridotita saprolitizada:** son las unidades con mayor contenido de magnesio (>30% MgO), presentan además un alto contenido de SiO₂ (35-45%) y una baja concentración de hierro (6-7%).
- ✚ **Saprolito verde:** es tipo de roca es de color verde, de grano fino y suave, y contiene cuarzo y stockworks a nivel local. Es el tipo de roca con mayor contenido de níquel (mayor a 9%) y por lo tanto el de mayor valor económico para la mina.
- ✚ **Taquilita** (denominación interna de Cerro Matoso): es tipo de roca corresponde a asociaciones de óxidos de hierro y fases amorfas, generalmente de colores marrón oscuro a negro.
- ✚ **Saprolito negro:** Este tipo de roca ocurre a nivel local, generalmente asociada a la taquilita y a zonas de falla. Es de color verde oscura a negra, y posee inclusiones de magnetita en forma de nódulos y vetillas.
- ✚ **Canga:** Corteza de hierro superficial, de color rojiza, dura y fuertemente magnética (en ciertas zonas de la mina presenta menor magnetismo).

- ✚ **Saprolito café:** Este tipo de roca es de color café, de grano fino y muy suave. Generalmente presenta una gran cantidad de vetillas (menores a 1 milímetro de diámetro) de magnesio y no posee una cantidad significativa de cuarzo.
- ✚ **Laterita amarilla:** Este tipo de roca es de color amarillo, de grano muy fino y presenta un alto grado de meteorización. Tienen un alto contenido de sílice, presente en manchas y vetillas de 1 a 2 milímetros de espesor.
- ✚ **Laterita roja:** Este tipo de roca es de color rojo, de grano muy fino y mucho más suave que el resto de las litologías. Presenta un alto contenido de sílice y a veces inclusiones de magnesio. (Caballero Aguirre, 2012)

A continuación se muestra la concentración de elementos por litología (indicando los contenidos para los dos sectores antes mencionados).

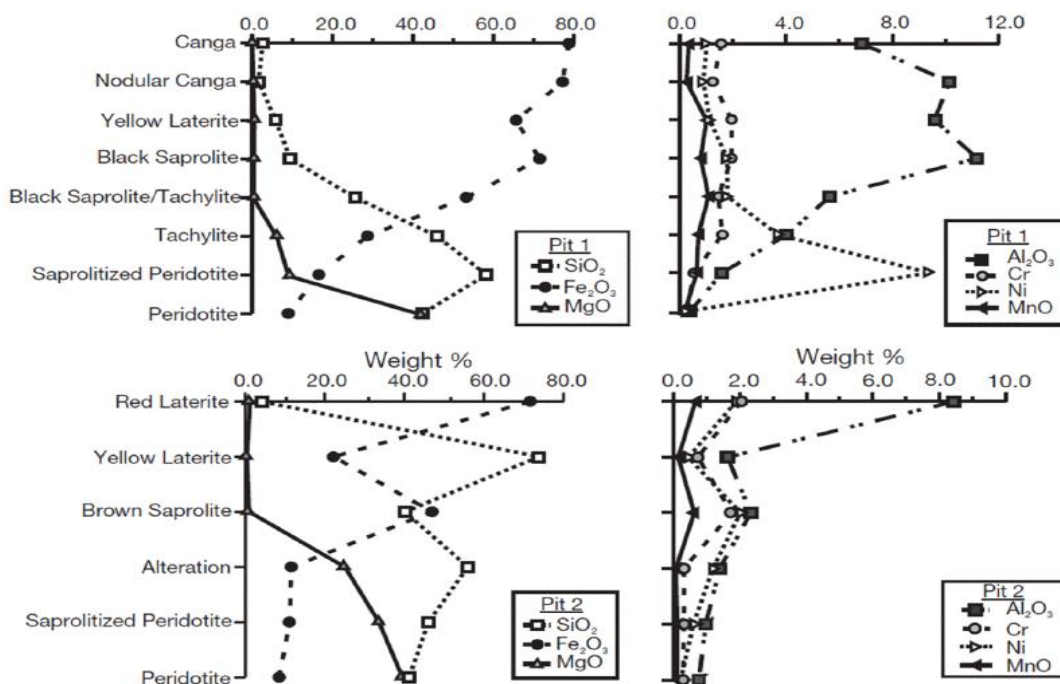


Figura 6. Acumulación de elementos por litología (sectores mina cerro matoso). (Caballero Aguirre, 2012)

5. MARCO TEÓRICO.

5.1. CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE BANCOS.

En cualquier operación minera, la comprensión de la geología del yacimiento es fundamental para que la estimación de recursos, la ingeniería geotécnica, la planificación minera y de procesamiento de minerales sea exitosa.; una mejor interpretación geológica en la escala de la mina mejora el control de ley, la planificación de la mina y la rentabilidad. Lo anterior, requiere una comprensión profunda de los controles litológicos y estructurales de la mineralización. Estos conocimientos se obtienen a través del mapeo geológico. (Marjoribanks, 2010)

La distribución de los minerales económicos dentro de un depósito es el resultado de controles geológicos. Si la distribución del mineral no puede ser observada directamente, es posible que existan otros efectos geológicos relacionados en dicha distribución. Incluso en los análisis más detallados de muestreos y perforaciones para control de ley, los límites de un yacimiento solo pueden ser definidos adecuadamente con la ayuda de un mapa geológico que exponga la distribución espacial de las características geológicas. (Marjoribanks, 2010)

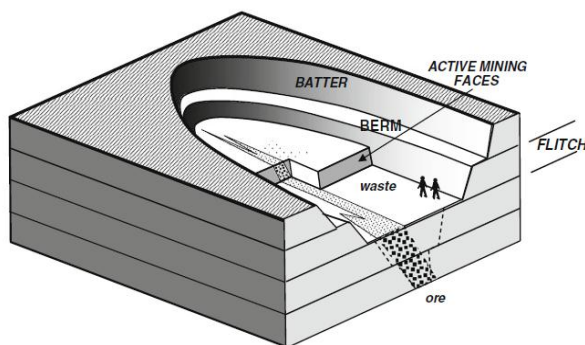


Figura 7. Bloque diagrama de un corte típico de una mina "Open pit". Las rampas de accesos han sido omitidas. (Marjoribanks, 2010)

La mayoría de los datos geológicos en “Open pit” son recopilados en superficies expuestas verticales o casi verticales. Incluso antes de iniciar la explotación, la mayor parte de la información proviene de perforaciones también verticales, por lo tanto las interpretaciones de la geología de la mina y la geometría del cuerpo mineral se basan en gran medida en el análisis de secciones de dicha orientación. (Marjoribanks, 2010)

La minería a cielo abierto requiere la remoción de una serie de “secciones” (llamadas “Bancos”) a través de todo el cuerpo mineral y su roca estéril adyacente- este proceso se conoce como minería de bancos. (Marjoribanks, 2010)

El mapeo de “Open Pit” no solo debe ser limitado a aquellas caras que exponen mineral. Toda la exposición de materiales adyacentes a la mineralización es importante para entender el depósito y debe ser constantemente mapeada ya que solo la experiencia puede definir lo que es mapeable y lo que no lo es. (Marjoribanks, 2010)

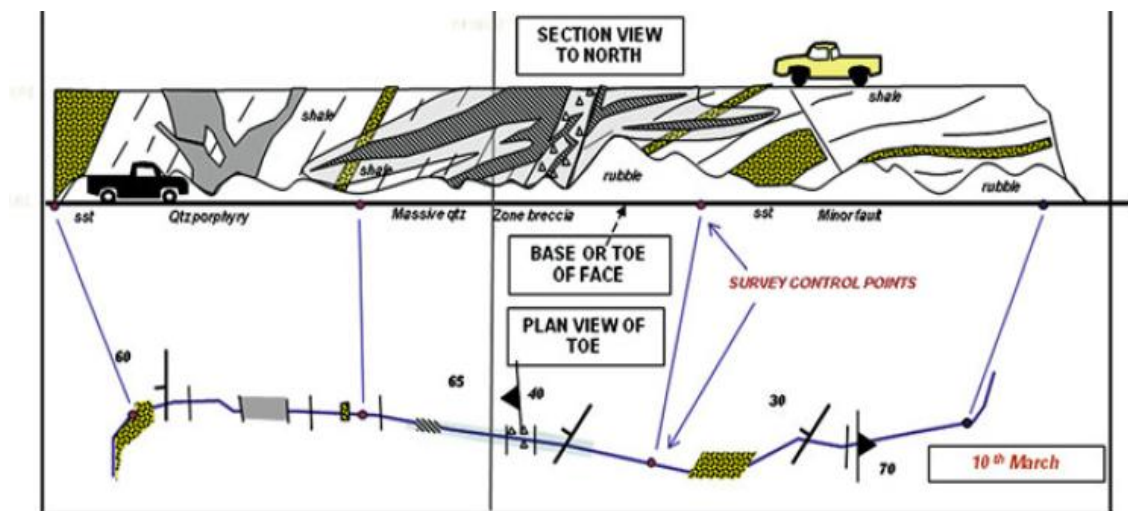


Figura 8. Mapeo de la cara de un banco activo de una mina open pit. Se ilustra el registro de la información de la pata del banco en el papel de graficar. (Marjoribanks, 2010)

Inicialmente el proceso de mapeo es lento y tedioso hasta que se pueda determinar qué características geológicas son constantemente identificadas y correlacionadas entre las diferentes caras y niveles de la mina; Además, es

recomendable contar con un catálogo de las rocas de la mina, para garantizar las consistencia en las descripciones; De manera similar, la construcción de un atlas de características estructurales y texturales presentes en la mina mediante fotografías detalladas. (Marjoribanks, 2010)

Las características geológicas que normalmente son mapeadas en procesos mineros de “open pit” son:

- ✓ Límites visibles entre el mineral y cualquier otra mineralización importante.
- ✓ Límites entre las principales unidades litológicas.
- ✓ Posición y orientación de las principales estructuras como pliegues, fallas, suturas, etc.
- ✓ Patrones de alteración
- ✓ Principales familias de venas y venillas.
- ✓ Datos geotécnicos como grado de fracturamiento, dureza de las rocas, etc., según requerimiento de los ingenieros.

El mapeo de las caras expuestas en el pit, se debe realizar en “hojas de campo” (pliegos de papel para graficar). Es recomendable hacer el mapeo detallado de las caras del banco ya que estas pueden ser observadas directamente y proveer la mayor cantidad de información. (Marjoribanks, 2010).

5.2. EL MODELO DE CONTROL DE LEY (GRADE CONTROL MODEL).

El problema general de la estimación consiste en estimar la ley de un punto no muestreado dados los valores de ley en puntos conocidos. Para lograr esto, se deben considerar varios factores, entre ellos: Cercanía de las muestras al punto a estimar, redundancia de los datos, la continuidad espacial y la anisotropía. En general, las técnicas de estimación permiten dar un valor aproximado de un parámetro de una población a partir de los datos proporcionados por una muestra.

La estimación de recursos inicia su proceso en las etapas de muestreo, cuyo fin es coleccionar información a partir del mineral “in situ”, resultando en una base de datos con diferentes elementos o propiedades del yacimiento o depósito.

Un modelo de control de ley (MCL) consiste en un modelo 3D de bloques estimados en el que cada celda contiene los atributos o variables de interés (leyes) en el proceso de beneficio, que incluye además, densidad, litologías, variables geometalúrgicas, factores de recuperación, entre otros.

Los atributos de los bloques se determinan sobre la base del modelo geológico y las leyes a través de la estimación con técnicas de interpolación espacial (Por ejemplo, inverso de la distancia y kriggin).

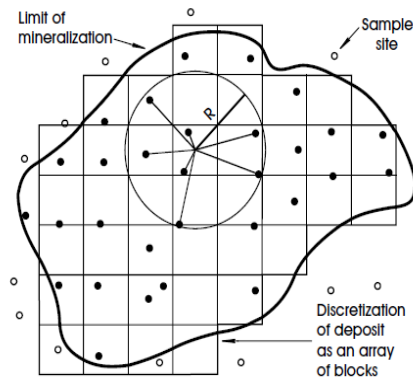


Figura 10 Representación 2D de un área de mineral. Una zona mineralizada definida por la geología es discretizada mediante un número de bloques (generalmente de tamaño uniforme, pero no necesariamente). Cada bloque se estima utilizando los datos cercanos dentro de un área de búsqueda (volumen), en este caso definido por un círculo centrado en el bloque a estimar. Los puntos negros son puntos de muestreo dentro del depósito; los puntos blancos son muestras por fuera de los límites del depósito (Sinclair & Blackwell, 2004).

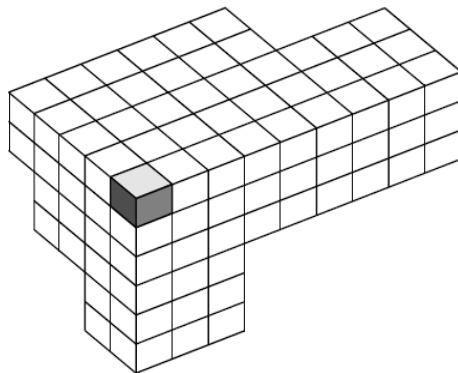


Figura 9 Representación 3D de la configuración de los bloques diseñada para ajustarse a la geometría del depósito mineral. El tamaño de los bloques generalmente coincide con la “unidad de minado selectivo” (SMU, por sus siglas en ingles), es el volumen más pequeño para el cual se puede discriminar entre mineral y estéril y para el cual debe estimarse un la ley promedio. (Sinclair & Blackwell, 2004)

Un MCL sirve en la explotación minera para la elaboración de los planes de minería a corto plazo y para guiar el proceso de extracción del material que debe ser enviado a la planta o a los botaderos en el día a día. EL MCL es esencial para el proceso de planificación minera, dado que cuantifica la distribución de elementos de interés, subproductos y contaminantes dentro de un depósito.

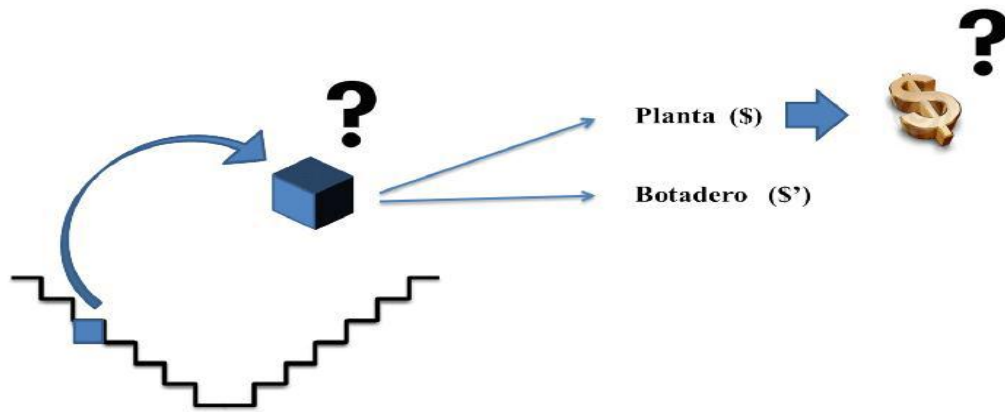


Figura 11. El geólogo de pit decide a dónde enviar el material del frente de extracción en base al MCL y a su propia experiencia personal. Modificado de (Caballero Aguirre, 2012)

5.3. TEORÍA DEL MUESTREO

5.3.1. Definiciones.

Según el **Diccionario de la Lengua española**:

- ✚ **Muestra** es una parte o porción extraída de un conjunto por métodos que permiten considerarla como representativa del mismo.
- ✚ **Muestreo** es la acción de recoger muestras representativas de la calidad o condiciones Medias de un todo o la técnica empleada en esta selección o la selección de una pequeña parte estadísticamente determinada para **inferir** el valor de una o varias características del conjunto.
- ✚ **Población o lote**: es el conjunto completo de observaciones que deseamos estudiar.

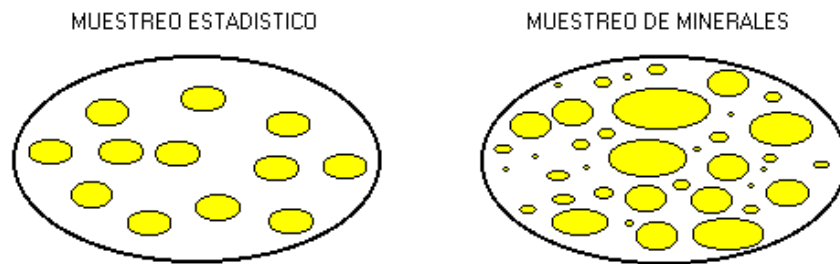


Figura 12. Muestreo estadístico y muestreo de minerales. (Alfaro Sironvalle, 2002)

El muestreo **estadístico** es diferente del **muestreo de minerales**:

- ✚ En el **muestreo estadístico**, el lote ó población está compuesto por objetos de **igual peso**.
- ✚ En el **muestreo de minerales**, el lote está compuesto de objetos de **diferentes pesos**.
- ✚ En una mina a cielo abierto, la ley de un pozo de tronadura es fundamental para la planificación de corto plazo: este valor decide, de una u otra

manera, el destino de los materiales (planta, stock o botadero). (Alfaro Sironvalle, 2002)

5.3.2. Problema principal del muestreo.

El problema principal del muestreo es **estimar la media de una población** (con N elementos) **o lote** (de tamaño M_L **a partir de una muestra** (de tamaño n o M_S). En general, el muestreo **exhaustivo**, es decir tomar los N datos o la masa total M_L (llamado a veces **censo**) es muy **difícil** y de **alto costo**.

Para cumplir bien con la definición inicial de muestreo, se debe cumplir el hecho siguiente, de vital importancia: **“El muestreo debe ser equiprobable”**

En el caso de los minerales: el muestreo de un lote M_L compuesto de N fragmentos es **equiprobable** cuando **todas** las combinaciones de n fragmentos tienen la **misma probabilidad** de ser elegidos para la constitución de la muestra (M_S es la muestra con n fragmentos). (Alfaro Sironvalle, 2002)

Según Pierre Gy, creador de la teoría moderna del muestreo de minerales, cuando la condición de equiprobabilidad no se cumple, se tiene más bien un **“especimen”** (un ejemplar) en vez de una muestra.

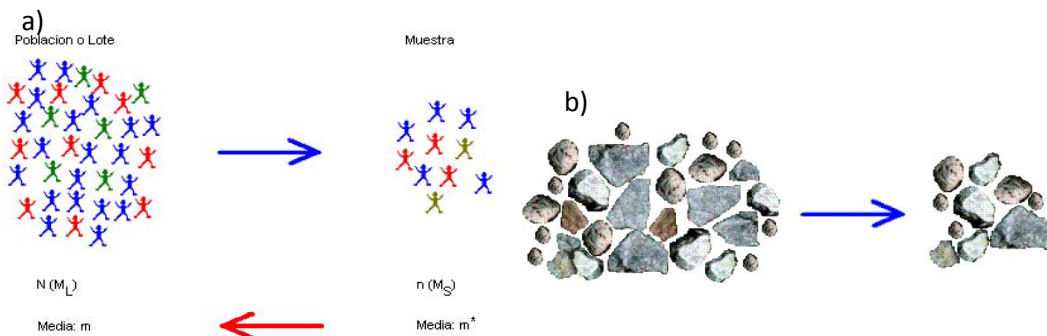


Figura 13. a) El problema principal del muestreo. b) Muestro de minerales quebrados. (Alfaro Sironvalle, 2002)

La siguiente figura muestra un ejemplo de espécimen, las extracciones se basan en la hipótesis **no realista y peligrosa de homogeneidad**. (Alfaro Sironvalle, 2002)

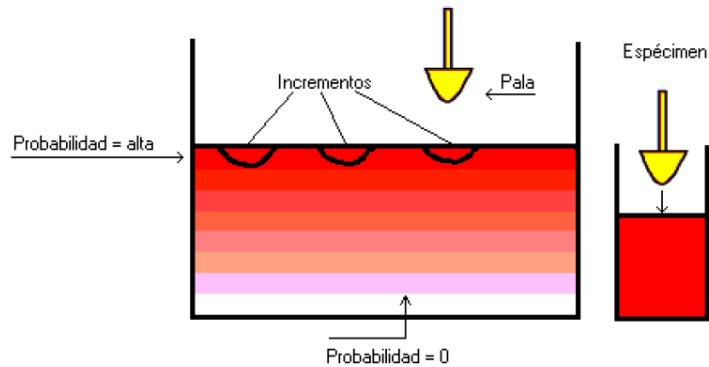


Figura 14. El operador toma incrementos de la parte más accesible del lote. La suma de los incrementos constituye un espécimen.

5.3.3. Exactitud y Precisión.

En teoría del muestreo de minerales se utilizan las nociones de **exactitud** y **precisión**.

✚ Exactitud

La exactitud es el grado de conformidad de un valor (medido o calculado) respecto a su “valor real”. (BHP Billiton, 2008)

✚ Precisión

La precisión es la repetibilidad o la reproducibilidad de una serie de mediciones. También es una medida de la variabilidad. (BHP Billiton, 2008)

✚ Bias - Sesgo.

Es la diferencia entre el valor medio de una serie de datos y un valor de referencia (ej. Objetivo) El Bias representa el grado de exactitud y puede ser negativo o positivo. (BHP Billiton, 2008)

En términos estadísticos estos conceptos corresponden respectivamente a la **media**, la cual debe ser **insesgada** (exactitud) y a la **varianza** del error, la cual debe ser **pequeña** (precisión). (Alfaro Sironvalle, 2002)

Exactitud → Media
Precisión → Varianza

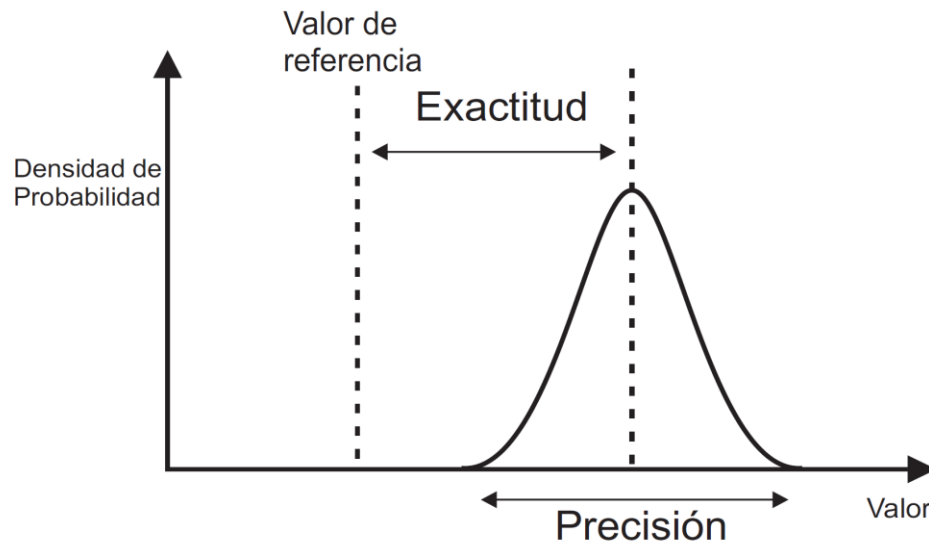


Figura 15 Representación de la exactitud y precisión estadística.

5.3.4. Consideraciones prácticas para el muestreo de minerales.

Resulta difícil proporcionar recomendaciones prácticas generales acerca del muestreo de minerales, debido a que esta operación se realiza en todas las etapas de un proyecto minero y a que no existen dos minas iguales entre sí.

El punto **fundamental** para no tener sesgos y resultados reproducibles es:

“Muestras representativas, es decir equiprobables y de varianza pequeña”

➤ La Segregación.

Las partículas de mineral tienden a segregarse; por ejemplo las más pesadas tienen una tendencia a localizarse en el fondo. El caso homogéneo es muy difícil de encontrar en la práctica (algunos autores afirman que este caso es inexistente). Sin embargo, el fenómeno de segregación es más complejo y depende además de las granulometrías, formas y pesos de las partículas. Para ver lo anterior haga el experimento siguiente: ponga en un recipiente transparente una cierta cantidad de porotos y otra cantidad de azúcar: observar que es imposible tener un conjunto homogéneo. (Alfaro Sironvalle, 2002)

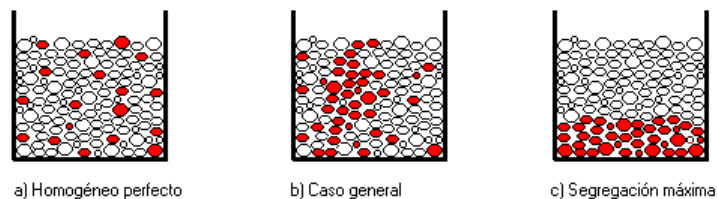


Figura 16 Diferentes tipos de segregación. (Alfaro Sironvalle, 2002)

Una **receta** para **disminuir el efecto de la segregación** en la toma de la muestra es realizar varios **incrementos**, es decir tomar un cierto número de **submuestras** para constituir una muestra primaria.

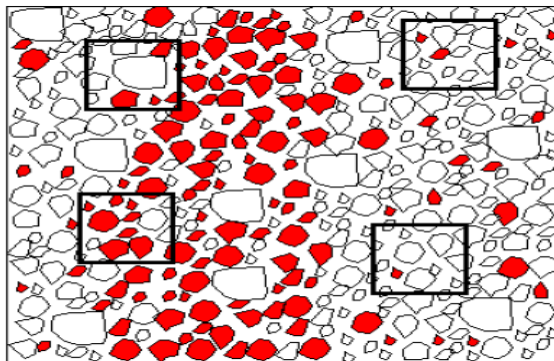


Figura 17. Incrementos para constituir una sola muestra, disminuyendo el efecto de segregación.

Donde se producen segregaciones importantes es en las cintas transportadoras de mineral.

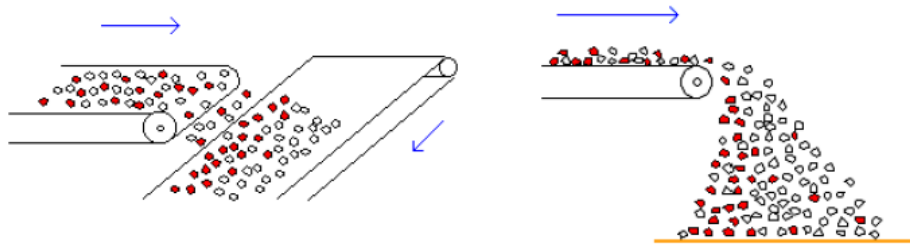


Figura 18 Segregación en cintas transportadoras. (Alfaro Sironvalle, 2002)

No se han realizado muchos estudios prácticos respecto del problema de la segregación de minerales pero se sabe que es un **problema** mayor.

➤ La extracción de la Muestra.

La extracción e integridad de la muestra es de vital importancia en el muestreo minero.

Ejemplo: Las palas deben tener una abertura suficiente de manera de contener los diferentes tipos de tamaño (granulometría) del material quebrado.

Una solución para el diseño es tomar el diámetro d de la abertura de manera tal que:

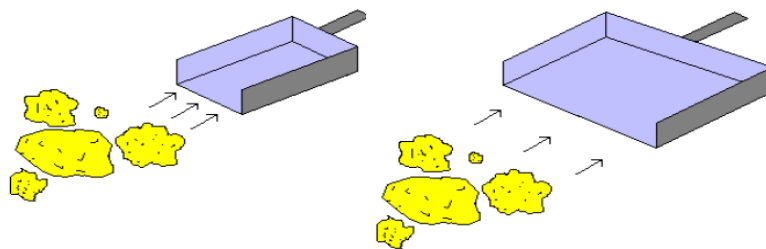


Figura 19. Palas de muestreo. Diseño incorrecto (izquierda), diseño correcto (derecha). (Alfaro Sironvalle, 2002)

$d > 3d_M$ En el que d_M es el diámetro de la partícula máxima.

En general la muestra debe respetar la granulometría del lote debido a que en la mayoría de los casos, **la ley del material fino puede ser muy diferente de la ley del material grueso** (Alfaro Sironvalle, 2002).

➤ La delimitación de la Muestra.

La delimitación de una muestra está íntimamente relacionada con la **representatividad** de la misma. Es importante que la delimitación sea correcta.

Ejemplo 1: En una mina a cielo abierto, la muestra de un pozo de voladura debe ser **representativa del banco** y no debería considerarse la **pasadura**. Lo anterior, dependiendo del método, ocasiona problemas operacionales, debido a que habría que detener la perforación del hoyo y/o cubrir el cono de detritus con una lona o plástico.

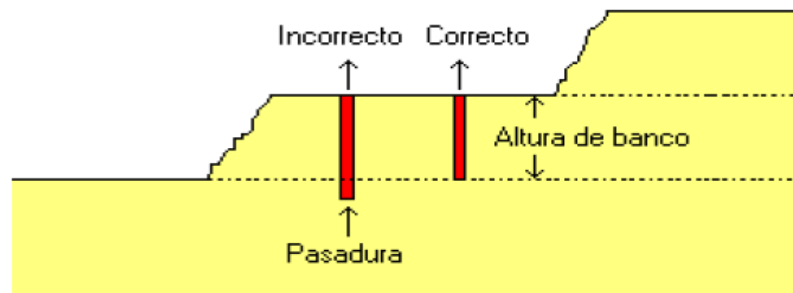


Figura 20. La muestra debe representar al “banco”. (Alfaro Sironvalle, 2002)

Ejemplo 2: Si se utiliza un **captador** de polvo de perforación, éste debe ser **radial** de esta manera se respeta la proporción de finos/gruesos en la muestra.

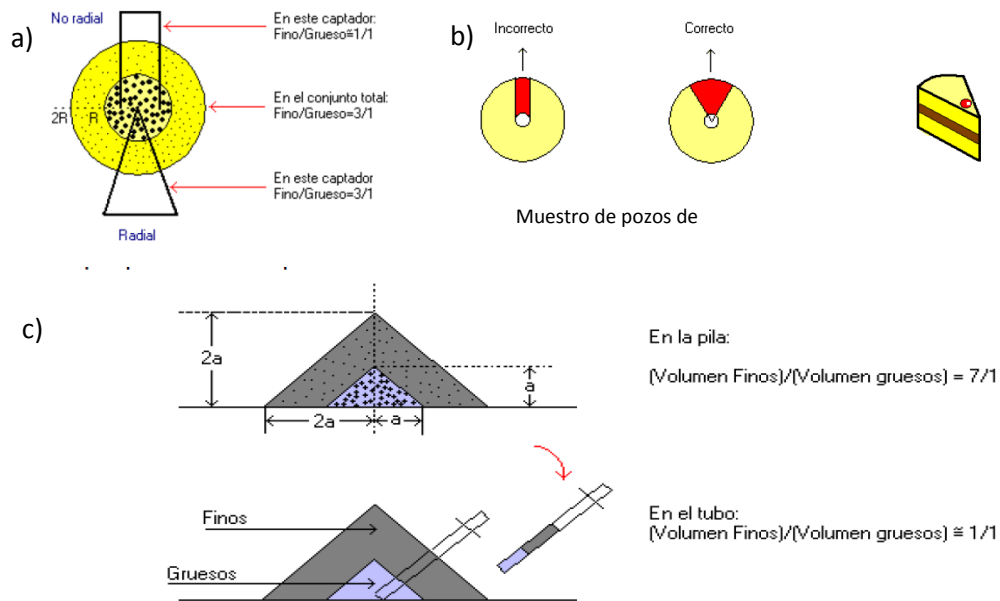


Figura 22. a) Comparación entre captador radial y no radial. b) El captador debe ser radial. Por ejemplo en una torta, un corte radial garantiza una repartición equitativa de las “cerezas”. c) Esquema para probar que el tubo de muestreo no es equiprobable. (Alfaro Sironvalle, 2002)

Ejemplo 3: En una cinta transportadora la geometría de la muestra debe ser un rectángulo o un paralelogramo.

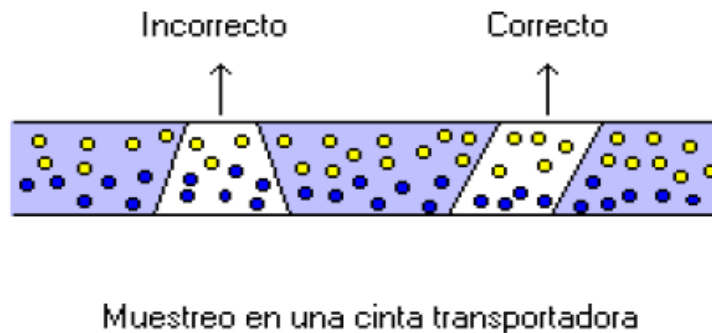


Figura 21. Vista en planta. En una cinta transportadora la muestra correcta corresponde a un rectángulo o un paralelogramo. (Alfaro Sironvalle, 2002)

➤ La reducción de tamaño.

Las operaciones que conciernen al tratamiento de las muestras (trituración, mezcla, reducción, etc.) deben quedar claramente establecidas, desde un peso inicial **Q** (de varios kilos) hasta la muestra de laboratorio **q** (de algunos gramos). (Alfaro Sironvalle, 2002).

Las diferentes operaciones se pueden llevar a un gráfico log-log. La operación no debe pasar la línea de seguridad de Gy

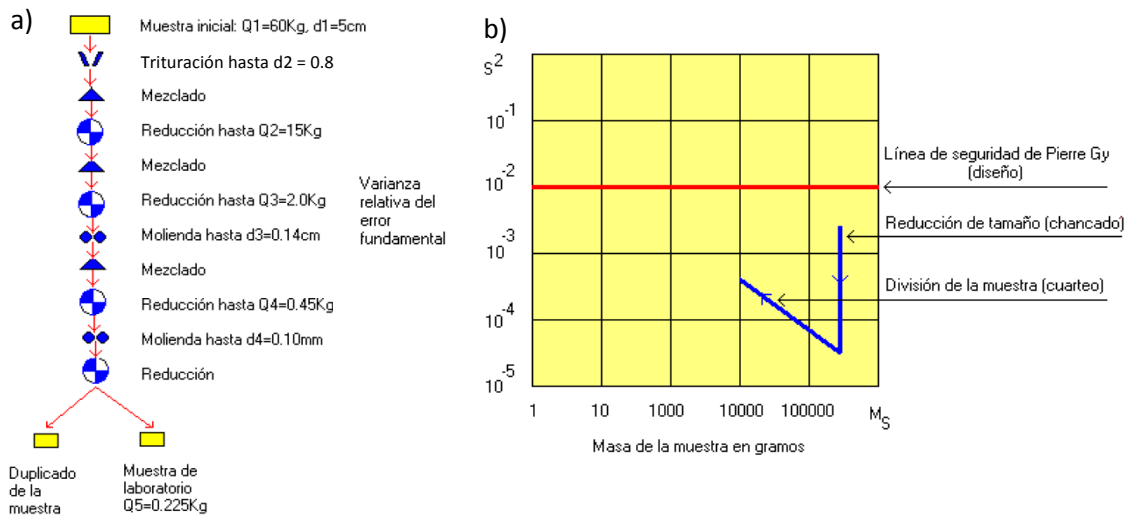


Figura 23. a) Protocolo de muestreo para mineral de oro. b) Gráfico log-log. (Alfaro Sironvalle, 2002)

5.4. EL PROGRAMA DE CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE CALIDAD (QAQC).

El éxito de los protocolos de muestreo y procedimientos asociados debe ser evaluado y reportado mediante un programa de Aseguramiento de Calidad (QA, por sus siglas en inglés) consistente en la inclusión regulada de muestras para la determinación del Control de Calidad (QC, por sus siglas en inglés) (BHP Billiton,

2008). El programa QA/QC es un componente integral de todos los muestreos porque brinda una herramienta para monitorear y controlar la calidad del mismo, la preparación de las muestras y los procedimientos de análisis químico. Mientras el QA se enfoca en la prevención de problemas, el QC se dedica a detectarlos en el momento en que ocurran.

El sistema QA/QC mide la confiabilidad de los datos sobre los cuales la operación minera es dirigida y permite identificar los aspectos en los que la operación presenta flaquezas.

La implementación de un programa de aseguramiento y control de calidad en las operaciones mineras es obligatoria y además, necesaria. Actualmente existen muchos códigos internacionales encaminados a regular la actividad minera, motivados por el ya conocido caso de Bre – X Minerals en 1997, el fraude minero más grande de todos los tiempos. Estos códigos proponen una serie de requerimientos y prácticas que se deben implementar en todo negocio exploratorio y minero para garantizar la veracidad de la información suministrada en los reportes técnicos de las empresas que cotizan en la bolsa de valores (Simon & Greg, 2008); Por ejemplo, un reporte de recursos presentado por la Persona Competente y apegado a los lineamientos del Australasian Joint Ore Reserves Committee (JORC) debe contener una discusión sobre la exactitud y precisión de los datos que reporta y describir rigurosamente el procedimiento de muestreo y las mediciones que cuantifican la representatividad de las muestras, los métodos analíticos y de calibración de cualquier herramienta o sistema de medición utilizado en el proceso, así como también, el sistema de control de calidad (Simon & Greg, 2008) (BHP Billiton, 2008).

5.4.1. Definiciones básicas

➤ **Aseguramiento de la calidad / Quality Assurance (QA)**

QA son los procesos de recolección de información para demostrar y cuantificar la confiabilidad de los datos. (BHP Billiton, 2008)

➤ **Control de Calidad / Quality Control (QC)**

QC es la implementación en tiempo real de procedimientos diseñados para monitorear y mantener un nivel de calidad predefinido. La calidad de los datos comúnmente es evaluada en términos de **exactitud** y **precisión**, los cuales son derivados de la inserción de una serie de muestras de control (Blancos, standards, duplicados, etc.) en el proceso analítico durante cierto periodo de tiempo. (BHP Billiton, 2008)

5.4.2. Tipos de muestras de control.

Una de las tareas principales del QC es monitorear los errores que se aportan al resultado final (composición química de las muestras) desde las distintas etapas del proceso, para eso se ha diseñado un método que consiste en insertar estratégicamente unas muestras de control para “evaluar” el desempeño de los distintos procedimientos.

Las muestras de control tienen una frecuencia de inserción que corresponde a cierto porcentaje específico calculado sobre el total de muestras que se envían al laboratorio mensualmente, de manera tal que por cada “tanda” de muestras que ingresen a un procedimiento, se encuentre incluida, como mínimo, una muestra de control. En este punto, hay que destacar, que aunque el sistema QAQC sea de la mina, debe aunar esfuerzos con el personal de laboratorio para que el control de calidad sea adecuado, es decir, el programa QAQC de la mina abarca no solo el muestreo que se realiza en la mina, si no también, el desempeño del laboratorio y por lo tanto depende del cuidado y el interés que los laboratoristas le dediquen a

los procedimientos relacionados con el programa. Por lo tanto es vital que haya un canal de comunicación abierto entre el geólogo y el jefe de laboratorio. La comunicación deficiente entre dichas unidades se manifiesta en la exactitud y precisión de los resultados, como lo demuestra el caso del Bias de Radomiro Tomic, donde los equipos de XRF fueron ajustados para detectar sulfuros secundarios acorde al yacimiento mineral principal; Los geólogos no le comentaron al laboratorio que estaban enviando muestras de óxidos provenientes de otra mineralización, y el laboratorio no comunicó al departamento de geología la sensibilidad del método a la matriz (Carrasco, 2008). Aun cuando el laboratorio tenga su propio sistema interno de control de calidad, solo las muestras de control soportarán los cálculos del programa QA\QC de la mina.

5.5. MÉTODOS DE PERFORACIÓN

5.5.1. Método de Hueco Abierto (OH: Open Hole).

EL muestreo convencional en voladura para control de ley ha adquirido una reputación extremadamente mala en los últimos 50 años. (Pitard, 2008)

El material recuperado de una perforación “Open hole” se mezcla con el fluido de perforación, esto no es conveniente para un muestreo efectivo y usualmente dificulta la observación de los registros. Este método solo es recomendado para la perforación rápida de pozos para rellenar con materiales de voladura o para instalar dispositivos de monitoreo.

Cada día, en cualquier mina a cielo abierto del mundo, los mineros, geólogos e ingenieros de control de ley consultan los resultados de los análisis de muestras tomadas de una pila de voladura. Esta información es asumida como confiable lejos de preocuparse por su respectiva precisión y exactitud. Los datos son plasmados en mapas de referencia que nadie llegaría a cuestionar hasta que aparecen problemas en las reconciliaciones entre la planta, el modelo geológico

de control de ley y el “forecast” de la mina. (Pitard, 2008) Algunos factores que juegan un rol importante en estas observaciones son:

- Esta técnica de perforación nunca fue diseñada para la recolección de muestras sino para perforar pozos para rellenar con explosivos. Solo eso.
- Hoy en día no existen herramientas, que puedan ser certificadas como “adecuadas”, para la recolección de muestras a partir de pozos de voladura. Las razones son teóricas, económicas y prácticas.
- El recurso humano asignado para estos muestreos esta al final de la lista en términos de capacitaciones, entrenamientos y recursos financieros. Existe aún la mentalidad que los “generadores de datos” debería ser un equipo económico, mientras que los “intérpretes de datos” debería ser un equipo altamente capacitado.
- El tiempo permitido para la recolección de muestras de voladura, secado, submuestreo, análisis, integración en mapas, análisis estadísticos y las decisiones respecto a selección, es incompatible con el tiempo requerido para que cualquiera realice un buen trabajo
- Después de la voladura de un banco, la decisión de selectividad deben tomarse rápidamente para satisfacer la filosofía de la productividad que se basa estrictamente en el movimiento de toneladas.
- El pensamiento y la ejecución de acciones orientadas hacia la Calidad usualmente se consideran como enemigas de la productividad económica. (Carrasco & Jara, 2003)

Pero, la variabilidad en la mina, ya sea aquella que pertenece al depósito, o aquella introducida artificialmente por el manejo diario de las bases de datos, no tiene piedad con el intérprete ni con la persona que toma las decisiones. Las consecuencias financieras de esta cadena de eventos son vastamente subestimadas ya que se manifiestan en forma muy sutil, casi invisible, al menos, por un tiempo. (Pitard, 2008)

Lista de problemas del muestreo de “pozos de voladura” (blastholes). (Pitard, 2008)

- Contaminación zona de “sloughing” durante la perforación.
- Contaminación “subdrill” actual durante la perforación.
- Perdidas ascendentes durante la perforación
- Reflujo de partículas durante la perforación. Necesidad de “subdrill”.
- Material del “subdrill” en el tope de la pila de ripios.
- Recuperación del primer “subdrill.”
- Pila de ripios segregada lateralmente.
- Pila de ripios segregada verticalmente.).
- Irregularidad de la pila de ripios.
- Cortinas y pérdida de finos.
- Muestreo dependiente del operador.
- Interferencia con la productividad minera.
- Requerimientos de masa de las muestras.
- Carencia de información respecto al banco inferior.
- Grandes pérdidas por mala clasificación de mineral y estéril. (Misclassification).

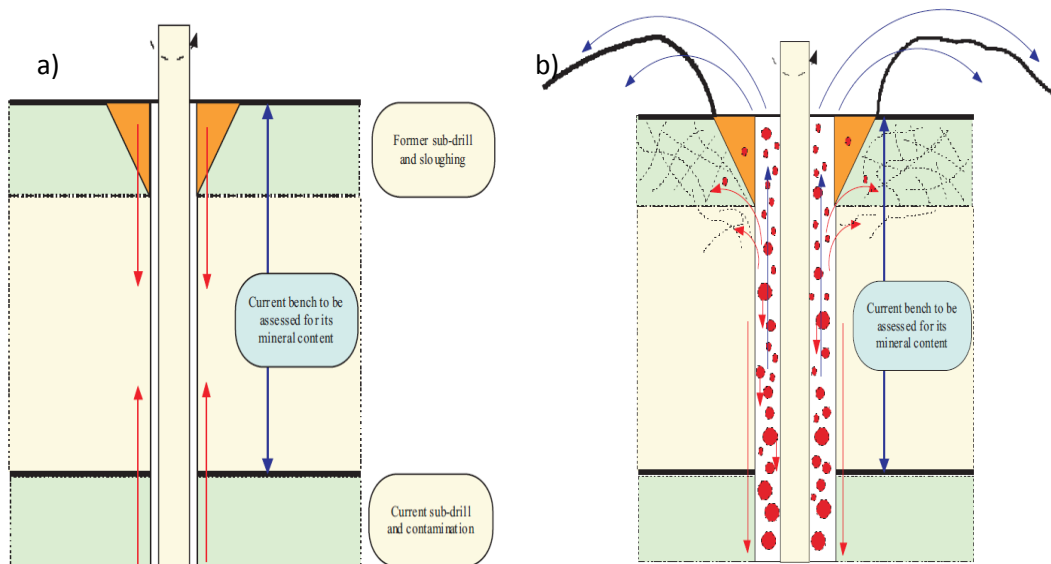


Figura 24 a) Sección de una perforación de “blasthole” ilustrando la zona de material volado anteriormente y la cual afecta seriamente la perforación (Zona de “sloughing”) y zonas de sobreperforación anterior y actual (former subdrill y current subdrill, respectivamente) b) Reflujo de fragmentos gruesos y pérdidas de material en las fracturas. (Pitard, 2008)

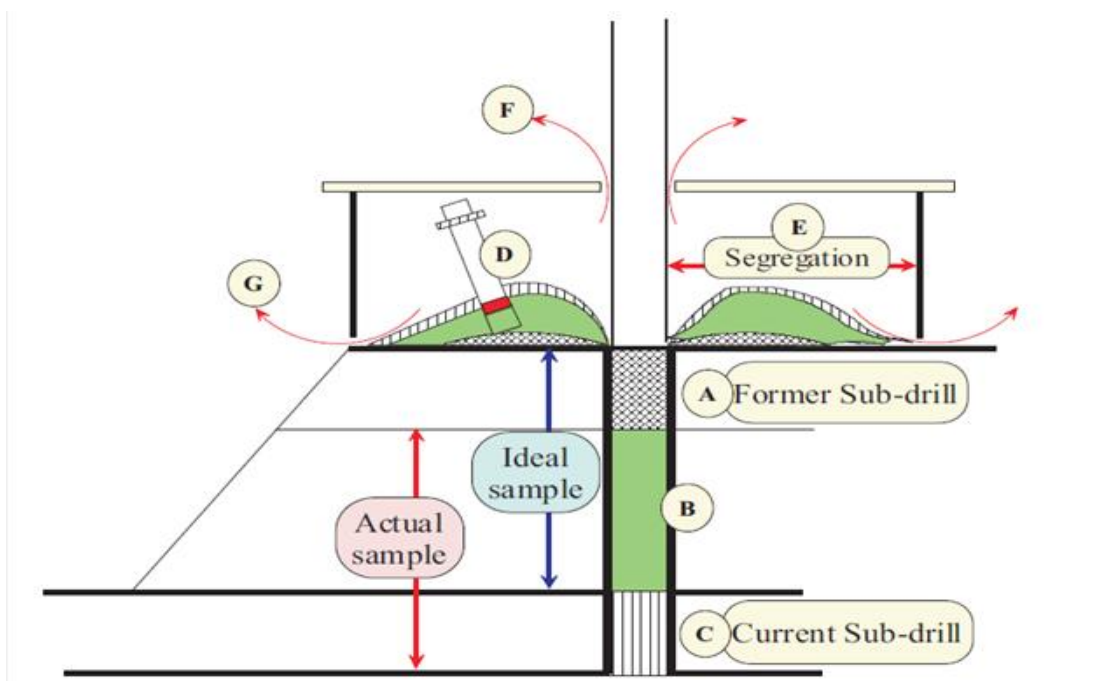


Figura 25 Resumen de los problemas del muestreo con “blasthole” (pozo de voladura). (Pitard, 2008)

5.5.2 Método de perforación por circulación reversa (RC: Reverse Circulation).

Circulación reversa o perforación RC (Reverse Circulation) es un método rápido y eficiente para recuperar muestras de alta calidad en perforaciones de minas y exploración. Este método ha estado en constante desarrollo desde su lanzamiento en Australia en los años 70 y actualmente es el método preferido para las exploraciones iniciales y el desarrollo de pozos de control de la ley mineral en minas a cielo abierto. La mayoría de las perforaciones RC se realizan para obtener muestras minerales para el análisis, por lo que, equipos y prácticas adecuadas de muestreo son necesarias durante la ejecución de este tipo de perforaciones. (Atlas Copco)

Existen dos componentes principales del sistema de muestreo: El “cyclone” y el “splitter”. El “cyclone” sirve para reducir la velocidad de la corriente de la muestra y para separarla del aire, permitiendo ser recolectada. El propósito del “splitter” es dividir la muestra a una cantidad más pequeña la cual es una representación exacta de la muestra completa. (Atlas Copco)

Ventajas del Método RC

- Ausencia de sobreperforaciones (subdrill):
Permite una delimitación y recuperación correcta de las muestras.
- Posibilidad de perforar varios bancos a la vez.
Realizar control de ley en varios bancos permite visualizar mejor la geología y los análisis geoestadísticos lo cual mejora la planeación a corto y mediano plazo.
- Posibilidad de perforar en un ángulo apropiado.
Permite hacer seguimiento a las venas subverticales, un punto clave para el control de la ley para una evaluación más realista del banco.

- Pérdidas y contaminación limitada.
Los ripsos de perforación están protegidos dentro de los tubos de perforación hasta que llegan al “cyclone”, minimizando la contaminación ascendente, reflujo y pérdidas por fracturas, tampoco existen las pérdidas por exposición al viento.
- Posibilidad de perforar bancos inactivos distantes de las perforaciones “blasthole”.
- No interferencia con la productividad minera.
Las perforaciones RC no deberían interferir con la productividad de la mina a menos que haya modificaciones de última hora en los planes.
- Posibilidad de perforar muchos meses antes del minado.



Figura 26. a) Cuarteador tipo riffle. b) Cuarteador tipo cono.

5.6 APUNTES SOBRE SEGURIDAD EN LA MINA DE CERRO MATOSO

Cerro Matoso siempre ha orientado grandes esfuerzos en crear una cultura de seguridad que se manifieste en el día a día de sus operaciones y en la vida de sus empleados. La dinámica consiste en identificar riesgos asociados a una actividad e inmediatamente tomar una acción de control para minimizarlo.

5.6.1 Riesgos de la actividad minera en Cerro Matoso. (Figura 27).

- Atropellamiento.
- Desplome de la Cresta del Talud.
- Caídas a un mismo o diferente nivel.
- Golpes.
- Quemaduras solares.
- Atrapamiento de Pie en Barrenos o pozos.
- Lesiones en los ojos por partículas sólidas o Líquidas
- Ataque de animales ponzoñosos (Serpientes, abejas, arañas, escorpiones, etc.)
- Electrocución con rayos (Tormentas Eléctricas)
- Caídas al Bajarse o subirse del equipo.
- Fatiga.
- Superficies irregulares.
- Superficies lisas (Escaleras).
- Exceso de velocidad.
- Inestabilidad del terreno.
- Fallas mecánicas.
- Obstáculo en vía peatonal.
- Vehículos pesados y livianos en movimiento.

- Atrapamiento por mecanismos de equipos.

- Colisiones



Figura 27. Algunos riesgos de la mina a cielo abierto. a) Desplome de cresta del talud. b) Proyección de partículas por detonación de voladura. c) Colisión de vehículos y equipos. d) Accidentes por fatiga laboral. e) atrapamiento de pies en barrenos o pozos. f) Caídas en escaleras al bajar o subir a un equipo.

5.6.2 Controles para mitigación de riesgos en la mina Cerro Matoso.

- Bermas.
- Banderolas
- Luces rutilantes.
- Zonas de parqueo

- Señalizaciones de tráfico
- Avisos de cierre de vías.
- Espejos
- Plantas iluminarías
- Guardas
- Candados y tarjetas para bloqueo

5.6.3 Elementos de seguridad.

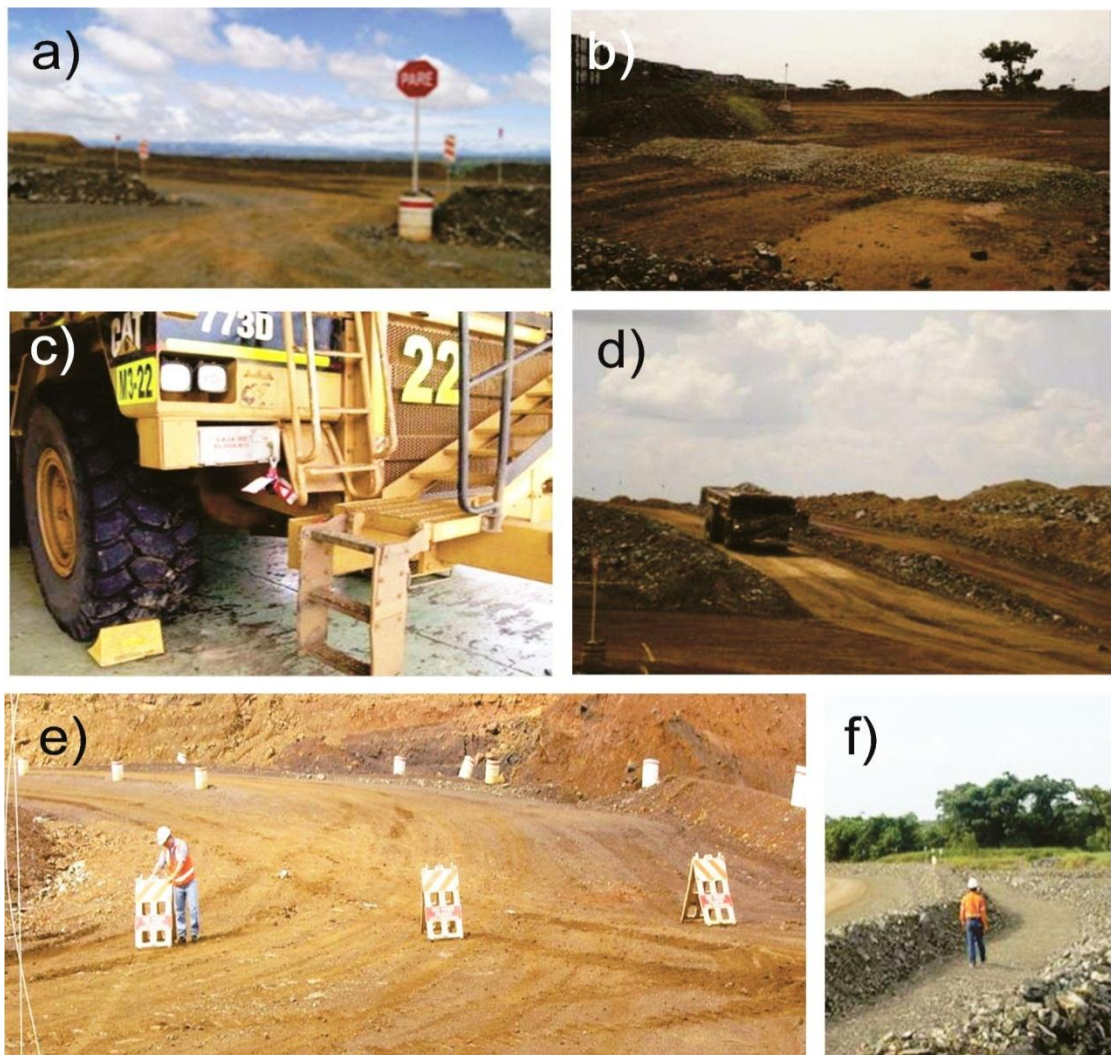


Figura 28. Algunos controles para prevención de accidentes en mina Cerro Matoso. a) Señalizaciones de tráfico. b) Reductores de velocidad. c) Bloqueo de equipos con candado, tarjeta y cuñas. d) Bermas de seguridad. e) Avisos de cierre de vías. f) Senderos peatonales delimitados.

- Casco
- Gafas de seguridad
- Barbuquejo (sólo para trabajos en alturas)
- Tapones auditivos
- Guantes
- Botas
- Radio de comunicaciones.
- Camisa o chaleco reflectivo
- Mascara respiratoria (comfo)
- Linterna (noche)



Figura 29. Elementos de protección personal obligatorios en el pit de Cerro Matoso.

5.6.4 Reglas generales de seguridad.

- Uso adecuado de elementos de protección personal.
- Reportar eventos como los incidentes, actos y condiciones subestándar.

- Cumplir con las normas de tránsito y transporte de personal.
- Efectuar y/o participar reuniones de grupos
- Realizar evaluaciones de riesgos antes de realizar cualquier tarea
- Diligenciar permisos de trabajos cuando la tarea lo requiera
- Mantener el orden y el aseo.
- Cumplir con las normas de bloqueo, trabajos en alturas,
- Acordonamientos de áreas en construcción / mantenimiento.
- Mantenerse en el área para el cual fue contratado.

6 DESARROLLO DEL EI PROGRAMA DE PRÁCTICAS DE GEOLOGÍA.

6.1 CRONOGRAMA GENERAL DE ACTIVIDADES DEL PROGRAMA DE PRÁCTICAS

Actividad General	Actividades Específicas	Duración
Piloto Mapeo Geológico	- Realizar análisis de riesgos "What if" - Realizar mapeo geológico bancos 98, 105, 112 y 119 del pit 2 - Digitalización 3D de los contactos por litología. - Redactar una metodología paso a paso de la actividad. - Actividades de entrenamiento, preliminares y de consulta bibliográfica.	01 Septiembre 2013 a 04 Enero 2014
Soporte Programa QAQC	- Preparación e inserción diaria de muestras de control (Bodega QAQC y Laboratorio) - Actualización diaria de la base de datos del programa QAQC - Recepción y registro de stickers de muestras que salieron del proceso. - Informes estadísticos. - Soporte en la generación de reportes mensuales del programa.	Toda la práctica (05 Julio 2013 a 04 Enero 2014)
Go Live sistematización programa QAQC	- Seguir el proceso en curso - Validación de la nueva plataforma de consultas. - El problema de la trazabilidad de los pulverizados.	Toda la práctica (05 Julio 2013 a 04 Enero 2014)
Validación de payloads y actividades auxiliares.	- Coordinar y realizar pruebas de tonelaje de camiones CAT 777 y CAT 773 en el area de trituración. - Diseñar formatos interactivos para registrar y graficar	Agosto de 2013

Tabla 1. Actividades generales y tareas específicas del programa de prácticas de geología de la unidad de negocio mina.

6.2 PROPUESTA METODOLÓGICA Y EJECUCIÓN DEL MAPEO GEOLÓGICO PIT 2

6.2.1 Pre-Campo.

Esta etapa comprende todas las actividades y preparativos que deben realizarse antes de proceder a la etapa de campo.

1º. Definir un objetivo.

Se realizó en conjunto con geólogos de exploración que ya han tenido experiencias previas en cartografía geológica de bancos. Se decidió que el objetivo de la actividad sería crear “volúmenes” en datamine, que representaran tipos de roca o combinaciones específicas de éstas, para que pudieran ser integradas al MCL posteriormente.

2º. Definir la escala.

La escala escogida para la actividad fue 1:500 para que pudiera adaptarse al tamaño de los bloques del MCL (6,25m * 6,25m * 3,5m), sin embargo, para la actividad de campo se usaron formatos de dibujo a escala 1:100.

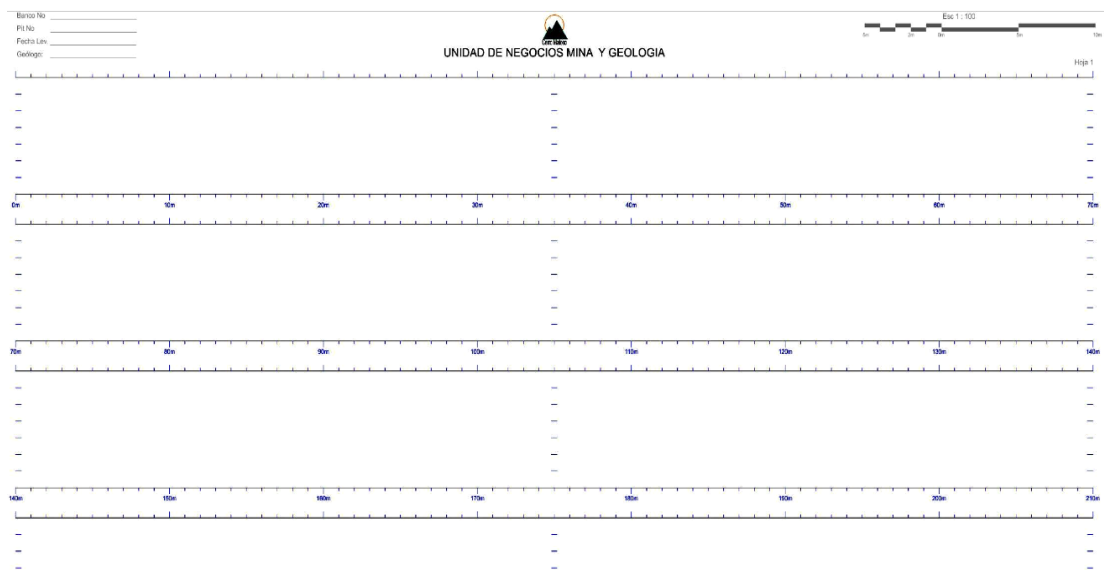


Figura 30. Formato de dibujo para cartografía geológica de bancos metro a metro (escala 1:100). Aportado por la unidad de exploración de CMSA.

3º. Revisión bibliográfica.

Siempre es importante revisar el alcance de los trabajos, ensayos, artículos, compilaciones, etc., que hayan sido realizados previamente, ya que esto permite contar con un conocimiento más completo sobre la geología del área y evitar hacer un trabajo repetido. La revisión bibliográfica consistió en un repaso de los trabajos previos sobre la geología de la mina, la química de los tipos de

roca de la mina y metodologías propuestas por varios autores sobre la mejor forma de cartografiar bancos en minas “open pit”

4°. Definición del área.

Apoyados en las áreas de minería del FY14, se escogió un sector del pit 2, entre los bancos 98 y 119, en tramos de aproximadamente 300 m de longitud.

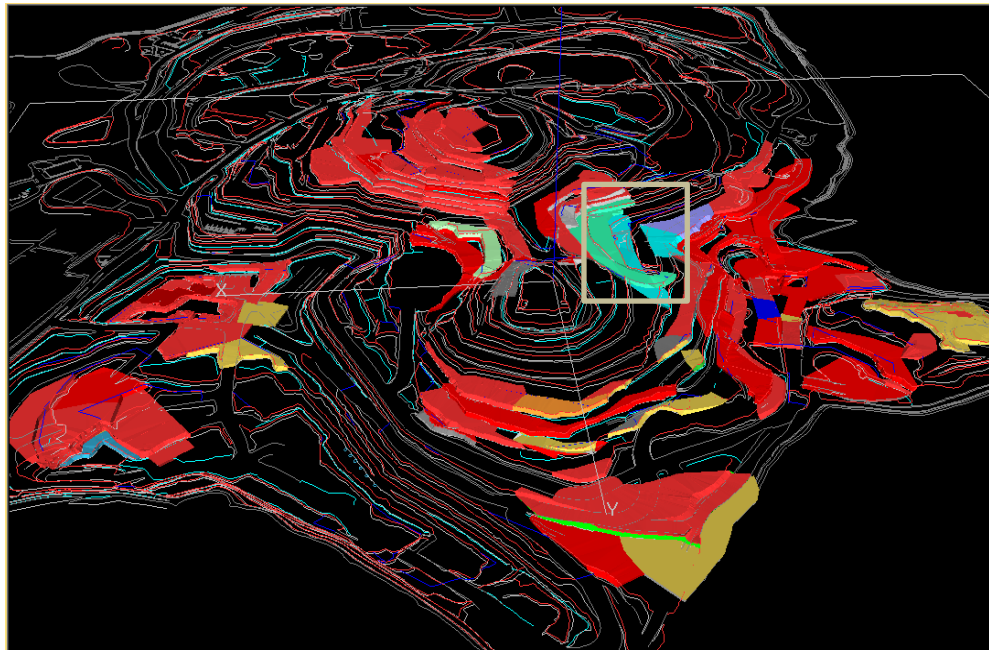


Figura 31. Definición del área de cartografía geológica en base al plan de minería del FY14.

5°. Inspección del área.

Se realizó una inspección del área para comprobar su estado: vías de acceso, adecuación, aseo, drenajes, condición geotécnica, bermas, continuidad, espacio disponible para movilidad y parqueo del vehículo; Se observó que la cara del banco 112 estaba completamente cubierta con material acopiado y se determinó excluirlo del plan de mapeo. Se solicitó el visto bueno del equipo de geotecnia de la mina, para trabajar en los bancos escogidos.

En esta visita previa se detectaron detalles estructurales y geológicos y se hizo una discusión acerca de su relevancia para el objetivo de la actividad, se

decidió prestar atención especial a las estructuras que representaran contactos entre distintas litologías.

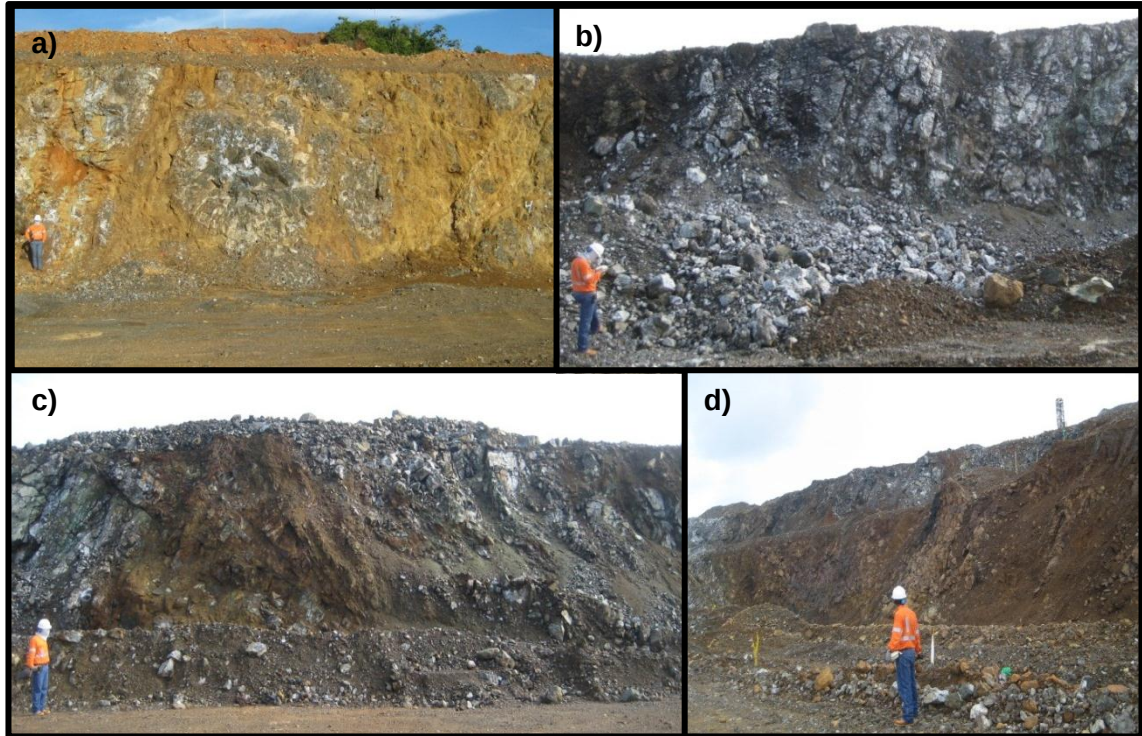


Figura 32. Condiciones geotécnicas de los bancos y su control. a) Banco con buena condición geotécnica, el geólogo se acerca a él con seguridad. b) Talud muy fracturado y con evidente desprendimiento de material. El geólogo mantiene su distancia. c) Pared con mala condición geotécnica y berma de seguridad, el geólogo respeta la berma. d) Banco perfilado pero con perforadora trabajando a nivel superior. El geólogo no se puede acercar a la cara del banco.

6º. Análisis de riesgo “What If”.

Con ayuda del Ingeniero HSE de la unidad, se realizó un análisis de riesgo diligenciando el formato “What If”. Nuestro análisis de riesgo identificó los factores más importantes.

 Cerro Matoso	Proyecto: PILOTO MAPEO GEOLOGICO PARA INCORPORAR AL MCL						
	Proceso: GEOLOGIA DE PIT						
	Fecha: 06 NOVIEMBRE DE 2013						
	Lider: OTONIEL VERGARA						
	Equipo de PHA: RICARDO GARCIA, GINA BUVOLI, GERARDO DIAZ, OTONIEL VERGARA						
ANEXO 1 - WHAT IF / CHECKLIST (QUE PASA SI / LISTA DE CHEQUEO)							
Que Pasa Si...?	Consecuencia	Controles Existentes	Severidad Con Controles	Exposición Con Controles	Probabilidad Con Controles	Calificación del Riesgo	Acciones Correctivas
Se extravía la información?	Retrabajo	asegurar la información en digital	Nivel 2	Una o dos veces al año	Conceivable, Pero Solo en Casos Extremos	0.30	
Si se trabaja en el área de influencia durante una voladura?	Fatalidad, atrapamiento	Planear- mapa despeje voladura - correo electronico - asistir al plan diario- bloqueo en campo y sirena.	Nivel 4	Una o dos veces cada 10 años	No Ha Sucedido Todavía, Pero Podría Suceder	2.70	Asistir a reunión de plan diario
No se usa bloqueador solar durante la actividad?	lesión en piel- dermatitis-	bloqueador solar- capucha- sombrilla -planear la actividad	Nivel 1	Al menos una vez a la semana	No Ha Sucedido Todavía, Pero Podría Suceder	3.00	
No se usan EPP necesarios?	lesión manos, ojos, piel, esguince, fractura	procedimeinto de trabajo- uso EPP	Nivel 3	Una o dos veces al año	No Ha Sucedido Todavía, Pero Podría Suceder	3.00	
Me expongo al sol prolongadamente?	Insolación, golpe de sol, mareo, nauseas, desmayo	VL, radio,agua - hidratante, sombrilla, capucha, método de trabajo	Nivel 2	Al menos una vez a la semana	No Ha Sucedido Todavía, Pero Podría Suceder	9.00	
Se realiza la actividad sin informar al personal de mina?	atrapamiento, fatalidad, atropellamiento por equipo móvil, lesión	Asistir al plan diario, avisar vía radio, divulgar alerta Mina, planear mapeo sin actividad de minería	Nivel 4	Una o dos veces al año	No Ha Sucedido Todavía, Pero Podría Suceder	9.00	Asistir a reunión de plan diario
Hay presencia de equipos de cargue: soporte(moto y tractor, retro), camiones, perforadoras, etc...?	atropellamiento, atrapamiento, golpes, colisión, fatalidad	Planear, coordinar, suspender actividad, asistir al plan diario.	Nivel 4	Una o dos veces al año	No Ha Sucedido Todavía, Pero Podría Suceder	9.00	Asistir a reunión de plan diario,Detener la actividad
Haylluvia o tormenta eléctrica durante la actividad?	choque eléctrico, fatalidad, resfriado	protocolo SAT, procedimiento, VL, EPP, radio	Nivel 4	Una o dos veces al año	No Ha Sucedido Todavía, Pero Podría Suceder	9.00	Detener la actividad
Se dejan herramientas en el sitio de trabajo?	Pérdida de herramienta, daño a propiedad	Orden y Aseo	Nivel 1	Al menos una vez a la semana	Podría Suceder y Ha Ocurrido Aquí o en Otro Lugar	10.00	Señalizar herramientas, orden y aseo
Hay presencia de agua y lodo?	caída mismo nivel, fracturas. Golpes	análisis de riesgo(ultimo minuto, día a día), adecuacion de soporte, inspeccion del área.	Nivel 3	Una o dos veces al año	Podría Suceder y Ha Ocurrido Aquí o en Otro Lugar	10.00	mejorar condición con soporte
Se trabaja a diferente nivel (bermas, cresta de bancos, etc) ?	caida diferente nivel, golpes, fracturas, fatalidad.	Procedimeinto trabajo en altura- análisis de riesgo(ultimo minuto, día a día)	Nivel 4	Una o dos veces al año	Podría Suceder y Ha Ocurrido Aquí o en Otro Lugar	30.00	solicitar sopore con retro, induccion en trabajo en altura

Ocurre un ataque de animal ponzoñoso durante la actividad?	fatalidad, lesión, irritación de la piel	capucha, capucha abejera, vehículo liviano, botas caña alta, EPP, radio	Nivel 4	Una o dos veces al año	Podría Suceder y Ha Ocurrido Aquí o en Otro Lugar	30.00	KIT anaafiláctico, charla acción frente a un ataque.
Se trabaja en talud con condición geotecnica desfavorable (rocas sueltas, falla talud, inestabilidad...)?	atrapamiento, fatalidad, golpes.	Mapa geotecnico Mina, Procedimiento - método de trabajo, análisis de riesgo(ultimo minuto, día a día), autorizacion de Geotecnia	Nivel 4	Una vez al mes o mas	Podría Suceder y Ha Ocurrido Aquí o en Otro Lugar	90.00	Medir estructuras solo en taludes limpios, limpiar con retro, marcar distancias con GPS, verificar mapa geotecnico, check list geotecnico
Hay superficies desniveladas, canales, huecos, drillholes abiertos?	caída mismo nivel, fracturas, caída distinto nivel	método de trabajo- análisis de riesgo(ultimo minuto, día a día), uso de EPP	Nivel 3	Al menos una vez a la semana	Podría Suceder y Ha Ocurrido Aquí o en Otro Lugar	100.00	Realizar soporte con tractor, retro.
FIRMAS:							
Líder PHA:				Cliente 1:			
Participante 1:				Cliente 2:			
Participante 2:				Cliente 3:			
Participante 3:				Cliente 4:			
Participante 4:				Cliente 5:			

Tabla 2 Análisis de riesgo llamado “what if”, trata de identificar los riesgos de la actividad evaluando las consecuencias de determinadas acciones y las probabilidades de que sucedan, además obliga a estar preparado y a tomar medidas preventivas y de control ante las eventualidades que se identificaron.

7°. Diseño de formatos y convenciones.

Los formatos son útiles porque disminuyen la probabilidad de olvidar tomar algún dato, aunque pueden hacer la actividad un poco tediosa. Para este mapeo se diseñaron 3 tipos de formatos. Las convenciones son importantes porque facilitan la consignación de información en los formatos y ayudan a llevar constancia y orden de los dato recolectados.

FORMATOS PARA MAPEO GEOLOGICO DE BANCOS CMSA PUNTOS DE CONTROL

Geólogo: _____ U.Negocio _____

Fecha registro	Punto de control	Coordenadas			Detalle/ Descripción	Dato Estructural
		x	y	z		

Figura 33 Encabezado del formato para registro de puntos de control del mapeo de bancos

FORMATOS PARA MAPEO GEOLOGICO DE BANCOS CMSA REGISTRO FOTOGRÁFICO

Geólogo: _____ U.Negocio _____

Fecha registro	# serie camara	Nombre Foto	Coordenadas			Detalle/ Descripción
			x	y	z	

Figura 34 Encabezado del formato de registro de fotografías del mapeo de bancos

FORMATOS PARA MAPEO GEOLOGICO DE BANCOS CMSA REGISTRO DE MUESTRAS

Geólogo: _____ U.Negocio _____

Fecha registro	Codigo Muestra	IDLims	Coordenadas			Detalle/ Descripción	Foto
			x	y	z		

Figura 35 Formato para registrar las muestras de roca tomadas durante el mapeo. IDLims es el código interno de la empresa que va impreso en las etiquetas de identificación.

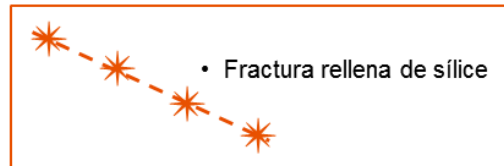
Carácteres lineales.

- Fallas geológicas.
- Fracturas
- Contacto Neto
- Contacto Transicional



Rellenos.

- Sílice *
- Garnierita ▲
- Magnesita ●



- Fractura rellena de sílice

Carácteres Puntuales.

- | | | |
|--|---|---|
| • Punto de Muestreo.
MEG bancopitconsecutivo.
Ej: + MEG 98201c | • Punto de foto detalle /panoramica
FOD/FOP bancopitconsecutivo.
Ej: [icono de cámara] FOD 98201; FOP 91203 | • Punto de Control
MG bancopitconsecutivo.
Ej: ↓ MG 98201 |
|--|---|---|

Figura 36. Convenciones para registro de información en formatos.

8º. Solicitud retroalimentaciones, tutorías, inducciones.

Para estar más capacitada para el trabajo, se solicitaron las siguientes tutorías:

- Reconocimiento e identificación de los tipos de roca presentes en Cerro Matoso.
- Uso del Sistema de Posicionamiento Global (GPS).
- Manejo de coordenadas internas de CMSA.
- Toma de datos estructurales y uso de la brújula.
- Procedimientos de cartografía geológica de bancos.
- Extracción y recolección de muestras especiales.

Esto ayudo al desempeño fluido de la actividad y a mejorar la confiabilidad de la información registrada.

6.2.2 Actividades de Campo.

1º. Preliminares

- Bloqueo del área de trabajo, señalización con Conos, Avisos móviles o cinta.
- Armado de la sombrilla en un lugar estratégico, que tenga buena accesibilidad, preferiblemente en un lugar fresco y seco; allí se ubicó el punto de hidratación.
- Se realiza el análisis de riesgos de último minuto o “día a día”, rápida inspección del estado del área en la que va a trabajar y se identifican nuevas condiciones potencialmente peligrosas.
- Se toman las medidas preventivas necesarias para contrarrestar los riesgos identificados en el paso anterior.
- Se llevan todas las EPP (elementos de protección personal).



Figura 37. Sombrilla y punto de hidratación, lugar con sombra donde se pueden rectificar datos.

2º. Mapeo.

- Se ubica y marca en el banco su punto de inicio P0, tomar las coordenadas con el GPS y registrarlas en el respectivo formato. (Figura 38)



Figura 38 Definir, marcar, tomar coordenadas y registrar el Po.

- Extender la cinta métrica sobre la pata o sobre la pared del banco manteniéndola lo más horizontalmente posible.
- Retirarse de la cara del banco una buena distancia (10 - 15 m si el diseño y las normas de seguridad lo permiten), lo suficiente para tener una visión panorámica del banco e identificar visualmente los tramos (paquetes) que presenten características geológicas similares y agrupables. (Figura 39)



Figura 39. Definición de paquetes por litología (1-2), identificables visualmente y mayores a 5 m (por la escala.) Marcar los puntos en el banco, tomar coordenadas y registrarlos en el formato correspondiente.

- Con la ayuda de la cinta métrica y teniendo en cuenta la escala de trabajo, se dibuja en el formato de mapeo el límite del primer paquete identificado y se marca sobre la cara o en la pata del banco usando un aerosol; Se asigna un número consecutivo, se toma la ubicación con el GPS y se registra el punto en el formato de puntos de control (Figura 40).



Figura 40. El geólogo dibuja la geología del banco en el formato guiándose de la cinta métrica.

- Se identifican las características de interés dentro de este primer paquete: fallas, diaclasas, núcleos, venas, diques, rellenos, litología, estados de alteración, color, mineralizaciones, etc., y con la ayuda de la cinta métrica y la escala, se dibujan los detalles de interés dentro del primer paquete. Puede apoyarse de convenciones preestablecidas o anotaciones aclaratorias (Figura 42).

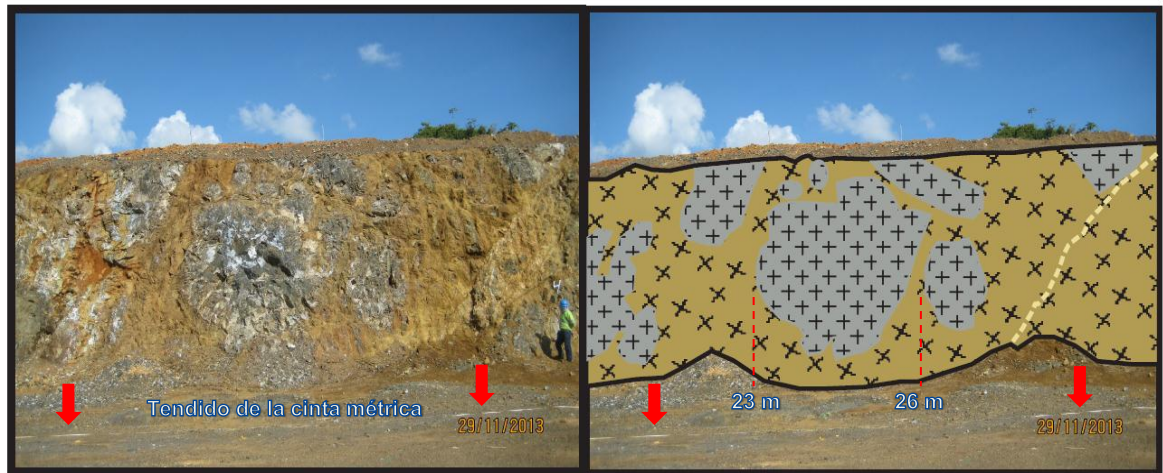


Figura 42 . Dibujo en formato. Izquierda: Lo que el geólogo ve. Derecha: Lo que el geólogo dibuja.

- Se procede con la toma de fotografías de los detalles que se desearon ilustrar y siempre diligenciando el respectivo formato, **todas las fotografías deben incluir una escala gráfica o un objeto que pueda usarse como tal**. Además, señalar en el dibujo el lugar donde toman las fotografías de detalles. (Figura 41)



Figura 41. Fotografías de detalles con su respectiva escala. Cada imagen se detalla en el formato correspondiente. De izquierda a derecha: Intrusión de fluido silíceo con evidente tectonismo. Relleno de fracturas con mineral precipitado. Venilla con deformación dúctil.

- Si necesita tomar alguna muestra, escoja el tamaño adecuado que garantice la representatividad de ésta; Asegúrese de empacarla y etiquetarla correctamente (Bolsa Roja y etiquetas 9030 para muestras especiales de geología mina), tomar la ubicación con GPS y diligenciar el formato (Figura 35); Además, asígnele un consecutivo y señale dentro de su dibujo el lugar de donde se extrajo la muestra.
- Se recoge la cinta métrica y se extiende nuevamente, iniciando justo donde terminó el tendido anterior. **Nunca se debe alterar la continuidad de los tendidos de la cinta, esto puede arruinar completamente la distribución, la escala y las proporciones de las características mapeadas.**
- Se asegura de tener todos sus formatos diligenciados correctamente y que no queda nada pendiente, así mismo, se hace un inventario rápido de las herramientas y EPP.
- Así se finaliza el levantamiento del primer tramo. De manera análoga se procedió con los siguientes.
- **IMPORTANTE: Antes de iniciar el levantamiento de un nuevo tramo o paquete, se debe comprobar que se cuenta con suficiente tiempo para terminarlo. En la medida de lo posible, nunca se debe dejar el levantamiento de un tramo sin terminar o aplazado para el día siguiente.**

3° Fin del día

Al terminar la jornada de trabajo, se verifica la información recolectada:

- Que los formatos estén correctamente diligenciados y al día.

- Que se está conforme con el bosquejo de la cartografía en cuanto al nivel de detalle y fidelidad.
- Que tiene claridad sobre todas las anotaciones y convenciones que se plasmaron en el bosquejo.
- Se recogen las herramientas, muestras y EPP.
- Se recoge y se guarda la sombrilla en el vehículo liviano. No la deje en el área incluso si piensa regresar al día siguiente.
- Desbloquee el área, recogen los avisos, conos, cinta etc.
- Se notifica al Supervisor de operación y a toda la mina en general que ya se finalizó la actividad de día.

6.2.3 Post-Campo

1° Digitalización de la información.

- Se escanean los formatos y el dibujo del día, y se guardan en una carpeta del computador.
- Transcriba la información de los formatos a un documento en Excel.

2° Creación de los “sólidos” en DataMine

- Se crea una tabla en Excel con los puntos del mapeo y sus respectivas coordenadas y se guarda en formato .csv.
- Se crea un nuevo proyecto en el software DataMine y se carga en él la topografía de la mina en el momento del mapeo, el archivo actualizado de los “drillholes” (pozos perforados) (Figura 44).
- Se importa el archivo .csv con los puntos mapeados y luego, se ajustan los puntos a la topografía proyectándolos perpendicularmente a la cara del banco (Figura 43).

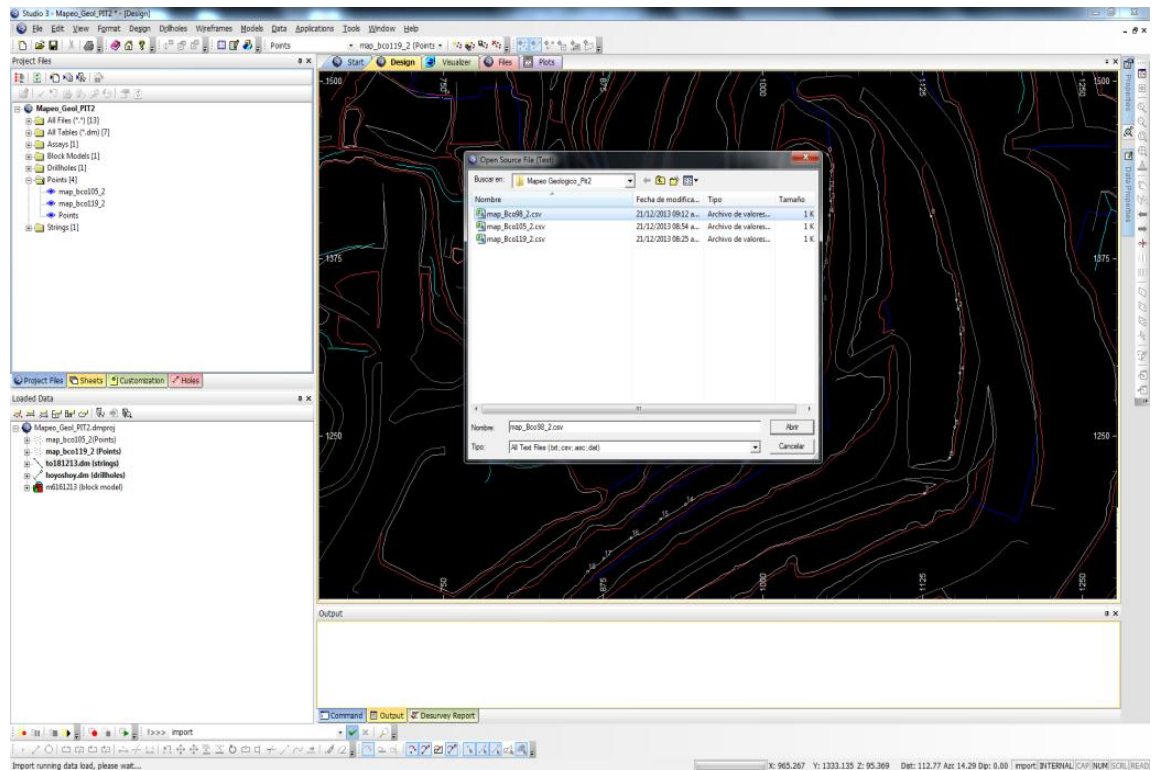


Figura 44. Proceso de importación de archivos de puntos .csv al proyecto en DataMine.

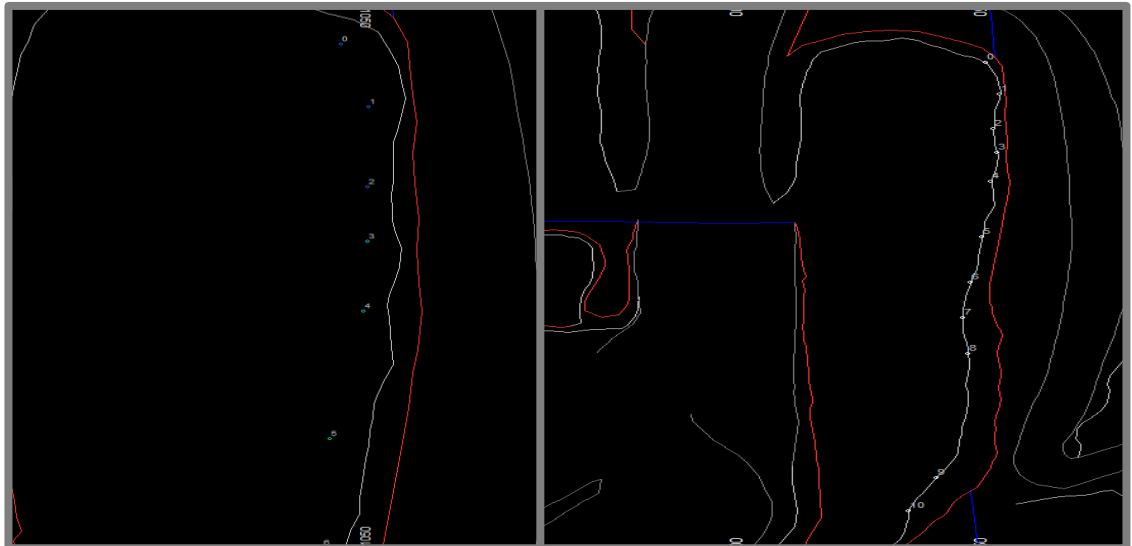


Figura 43. Ajuste de los puntos a la línea de la topografía, para esto, se deben modificar las coordenadas de los puntos en el archivo .csv

- Posteriormente, se crearon nuevos strings, para identificar las litologías definidas para cada intervalo entre los puntos asignándole código de colores (Figura 45)
 - ✓ Rojo → Peridotita
 - ✓ Amarillo → Peridotita saprolitizada.
 - ✓ Verde → Saprolito verde de alto magnesio.

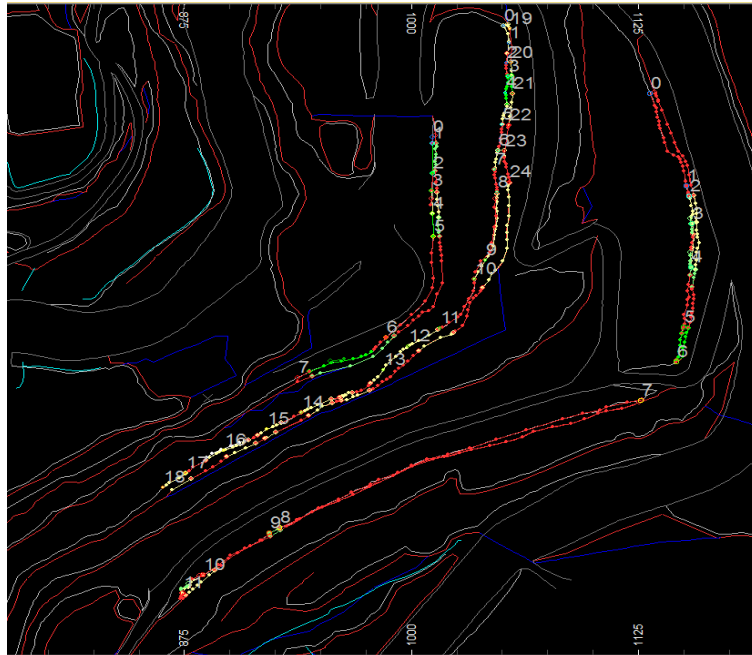


Figura 45. Segmentos identificados por colores según su litología.

- El siguiente paso consiste en relacionar las litologías de un banco con el otro, creando strings cerrados que posteriormente serán un volumen, básicamente lo que se hace en este paso es “unir” la litología de la cresta de un banco con la litología de la pata del banco superior (Figura 46)

Se asignan nuevos colores para litologías combinadas:

- ✓ Azul → Peridotita + Peridotita saprolitizada
- ✓ Morado → Peridotita saprolitizada + Saprolito verde de Alto magnesio.

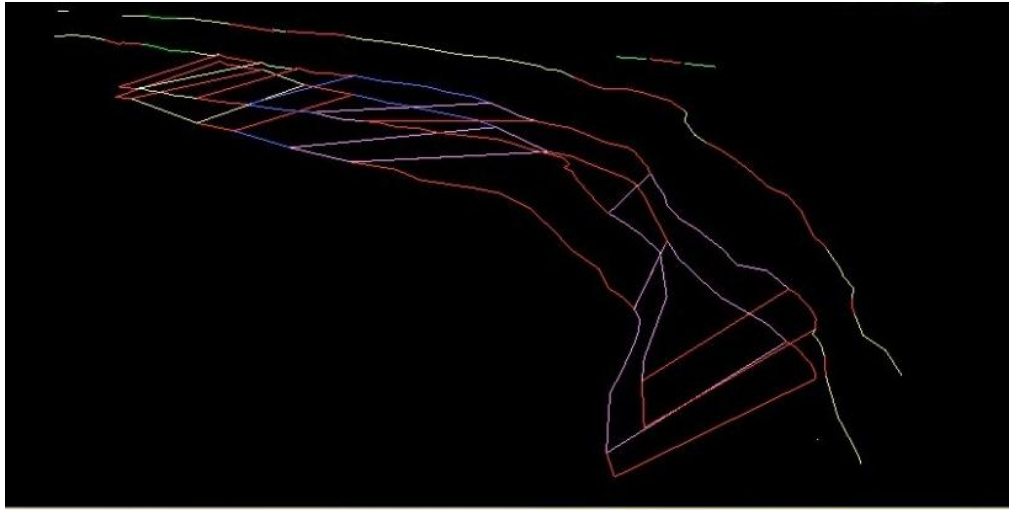


Figura 46. Se relaciona la información de un banco con otro consecutivo y se crean strings cerrados en la base y en el techo del banco mapeado.

- Una vez hecho lo anterior, se filtran los strings por color y se contruyen los wireframes que serán nuestros sólidos. Se debe verificar que los strings no tengan nudos, intersecciones y estén cerrados (Figura 47).

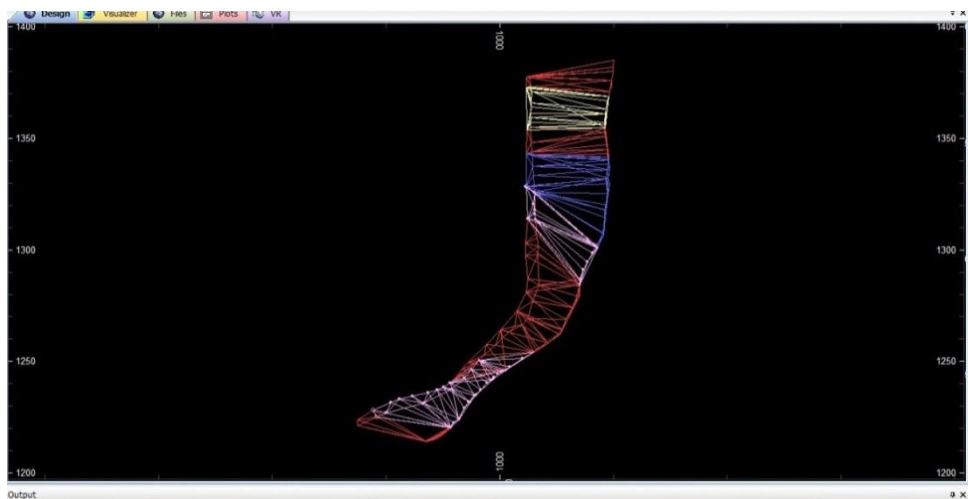


Figura 47. Banco 98 con los wireframes ya contruidos. No olvide incluir las “tapas” superior e inferior.

- Se activa la pestaña del “visualizer” para obtener la vista en 3D de los sólidos y volúmenes creados y se revisa que no queden traslapados o con espacios vacíos entre ellos. (Figura 48)

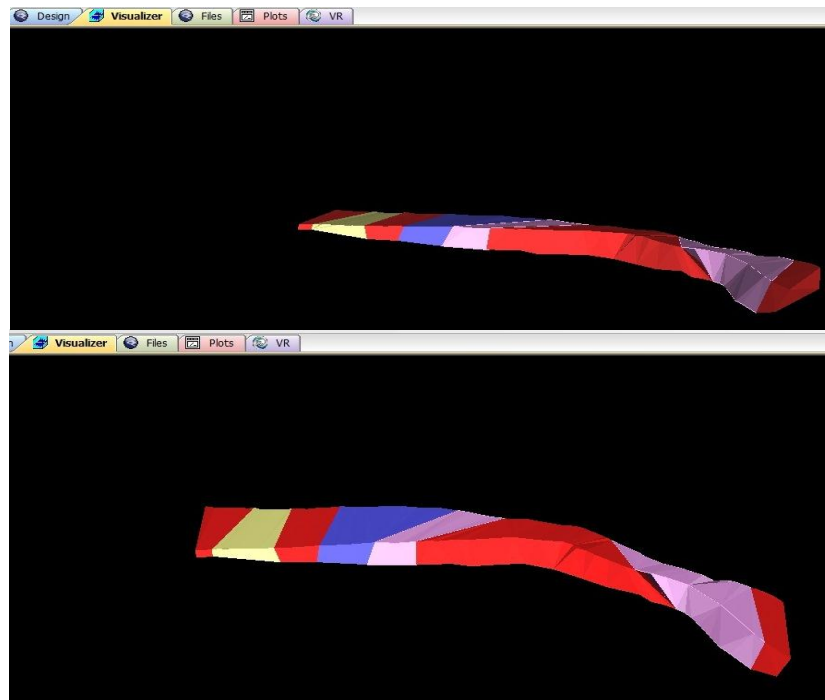


Figura 48. Volúmenes generados a partir de los wireframes, representan la geología de la sección del banco 98.2 que se escogió para cartografiar.

- -El mismo procedimiento se realiza para el banco superior.

6.2.4 Resultados y conclusiones.

- ✚ Es posible generar volúmenes que representen la distribución espacial de las litologías presentes en la mina y su relación con las principales estructuras utilizando el software DataMine.
- ✚ La generación de estos volúmenes puede ayudar a mejorar la estimación de las leyes de níquel para cada tipo de roca, ya que aporta una delimitación más confiable en la cual apoyar los cálculos estadísticos que soportan al modelo de control de ley.
- ✚ La metodología propuesta para el mapeo de bancos es sencilla y puede ser ejecutada por personal técnico que esté familiarizado con los tipos de roca y que pueda reconocer y medir estructuras geológicas principales, sin embargo es muy recomendable que se haga bajo la supervisión del personal de geología.
- ✚ El reto para los estadísticos y expertos en modelamiento es tratar de integrar los volúmenes obtenidos al MCL, lo cual implica replantear casi toda la estructura informática y de algoritmos que actualmente se utiliza, y luego hacer reconciliaciones que permitan validar la efectividad y la aplicabilidad de este nuevo método.
- ✚ Si se logra demostrar una mejoría significativa de la estimación de las leyes químicas de los materiales y que represente una importante ganancia económica, el procedimiento de mapeo de bancos podría ser establecido como actividad rutinaria de la operación minera y seguir su debido proceso de continuo mejoramiento.

6.3 SOPORTE AL PROGRAMA QAQC

6.3.1 Preparación de muestras de control.

La preparación e inserción de muestras del control del programa QAQC de la mina de Cerro Matoso se realiza diariamente de lunes a viernes. La cantidad de muestras de control que se preparan a diario depende de la cantidad planeada de muestras de roca (provenientes de la mina).que ingresarán al laboratorio mensualmente

Tipo de muestra	#	Contenido	Inserción	Encargado
Blanco Grueso	3	SiO ₂	1%	Geólogo
Blanco Fino	5	SiO ₂	2%	Geólogo
CRM (Materiales de referencia certificados)	5	Lateritas níquelíferas.	2%	Geólogo
- CRM ley baja	2			
- CRM ley intermedia	2			
- CRM ley alta.	1			
Pulverizados para análisis	5	Muestras ya analizadas	2%	Geólogo
DUPLICADOS DE CAMPO	8	Muestras del pit	3%	E. Perforación
D01	5	Muestras del pit	2%	E. Perforación
D02	5	Muestras del pit	2%	E. Perforación
CHECK SAMPLES	3	Muestras del pit	1%	

Tabla 3 Porcentaje de inserción de las muestras de control del programa QAQC

El programa de QAQC de la unidad de mina maneja 8 tipos de muestras de control, de las cuales 4 tipos son preparadas por el geólogo y las otras 4 por el personal de perforación y del laboratorio.

Blancos: El material escogido como “blanco” para el Níquel es la sílice (SiO₂), ya que, como mencionamos anteriormente, contiene el elemento de interés en concentraciones por debajo del límite de detección de nuestro método de análisis

(Fluorescencia de rayos X, XRF). La sílice se adquiere comercialmente en una presentación tamaño “grava”, éste se utiliza para la limpieza de los equipos de trituración del laboratorio y además como “Blanco Grueso” de nuestro programa. Este mismo material pero en presentación “pulverizada”, es usada como “Blanco Fino”.

CRM: Los “materiales de referencia certificados del programa” son adquiridos comercialmente de un laboratorio certificado de Australia, son materiales de un yacimiento de lateritas níquelíferas similar al nuestro para los cuales se les ha calculado la ley de níquel mediante la XRF y de una desviación estándar conocida y certificada. Dentro de la entrega diaria de CRM se incluyen muestras con leyes de níquel diferentes entre sí.

Pulverizados para re-análisis: Consiste en re-etiquetar y llevar al laboratorio algunas muestras que ya han sido analizadas en semanas o meses anteriores, para comparar los resultados de ambos análisis.



Figura 49. Muestras de control preparadas por el geólogo para llevarlas al laboratorio diariamente. 1. Pulverizados para re-análisis. 2. CRM de distintas leyes de níquel. 3. Blancos finos. Los blancos gruesos se preparan en el laboratorio.



Figura 50. Implementos para preparar las muestras de control. 1. Sílice pulverizada. 2. Materiales de referencia certificados y sus respectivos rollos de etiquetas. 3. Rollo de etiquetas para los pulverizados a reanalizar. 4. Rollo de etiquetas para blancos finos. 5. Bolsa plástica pequeña. 6. Formato de registro de muestras. 7. Protector respiratorio. 8. Gafas protectoras. 9. Guantes de nitrilo.

6.3.2 Actualización de Bases de Datos.

Así como diariamente se preparan y se llevan al laboratorio las muestras de control, se debe llevar un estricto registro de los códigos de dichas muestras. El registro se lleva “a mano” en unos formatos diseñados para tal propósito (Figura 50). Es necesario ser muy cuidadosos en este paso, puesto que cada muestra está identificada con un único código, si se llegara a escribir un dígito equivocado, el sistema no podría relacionarla con su resultado químico, o podría asignarle un resultado químico de otra muestra.

La información registrada en los formatos, debe ser ingresada regularmente en la base de datos del programa QAQC para generar los informes mensuales de resultados, normalmente en este proceso es en donde se evidencian los errores

por manipulación de datos, como aquellos que ocurren durante el proceso de transcripción.

Muchos autores y expertos insisten en que la base de datos del programa debe ser centralizada y debe evitarse a toda costa la manipulación manual de datos, o en su defecto, la menor cantidad de personas deben ingresar datos manualmente, ya que esta es una fuente de error bastante significativa que puede alterar notoriamente los resultados de los cálculos de interés presentados en los informes.

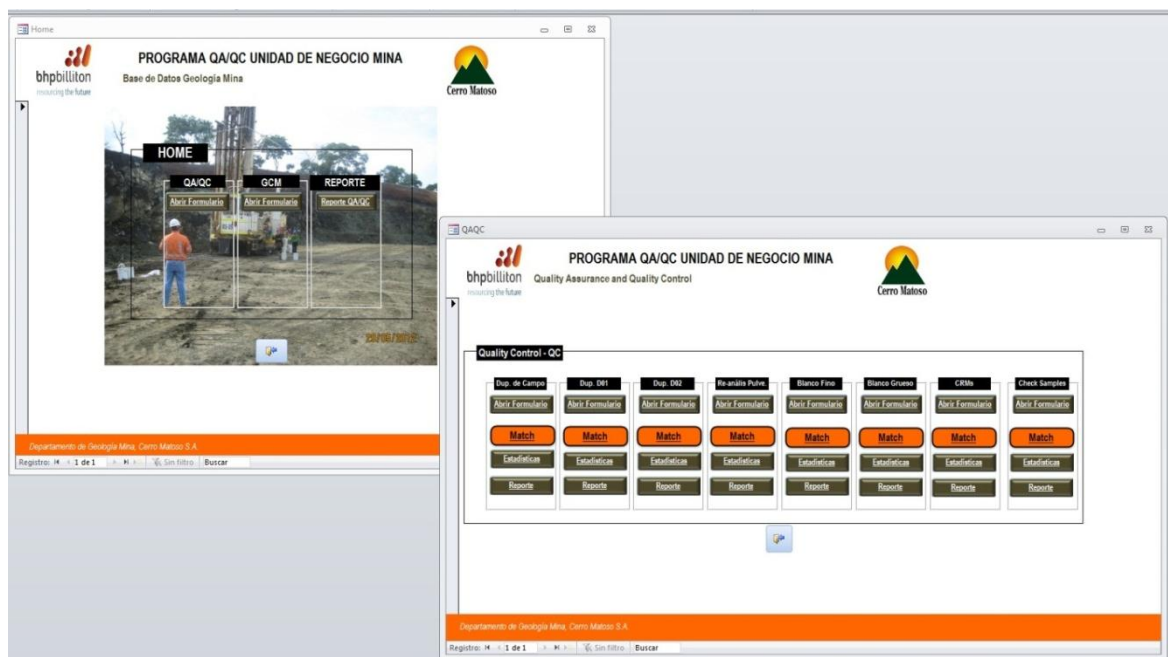


Figura 51. Acceso a las Bases de datos del programa de QAQC. Existe un formulario para cada tipo de muestra de control.

En este aspecto, el programa QAQC de la mina de Cerro Matoso presentaba debilidad, puesto que sus datos debían pasar por muchas “manos” (no siempre muy cuidadosas) antes de ser ingresados (manualmente) a la base de datos. Para solucionar este inconveniente, se empezó a desarrollar el proyecto de “sistematización” del programa QAQC, el cual ha hecho muy buenos aportes en cuanto a la disminución de los errores de digitación, además ha contribuido a disminuir el tiempo que el geólogo dedica al “Control de calidad” para aumentar la

atención en “aseguramiento de la calidad”, estos avances en la sistematización aún se encuentran en periodo de prueba. Sobre esta sistematización, hablaremos más adelante.

6.3.3 Registro estadístico de muestras no tomadas.

Las muestras “no tomadas” son aquellas que, por diversas razones, el equipo de perforación no pudo adquirir durante la actividad de campo; Esto implica, que las etiquetas que corresponderían a dichas muestras sean “devueltas” a la oficina de geología con una nota que justifica la devolución. Es importante que haya comunicación con el supervisor del grupo de perforación, para unificar los conceptos y fomentar la disciplina en cuanto a la devolución oportuna de las etiquetas y la correcta descripción de la devolución.

El objetivo principal de esta recepción de etiquetas, es poder “darles de baja” en el sistema donde están registradas, y de este modo “descongestionar” el sistema y agilizar otros procesos.

Sin embargo, estas etiquetas pueden brindar valiosa información sobre el cumplimiento de los planes de muestreo. Para esto, se diseñó un formato en una hoja de Excel, que facilita la recepción, clasificación y la visualización de las estadísticas relacionadas con estas etiquetas.

La hoja Excel tiene un campo que recibe el ID de la etiqueta mediante un lector de código de barras. En el siguiente campo, se asigna un número del 1 al 5 según sea la causa de la devolución, según la siguiente clasificación.

Peso < 2Kg	1
No se obtuvo muestra	2
Abandonado	3
No perforado	4
No específica	5

Tabla 4. Clasificación de las causas de la “no toma” de muestras durante las actividades de perforación.

Al asignarle uno de estos números, el siguiente campo automáticamente especificará la razón de la devolución de la etiqueta y asignará un color, además se actualizarán los gráficos que ilustran la proporción de cada categoría y su porcentaje sobre el total de muestras “no tomadas”.

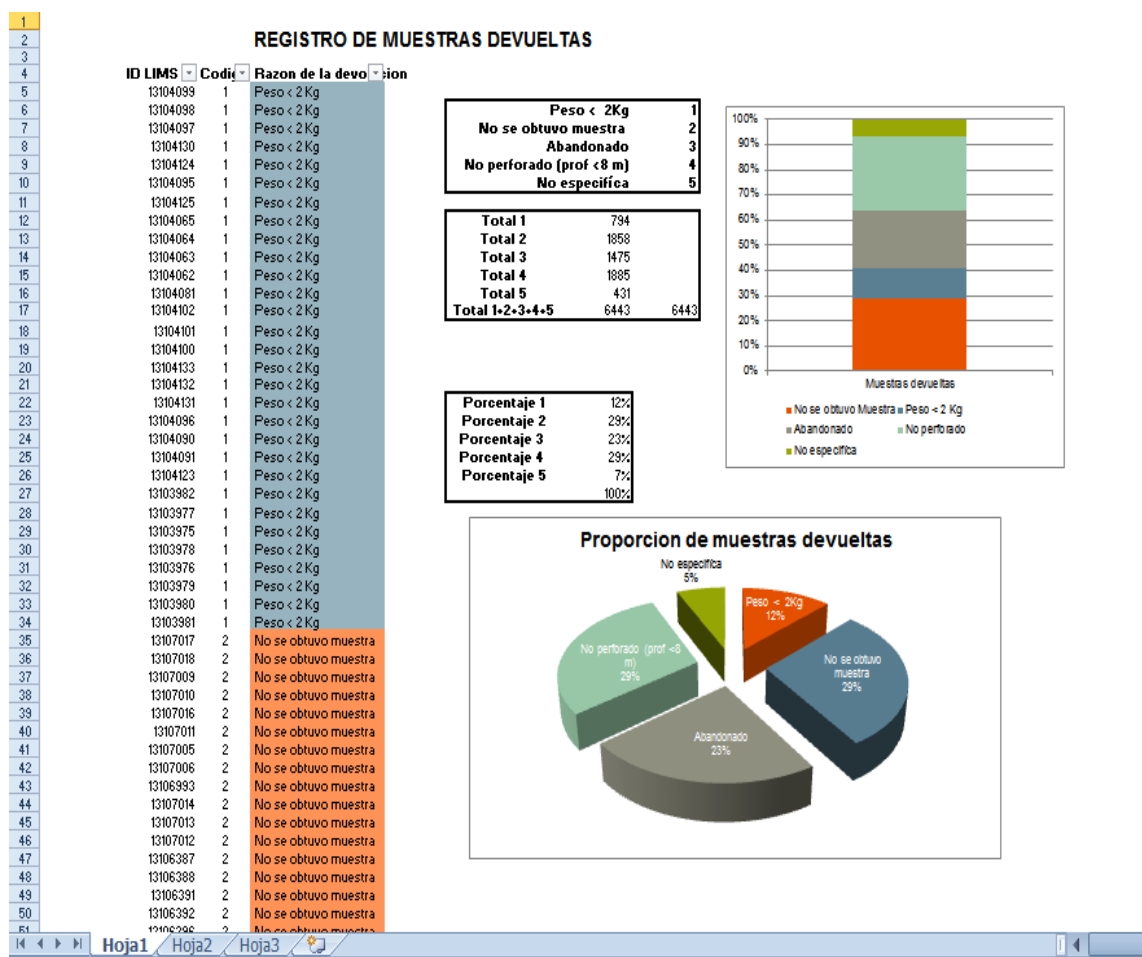


Figura 52. Formato de registro de etiquetas de muestras “no tomadas”. Gráficas y porcentajes se calculan de manera automática a medida que se ingresa nueva información.

Si se complementa esta información, por ejemplo, con el total de muestras esperadas para un cierto mes de producción discriminadas entre muestras obtenidas de muestreos geológicos (perforación Reverse Circulation) y muestras obtenidas de muestreo de voladuras (perforación Open hole), se llega a tener un panorama muy claro y diciente.

Conocer estos datos, permite identificar debilidades en las actividades de perforación y muestreo y además, sirve como un factor que se debe tener en cuenta a la hora de hacer los planes de muestreo.

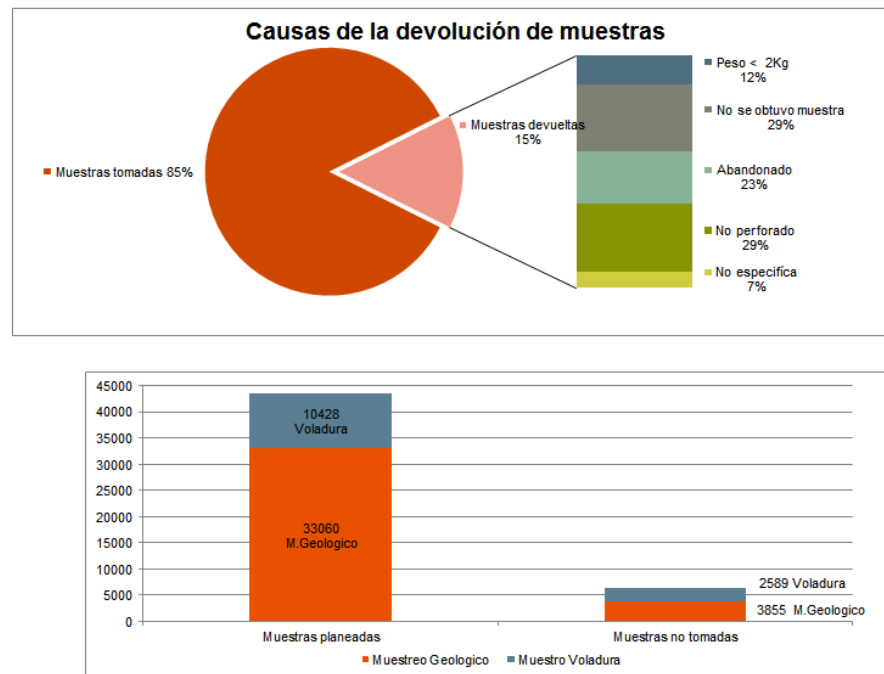


Figura 53. Algunas gráficas que se pueden obtener complementando la información del formato de muestras devueltas.

6.3.4 Informes mensuales QAQC.

Los informes mensuales del programa son definitivos y concluyentes, en ellos se exponen los resultados del monitoreo de los errores detectados mediante las muestras de control. Los resultados se presentan discriminados por tipo de

muestra de control y, para los duplicados de campo, gruesos y finos, se discrimina por el método de perforación mediante el cual fueron adquiridos. Este es un punto muy importante, puesto que como ya sabemos las perforaciones OH y RC son muy diferentes entre sí. Normalmente el error de los muestreos con OH es más alto.

El proceso para construir los informes comienza con la búsqueda en el sistema de los resultados químicos de las muestras de control. Para esto, se ejecuta una macro que extrae los códigos ingresados en la base de datos (ingresados manualmente), y les busca en el sistema su respectivo resultado químico; Para el caso de los duplicados, se presentan relacionados los resultados químicos de la pareja de muestras.

La lista de códigos de los duplicados de campo debe “filtrarse” en Excel con un documento que brinda el laboratorio, donde están clasificados por método de perforación; este paso es tedioso y suprimirlo representa uno de los grandes desafíos del proceso de sistematización, ya que se hace muy difícil identificar las muestras que se toman mediante OH o RC una vez que están pulverizadas y listas para el análisis. La única manera de poder clasificarlas es al momento de ser recibidas en el laboratorio, ya que visualmente se pueden diferenciar, por esta razón, la discriminación de los resultados por método de perforación **depende del laboratorio y de la disciplina que tenga el personal** para llevar organizada e inequívocamente los registros de la recepción muestras y de sus respectivos duplicados.

Una vez discriminados los datos de OH y RC para los duplicados de las muestras de control, se procede a hacer los cálculos estadísticos y los gráficos pertinentes, normalmente en esta etapa se podrán detectar “outliers”. Los outliers son datos anómalos, cuyos valores se consideran demasiado alejados de las tendencias generales de la población, cada uno de estos debe analizarse con cuidado para determinar si representa un error del geólogo que preparo las muestras de control

o si es un error de procedimiento del laboratorio. En todo caso, el geólogo de QAQC debe reunirse con el líder del laboratorio para discutir los “outliers” y tomar decisiones respecto a ellos. Según sea la actividad que causó el dato anómalo, éste puede ser extraído del conjunto de datos para que no aporte “ruido” al cálculo del error. Para tomar esta decisión se requiere que el geólogo de QAQC tenga un amplio conocimiento de todos los procesos por los que “pasa” la muestra y de las fuentes de error a las que se expone durante su proceso; La experiencia juega un papel definitivo para decidir cómo proceder ante un “outlier”.

Para evaluar la contaminación tanto en preparación como en análisis se evalúan los resultados químicos de las muestras de Blancos Gruesos y finos, respectivamente, mediante la presentación de gráficas que ilustran la ley de níquel del blanco analizado diariamente. Una muestra de blanco se considera contaminada, cuando la ley del elemento de interés es mayor o igual a 3 veces el límite de detección de la técnica analítica que se utiliza, para nuestro caso, la fluorescencia de rayos X.

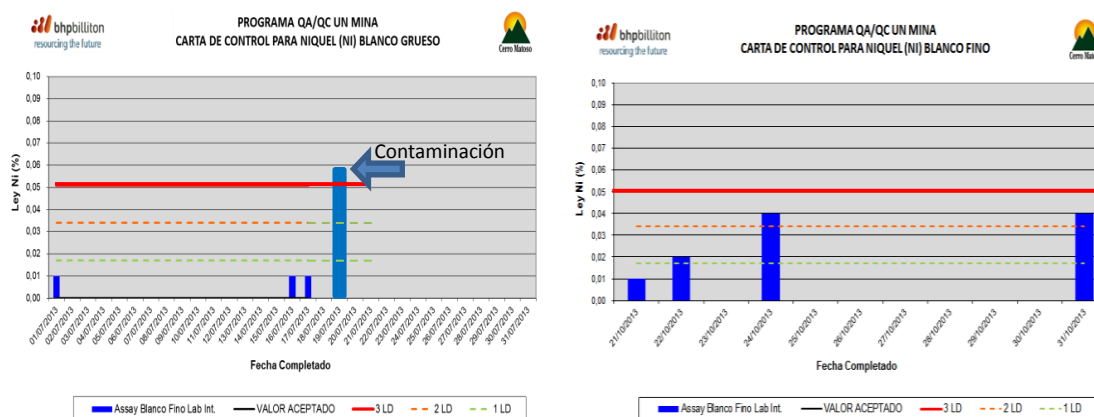


Figura 54. Evaluación de contaminación de los Blancos. Se considera contaminada una muestra cuando la ley del analito se encuentra 3 veces por encima del límite de detección de la técnica utilizada. Las gráficas han sido modificadas por políticas de privacidad de la empresa y para efectos didácticos.

Para todas las muestras duplicados el procedimiento a seguir es el mismo una vez que han sido discriminadas por método de perforación, básicamente el análisis

para las muestras duplicados consiste en encontrar es el error relativo medio, conocer la tendencia de las diferencias relativas entre las muestras originales y sus duplicados, identificar y analizar los outliers y, en definitiva, aceptar o rechazar los análisis, es decir, decidir si son confiables o no, lo cual constituye el objetivo mayor del programa de aseguramiento y control de calidad.

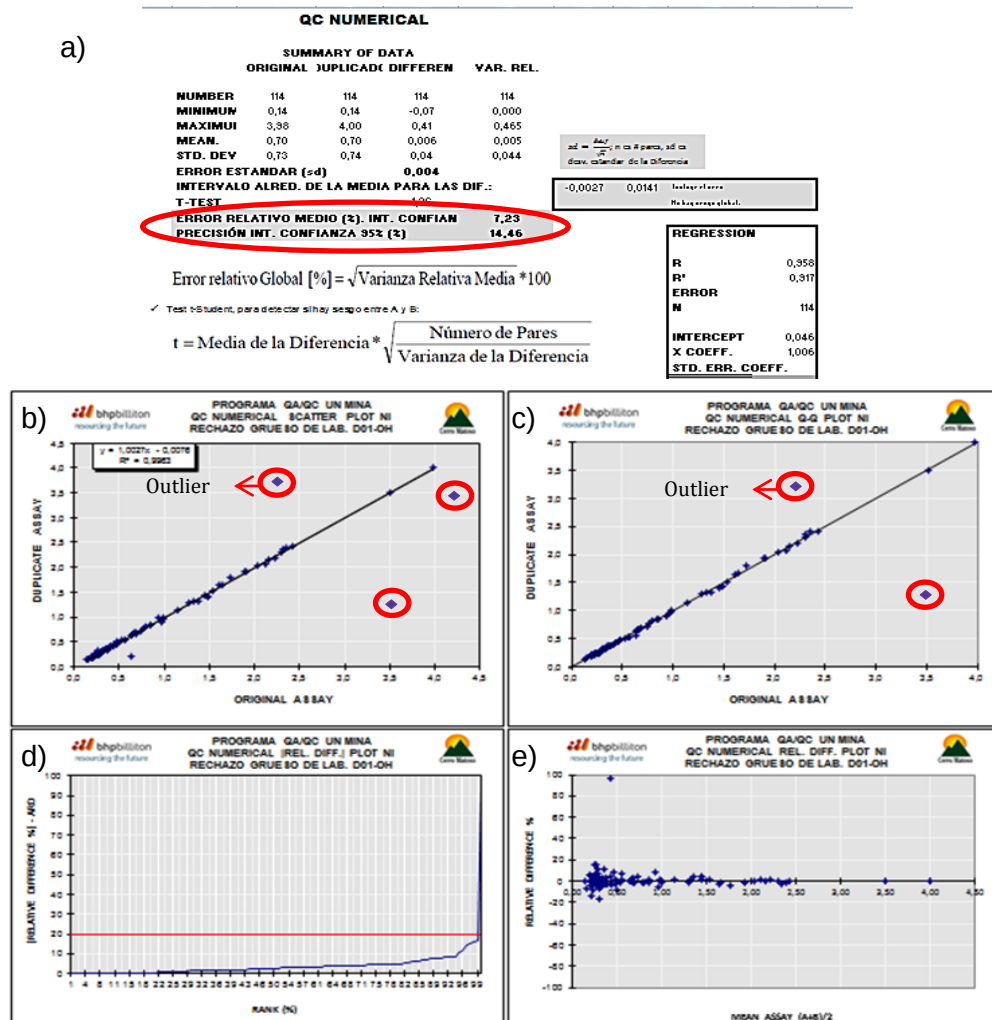


Figura 55 análisis de los resultados para muestras duplicados. a) cálculo del error relativo medio y la precisión. b y c) ley de las muestras originales contra sus duplicados, idealmente la pendiente de la tendencia debe ser 1. Se identifican “outliers” fácilmente. d) porcentaje de datos con diferencia relativa menor al límite permisible (línea roja). e) Tendencia de las diferencias relativas a ser ligeramente más altas para leyes menores. Las gráficas han sido modificadas por políticas de privacidad de la empresa y para efectos didácticos.

Como se mencionó anteriormente los materiales de referencia certificados, miden la exactitud analítica mediante la comparación de los análisis químicos del laboratorio para ciertos materiales de especificación química y desviación estándar conocida y además certificada, esto permite obtener el sesgo o “Bias” del laboratorio. Para nuestro objetivo del QAQC la idea es evidenciar qué tan acertados son nuestros análisis respecto al valor que consideramos como real. Lo ideal es que los valores de oscilen cerca del valor certificado dentro del rango de 3 desviaciones estándar. Si todos los valores están por encima o todos por debajo del valor certificado, entonces el laboratorio sobreestima o subestima la ley respectivamente; Esto puede deberse a errores sistemáticos o equipos mal calibrados.

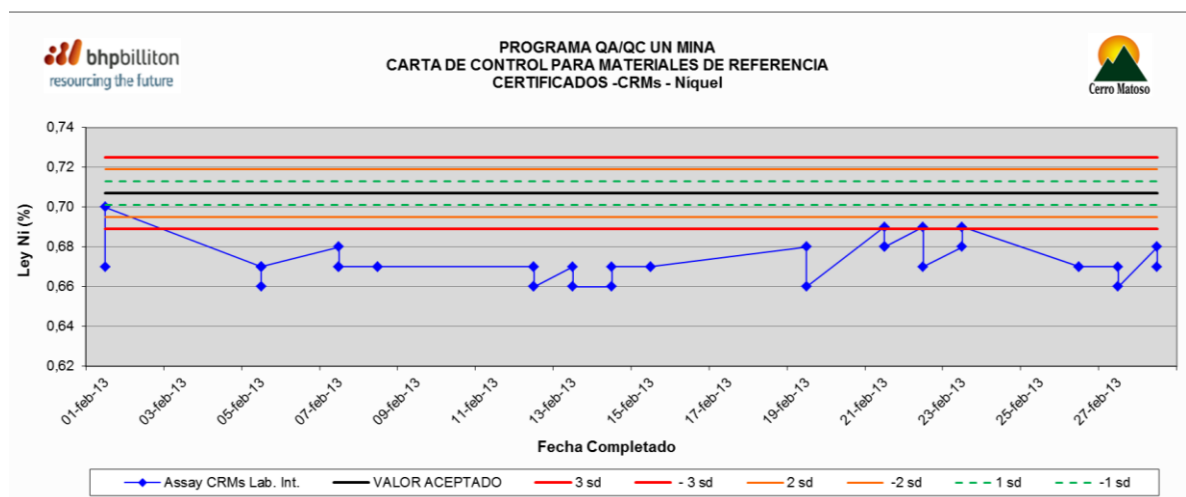


Figura 56. Resultados de análisis para CRM ilustrando un sesgo negativo de aproximadamente 0,04 %. El caso ideal es donde los datos oscilen cerca de la línea negra. Las gráficas han sido modificadas por políticas de privacidad de la empresa y para efectos didácticos.

Además de estas gráficas, un informe de QAQC se complementa con otras estadísticas y otras gráficas que ayudan también a evaluar el desempeño del programa respecto a los meses anteriores, por ejemplo, incluye información sobre la cantidad de muestras de control planeadas contra las que ingresaron al laboratorio, un histórico de los errores relativos para RC y para OH según etapas de muestreo, preparación y análisis, Bias inter-laboratorios, etc. El informe incluye

comentarios, observaciones y acciones que se deben tener en cuenta para el siguiente periodo de evaluación reforzando el “aseguramiento”.

6.4 SISTEMATIZACIÓN DEL PROGRAMA QAQC

Usualmente el Control de Calidad demanda mucho tiempo y sus resultados evidencian y cuantifican errores que ya fueron cometidos durante los diferentes procesos; Lo ideal, es concentrar los esfuerzos en el Aseguramiento (QA), que es lo que garantiza la ejecución de “buenas prácticas” durante los procesos y que se manifiesta en errores relativos más bajos y, por lo tanto, mayor calidad y confiabilidad para los datos obtenidos. La sistematización del programa QAQC surge de la necesidad de disminuir la transcripción manual de datos para mejorar la eficiencia y efectividad del programa; permitiendo al geólogo invertir más tiempo en el aseguramiento de la calidad que en los procedimientos rutinarios de Control de la misma (QC).

Este proyecto se desarrolló en colaboración con Geología Mina, Laboratorio CMSA, e Informática (IT) para que el proceso sea integral y amigable con la operación interna del laboratorio.

6.4.1 Beneficios.

- Disponibilidad de la información asociada a las muestras que hacen parte del programa de control y aseguramiento de la calidad.
- Asegurar confiabilidad (disminuir los errores) de la información asociada a las muestras que hacen parte del programa de control y aseguramiento de la calidad (QA/QC)

- Analizar y tomar de decisiones encaminadas a la mejora continua en el sistema de medición de ley, evitando el registro de información entre diferentes formatos manuales y en bases de datos Access donde actualmente se mantiene esta información.
- Facilidad en la consulta de la información, permitiendo enfocar las actividades y el tiempo del personal de Mina en el análisis de los datos
- Disponibilidad de la aplicación mediante el soporte y mantenimiento de la infraestructura administrada por CMSA IM.

6.4.2 Alcance.

El alcance del aplicativo se describe en las siguientes funcionalidades:

- Reportes que incluyan la información asociada a las muestras del programa de Control y Aseguramiento de la Calidad.
- Duplicados de campo.
- Duplicados de campo (rechazo grueso.)
- Duplicados de campo (rechazo fino.)
- Blancos gruesos.
- Blancos finos.
- Material de referencia.
- Re-análisis (pulverizado.)

6.4.3 Proceso Actual Vs Proceso sistematizado.

Proceso actual:

- Creación masiva de etiquetas a partir de macro en Excel.
- Para las muestras de QA/QC se utilizan coordenadas especiales con el fin de identificarlas. (Ej. Coordenada x, y, z =1, 1,1.)
- Registro en formato físico de cuáles IDLims corresponden a muestras QA/QC.
- Transcribir del formato físico a base de datos Access.
- Toma de muestra QA/QC en campo.
- Recepción y validación por parte del laboratorio
- Descarga de información desde XMII.
- Ejecución de Macro que cruza datos de la base de datos Access con lo descargado desde XMII.
- Discriminación de datos por método de perforación
- Generación de informes QA QC.

Proceso sistematizado:

- Creación masiva de etiquetas a partir de macro en Excel.
- Para las muestras se utilizan coordenadas especiales para cada tipo (Blanco fino, blanco grueso, etc.) con el fin de identificarlas y cruzarlas en los reportes. (Ej. Coordenadas blanco fino x, y, z = 2,2,2; blanco grueso x,y,z: 3,3,3)
- Toma de muestra QA/QC en campo.
- Recepción y validación por parte del laboratorio
- Consulta de reportes por cada tipo de QA/QC definido (blanco fino, blanco grueso, CRM, duplicado de campo, etc.).
- Discriminación de datos por método de perforación.
- Generación de informes QA QC.

6.4.4 Trazabilidad de las muestras de control.

La sistematización del programa tuvo que enfrentarse a varios retos, el primero de ellos fue eliminar la transcripción manual de los ID de la muestras de control a los formatos y a la base de datos, esto implicó idear una forma de poder identificar estas muestras dentro de la totalidad que existe en el sistema, de manera que sus resultados químicos pudieran consultarse fácilmente cuando se requieran; La solución a este desafío consistió en identificar las muestras de control (excepto los duplicados y los pulverizados para reanálisis) mediante unas coordenadas predefinidas que quedan cargadas en el sistema desde el mismo momento en que se generan las etiquetas correspondientes, por ejemplo, todas los ID de muestras de Blancos Finos tienen coordenadas $x, y, z = 1,1,1$ cargadas en el sistema; las de Blancos Gruesos, $2,2,2$, etc. Para los duplicados (de campo, rechazo grueso y fino), el método es ligeramente distinto, ya que todos estos comparten la coordenada de la muestra original, por lo cual el sistema “busca” los grupos de muestras con coordenadas iguales y las clasifica según el consecutivo de sus ID (Figura 57).

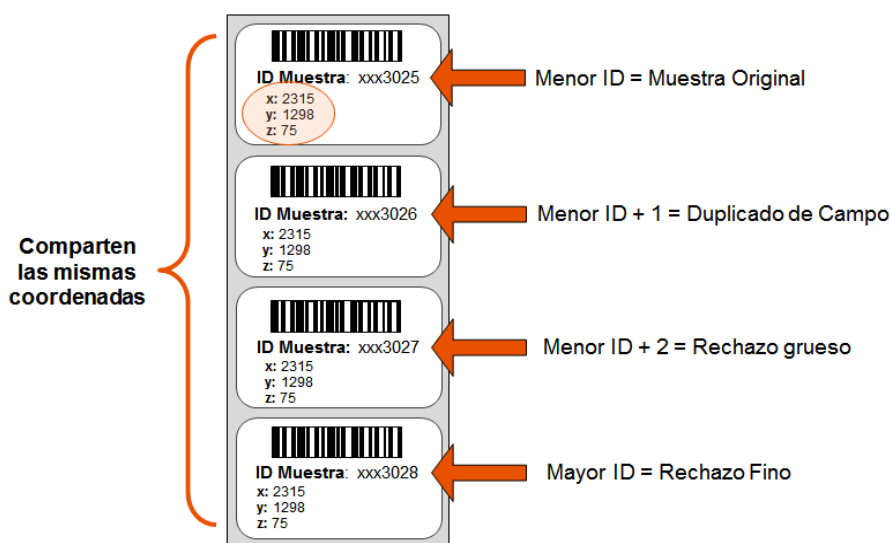


Figura 57. Códigos de las muestras duplicados. El sistema identifica muestras con las mismas coordenadas y las clasifica según su ID.

De esta manera, al generar las etiquetas, quedan cargadas en el sistema los ID con sus respectivas coordenadas que los identifican como muestras del programa QAQC.

6.4.5 Trazabilidad de los reanálisis de pulverizados.

La trazabilidad de las muestras para reanálisis fue la más difícil de solucionar, puesto que se necesita relacionar el ID original de la muestra con el ID de la nueva etiqueta con la que se va a reanalizar, sin embargo, es imposible saber con antelación cuáles son las muestras que se van a “reinsertar” al proceso, por lo que no es posible generar un rollo de etiquetas y cargar la información al sistema previamente, como se hace con las otras muestras de control.

Figura 58. Ventana de registro de muestras. Se inserta con un lector de códigos de barra el ID original de la muestra en el campo “Banco”, los demás campos se llenan en orden descendente con las letras q, w, e, r, t. Se presiona “Registrar” para que el sistema genere los nuevos ID.

La solución planteada consiste en registrar en el sistema, diariamente, las muestras que se van a “reinsertar” y generar sus respectivas etiquetas con el

nuevo ID, de esta forma, se logra que en el sistema ya queden relacionados el ID original de la muestra con el nuevo ID generado. Para minimizar los errores de digitación, se hace uso de un lector de códigos de barra para insertar el ID original de la muestra en el campo “Banco” de la ventana de registro y se llenan los demás campos con las letras “q” “w” “r” “t” por ser las primeras letras del teclado (Figura 58).

La gran ventaja de este nuevo procedimiento es, además de evitar los registros físicos a mano y la transcripción a la base de datos, que minimiza mucho los errores durante el re-etiquetado, ya que en la nueva etiqueta se puede leer el ID nuevo y el ID original, por ende, existe una muy baja probabilidad de asignar a una muestra una etiqueta equivocada; Esto sucedía muy a menudo, antes de esta implementación.

De esta manera, queda cubierta la trazabilidad informática de todas las muestras de control del programa QAQC de mina, lo cual ha aportado grandes beneficios al desarrollo y desempeño del programa; Reduciendo la cantidad de pasos y manipulación de los datos (Figura 60) y aumentando la confiabilidad de los resultados.

6.4.6 Validación de la plataforma de consultas.

Las consultas de los resultados químicos se realizan en una plataforma diseñada por el equipo de Informática de CMSA. En esta plataforma se pueden consultar los resultados de los análisis químicos de las diferentes muestras de control para un periodo de tiempo determinado por el usuario, estos datos descargados directamente de la plataforma tienen un grado de confiabilidad mayor, ya que no dependen de la información de una base de datos transcrita de forma manual, como se hacía anteriormente; sino que obtiene la información directamente del sistema que tiene cargada toda la información (excepto la química) desde el momento mismo en que generó las etiquetas de las muestras de control. Además,

esta plataforma de consulta permite ahorrar mucho tiempo durante la generación de los informes mensuales del QAQC.

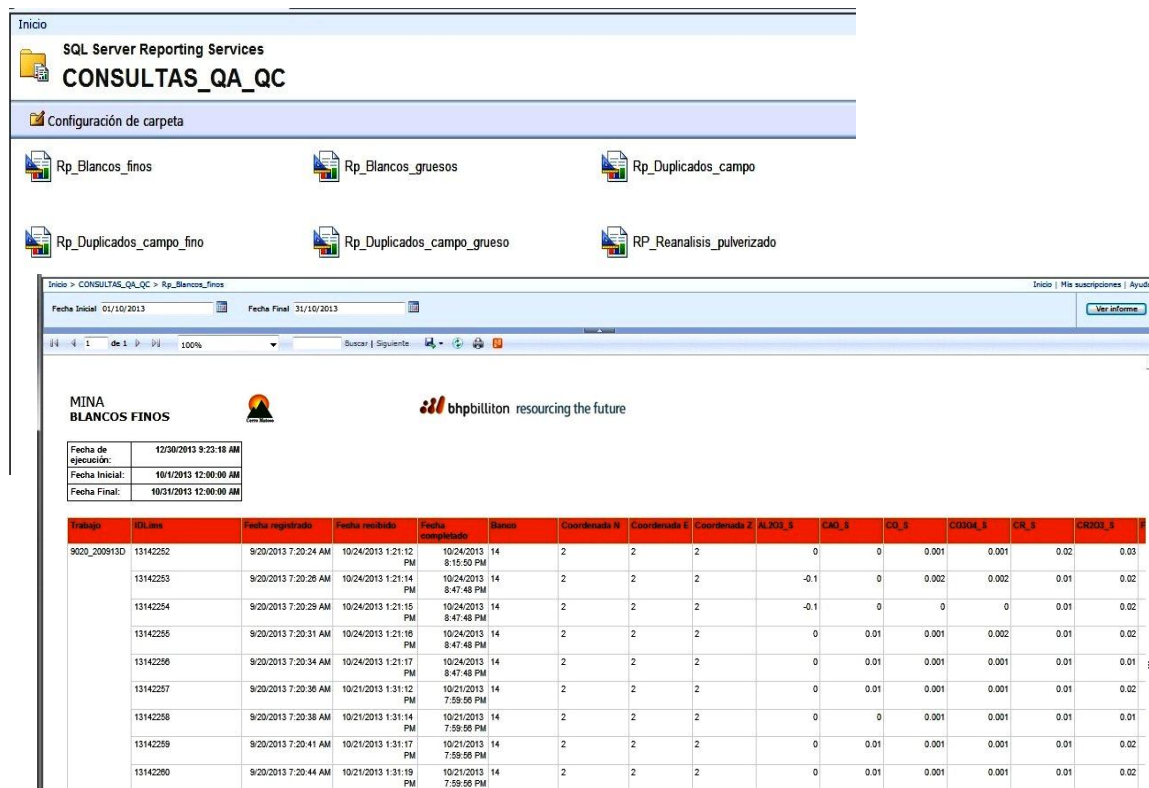


Figura 59. Plataforma de consultas para el programa QAQC de la mina. Para ejemplo, se muestra una consulta de Blancos Finos para el mes de Octubre.

La validación de esta plataforma de consultas, aún está en proceso, hemos podido comprobar que funciona muy bien para todas las muestras de control, excepto los reanálisis de pulverizados que aún está en evaluación. Básicamente, la validación se realiza comparando las consultas realizadas mes a mes con los registros físicos llevados a mano, también se compara el error calculado para los informes mensuales del último semestre mediante el método anterior, y el mismo error pero calculado con los resultados de la consulta hecha en la plataforma nueva; se ha podido comprobar que para esta última se encuentran menores cantidades de “outliers”.

6.4.7 Discriminación de muestras OH y RC.

Una vez afrontado el tema de la trazabilidad de las muestras de control, el proyecto de sistematización se encuentra con su mayor desafío: La trazabilidad de las muestras duplicado discriminadas por método de perforación. Actualmente esta discriminación se hace manualmente en formatos físicos cuando las muestras se recepcionan en el laboratorio: el operador anota los ID de las muestras que recibe en un formato especial para OH y en otro para RC, luego, esto es transcrito (también a mano) a una tabla de Excel; con esta tabla, el geólogo de QAQC clasifica las muestras que incluye en su informe mensual. Este proceso es extremadamente tedioso para el personal del laboratorio y, por supuesto, es muy susceptible a errores de digitación bastante graves, los cuales se reflejan, obviamente, en el cálculo del error que hace el geólogo en su reporte.

La sistematización de este paso, es clave para el QAQC de la mina, sin embargo, recae más dentro de la responsabilidad del personal del laboratorio y de su disciplina operativa; Aun así, consideramos la posibilidad de hacer frente al problema de la discriminación de muestras *desde* la mina, ya sea antes o durante el muestreo.

✓ Antes del muestreo:

En muchos casos, la mina se ve obligada a hacer muestreos en perforaciones para voladura tipo OH pese al pleno conocimiento de todas las fuentes de error que esto aporta (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Con esta osibilidad, no se puede tener certeza sobre el método de perforación que se usará para los muestreos, puesto que, a pesar de la planeación, la dinámica de la actividad minera suele ser muy cambiante y puede ocurrir que se deba muestrear con OH. Si llega a darse el caso, y suponemos que las etiquetas ya han sido generadas indicando cierto tipo de perforación, no podrán modificarse para asignarle otro método, por lo que tendría que generarse un nuevo lote de etiquetas y volver a cargar al sistema la información. Esto no es conveniente ni para el

presupuesto de la mina, ni para la sostenibilidad del sistema, ni para el medio ambiente.

✓ **Durante el muestreo:**

Durante el muestreo no hay posibilidad de ingresar ninguna información directamente en el sistema; El personal podría diligenciar formatos parecidos a los del laboratorio, pero eso no solucionaría el problema de eliminar la manipulación de datos, por el contrario, habría más posibilidades de error. Además, cualquier modificación de los procedimientos de muestreo implicaría reentrenamiento del personal, lo cual no es recomendable para el objetivo.

Esto nos deja en el punto inicial: la clasificación debe hacerse en el laboratorio, en el momento de recepcionar las muestras (ya que aún son clasificables visualmente). La propuesta que se está desarrollando, es la creación de etiquetas “hijas” una para OH y otra para RC, que serían asignadas a las muestras en el momento de su llegada al laboratorio, y que mediante un lector de códigos de barras, ingresarían al sistema un nuevo “campo” con la clasificación de la muestra (OH o RC), de esta manera se evitaría el registro manual en formatos y el aporte de errores de digitación y transcripción y, además, facilitaría el procedimiento de generación de informes y reportes tanto del laboratorio como de la mina. Esta es una propuesta en desarrollo y aún no se ha iniciado la práctica de este procedimiento; confiamos en que esta propuesta sea la solución definitiva para completar el proceso de sistematización del programa QAQC.

6.4.8 Conclusión.

Podemos concluir que hemos hecho importantes logros en la implementación del programa de Aseguramiento y Control de calidad de la mina, aún con los desafíos que nos quedan y los nuevos que pueden presentarse, sabemos que estaremos preparados y dispuestos a afrontarlos en vista de obtener datos y estadísticas más

confiables para mejorar planeación y desempeño de nuestra labor minera, tomar decisiones correctas e ir de la mano con los estándares internacionales y de BHP Billiton.

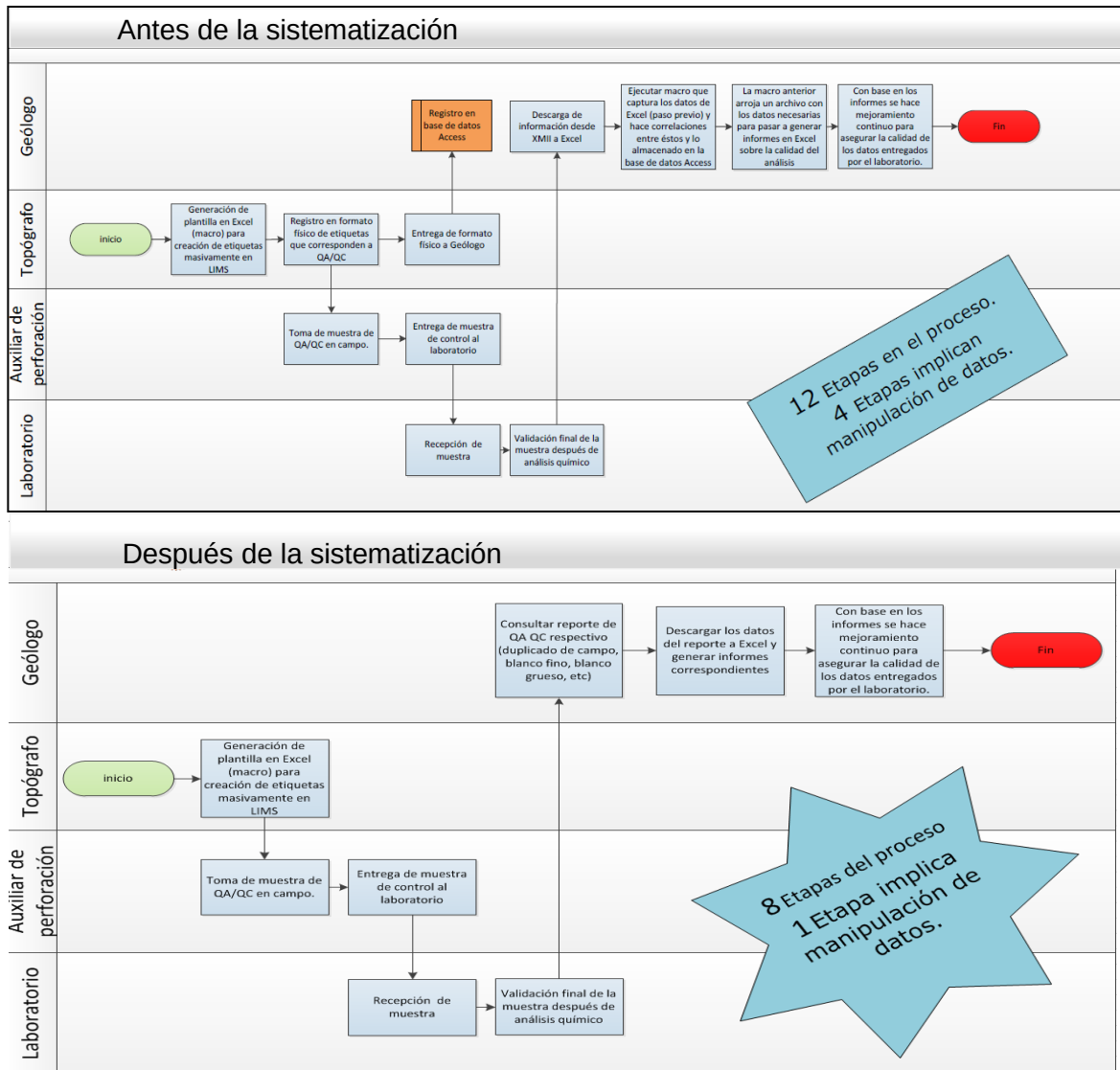


Figura 60. Comparación de los procesos de manejo de datos antes y después de la sistematización. Se reducen significativamente las etapas con manipulación de datos. (BHP BILLITON. Cerro Matoso S.A, 2013)

6.5 ACTIVIDADES AUXILIARES.

6.5.1 Validación de la carga media transportada para camiones CAT 777 y CAT 773.

Esta actividad tuvo como objetivo hacer una comparación entre la carga media transportada por los camiones de la mina y su capacidad nominal, comprobar las variaciones del tonelaje según los diferentes materiales y la exactitud del sistema de payload de algunos de los equipos.

✓ Metodología.

Lo primero a realizar es coordinar con geología, el supervisor de la operación y la base de control la realización de la prueba de pesaje. La idea es que desde un frente de cargue, acordado previamente con los geólogos, se envíen constantemente camiones cargados de material directamente al “grizzly” de la trituradora del Area100. El objetivo es poder registrar el peso total del material triturado solamente proveniente del frente de cargue acordado y de los camiones que se enviaron desde allí. Desde el cuarto de control de la trituradora, registrar en un formato, el número de viajes descargados, el peso total que indica el pesómetro de la trituradora y lo que indica el sistema de payload de cada camión (en caso de que lo tengan).

Es importante asegurar que la totalidad del material proviene del mismo frente de cargue, que no se alimente a la trituradora con algún material adicional y que los camiones usados para la prueba sean todos del mismo tonelaje nominal; para esto, debemos asegurar que la descarga de material de los camiones sea constante para que la trituradora no se quede sin alimentación y no ocasione problemas con el rendimiento y el ritmo de producción del grupo del A100.

Finalmente, después de la prueba, con el peso total del material triturado y la cantidad de viajes descargados, se calcula el valor de la carga media transportada por camión y se calcula un factor de ajuste respecto a la carga nominal del camión (indicada en el manual del equipo) y el valor reportado por su payload (si lo tiene). Según el desarrollo de la prueba, pueden obtenerse datos adicionales importantes, como por ejemplo, en algunas ocasiones, es posible calcular exactamente la cantidad de material de una o dos descargas; Al final, es posible ilustrar los resultados en gráficas según la cantidad de datos de los que se disponga (Figura 61)

Se realizaron 6 pruebas, 3 para camiones CAT 777 cuyo tonelaje nominal es de 85,4 Tons y las otras 3 para camiones CAT 773 con tonelaje nominal de 53 tons.

6.5.2 Conclusiones.

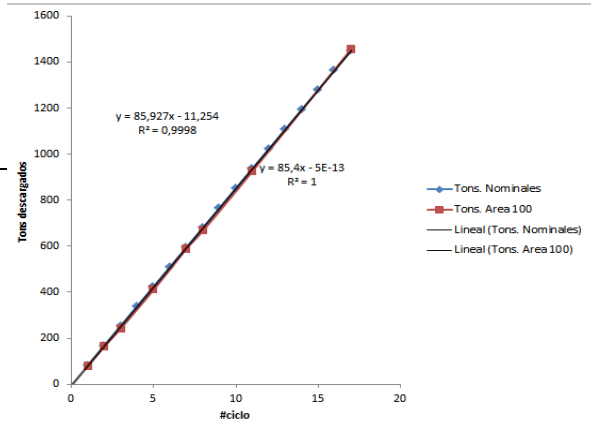
- Los resultados obtenidos fueron muy variables, se observó que la carga promedio transportada es muy diferente de un material a otro y de un camión a otro.
- Se consideró necesario realizar muchas más pruebas por tipo de material y por tipo de camión para que los resultados fueran concluyentes.
- Las pruebas tuvieron inconvenientes ya que no eran amigables con el ritmo de la operación de la trituradora y ocasionaron inconformidades. En una ocasión, tuvo que alimentarse la trituradora con material del patio y por ende, reiniciar la prueba.
- Se decidió hacer un estudio exhaustivo de las densidades de los materiales y abarcar el análisis del movimiento de toneladas desde otra perspectiva.

Formato para validación de la carga media transportada.

Fecha:	16/07/2013	Flota:	CAT 777	Carga:	media por	Ajuste:	0,43
Frente de cargue:	105,2	Total triturado A100	1458	media por	camion		
Material	40	Total reportado Modular	1451,8				

Estudio por tonelaje Acumulado

# CICLO	#CAMION	Hora descargue	Tons. A100	Tons. Nominales	Observaciones
1	5	09:20:00 a.m.	82	85,4	
2	4	09:26:00 a.m.	166	170,8	
3	5	09:37:00 a.m.	244	256,2	
4	4	09:43:00 a.m.		341,6	
5	1	09:47:00 a.m.	413	427	
6	5	09:55:00 a.m.		512,4	
7	4	10:00:00 a.m.	591	597,8	
8	1	10:07:00 a.m.	669	683,2	
9	5	10:14:00 a.m.		768,6	
10	4	10:17:00 a.m.		854	
11	1	10:24:00 a.m.	927	939,4	
12	4	10:33:00 a.m.		1024,8	
13	1	10:42:00 a.m.		1110,2	
14	5	10:44:00 a.m.		1195,6	
15	4	10:51:00 a.m.		1281	
16	3	10:57:00 a.m.		1366,4	
17	1	11:00:00 a.m.	1458	1451,8	



Estudio por tonelaje individual

# CICLO	#CAMION	Hora descargue	Tons. Acumuladas A100	Tons. estimadas* ciclo	Tons. nominales * ciclo
1	5	09:20:00 a.m.	82	82	85,4
2	4	09:26:00 a.m.	166	84	85,4
3	5	09:37:00 a.m.	244	78	85,4
4	4	09:43:00 a.m.		84,5	85,4
5	1	09:47:00 a.m.	413	84,5	85,4
6	5	09:55:00 a.m.		89	85,4
7	4	10:00:00 a.m.	591	89	85,4
8	1	10:07:00 a.m.	669	78	85,4
9	5	10:14:00 a.m.		86	85,4
10	4	10:17:00 a.m.		86	85,4
11	1	10:24:00 a.m.	927	86	85,4
12	4	10:33:00 a.m.		88,5	85,4
13	1	10:42:00 a.m.		88,5	85,4
14	5	10:44:00 a.m.		88,5	85,4
15	4	10:51:00 a.m.		88,5	85,4
16	3	10:57:00 a.m.		88,5	85,4
17	1	11:00:00 a.m.	1458	88,5	85,4
			Promedio	85,8	

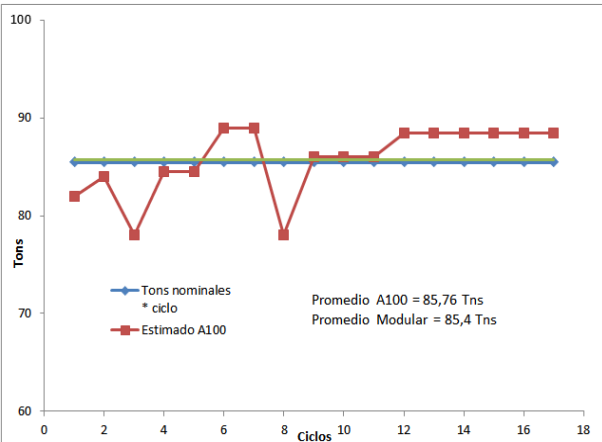


Figura 61. Ejemplo de análisis de resultados de las pruebas de validación del factor de cargue de un camión CAT 777. Se observa que en general el factor de ajuste es mínimo, pero en el análisis de tonelaje individual se manifiestan valores muy por debajo del valor nominal y al menos la mitad de los ciclos medidos se encuentran

7 RESULTADOS DEL PROGRAMA DE PRÁCTICAS.

7.1 AVANCE DE ACTIVIDADES MES A MES.

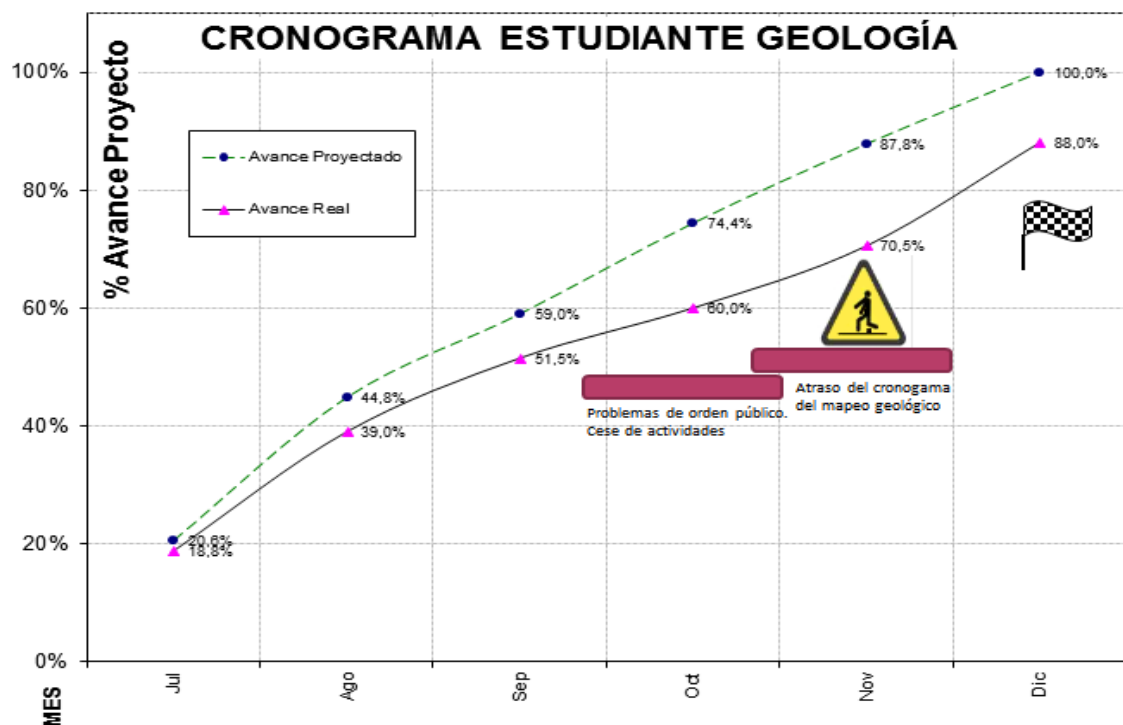


Figura 62. Curva “S” ilustra el progreso del desarrollo de actividades de la práctica mes a mes respecto a lo planeado, las mayores desviaciones ocurren en Octubre y Noviembre.

7.2 DETALLE DEL AVANCE MES A MES.

Al final del periodo de prácticas, quedan 3 actividades pendientes por completar pero ya en estado muy avanzado; Respecto a la sistematización del programa QAQC, el 5% restante, corresponde al proceso de discriminación de muestras por método de perforación (OH o RC) al momento de llegar al laboratorio, la propuesta de solución a este paso está siendo evaluada por el equipo de informática para ser llevada a cabo y probar su eficacia.

Respecto a la integración del mapeo geológico al MCL, aún queda un 20% por realizar, esto abarca el gran reto de incorporar los volúmenes geológicos, ya estructurados, al modelo de bloques de tal manera que sea un “input” que se pueda tener en cuenta para mejorar la estimación del modelo de control de ley, sin embargo, esta etapa del proceso va más allá del alcance del programa de prácticas y recae principalmente en las manos del especialista en modelamiento de la mina.

El artículo técnico del programa QAQC va en un 60%, queda pendiente documentarse acerca del proceso de su implementación en la unidad y qué beneficios notorios ha traído desde su aplicación.

AVANCE REAL POR MES

ITEM	ACTIVIDAD	PESO PORCENTAJE DEL TOTAL (%)	% EJECUTADO A Jul-13	% EJECUTADO A Ago-13	% EJECUTADO A Sep-13	% EJECUTADO A Oct-13	% EJECUTADO A Nov-13	% EJECUTADO A Dic-13	Acumulado Por Actividad	TOTAL POR ACTIVIDAD
1	Soporte Programa QAQC	25,0%	17%	17%	17%	17%	17%	15%	100,0%	25,0%
2	Go Live Sistematización Programa QAQC	20,0%	60%	5%	5%	5%	10%	10%	95,0%	19,0%
3	Validación Pay Loads	15,0%	17%	83%					100,0%	15,0%
6	Desarrollar mapeo geológico e integrarlo en MCL	25,0%		10%	20%	10%	5%	35%	80,0%	20,0%
7	Escribir artículo técnico sobre Programa de QAQC de U.N Mina	15,0%		0%	15%	5%	20%	20%	60,0%	9,0%
8	0	0,0%							0,0%	0,0%
9	0	0,0%							0,0%	0,0%
10	0	0,0%							0,0%	0,0%
11	0	0,0%							0,0%	0,0%
12	0	0,0%							0,0%	0,0%
Total		100,0%	18,8%	20,2%	12,5%	8,5%	10,5%	17,5%		88,0%
ACUMULADO TOTAL			18,8%	39,0%	51,5%	60,0%	70,5%	88,0%		

Tabla 5. Avance mensual detallado por actividad, nótese que las actividades 2, 4 y 7 no fueron completadas en su totalidad.

7.3 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.

- Las responsabilidades del departamento de geología de la Mina abarcan un amplio rango de actividades que son la base de la cadena productiva del negocio y por lo tanto su importancia es innegable, por esta razón los geólogos debemos lidiar día a día con decisiones determinantes para el desempeño general de la operación; Para cumplir con estas exigencias, debemos garantizar que la información en la que basamos nuestras

decisiones sea precisa y exacta y aun así, debemos ser capaces de prever cualquier desviación inesperada en los resultados de nuestros planes; Para estar siempre preparados para contrarrestar estas eventualidades los geólogos tenemos la obligación de conocer la naturaleza del yacimiento en el que trabajamos y los materiales que constantemente extraemos de él, para esto estamos siempre ideando formas de ampliar nuestros conocimientos y proponer nuevos métodos que faciliten nuestra ardua tarea en beneficio del proceso económico y productivo del cual hacemos parte.

- ✚ En respuesta a lo anterior, el programa QAQC es una herramienta vital para medir el desempeño de los equipos de muestreo y análisis y proporcionar una medida cuantitativa de la confiabilidad de los datos, en términos de exactitud y precisión, además, su misión principal es identificar y prevenir la propagación de errores que puedan afectar los resultados en los cuales basamos las decisiones cotidianas del equipo.
- ✚ El proyecto de sistematización de los procedimientos del programa QAQC es una respuesta a la necesidad constante de avanzar y perfeccionar una rutina que es sensible a muchos errores de manipulación, por esto, se recurre a la tecnología para mejorar la confiabilidad de los datos del programa QAQC y disminuir el tiempo invertido en transcripciones.
- ✚ El mapeo geológico de bancos y su modelamiento 3D en software especializados de minería puede llegar a ser una poderosa herramienta para mejorar la estimación de las leyes de níquel en el modelo de control de ley (MCL) y además, puede servir como material de apoyo al equipo de geología de pit al momento de seleccionar y decidir el destino de los materiales extraídos en un frente de explotación activo, esto puede marcar la diferencia para evitar pérdidas por minería (enviar mineral al botadero, o estéril a proceso)
- ✚ La información extraída del mapeo geológico también puede ayudar a soportar la planeación a corto y mediano plazo; el diseño geotécnico e hidrogeológico del pit y al equipo de perforación y voladura.
- ✚ La validación de la carga media transportada de los camiones es una actividad que ayuda a estimar con mayor exactitud la cantidad de toneladas movilizadas por el equipo de producción para cierto periodo de tiempo, lo cual mejora los cálculos de los indicadores de desempeño. Esta actividad

también ayuda a identificar situaciones de sobrecarga de camiones, lo cual tiene consecuencias en la integridad física de los equipos y las vías de circulación; esto se traduce en un incremento del uso de equipos de mantenimiento y soporte.

- ✚ Uno de los grandes desafíos de la operación de la mina consiste en evitar el muestreo de bancos usando perforadoras de tipo Open Hole, para lo que ya está demostrado que estas perforaciones solo son útiles para actividades de voladura, sin embargo, muchos de los muestreos actualmente se realizan mediante este método por la falta de disponibilidad de las perforadoras tipo Reverse Circulation; lo anterior plantea la disyuntiva entre adquirir nuevos equipos de perforaciones RC, ampliar la malla de perforación para disminuir la cantidad de muestras adquiridas o llevar un estricto control de la planeación de las actividades de perforaciones para voladuras y de los muestreos geológicos, aunque esto no garantiza el cumplimiento de las metas de producción.

BIBLIOGRAFÍA.

- Alfaro Sironvalle, M. A. (2002). Introducción al muestreo minero. Santiago, Chile.
- Atlas Copco. (s.f.). An introduction to Reverse Circulation drilling. En J. Jönsson, *Exploration Drilling* (págs. 24 - 29).
- BHP Billiton. (2008). QA/QC for sampling and analysis toolkit. Australia.
- BHP BILLITON. Cerro Matoso S.A. (Octubre de 2013). Sistema para la generación de datos del modelo QA/QC en Mina.
- Caballero Aguirre, E. S. (2012). *Predicción multivariable de recursos recuperables*. Santiago de Chile.
- Carrasco, P. (2008). Some key facts and concepts in the evolution of sampling and assaying practices at Codelco. *Sampling Conference*. Perth.
- Carrasco, P., & Jara, E. (2003). The economic impact of correct sampling and analysis practices in the copper mining industry. En *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, Elsevier: 50 Years of Pierre Gy's Theory of Sampling* (págs. 209-231).
- Cediel, F., Shaw, R. P., & Cáceres, C. (2003). Tectonic assembly of the northern andean block. En C. Bartolini, R. Buffler, & J. Blickwede, *The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation, plate tectonics: AAPG Memoir 79* (pág. 823).
- Cerro Matoso S.A. (2005). Inducción Proceso: Producción de Ferroníquel. Montelíbano, Colombia.
- Cerro Matoso S.A. (2013). *Reporte de sostenibilidad Cerro Matoso FY2012*. Montelíbano.
- Cerro Matoso S.A; Buelvas, Carlos;. (2001). Geología de Cerro Matoso. Montelíbano, Colombia.
- Durango, & Mejía. (1981).
- Marjoribanks, R. (2010). Mine Mapping. En R. Marjoribanks, *Geological Methods in Mineral Exploration and Mining* (págs. 51 - 61).
- Minnitt, R. (July de 2007). Sampling: the impact on costs and decision making. *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 107.

- Pitard, F. F. (2008). BLASTHOLE SAMPLING FOR GRADE CONTROL – THE MANY PROBLEMS AND SOLUTIONS. *Sampling Conference*, (págs. 16 - 21). Perth.
- Simon, A., & Greg, G. (2008). Considerations on Quality Assurance/Quality Control and sample security. *Sampling Conference*, (págs. 135 - 140). Perth.
- Sinclair, A., & Blackwell, G. (2004). *Applied Mineral Inventory Estimation*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Viloria de la Hoz, J. (2009). El ferroníquel de Cerro Matoso: Aspectos económicos de Montelíbano y el Alto San Jorge. (B. d.-S. Cartagena, Ed.) *Documentos de trabajo sobre economía regional*.(117).