

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS

**RECONCILIACIÓN DE POLÍGONOS DE MINADO PARA OPTIMIZAR
LA EXTRACCIÓN DE MINERAL, MINA CONSTANCIA.
CHUMBIVILCAS-CUSCO 2024**

PRESENTADO POR:

BR. DENNYS MICHAEL GOMEZ SALAZAR
BR. CINDY CAROLINE SILVA PAUCAR

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO GEÓLOGO**

ASESOR:

Mg. MAURO ALBERTO ZEGARRA CARREÓN

CUSCO – PERÚ

2026



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el Asesor MAURO ALBERTO ZEGARRA CARREÓN
..... quien aplica el software de detección de similitud al
trabajo de investigación/tesis titulada: RECONCILIACIÓN DE POLÍGONOS DE MINADO
PARA OPTIMIZAR LA EXTRACCIÓN DE MINERAL, MINA CONSTANCIA,
CHUMBIVILCAS - CUSCO 2024

Presentado por: DENNY S. MICHAEL GÓNEZ SALAZAR..... DNI N° 70170006.....;
presentado por: CINDY CAROLINE SILYA PAUCAR..... DNI N°: 72950406.....
Para optar el título Profesional/Grado Académico de INGENIERO GEÓLOGO.....

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 03 veces, mediante el Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de Similitud en la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 6%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

| Porcentaje | Evaluación y Acciones | Marque con una (X) |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Del 1 al 10% | No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud. | X |
| Del 11 al 30 % | Devolver al usuario para las subsanaciones. | - |
| Mayor a 31% | El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley. | - |

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 13 de ABRIL de 2026


.....
Firma

Post firma MAURO ALBERTO ZEGARRA CARREÓN

Nro. de DNI 23848124

ORCID del Asesor 0000 - 0003 - 0716 - 3980

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: **oid::27259:578146566**

RECONCILIACIÓN DE POLÍGONOS DE MINADO PARA OPTIMIZAR LA EXTRACCIÓN DE MINERAL, MINA CONSTANC...

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:578146566

Fecha de entrega

13 abr 2026, 4:58 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

13 abr 2026, 5:02 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

RECONCILIACIÓN DE POLÍGONOS DE MINADO PARA OPTIMIZAR LA EXTRACCIÓN DE MINERAL, M....pdf

Tamaño del archivo

14.2 MB

196 páginas

29.279 palabras

179.794 caracteres




6% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 5%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 4%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

Con mucho amor dedico este logro, en primer lugar, a mis padres, Edith Paucar y Antonio Silva, fuente permanente de inspiración y ejemplo vivo de perseverancia y esfuerzo.

A mis hermanas, Liseth y Addana, y a mi hermano Gareth, por su apoyo incondicional en cada etapa de este camino.

A María Paucar, por su fe inquebrantable en mí y por tenderme su mano en los momentos más difíciles.

Y, de manera muy especial, a mi compañero de tesis, Dennys Gomez, por su invaluable colaboración, entusiasmo y compromiso para alcanzar juntos nuestras metas.

Caroline Silva Paucar

Es para mí un honor y una gran satisfacción dedicar este logro, en primer lugar, a mis padres, Emeterio Gomez y Herminia Salazar, por su apoyo incondicional a lo largo de cada paso de mi camino.

A mi hermano Frank, por sus valiosos consejos y por acompañarme con su respaldo constante.

Y a mis tías, Gladys Salazar y Gualy Gomez, cuyo apoyo fundamental ha sido un pilar para mí, desde el inicio de mi vida profesional.

Y especialmente a Caroline, con quien compartí el desafío de este proyecto; su dedicación y entusiasmo hicieron que el camino fuera no solo posible, sino también memorable.

Dennys Gomez Salazar

AGRADECIMIENTOS

Es para nosotros un honor y un deber expresar nuestro más sincero agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la realización de esta tesis.

Nuestro primer y más profundo agradecimiento es para nuestras familias, padres, hermanos y hermanas por su constante compañía, aliento y por su apoyo incondicional a lo largo de toda nuestra formación.

De manera muy especial, dirigimos nuestra gratitud a nuestro asesor, el Ing. Mauro Zegarra Carreón, por su invaluable guía, sus acertados consejos y el sólido respaldo teórico que nos brindó, siendo fundamental en la dirección y conclusión de este proyecto de investigación.

Agradecemos también al Ing. Eddie Mercado Tejada, por su valioso apoyo y la meticulosa revisión de este proyecto, cuyos aportes han enriquecido significativamente su contenido.

Extendemos nuestro agradecimiento a la Ing. María Flores Cuevas, quien, desde su rol en la Mina Constancia, se constituyó en un modelo e inspiración profesional para nosotros.

Finalmente, manifestamos nuestro profundo agradecimiento a la empresa minera Hudbay Perú, por la confianza depositada en nosotros y por brindarnos la oportunidad y los medios para llevar a cabo esta investigación dentro del área de Geología Mina.

RESUMEN

Esta tesis aborda la aplicación de la Reconciliación de polígonos de minado en la mina Constancia, en la provincia de Chumbivilcas dentro de la región Cusco, una operación de tajo abierto de pórfido Cu-Mo, con la finalidad de mejorar y optimizar la extracción de mineral. La investigación se justificó por un sesgo persistente y significativo entre los reportes de leyes y tonelaje de Geología y los valores del sistema Dispatch. Esta discrepancia generaba pérdida de mineral y afectaba la rentabilidad, siendo causada principalmente por la dilución operativa, el desplazamiento de mineral post-voladura y una dirección de minado inadecuada. Metodológicamente, se cuantificó el sesgo y se midió el impacto de los factores operacionales. La solución clave fue la implementación de acciones correctivas centradas en el control de la voladura y la integración de datos. Se utilizó tecnología para corregir la geometría de los polígonos, asegurando que el carguío se dirigiera a la posición real del mineral. Los resultados demostraron una reducción exitosa del sesgo en el segundo semestre, situando la diferencia promedio entre Geología y Dispatch dentro del rango de aceptación de $\pm 5\%$. Se concluyó que el Minado Transversal a la estructura de mineralización es la estrategia óptima, ya que facilita el control visual del contacto mineral-desmante y minimiza la dilución. En síntesis, la reconciliación, con la corrección post-voladura y la optimización de la dirección, es la herramienta esencial para garantizar la alta precisión en la extracción y el cumplimiento de los planes de la Mina Constancia.

Palabras Clave: Reconciliación de minado, Optimización de extracción, Sesgo de leyes, Desplazamiento de mineral, Dirección de minado.

ABSTRACT

This thesis addresses the application of mining polygon Reconciliation at the Constancia mine, in the Chumbivilcas province of the Cusco region. This open-pit Cu-Mo porphyry mine aims to improve and optimize ore extraction. The research was justified by a persistent and significant bias between the grade and tonnage reports from Geology and the values from the Dispatch system. This discrepancy resulted in ore loss and negatively impacted profitability, primarily due to operational dilution, post-blast ore displacement, and inadequate mine direction. Methodologically, the bias was quantified, and the impact of operational factors was measured. The key solution was the implementation of corrective actions focused on blast control and data integration. Technology was used to correct the polygon geometry, ensuring that loading was directed to the actual ore location. The results demonstrated a successful reduction in bias during the second half of the year, placing the average difference between Geology and Dispatch within the acceptable range of $\pm 5\%$. It was concluded that cross-cutting mining is the optimal strategy, as it facilitates visual control of the ore-waste rock contact and minimizes dilution. In summary, reconciliation, with post-blast correction and direction optimization, is the essential tool for ensuring high-precision extraction and adherence to the Constancia Mine's production plans.

Keywords: Mining reconciliation, Extraction optimization, Grade bias, Ore displacement, Mining direction.

ÍNDICE

| | |
|--------------------------------------------------------|------------|
| RESUMEN | ii |
| ABSTRACT | iii |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPÍTULO I. ASPECTOS GENERALES | 3 |
| 1.1. Ubicación y accesibilidad..... | 3 |
| 1.1.1 Ubicación política: | 3 |
| 1.1.2. Ubicación geográfica: | 3 |
| 1.2. Accesibilidad: | 4 |
| CAPÍTULO II. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN | 6 |
| 2.1. Descripción del Problema..... | 6 |
| 2.2. Formulación del Problema..... | 6 |
| 2.2.1. Problema General..... | 6 |
| 2.2.2. Problemas Específicos | 7 |
| 2.3. Objetivos..... | 7 |
| 2.3.1. Objetivo General | 7 |
| 2.3.2. Objetivos Específicos..... | 7 |
| 2.4. Hipótesis | 8 |
| 2.4.1. Hipótesis General..... | 8 |
| 2.4.2. Hipótesis Específicas | 8 |

| | |
|---------------------------------------------------------|-----------|
| 2.5. Identificación de Variables..... | 8 |
| 2.5.1. Variable Independiente | 8 |
| 2.5.2. Variables Dependientes | 8 |
| 2.5.3. Indicador | 9 |
| 2.6. Justificación e Importancia del Problema..... | 9 |
| 2.7. Alcances y Limitaciones..... | 10 |
| 2.7.1. Alcance | 10 |
| 2.7.2. Limitaciones..... | 10 |
| CAPÍTULO III. METODOLOGÍA..... | 11 |
| 3.1. Tipo de Investigación | 11 |
| 3.2. Nivel de la Investigación | 11 |
| 3.3. Método de la Investigación..... | 11 |
| 3.4. Diseño de Investigación..... | 12 |
| 3.5. Técnica de Análisis y Procesamiento de Datos | 12 |
| 3.6. Unidad de Análisis..... | 13 |
| 3.7. Población de Estudio | 13 |
| CAPÍTULO IV. BASES TEÓRICAS..... | 14 |
| 4.1. Marco Referencial | 14 |
| 4.1.1. Referentes Internacionales | 14 |
| 4.1.2 Referentes Nacionales..... | 18 |

| | |
|--------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.2 Marco Conceptual..... | 20 |
| 4.2.1. Recurso Mineral..... | 20 |
| 4.2.2. Reconciliación..... | 22 |
| 4.2.3. Significancia de la Reconciliación..... | 29 |
| 4.2.4. Factor de Reconciliación “M1” | 30 |
| 4.2.5. Rango o Límites de Aceptación de Reconciliación | 31 |
| 4.2.6. Dilución Minera | 32 |
| 4.2.7. Ley de Corte..... | 33 |
| 4.2.8. Modelo de Bloques | 33 |
| 4.2.9. Polígono de Mineral..... | 34 |
| 4.2.10. Polígono de Desmonte | 35 |
| 4.2.11. Sesgo:..... | 35 |
| 4.2.12. Banco | 35 |
| 4.2.13. Software MineSight® | 36 |
| CAPÍTULO V: GEOLOGÍA | 37 |
| 5.1. Geología Regional | 37 |
| 5.1.1. Formación Murco Chilloroya (Ki-Mu):..... | 39 |
| 5.1.2. Formación Ferrobamba Arcurquina (Ks-Ar): | 39 |
| 5.1.3. Batolito Apurímac (P-Di): | 40 |
| 5.1.4. Formación Alfabamba (Nm-Al):..... | 41 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.1.5. Depósitos Cuaternarios (Q): | 42 |
| 5.2. Geología Local | 42 |
| 5.2.1. Rocas Ígneas | 43 |
| 5.2.2. Alteraciones Hidrotermales | 50 |
| 5.2.3. Mineralización | 54 |
| CAPÍTULO VI. PROCESOS DE OPERACIONES MINA | 60 |
| 6.1. Descripción del Desarrollo Minero | 60 |
| 6.2. Planeamiento Mina | 62 |
| 6.2.1. Planeamiento a Corto Plazo | 62 |
| 6.2.3. Planeamiento a Largo Plazo | 64 |
| 6.3. Sistema de Administración y Control de Mineral (DISPATCH) | 65 |
| 6.4. Perforación | 67 |
| 6.5. Voladura | 68 |
| 6.6. Carguío y Acarreo de Mineral | 70 |
| 6.7. Ore Control | 72 |
| 6.7.1. Logueo de Detritos de Blastholes | 73 |
| 6.7.2. Muestreo de Detritos de Blastholes | 75 |
| 6.7.3. Muestreo de Densidad | 77 |
| 6.7.4. Mapeo de Bancos | 78 |
| 6.7.5 Generación del Modelo Geológico | 81 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 6.7.6. Creación de Polígonos | 82 |
| 6.7.7. Supervisión de Frentes de Minado..... | 84 |
| CAPÍTULO VII. RECONCILIACIÓN DE POLÍGONOS DE MINADO PARA OPTIMIZAR LA EXTRACCIÓN DE MINERAL..... | 88 |
| 7.1. Desarrollo del Proyecto | 88 |
| 7.1.1. Recolección de la Data de Geología | 89 |
| 7.1.2. Recolección de la Data de Dispatch..... | 100 |
| 7.1.3. Cálculo del Factor de Reconciliación M1 | 102 |
| 7.2. Desarrollo de las Reconciliaciones Mensuales Primer Semestre | 104 |
| 7.2.1 Reconciliación de Polígonos entre Data de Geología Mina y Dispatch del Primer Semestre (enero-junio) 2024..... | 104 |
| 7.3. Desarrollo de Reconciliaciones del Segundo Semestre..... | 118 |
| 7.3.1. Reconciliación de Polígonos entre Data De Geología Mina y Dispatch del Segundo Semestre (Julio a diciembre) 2024..... | 118 |
| 7.4. Análisis de Factores que Afectan la Reconciliación del Primer Semestre | 133 |
| 7.4.1. Errores de Despacho | 134 |
| 7.4.2. Dilución y Pérdida De Mineral: Impacto Operacional Post-Voladura | 135 |
| 7.4.3. Influencia de la Dirección de Minado..... | 142 |
| 7.4.4. Errores Topográficos: | 145 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| CAPITULO VIII. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE LA RECONCILIACIÓN DE POLÍGONOS DE MINADO DEL PRIMER Y SEGUNDO SEMESTRE, PARA OPTIMIZAR LA EXTRACCIÓN DE MINERAL..... | 147 |
| 8.1. Interpretación de resultado del Objetivo Específico 1..... | 149 |
| 8.2. Interpretación de resultado del Objetivo Específico 2..... | 149 |
| 8.3. Interpretación de resultado del Objetivo Específico 3..... | 150 |
| CONCLUSIONES..... | 166 |
| RECOMENDACIONES..... | 168 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 169 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Primera ruta Cusco-Constancia. | 4 |
| Figura 2. Segunda ruta Arequipa-Constancia. | 5 |
| Figura 3. Relación entre resultados de exploración, recursos minerales y reservas de mena. | 22 |
| Figura 4. Reconciliación a través de la cadena de valor de la mina y un rango de comparaciones | 23 |
| Figura 5. Factores de reconciliación utilizado por Rio Tinto en 2006 (Cook, 2008) | 28 |
| Figura 6. . Factores de reconciliación de Río Tinto en 2009 (Cook, 2008) | 28 |
| Figura 7. Modelo de Bloques | 34 |
| Figura 8. Geología simplificada del área Andahuaylas-Yauri | 38 |
| Figura 9. Mapa Geológico del Yacimiento Constancia | 59 |
| Figura 10. Proceso de operación minera con el flujo de mineral y desmonte | 61 |
| Figura 11. Plan de minado diario del Tajo Constancia. | 63 |
| Figura 12. Plan de minado semanal del Tajo Constancia., zona Pampacancha | 64 |
| Figura 13. Plan de minado mensual del Tajo Constancia mensual..... | 65 |
| Figura 14. Polígonos de minado generados por Geología dentro del sistema Dispatch | 66 |
| Figura 15. Digitalización del mapeo de bancos, con presencia de venillas y estructuras..... | 80 |
| Figura 16. Modelo de bloques (10X10X15)con los diferentes tipos de materiales..... | 82 |
| Figura 17. Polígonos de mineral y desmonte generados a partir del modelo de bloques (10X10X15). | 83 |
| Figura 18 Límites entre mineral y desmonte, separados por banderines de Mineral (Rojo) y Desmonte (Azul y verde) | 84 |
| Figura 19. Contactos irregulares que se presentan dentro de la mineralización | 87 |
| Figura 20. Diagrama de Flujo del cálculo del factor de reconciliación M1 | 88 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 21. Diagrama de flujo de Geología Mina, para la obtención el factor de reconciliación M1 | 89 |
| Figura 22. Topografía de inicio de mes del Tajo Constancia | 91 |
| Figura 23. Topografía de cierre de mes del Tajo Constancia | 92 |
| Figura 24. Diferencia topográfica por cálculo volumétrico del sólido minado del mes del Tajo Constancia | 93 |
| Figura 25. Cálculo de reservas con el modelo de bloques del sólido minado del mes del Tajo Constancia | 94 |
| Figura 26. Generación de sólidos minados por banco del mes (Vista en perfil) -Tajo Constancia | 95 |
| Figura 27. Vista en 3D de los sólidos generados por banco y la topografía mensual del tajo Constancia. | 95 |
| Figura 28. Polígonos que fueron minados durante el mes dentro del tajo Constancia | 96 |
| Figura 29. Intersección de geometrías oficiales de “Ore” (Rojo) y “Waste” (verde) con el sólido del banco 4125. | 98 |
| Figura 30. Sólidos de polígonos minados creados de “Ore”(Rojo) y “Waste” (verde) | 98 |
| Figura 31. Cálculo de leyes de mineral y tonelaje de los sólidos minados | 99 |
| Figura 32. Diagrama de flujo de Dispatch, para la obtención el factor de reconciliación M1 | 100 |
| Figura 33. Los puntos amarillos indican las cargas o “baldadas” del equipo de carguío. | 101 |
| Figura 34. Data de Dispatch que muestra el polígono minado con la localización de sus respectivas baldadas y leyes de mineral. | 101 |
| Figura 35. Diagrama de flujo de Dispatch, para la obtención el factor de reconciliación M1 | 103 |
| Figura 36. Gráfico de tendencia del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1” (Dispatch/Geología Mina) para el Tonelaje de enero a junio 2024 | 104 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 37. Gráfico de tendencia del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1” (Dispatch/Geología Mina) para la ley de Cu de enero a junio 2024 | 106 |
| Figura 38. Gráfico de tendencia del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1” (Dispatch/Geología Mina) para la ley de Mo de enero a junio 2024 | 108 |
| Figura 39. Gráfico de tendencia del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1” (Dispatch/Geología Mina) para la ley de Au de enero a junio 2024..... | 110 |
| Figura 40. Gráfico de Tendencia del Factor de reconciliación de polígonos de minado “M1” (Dispatch/Geología Mina) para la ley de Ag de enero a junio 2024..... | 112 |
| Figura 41. Gráfico de tendencia del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1” (Dispatch/Geología Mina) para la ley de Zn de enero a junio 2024 | 114 |
| Figura 42. Gráfico de tendencia del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1” (Dispatch/Geología Mina) para la ley de Pb de enero a junio 2024 | 116 |
| Figura 43. Gráfico de tendencia del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1” (Dispatch/Geología Mina) para el Tonelaje de julio a diciembre 2024 | 119 |
| Figura 44. Gráfico de tendencia del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1” (Dispatch/Geología Mina) para el Cu de julio a diciembre 2024 | 121 |
| Figura 45. Gráfico de tendencia del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1” (Dispatch/Geología Mina) para la ley de Mo de julio a diciembre 2024 | 123 |
| Figura 46. Gráfico de tendencia del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1” (Dispatch/Geología Mina) para la ley de Au de julio a diciembre 2024..... | 125 |
| Figura 47. Gráfico de tendencia del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1” (Dispatch/Geología Mina) para la ley de Ag de julio a diciembre 2024..... | 127 |
| Figura 48. Gráfico de tendencia del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1” (Dispatch/Geología Mina) para la ley de Zn de julio a diciembre 2024 | 129 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 49. Gráfico de tendencia del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1” (Dispatch/Geología Mina) para la ley de Pb de julio a diciembre 2024 | 131 |
| Figura 50. Diagrama de flujo para determinar los factores que influyen en la reconciliación de polígonos de minado. | 133 |
| Figura 51. Sugerencias de destino (Botadero o Planta) del sistema Dispatch | 135 |
| Figura 52. Polígonos de minado muy estrechos e irregulares..... | 136 |
| Figura 53. Modificación y corrección del polígono de minado..... | 137 |
| Figura 54. “A” muestra los polígonos antes de la voladura, “B” muestra los polígonos después de la voladura | 139 |
| Figura 55. “A” muestra el modelo de bloques antes de la voladura, “B” muestra el modelo de bloques después de la voladura. | 140 |
| Figura 56. “A” muestra el modelo de bloques antes de la voladura, “B” muestra el modelo de bloques después de la voladura con la generación de un Split de Ore desplazado. | 141 |
| Figura 57. Se muestra el modelo desplazado en perfil, muestra la sección A-A’, en la cual se evidencia el desplazamiento de mineral..... | 142 |
| Figura 58. Muestra a la pala realizando el minado de forma paralela a la orientación del cuerpo de un dique (polígono de desmonte). | 143 |
| Figura 59. Muestra a la pala realizando el minado de forma perpendicular a la orientación del cuerpo de un dique (polígono de desmonte). | 144 |
| Figura 60. Cálculo volumétrico del sólido de minado generado para la reconciliación de polígonos de minado. | 146 |
| Figura 61. Diagrama de flujo para la interpretación de resultados de la Reconciliación de polígonos de minado para optimizar la extracción de mineral..... | 148 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 62. Gráfico de tendencia del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1” (Dispatch/Geología Mina) para el Tonelaje de enero a diciembre 2024..... | 152 |
| Figura 63. Gráfico de tendencia del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1” (Dispatch/Geología Mina) para el Cu de enero a diciembre 2024 | 154 |
| Figura 64. Gráfico de tendencia del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1” (Dispatch/Geología Mina) para la ley de Mo de enero a diciembre 2024 | 156 |
| Figura 65. Gráfico de tendencia del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1” (Dispatch/Geología Mina) para la ley de Au de enero a diciembre 2024 | 157 |
| Figura 66. Gráfico de tendencia del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1” (Dispatch/Geología Mina) para la ley de Ag de enero a diciembre 2024 | 159 |
| Figura 67. Gráfico de tendencia del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1” (Dispatch/Geología Mina) para la ley de Zn de enero a diciembre 2024 | 161 |
| Figura 68. Gráfico de tendencia del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1” (Dispatch/Geología Mina) para la ley de Pb de enero a diciembre 2024..... | 163 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 1. Ubicación política de la mina Constancia | 3 |
| Tabla 2. Ubicación Geográfica de la mina Constancia | 3 |
| Tabla 3. Muestra los periodos de ejecución de la reconciliación mensual de polígonos de minado | 13 |
| Tabla 4. Nomenclatura del factor de conciliación según † BHP Billiton Mitsubishi | 31 |
| Tabla 5. Resultados del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1” del primer semestre para el tonelaje | 105 |
| Tabla 6. Resultados del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1” del primer semestre para la ley de Cu..... | 107 |
| Tabla 7. Resultados del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1” del primer semestre para la ley de Mo | 109 |
| Tabla 8. Resultados del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1” del primer semestre para la ley de Au..... | 111 |
| Tabla 9. Resultados del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1” del primer semestre para la ley de Ag..... | 113 |
| Tabla 10. Resultados del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1” del primer semestre para la ley de Zn | 115 |
| Tabla 11. Resultados del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1” del primer semestre para la ley de Pb | 117 |
| Tabla 12. Resultados del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1” del segundo semestre para el Tonelaje | 120 |
| Tabla 13. Resultados del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1” del segundo semestre para la ley de Cu..... | 122 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 14. Resultados del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1” del segundo semestre para la ley de Mo..... | 124 |
| Tabla 15. Resultados del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1” del segundo semestre para la ley de Au..... | 126 |
| Tabla 16. Resultados del factor de Reconciliación de polígonos de minado “M1” del segundo semestre para la ley de Ag..... | 128 |
| Tabla 17. Resultados del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1” del segundo semestre para la ley de Zn. | 130 |
| Tabla 18. Resultados del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1” del segundo semestre para la ley de Pb. | 132 |
| Tabla 19. Resultados del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1” del primer semestre para el Tonelaje. | 152 |
| Tabla 20. Resultados del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1” del segundo semestre para el Tonelaje. | 153 |
| Tabla 21. Resultados del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1” del primer semestre para la ley de Cu..... | 154 |
| Tabla 22. Resultados del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1” del segundo semestre para la ley de Cu..... | 155 |
| Tabla 23. Resultados del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1” del primer semestre para la ley de Mo..... | 156 |
| Tabla 24. Resultados del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1” del segundo semestre para la ley de Mo..... | 157 |
| Tabla 25. Resultados del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1” del primer semestre para la ley de Au..... | 158 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 26. Resultados del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1” del segundo semestre para la ley de Au..... | 159 |
| Tabla 27. Resultados del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1” del primer semestre para la ley de Ag..... | 160 |
| Tabla 28. Resultados del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1” del segundo semestre para la ley de Ag..... | 161 |
| Tabla 29. Resultados del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1” del primer semestre para la ley de Zn..... | 162 |
| Tabla 30. Resultados del factor de reconciliación”M1” del segundo semestre para la ley de Zn | 163 |
| Tabla 31. Resultados del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1” del primer semestre para la ley de Pb..... | 164 |
| Tabla 32. Resultados del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1” del segundo semestre para la ley de Pb..... | 165 |

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Fotografía 1 Pórfido de Monzonita 1 “MP1” | 44 |
| Fotografía 2. Pórfido de Monzonita 2 “MP2” | 45 |
| Fotografía 3. Pórfido de Cuarzo Monzonita “QMP” | 47 |
| Fotografía 4. Pórfido de Micro Monzonita “MMP” | 48 |
| Fotografía 5. Andesita “AAN” | 49 |
| Fotografía 6. Muestra de Skarn “SKN” | 50 |
| Fotografía 7. Muestra de Alteración Argílica | 51 |
| Fotografía 8. Muestra de Alteración Potásica | 52 |
| Fotografía 9. Muestra de Alteración Propilítica | 53 |
| Fotografía 10. Muestra de Pórfido en la zona de Alteración Fílica | 54 |
| Fotografía 11. Porfido de la zona de mineralización hipógena | 55 |
| Fotografía 12. Zona de mineralización Skarn | 56 |
| Fotografía 13. Porfido de la zona de Mineralización Supergeno | 57 |
| Fotografía 14. Porfido de la zona de Mineralización Transicional (Mixta) | 57 |
| Fotografía 15. Pórfido de la zona de Mineralización de Óxidos de Cobre | 58 |
| Fotografía 16. Proceso de operación minera en la zona norte del Tajo Constancia. | 61 |
| Fotografía 17. Proceso de operación minera de la zona sur del Tajo Constancia. | 62 |
| Fotografía 18. Zonas de perforación de Blastholes - Zona Norte del Tajo Constancia | 67 |
| Fotografía 19. Zona de perforación de Blastholes - Zona Sur del Tajo Constancia | 68 |
| Fotografía 20. Zona de carga con explosivos para cada blasthole | 69 |
| Fotografía 21. Proceso de voladura dentro del Tajo Constancia. | 70 |
| Fotografía 22. Carguío y acarreo de mineral en la zona Norte del Tajo | 71 |
| Fotografía 23. Zona de descarga en los Stocks de mineral | 72 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Fotografía 24. Logueo de detritos de Blasthole del tajo Constanca norte | 74 |
| Fotografía 25. Logueo de detritos de Blasthole del tajo Constanca | 75 |
| Fotografía 26. Muestreo de detritos de Blasthole del tajo Constanca | 76 |
| Fotografía 27. Muestreo de densidad post voladura | 78 |
| Fotografía 28. Mapeo de bancos de frentes de minado en el Tajo Constanca..... | 79 |
| Fotografía 29. Límites entre mineral y desmonte, separados por banderines de Mineral (Rojo) y Desmonte (verde) marcados en campo. | 85 |
| Fotografía 30. Ssupervisión en campo del correcto destino del mineral. | 86 |

INTRODUCCIÓN

La investigación desarrollada se centra en la reconciliación de polígonos de minado como herramienta fundamental para optimizar la extracción de mineral en la Mina Constancia, situada en la provincia de Chumbivilcas dentro de la región Cusco, durante el periodo 2024. El minado en Constancia se basa en la extracción convencional de un yacimiento de pórfido de Cu-Mo, Sin embargo, en los últimos periodos, la operación ha enfrentado una discrepancia sistemática entre los valores de tonelaje y leyes de mineral predichos por el área de Geología (modelo de corto plazo basado en muestreo de blasthole) y los valores de ejecución registrados por el sistema Dispatch (HPGPS de alta precisión), lo cual afectaba la eficiencia operativa y la rentabilidad en consecuencia la pérdida de mineral. Algunos factores operacionales clave como la dilución, el desplazamiento de mineral post-voladura y la dirección de minado fueron identificados como las principales causas de este sesgo.

La finalidad principal de este trabajo de investigación es optimizar la extracción de mineral a través de la reconciliación de polígonos, mediante la cuantificación del sesgo entre Geología y Dispatch, la medición del impacto del desplazamiento, la dilución, y la determinación de la influencia de la dirección de minado. La implementación de reconciliaciones periódicas y la aplicación de acciones correctivas, como el ajuste de polígonos mediante las tecnologías para corregir el desplazamiento post-voladura y la adopción de una dirección de minado transversal (perpendicular) a la estructura mineralizada para minimizar la dilución, resultaron en una exitosa reducción del sesgo de tonelaje y leyes a un margen aceptable de $\pm 5\%$ durante el segundo semestre. En consecuencia, esta investigación no solo valida que la reconciliación es la variable

independiente clave para la optimización, sino que también establece una metodología replicable para asegurar la extracción selectiva y el cumplimiento de los planes de minado de la compañía.

CAPÍTULO I. ASPECTOS GENERALES

1.1. Ubicación y accesibilidad

1.1.1 Ubicación política:

La mina Constancia, se ubica entre las comunidades de Chilloroya y Ucchucarcco de los distritos de Livitaca y Chamaca respectivamente, localizado en la provincia de Chumbivilcas, al sur de la región Cusco.

Tabla 1.

Ubicación política de la mina Constancia

| | |
|-----------|--------------|
| DISTRITO | LIVITACA |
| PROVINCIA | CHUMBIVILCAS |
| REGIÓN | CUSCO |

1.1.2. Ubicación geográfica:

Se localiza al norte de la Cadena Occidental de la cordillera de los Andes del Sur del Perú con dirección Este-Oeste en la zona, comprendiendo la parte sur del cuadrángulo de Livitaca (Hoja 29-S, INGEMMET).

Tabla 2.

Ubicación Geográfica de la mina Constancia

| | |
|-------|-----------|
| DATUM | WGS84 |
| ZONA | 19 L |
| NORTE | 8399610 M |
| ESTE | 201972 M |

| | |
|----------------|---------------|
| ALTITUD | 4200 M.S.N.M. |
|----------------|---------------|

1.2. Accesibilidad:

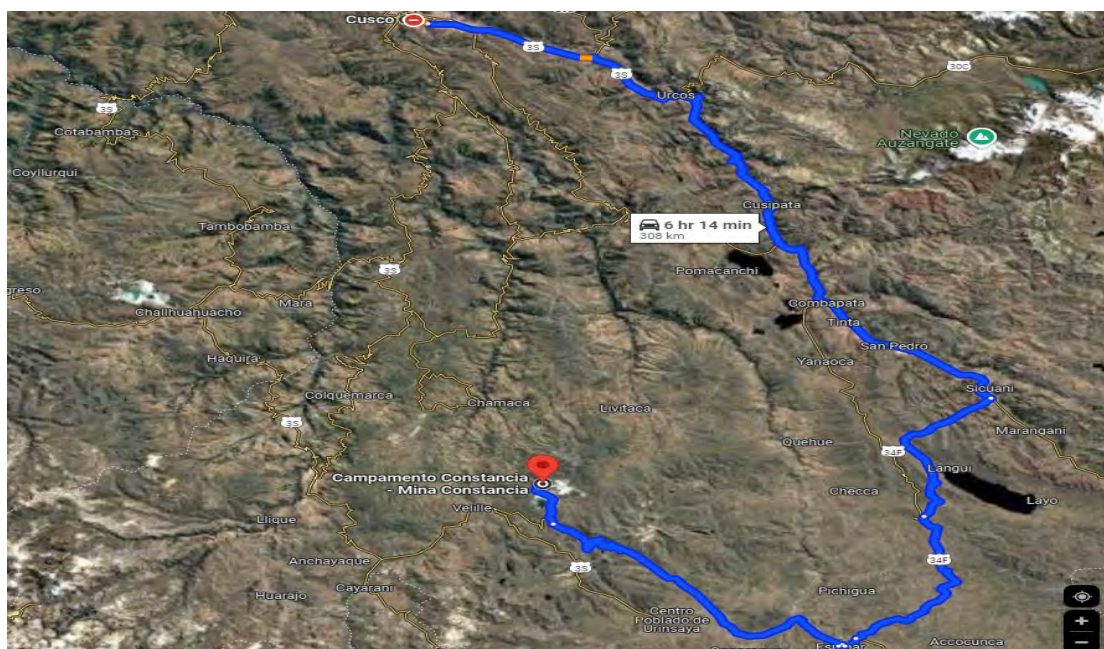
Para llegar al área de estudio en la Unidad minera Constanca, se tienen dos rutas por carretera, los lugares de partida son Cusco o Arequipa.

La primera ruta de ocho horas aproximadamente en bus y es a través de Cusco - Sicuani - Yauri y retomando la vía a Velille, Santo Tomás por el desvío de Livitaca hasta la mina Constanca, el recorrido total es de 310 km.

La segunda ruta de nueve horas aproximadamente en bus y es a través de Arequipa - Imata - Yauri - retomando la vía a Velille, Santo Tomás por el desvío de Livitaca hasta la Unidad minera Constanca, con un recorrido total de 360 km.

Figura 1.

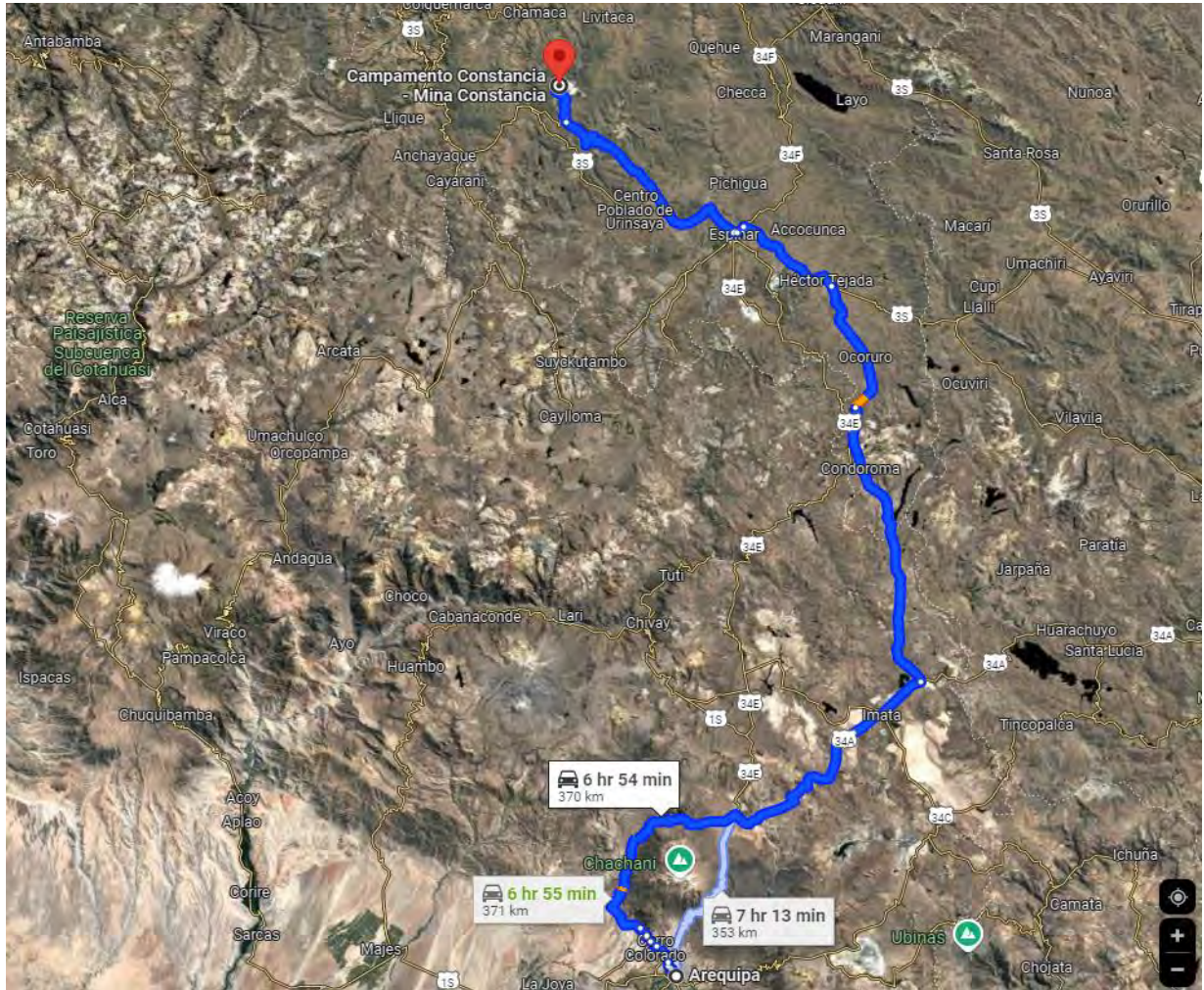
Primera ruta Cusco-Constancia.



Fuente. (Google Maps, s.f.)

Figura 2.

Segunda ruta Arequipa-Constancia.



Fuente. (Google Maps, s.f.)

CAPÍTULO II. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Descripción del Problema

En la Mina Constancia, se ha observado consistentemente en los últimos periodos una diferencia significativa en la reconciliación de polígonos de minado entre el tonelaje y las leyes de mineral reportada por el área de Geología y los valores obtenidos por el sistema Dispatch. Esta discrepancia se ha mantenido en los últimos años, comprometiendo la alta precisión (HPGPS) del sistema de Dispatch y por tanto la confiabilidad del modelo de bloques. Las principales causas asociadas a este sesgo entre tonelaje y leyes, incluyen factores operacionales como la dilución, el desplazamiento de mineral post-voladura, la dirección de minado de los equipos de carguío y la posible imprecisión en la asignación de polígonos. La persistencia de este margen de error genera un impacto directo en la pérdida de mineral y, consecuentemente, afecta la eficiencia operativa, la rentabilidad del proceso de minado y la planificación a corto plazo de la compañía. Se requiere un análisis profundo para identificar cada factor que interviene en la reconciliación de polígonos de minado y proponer acciones correctivas.

2.2. Formulación del Problema

2.2.1. Problema General

¿Qué optimizar de la extracción de mineral realizando la reconciliación de polígonos de minado en la mina Constancia?

2.2.2. Problemas Específicos

- ¿Cuál es la magnitud del sesgo de reconciliación de tonelaje y leyes de mineral entre lo reportado por Dispatch y Geología?
- ¿Que afecta el desplazamiento y dilución de material al proceso de extracción de mineral en la mina Constancia?
- ¿Cuál es la influencia de la dirección de minado dentro del proceso de extracción de mineral en la mina Constancia?

2.3. Objetivos

2.3.1. Objetivo General

Optimizar la extracción de mineral a través de la reconciliación de polígonos de minado.

2.3.2. Objetivos Específicos

- Cuantificar el sesgo de tonelaje y leyes de mineral entre lo reportado por Geología Mina y Dispatch para proponer acciones correctivas y minimizar la diferencia.
- Medir y cuantificar el impacto del desplazamiento y la dilución en el factor de reconciliación de cada polígono.
- Determinar la influencia de la dirección de minado en la eficiencia del proceso de extracción de mineral en la mina Constancia.

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis General

La aplicación de la reconciliación de polígonos de minado, con el análisis de los factores de pérdida, optimizará el proceso de extracción al reducir el sesgo de tonelaje y leyes de mineral a menos del 5% (Rango de aceptación de Reconciliación de polígonos de minado).

2.4.2. Hipótesis Específicas

- La implementación de reconciliaciones periódicas (mensuales) y el control del factor de reconciliación de minado, reducirán el sesgo de tonelaje y leyes de mineral reportado entre Geología y Dispatch a un margen de error aceptable $\pm 5\%$.
- El desplazamiento de material post-voladura y la dilución operativa en los polígonos de minado son las variables que ejercen el mayor impacto en el factor de reconciliación de polígonos de minado.
- La implementación de la dirección de minado transversal a la orientación de la estructura mineralizada incrementará la extracción selectiva, logrando una disminución en el índice de dilución externa en comparación con los polígonos minados con dirección longitudinal.

2.5. Identificación de Variables

2.5.1. Variable Independiente

- a. Reconciliación de polígonos de minado.

2.5.2. Variables Dependientes

- a. Optimización de extracción de mineral.

- b. Sesgo de tonelaje y leyes
- c. Tonelaje
- d. Leyes de mineral.

2.5.3. *Indicador*

- a. Factor de Reconciliación de polígonos de minado
- b. Desplazamiento post-voladura
- c. Dirección de minado
- d. Dilución
- e. Errores topográficos.
- f. Sistema de alta precisión (HPGPS)

2.6. Justificación e Importancia del Problema

La presente investigación se justifica por su alta relevancia operativa para la Mina Constancia, al abordar el problema crítico del sesgo de tonelaje y leyes causado por factores operacionales como la dilución, el desplazamiento post-voladura y la dirección de minado. El análisis riguroso de la reconciliación de polígonos no solo permitirá cuantificar y controlar estos factores, sino que también establecerá una metodología replicable que mejorará la precisión del control de mineral del yacimiento. Finalmente, la optimización de la extracción de mineral de esta investigación se traducirá directamente en un incremento de toneladas métricas finas recuperadas, lo cual asegurará el cumplimiento de los proyectos de minado de corto y mediano plazo.

2.7. Alcances y Limitaciones

2.7.1. Alcance

El trabajo presentado se enfocará en el análisis y reconciliación de los polígonos de minado ejecutados durante el periodo mensual 2024. El alcance principal es implementar una nueva base metodológica fundamental para el área de Geología Mina, permitiendo optimizar el sesgo de tonelaje y leyes entre lo reportado por Geología y Dispatch, y contribuyendo a mejorar la precisión de los modelos geológicos de corto y mediano plazo.

2.7.2. Limitaciones

La investigación se ve restringida por el acceso a la información complementaria, limitándose al uso de la data de producción, lo cual impide una evaluación profunda de los costos detallados por polígono, haciendo que el análisis de la rentabilidad económica sea inferencial y no directo.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo de Investigación

El tipo de investigación es **aplicado**. El propósito principal es buscar la resolución del problema operativo, entre los factores operativos, el sesgo de ley de mineral y tonelaje entre lo reportado por Geología y Dispatch, para finalmente proponer la optimización del proceso de extracción de mineral mediante la reconciliación de polígonos.

3.2. Nivel de la Investigación

La investigación presente es del nivel **descriptivo-correlacional** porque busca caracterizar y cuantificar de manera detallada el sesgo de leyes y tonelaje para posteriormente medir el grado de relación entre ambas variables sin manipularlas. Esto permite determinar cómo las variaciones entre el área de Dispatch y Geología, sirviendo como base científica para proponer la optimización del proceso mediante la reconciliación de polígonos

3.3. Método de la Investigación

El método es el “**analítico-sintético**” que consiste en descomponer el todo en partes para estudiar cada una de ellas en forma individual, y después integrar dichas partes para lograr una comprensión del todo (Tamayo, 2005). En este caso se analizaron factores específicos que influyen en la reconciliación de polígonos tales como la dirección de minado, el desplazamiento de mineral, dilución.

3.4. Diseño de Investigación

Por otro lado, una investigación no experimental se caracteriza por la ausencia de manipulación de la variable independiente y la no asignación aleatoria de los grupos, limitándose a observar ciertos cambios que ocurren en las variables (Salinas, 2010)

Finalmente, una investigación longitudinal implica la recolección de datos a lo largo del tiempo, pudiendo abarcar desde meses hasta varios años. Este diseño longitudinal permite analizar cambios en diferentes periodos temporales (Salinas, 2010).

En el contexto del presente proyecto, este diseño longitudinal es fundamental ya que los datos se han recopilado en distintos periodos de tiempo (12 meses), permitiendo una evaluación más precisa del sesgo de las reconciliaciones de las leyes de mineral y tonelaje entre lo reportado por Geología y Dispatch.

3.5. Técnica de Análisis y Procesamiento de Datos

El procedimiento de análisis de datos fue la comparación de leyes de mineral y tonelaje de cada polígono de mineral, reportado por geología mina entre las leyes de mineral y tonelaje de cada polígono de mineral y/o desmonte reportado por Dispatch, después de reunir los datos para analizar la problemática presente entre la diferencia de leyes de mineral y tonelaje. Estos datos se colocan en un Excel para la comparación de ambos datos y luego se realiza una diferenciación entre cada polígono de mineral y polígonos de desmonte, tanto las leyes de mineral como del tonelaje. Se determina qué polígonos presentan diferencias significativas en ley y tonelaje, para luego realizar un procedimiento de análisis de causas que impliquen la diferenciación entre los reportado por Geología Mina y lo reportado por Dispatch.

3.6. Unidad de Análisis

La unidad de análisis son los reportes mensuales de reconciliación de polígonos de minado.

3.7. Población de Estudio

La población considerada para este trabajo fueron los polígonos de minado mensuales del periodo de estudio de enero a diciembre del 2024.

Tabla 3.

Muestra los periodos de ejecución de la reconciliación mensual de polígonos de minado

| PERIODOS DE TIEMPO DE EJECUCIÓN DE LA RECONCILIACIÓN MENSUAL DE POLÍGONOS DE MINADO 2024 | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| DE | HASTA |
| 01/01/2024 | 31/01/2024 |
| 01/02/2024 | 29/02/2024 |
| 01/03/2024 | 31/03/2024 |
| 01/04/2024 | 30/04/2024 |
| 01/05/2024 | 31/05/2024 |
| 01/06/2024 | 30/06/2024 |
| 01/07/2024 | 31/07/2024 |
| 01/08/2024 | 31/08/2024 |
| 01/09/2024 | 30/09/2024 |
| 01/10/2024 | 31/10/2024 |
| 01/11/2024 | 30/12/2024 |
| 01/12/2024 | 31/12/2024 |

CAPÍTULO IV. BASES TEÓRICAS

4.1. Marco Referencial

4.1.1. Referentes Internacionales

La reconciliación minera es un proceso fundamental para la gestión eficaz de una mina, ya que implica la comparación de datos de tonelaje y leyes de distintas fuentes, como la exploración, el muestreo de producción y la planta de procesamiento. De acuerdo con Parker (2012), el objetivo es calcular el valor monetario de las mejoras en la precisión del conocimiento del yacimiento, la selectividad de la extracción y los efectos de la dilución y la pérdida de mineral.

La reconciliación se lleva a cabo mediante el uso de factores de comparación (ratios) que relacionan estos conjuntos de datos dispares e independientes. Un factor clave (F1) compara las estimaciones del modelo de control de mineral con las reservas agotadas, lo que permite verificar la precisión del conocimiento del yacimiento y la selectividad del modelo de recursos. Otro factor (F2) compara lo que la planta recibe con lo que la mina entrega, lo que ayuda a identificar la dilución no planificada que ocurre en el camino.

Parker (2012) sostiene que la reconciliación no debe ser un proceso secundario, sino una parte intrínseca de la operación en mina. Los objetivos de reconciliación deben considerarse como indicadores clave de rendimiento (KPI) para garantizar la correcta gestión de la mina.

Morley (2003) afirma que, en muchas minas, la reconciliación es un proceso fundamental en el que geólogos e ingenieros comparan modelos de recursos y reservas, datos de control de leyes y mediciones topográficas con la producción real. Tradicionalmente, esta actividad se basa en hojas de cálculo complejas para calcular "factores" que se aplican a futuras estimaciones (Morley, 2003). Sin embargo, este método puede ser impreciso si las condiciones operativas cambian.

Una alternativa más moderna y efectiva es la **pronosticación**, que Morley (2003) define como un proceso continuo y reiterativo. Una alternativa es recopilar y analizar constantemente mediciones clave que se utilizan para calibrar estimaciones críticas en un proceso reiterativo. Cuando ocurren variaciones, se analizan y se toman medidas correctivas para asegurar que las estimaciones y las mediciones se realicen, de esta manera, las estimaciones se convierten en pronósticos y pueden formar la base para tomar decisiones y garantizar que lo que suceda en el futuro coincida con el plan o cronograma. Al automatizar este proceso, las minas pueden pasar de ser reactivas a ser proactivas, mejorando significativamente su rendimiento general en menos de un año (Morley, 2003). Esto permite identificar rápidamente las causas de las variaciones y tomar medidas correctivas para mantener las estimaciones alineadas con la producción real.

El proceso de reconciliación tradicional en la minería implica comparar la estimación de recursos con el metal producido, utilizando "factores" como los de recursos, reservas o volumen para evaluar la precisión de las predicciones. Estos factores suelen calcularse a lo largo de un período extenso, como un año o incluso la historia completa de la mina, y luego se aplican a futuras estimaciones. Sin embargo, esta práctica de usar factores genéricos no se considera la mejor, ya que las variaciones no se abordan adecuadamente. Para ser más eficaces, las áreas involucradas en el proceso minero deben analizar las causas de las diferencias y ajustar metodologías y procesos. Este método reiterativo y continuo de recalibración es lo que se conoce como pronosticación o reconciliación proactiva.

De acuerdo con Fouet et al. (2009), existen numerosos factores de reconciliación que pueden ser calculados e informados, en su publicación, "Estandarización de los Factores de Conciliación Requeridos en los Informes de Gobernanza", el autor propone una metodología estándar para calcular estos factores. El propósito es que las empresas que adopten esta metodología puedan cumplir con los códigos de informes internacionales, como el JORC. Utilizando estudios de caso

de Rio Tinto Group y BHP Billiton Mitsubishi Alliance (BMA), junto con su propia experiencia, Fouet et al. (2009) presenta un plan para una solución genérica que permite rastrear un paquete de material desde la mina hasta el puerto, incluyendo los factores de reconciliación relevantes. La meta de esta estandarización es establecer una base sólida para que la comunicación y comparación entre distintos productos, compañías y sitios mineros sea más sencilla y consistente.

Hay tres tipos principales de conciliación: espacial, temporal y física: La reconciliación espacial se enfoca en la comparación tridimensional (X, Y y Z) entre los modelos predictivos y las mediciones reales de la minería, como las obtenidas a través de mapeo o topografía. Este tipo de reconciliación es crucial para medir la precisión del modelo en situaciones donde se ajustan los límites del material o se registran puntos de contacto durante la operación.

La reconciliación temporal es el tipo más común y se enfoca en analizar el rendimiento de la operación en diferentes períodos, como turnos, días, semanas o meses. A diferencia de la conciliación anual tradicional, este enfoque permite un seguimiento más frecuente de las tendencias, siendo especialmente útil para evaluar el desempeño de áreas específicas a lo largo del tiempo, como un tajo subterráneo o un banco a cielo abierto.

La reconciliación física se centra en atributos específicos como el metal contenido, la calidad del material y los volúmenes. Generalmente, se combina con datos temporales y se utiliza para comparar las características físicas entre diferentes versiones de los modelos de recursos y reservas. Esto ayuda a evaluar la precisión de las estimaciones en atributos clave a lo largo del tiempo.

En 2006, la empresa Rio Tinto comenzó a utilizar una serie de factores de reconciliación estandarizados, conocidos como "factores F" (Cook, 2008). Esto permitió que sus minas pudieran

presentar informes de reconciliación de forma uniforme, cumpliendo con los estándares internos de la compañía y con códigos de informes internacionales como el JORC.

Durante ese mismo año, Rio Tinto Coal Australia (RTCA) creó un equipo para revisar estos factores, adaptando aquellos que eran relevantes para la minería del carbón, modificando otros que no se ajustaban, y creando un nuevo conjunto de factores específicos para este mineral. El resultado fue un manual técnico detallado que ofreció al grupo de Rio Tinto una nueva nomenclatura y una clasificación de los factores en tres grupos principales: **geológicos (G), minería (M) y de planta (P)**.

Rio Tinto utiliza un sistema de factores de reconciliación para evaluar el rendimiento de sus operaciones, que se clasifican en grupos con fines específicos. Estos factores contemplan las siguientes categorías:

Factores 'R' (Conciliación Espacial): Estos factores miden la relación entre los modelos de recursos, reservas y control de leyes. Son una versión evolucionada de los "factores F" originales de 2006 y se enfocan en la comparación tridimensional de los modelos predictivos y los resultados reales.

Factores 'G' (Reconciliación Temporal): De acuerdo a Fouet et al. (2009) los factores "G" permiten conciliar el flujo de material desde el modelo de recursos hasta los acopios en la mina, la alimentación de la planta y el producto final. Se utilizan principalmente cuando no se ha desarrollado un modelo de reservas.

- G1, G2 y G3: Se aplican cuando la planificación se basa en un modelo de recursos sin modificar.
- G4, G5 y G6: Son equivalentes a los factores G1, G2 y G3, pero se usan cuando existe un modelo de reservas.

Las unidades de negocio que no tienen modelos de control de leyes utilizan los factores G4, G5 y G6 como sustitutos de los factores M1, M3 y M4.

Factores 'M' (Reconciliación Temporal): Estos factores se centran en la relación entre el modelo de control de leyes y el material entregado a la planta.

- M1 y M2: Permiten el seguimiento del flujo de material, ayudando a identificar problemas de precisión en la excavación.
- M3: Combina los factores M1 y M2 para describir la relación entre el modelo de control de leyes y el material que llega a la planta.
- M4: Mide todas las pérdidas acumuladas desde el modelo de minería hasta el producto final, lo que lo convierte en un factor útil para la planificación.

Factores 'P' (Reconciliación Temporal): Estos factores se enfocan en la reconciliación dentro de la planta de procesamiento. El factor P1 fue diseñado para cuantificar las pérdidas que ocurren durante esta etapa. Aunque cada planta es diferente, este factor ofrece una medida general que complementa los balances metalúrgicos detallados que ya se realizan.

Factores 'T' (Reconciliación Temporal): El factor T fue creado para medir las pérdidas durante el transporte del material desde la mina hasta el puerto, representando así un factor de transporte.

4.1.2 Referentes Nacionales

Según Herrera y Mayorga (2020), mencionan que la operación minera necesita un modelo de reconciliación para medir el desempeño de sus procesos. Este sistema compara el mineral procesado con el planificado, generando factores de reconciliación para el tonelaje, la ley y el metal; este sistema abarca desde la estimación de reservas y recursos, el diseño de la mina, la planificación de la extracción y la producción, hasta la fase final del proceso metalúrgico.

La comparación entre el mineral recibido y el mineral proyectado para la molienda (según el modelo a corto plazo) genera factores de ajuste para el peso, la concentración del mineral (ley) y el contenido metálico (ley por tonelaje). Estos factores son revisados en periodos de tiempo establecidos (mensual, trimestral o anualmente) con el fin de optimizar los procedimientos y subprocesos del modelo a corto plazo, así como las fases de extracción y metalurgia. Los resultados se materializan en una disminución sostenida de las diferencias en estos factores, lo que indica que un sistema de reconciliación minera debe ser un componente esencial de la mejora constante en toda la cadena de valor del sector.

El proceso de identificar, analizar y gestionar las diferencias entre lo planificado y lo conseguido se conoce como reconciliación minera, y representa una fuente de oportunidades de progreso de una mina.

Este procedimiento implica la recolección de datos sobre tonelajes y leyes, preferentemente de fuentes independientes, tales como datos de exploración, muestras de perforaciones de producción (blastholes), así como información de los procesos mineros y metalúrgicos. Estos datos se cotejan usando factores y límites aceptables.

En la tesis *“Mejora de la precisión y predicción del Factor de Reconciliación F2 mediante el análisis de datos de Muestreo y Logueo para una Mina de Cobre a Tajo Abierto año 2021 - 2022”* Bustamante et al. (2023), centraron su trabajo de investigación en la implementación de la reconciliación minera como herramienta de monitoreo de los procesos. El estudio aborda específicamente el factor F2, que es crucial para toda la cadena de valor.

En el año 2021, se observó que solo un porcentaje de los resultados mensuales de reconciliación estaban dentro del rango aceptable internacionalmente (+/-5%). Esta cifra indicó que existía una oportunidad de mejora en la precisión de los planes de producción.

Para corregir esta situación, se analizó el proceso de estimación del modelo geológico y se identificó una deficiencia en la recolección manual de datos de campo. Como solución, se desarrolló una aplicación para sistematizar la toma de datos. A inicios de 2022, la aplicación se puso en marcha y al final de ese período, la correlación de datos mejoró significativamente, gracias a esta mejora, la reconciliación mensual también mejoró notablemente.

4.2 Marco Conceptual

4.2.1. Recurso Mineral.

Un Recurso Mineral es una acumulación natural de material (como metales, minerales industriales o piedras preciosas) que se encuentra en la corteza terrestre. La clave es que su concentración, forma y volumen sugieren que, con la tecnología y las condiciones de mercado adecuadas, es razonablemente probable que se pueda extraer de forma rentable en el futuro. Esencialmente, es un yacimiento que tiene potencial económico. El Código JORC (2012) establece tres categorías principales de Recursos Minerales, que van desde el menor al mayor nivel de certeza:

Un **recurso mineral inferido** representa la etapa inicial de conocimiento de un yacimiento. En este punto, los geólogos tienen una idea de la existencia del mineral, pero su información es limitada. La estimación del volumen (tonelaje) y la pureza (ley) se realiza con un bajo nivel de confianza. La continuidad del yacimiento se asume basándose en evidencia geológica preliminar, pero no está confirmada. Los datos provienen de puntos de muestreo (como afloramientos, zanjas o perforaciones) que están muy separados entre sí, y su calidad puede ser incierta. Esta categoría tiene un nivel de confianza más bajo que un Recurso Mineral Indicado.

A medida que avanza la exploración, un yacimiento puede ser reclasificado como **recurso mineral indicado**. En esta fase, la información es más abundante y fiable, lo que permite estimar el tonelaje y la ley del mineral con un nivel de confianza coherente. La base de esta estimación es una exploración más exhaustiva, con muestreos y pruebas realizadas en puntos que están más cerca unos de otros. Aunque el nivel de confianza es mayor que el de un Recurso Inferido, aún es menor que el de un Recurso Medido, ya que se necesita más exploración para confirmar la continuidad total del yacimiento.

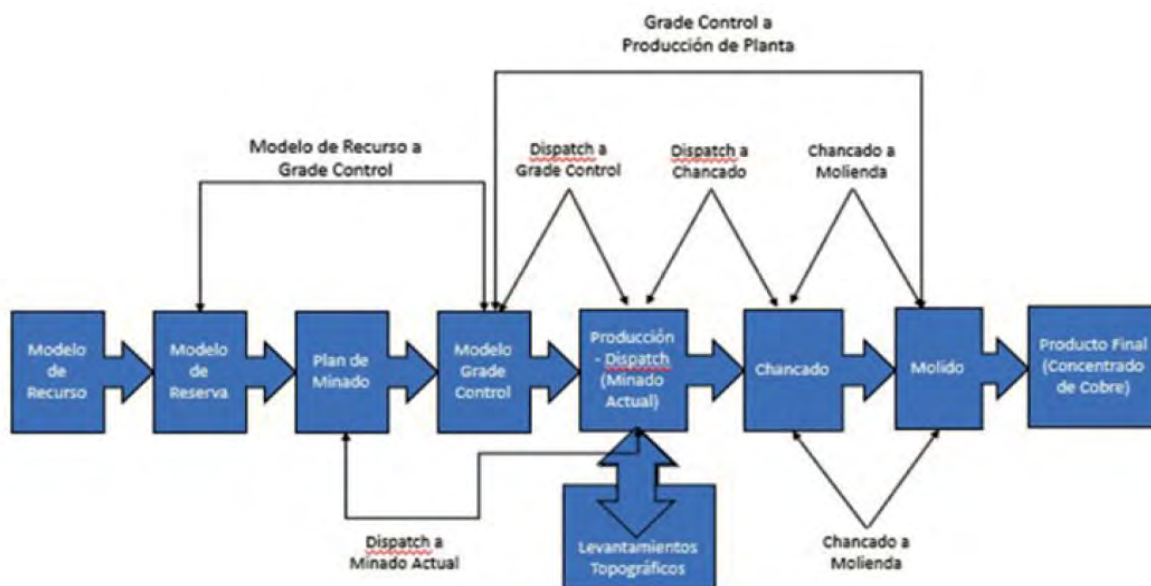
Finalmente, cuando la exploración ha sido meticulosa y detallada, el yacimiento se clasifica como **recurso mineral medido**, la categoría con muy alto nivel de confianza. En este punto, el tonelaje y la ley se conocen con gran precisión. La información de muestreo y las pruebas son de alta calidad y provienen de ubicaciones que están espaciadas lo suficientemente cerca como para confirmar la continuidad geológica y la consistencia de la ley. Un Recurso Medido proporciona una base sólida para la planificación minuciosa de la mina y los estudios de viabilidad definitivos, ya que el riesgo geológico es mínimo.

control de ley, con mediciones reales y tangibles, como los datos topográficos de la mina o las cifras oficiales de producción de la planta de procesamiento.

El objetivo de la reconciliación es identificar y analizar las discrepancias entre lo que se predijo y lo que se produjo en la vida real. A través de este análisis, se pueden obtener "factores de ajuste" que indican el grado de precisión de las estimaciones iniciales. Por ejemplo, un "factor de recurso" podría mostrar si el modelo del yacimiento sobreestimó o subestimó el volumen y la ley del mineral (Morley, 2003). Estos factores son esenciales para mejorar las proyecciones futuras, optimizar la planificación minera y garantizar que las estimaciones se vuelvan cada vez más precisas, lo que a su vez impacta directamente en la rentabilidad de la operación. En esencia, la reconciliación es un circuito de retroalimentación constante que mejora la comprensión del yacimiento y la eficiencia del proceso de extracción.

Figura 4.

Reconciliación a través de la cadena de valor de la mina y un rango de comparaciones



Fuente: (Morley & Hargreaves, 2014).

4.2.2.1. Factores “F” de BHP Billiton Mitsubishi Alliance (BMA)

El Factor F, según el texto proporcionado, es un conjunto de factores de conciliación utilizados por la empresa BHP Billiton Mitsubishi Alliance (BMA) en la minería de carbón. Estos factores tienen como objetivo principal evaluar la precisión y eficiencia de los diferentes modelos y procesos que van desde la estimación de reservas hasta la venta del producto final.

Existen tres factores principales:

- Factor F1: Compara las reservas de carbón estimadas con el modelo de control de ley utilizado en la minería. Su propósito es evaluar la eficacia de las prácticas de estimación de reservas, es decir, qué tan bien se correlaciona lo que se pensó que había en el yacimiento con lo que se está extrayendo.
- Factor F2: Compara el modelo de control de ley con la alimentación real de la planta de procesamiento. Este factor ayuda a BMA a determinar si los supuestos y ajustes aplicados para crear el modelo de control de ley son adecuados, y si el material que se envía a la planta coincide con las proyecciones.
- Factor F3: Compara las reservas de carbón comercializables con las ventas de carbón reales. Su función es validar los supuestos utilizados para estimar cuánto del carbón extraído es realmente vendible, asegurando que las proyecciones de ventas sean realistas.

4.2.2.2. Factores “R” de Billiton Mitsubishi Alliance (BMA)

Son un conjunto de cuatro métricas de conciliación diseñadas para medir y mejorar la eficiencia de los procesos en la minería de carbón. Cada factor se centra en una etapa específica, desde la extracción hasta la entrega del producto.

Los cuatro Factores R

- Factor R1: Mide la eficiencia del proceso de minería. Lo hace comparando el modelo de control de ley (lo que se predijo que se extraería) con la producción real de carbón ROM (el material tal como sale de la mina). Este factor ayuda a identificar qué tan bien se está logrando el plan de minería.
- Factor R2: Mide la eficiencia de rechazo en el rompedor. Compara las toneladas y la calidad del material que entra a la planta de procesamiento (la alimentación) con el carbón ROM. Este factor evalúa la eficacia con la que se separa el material no deseado antes del procesamiento.
- Factor R3: Mide la efectividad del proceso de lavado de carbón en términos de rendimiento. Compara la alimentación de la planta con el producto final de la planta después del lavado. Su objetivo es determinar cuánto carbón útil se recupera del material procesado.
- Factor R4: Mide la eficiencia del sistema de distribución. Este factor evalúa las pérdidas de material que ocurren durante el transporte y el acopio (almacenamiento). Permite cuantificar cualquier pérdida de carbón que pueda ocurrir una vez que el producto ha sido procesado.

4.2.2.3. Factores de conciliación en Rio Tinto

Los factores de conciliación en Rio Tinto son un conjunto de métricas estandarizadas, inicialmente denominadas "factores F", que la empresa comenzó a utilizar en 2006. Estos factores fueron implementados para permitir que las minas de Rio Tinto informaran sus cálculos de conciliación de manera uniforme, lo que garantizaba el cumplimiento con los estándares internos de recursos y reservas de la compañía, así como con códigos internacionales como el JORC.

Rio Tinto Coal Australia (RTCA) jugó un papel clave en la revisión y adaptación de estos factores, creando un manual técnico detallado con una nueva nomenclatura. Este manual organizó los factores de conciliación en tres grupos principales:

- Factores Geológicos (G): Relacionados con la estimación y el modelado del yacimiento.
- Factores de Minería (M): Pertenecientes a la extracción y el movimiento del material.
- Factores de Planta (P): Concernientes al procesamiento y la recuperación del mineral.

Los factores “G” de Río Tinto: son un conjunto de seis factores de conciliación geológica. Su objetivo es comparar y conciliar la información de los modelos de recursos y reservas con los resultados obtenidos en las diferentes etapas de la cadena de valor, desde el tajo hasta el producto final.

Existen dos conjuntos de factores G, utilizados según el tipo de modelo geológico disponible:

- Factores G1, G2 y G3: Se emplean para la conciliación cuando la planificación se ha realizado directamente sobre un modelo de recursos sin modificar, es decir, antes de que se haya creado un modelo de reservas.
- Factores G4, G5 y G6: Son equivalentes a los tres primeros, pero se utilizan cuando ya se ha desarrollado un modelo de reservas. Las unidades de negocio de Rio Tinto pueden informar los seis factores G si cuentan con ambos modelos.

En los casos en que no se utiliza un modelo de control de ley, los factores G4, G5 y G6 equivalen a los factores de minería M1, M3 (HP F3) y M4. En esencia, los factores G permiten a Rio Tinto medir la precisión de sus modelos geológicos en comparación con la realidad de la operación minera.

Los factores “M” de Río Tinto: son un conjunto de factores de conciliación que se enfocan en las relaciones entre el modelo de control de ley, la operación minera y el material que finalmente

se entrega a la planta de procesamiento. Su objetivo es asegurar la trazabilidad del material y medir las posibles pérdidas y discrepancias a lo largo de este proceso.

A partir del texto, se pueden identificar los siguientes factores M:

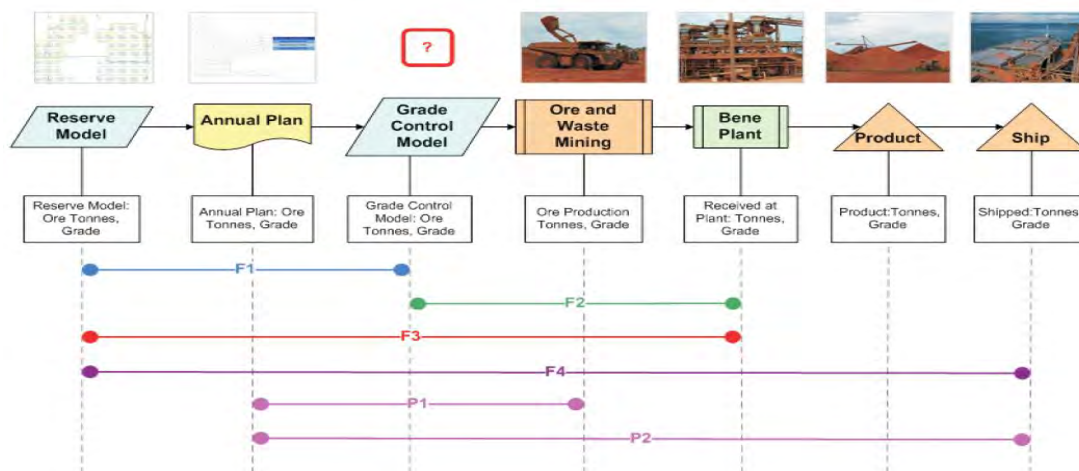
- M1 y M2: Estos factores trabajan juntos para rastrear el flujo de material, permitiendo la trazabilidad desde la minería hasta la planta. Su uso ayuda a detectar problemas potenciales en la precisión de la excavación.
- M3: Este factor se deriva de M1 y M2 y está diseñado para describir la relación entre el modelo de control de ley y el material real que se envía a la planta. En esencia, mide la precisión del modelo en la práctica.
- M4: Este es un factor integral que mide todas las pérdidas desde el modelo de minería hasta el producto final. Aunque no identifica la causa exacta de las pérdidas en cada etapa, es una herramienta valiosa para la planificación al cuantificar la eficiencia general de la cadena de minería.

Es importante notar que las unidades de negocio que no utilizan un modelo de control de ley no pueden informar los factores M1, M3 y M4. En esos casos, se utilizan los factores G4, G5 y G6 como equivalentes para realizar la conciliación.

Los factores “P” de Río Tinto: son factores de conciliación que se centran en la eficiencia del procesamiento en la planta. Se creó un único factor, el Factor P1, para medir las pérdidas que ocurren durante el procesamiento del material en la planta.

Figura 5.

Factores de reconciliación utilizados por Rio Tinto en 2006 (Cook, 2008)

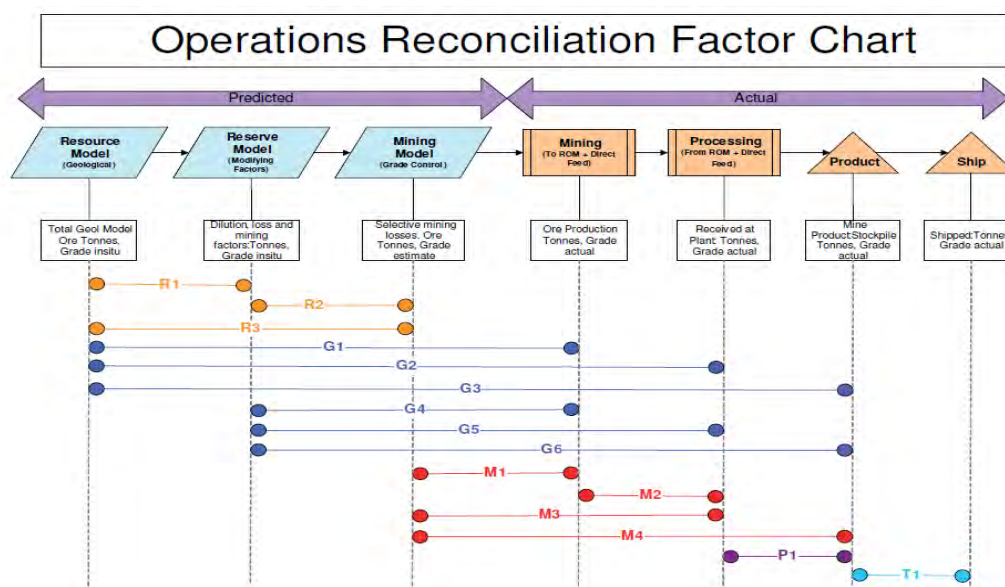


Fuente: Standardising the Reconciliation Factors Required in Governance Reporting

Conference Paper · August 2009, Craig Morley

Figura 6.

Factores de reconciliación de Río Tinto en 2009 (Cook, 2008)



Fuente: Standardising the Reconciliation Factors Required in Governance Reporting Conference

Paper · August 2009, Craig Morley

4.2.3. Significancia de la Reconciliación

En muchas minas se usa la reconciliación, pero a menudo solo es fiable a largo plazo debido a la dificultad y el tiempo que toma recopilar información de distintas bases de datos de diferentes departamentos. Para mejorar esto, es crucial tener una plataforma de informes centralizada y unificada que minimice la manipulación manual de los datos.

Además, los supervisores suelen ignorar la "variación de volumen". Este efecto implica que, a medida que el período de tiempo o el tonelaje analizado aumenta, los resultados son menos variables y más estables. Por ello, es esencial elegir el período de tiempo correcto para los informes de reconciliación, lo que asegura que los resultados sean realmente significativos y fiables (Morley, 2003).

Hargreaves y Morley (2014), mencionan que la base para un seguimiento operativo continuo reside en identificar y comprender las variables que influyen en los resultados de la reconciliación, permitiendo establecer comparaciones específicas. Los autores resumen los objetivos esenciales de la conciliación en cuatro puntos clave:

1. **Medir el Rendimiento:** Evaluar si las distintas áreas de la operación están cumpliendo sus objetivos y qué tan eficaz es la mina al transformar sus reservas en material apto para la molienda.
2. **Confirmar la Precisión de la Estimación:** Verificar la exactitud de las estimaciones de ley y tonelaje. Si se realiza correctamente, este proceso ayuda a identificar deficiencias en la estimación de Recursos o Reservas, siempre considerando el margen de error aceptable definido por las clasificaciones de confianza (Medidos, Indicados, etc.).

3. **Asegurar la Evaluación del Activo:** Determinar con precisión qué porcentaje del recurso mineral original (en sus diferentes categorías de confianza) se transforma finalmente en metal y qué proporción termina como desmonte.
4. **Generar Indicadores Clave de Rendimiento (KPI):** Proporcionar métricas directas, como la comparación entre las predicciones del control de ley y la producción real, que sirven como KPI para medir la eficiencia de los departamentos de minería y control de ley.

4.2.4. Factor de Reconciliación “M1”

Para este estudio, se ha seleccionado el factor “M1” de la Estandarización de los factores de conciliación de Morley 2008, como factor central del análisis, dado que establece una comparación directa entre la producción real de mineral, cuantificada mediante datos operativos recopilados por el sistema de Dispatch y la producción planeada, derivada del modelo de minado de corto plazo generado por el área de Geología Mina.

Según la tabla 4 de Morley (2008), **el factor M1 se obtiene dividiendo la producción real de mineral entre el modelo geológico.**

En el presente estudio, la producción mineral corresponde a la información de tonelaje y leyes de mineral extraído, registrado en el sistema Dispatch (Data de Dispatch), mientras que el modelo geológico se representa por el cálculo de reservas de las leyes y tonelajes, teniendo como fuente de información los bloques estimados por el área de Geología de Mina (Data de Geología Mina).

Esta comparación resulta fundamental, ya que el factor M1 cuantifica las desviaciones entre lo previsto y lo ejecutado, sirviendo como un indicador esencial para validar la precisión del modelo geológico y la eficiencia de la ejecución minera. Al analizar esta discrepancia, será posible identificar escenarios de mejora tanto en la planificación como en las operaciones de extracción.

Tabla 4.

Nomenclatura del factor de conciliación según † BHP Billiton Mitsubishi

| Comparación reportada por BMA | Nombre del factor de BMA † | Comparaciones reportadas por Rio Tinto | Nombre del factor de Rio Tinto ‡ |
|------------------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| | | Modelo de reservas/modelo de recursos | R1 |
| | | Modelo de minería (control de ley)/modelo de recursos | R3 |
| | | Producción de mineral/modelo de recursos | G1 |
| | | Alimentación de la planta/modelo de recursos | G2 |
| | | Producto de la Producción de mineral/modelo de recursos | G3 |
| Modelo de control de ley a reservas de carbón | F1 | Modelo de minería (control de ley)/modelo de reservas | R2 |
| | | Modelo de producción/reserva de mineral | G4 |
| | | Alimentación de la planta/modelo de reservas | G5 |
| | | Producto de la planta/modelo de reservas | G6 |
| Ventas a reservas comercializables | F3 | | |
| Producción ROM a modelo de control de ley | R1 | Producción de mineral/modelo de minería (control de ley) | M1 |
| Modelo de control de ley a alimentación de la planta | F2 | Alimentación de la planta/modelo de minería (control de ley) | M3 |
| | | Producto de la planta/modelo de minería (control de ley) | M4 |
| Alimentación de la planta a producción ROM | R2 | Alimentación de la planta/producción de mineral | M2 |
| Producto de la planta a alimentación de la planta | R3 | Producto de la planta/alimentación de la planta | P1 |
| Ventas de carbón a carbón producido | R4 | Envío/producto de la planta | T1 |

Fuente: Morley, 2008 Estandarización de los factores de conciliación requeridos en los informes de Gobernanza

4.2.5. Rango o Límites de Aceptación de Reconciliación

Según Parker (2006), el rango de aceptación de reconciliación de $\pm 5\%$ es un concepto utilizado en la industria minera para medir la calidad de la correlación entre la mina y la planta de procesamiento. Se considera que una reconciliación anual dentro de este rango es aceptable para minas de metales base, mientras que, para minas de metales preciosos, el rango se amplía a $\pm 10\%$.

Este concepto destaca la importancia de monitorear incluso los errores de estimación aparentemente pequeños, ya que pueden tener un impacto significativo en el flujo de caja y en el valor actual neto (VAN) de una operación. De acuerdo con Parker, un pequeño error negativo

puede impedir que una mina cumpla sus objetivos financieros, lo que puede llevar a decisiones estratégicas incorrectas e incluso al cierre prematuro de la operación. La dificultad para lograr un equilibrio perfecto entre todas las entradas y salidas se debe al margen de error natural en la estimación de los diversos tipos de datos. Por ello, se establece un rango de tolerancia o variación para determinar qué resultados se consideran aceptables. Cuando estas variaciones superan dicho rango, se investiga la causa subyacente con el fin de disminuir la disparidad (Morley, 2008).

4.2.6. Dilución Minera

La dilución en la minería se refiere a la combinación y contaminación de material mineral estéril con el mineral valioso durante la extracción. Este fenómeno tiene un impacto económico significativo, ya que resulta en el procesamiento de material de bajo valor o incluso en el descarte de mineral con contenido útil, lo que genera una pérdida de mineral.

El efecto de la dilución se manifiesta directamente en una disminución de la calidad del mineral y en la reducción de la ley del polígono extraído, afectando la cantidad real de material aprovechable. La dilución está directamente relacionada con la capacidad de los equipos de carguío para separar de manera precisa el mineral del material estéril, o conocido también “selectividad de material”.

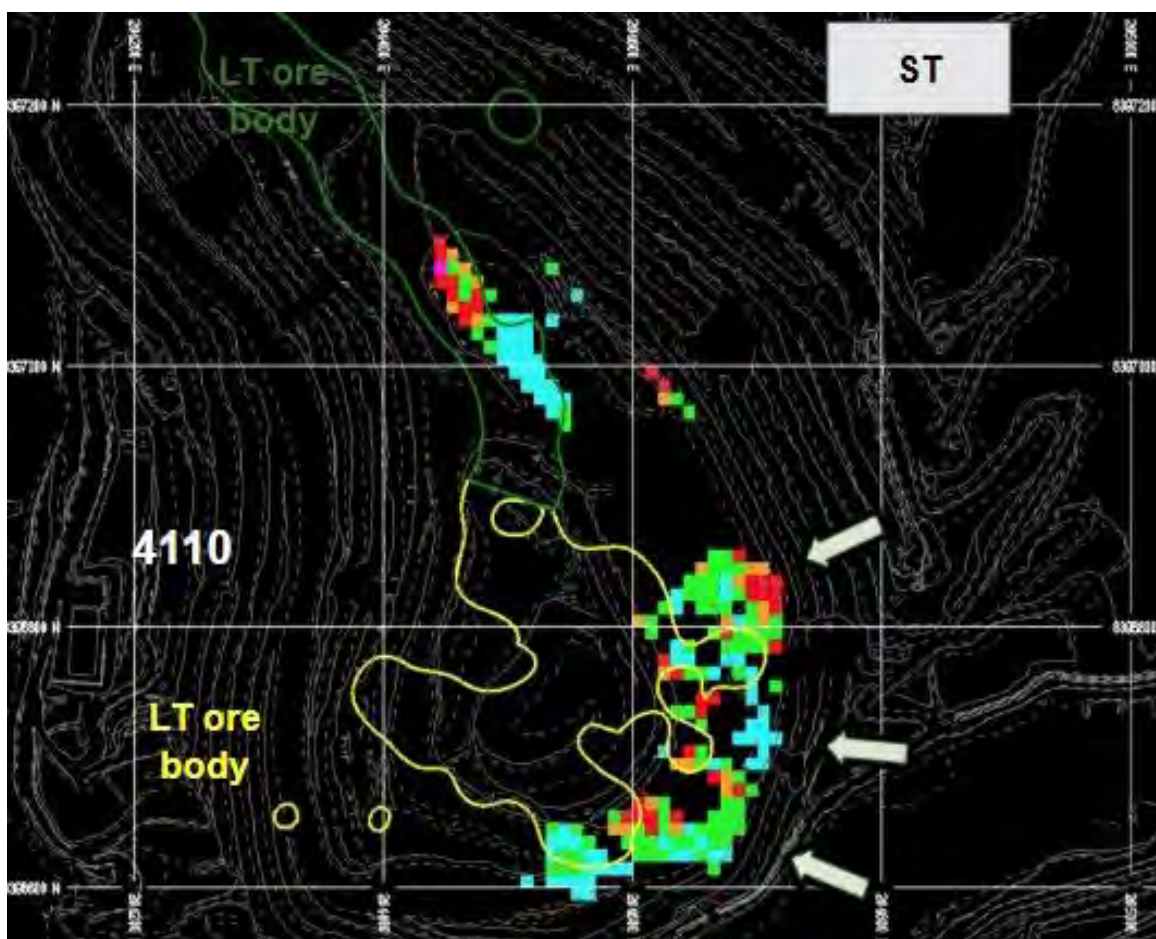
Un alto porcentaje de dilución no solo reduce la ley del mineral, sino que también incrementa los costos operativos. Procesar y mover material estéril hasta la planta es considerablemente más costoso que hacer lo mismo con el mineral, impactando negativamente en la rentabilidad de la operación. Este concepto es vital para la gestión eficiente de una mina, ya que un buen control de la dilución es clave para maximizar el valor del yacimiento. (De Nicola Perez, 2015).

4.2.7. Ley de Corte

Según el Código JORC (1989), la ley de corte (cut-off grade) es el umbral de calidad más bajo que debe tener el material mineralizado para que su extracción y procesamiento sean económicamente viables en un yacimiento específico. Este valor crítico puede establecerse a partir de un análisis económico, o bien, a partir de criterios físicos y químicos que determinan si el material es apto para la producción. Todo el material que supere esta ley de corte se considera mineral porque su extracción generaría ganancias. Por el contrario, cualquier material que se encuentre por debajo de esta ley de corte se clasifica como estéril o desmonte, ya que su explotación resultaría en pérdidas.

4.2.8. Modelo de Bloques

Franco, G. (2011) menciona que el proceso de modelado de un yacimiento en 3D implica dividir verticalmente en capas o "bancos". Cada bloque dentro de este modelo tridimensional puede almacenar una variedad de datos esenciales, incluyendo la ley mineral, códigos geológicos y el porcentaje topográfico, contienen también información como litología, alteración y mineralización. Los datos se incorporan al modelo mediante técnicas de interpolación, siendo el Kriging y la ponderación del inverso de la distancia los métodos más comunes. Una vez que el modelo está completo, puede ser visualizado de diversas maneras, ya sea en planos, secciones o contornos. Este modelo 3D no solo es una herramienta crucial para el análisis del yacimiento, sino que también es un requisito fundamental para el diseño de cualquier tajo minero.

Figura 7*Modelo de Bloques*

Fuente: MineSight

4.2.9. Polígono de Mineral

Es la unidad básica de planificación minera la cual delimita una zona específica dentro de un banco o tajo, y esta reúne ciertas características como parámetros geo-metalúrgicos homogéneos (ley mayor al cut off de Cu, tipo de mineral, dureza, alteración, etc). Los requisitos operativos son que deben tener contornos rectos o suavizados, con vértices de ángulos mayores a noventa grados, con dimensiones de ancho y largo ajustados a la capacidad de la pala para evitar atascos de equipos y se tenga una extracción eficiente.

4.2.10. Polígono de Desmonte

El polígono de desmonte es una zona delimitada dentro de un banco o tajo que contiene material estéril o de baja ley (inferior al cut-off). Su diseño sigue los mismos principios geométricos y operativos que un polígono de mineral, pero su destino es el botadero o depósito de lastre. Las leyes de este polígono están por debajo de la ley de cut off.

4.2.11. Sesgo:

Se refiere a una desviación sistemática en los resultados de datos analizados, que puede llevar a la sobreestimación o subestimación de ciertos aspectos del depósito mineral. Este sesgo puede originarse de diversas fuentes, como métodos de muestreo inadecuados, datos incompletos o imprecisos, o incluso errores en la interpretación de los resultados

4.2.12. Banco

En el contexto de minería a tajo abierto, los bancos o niveles son franjas horizontales o escalones que se excavan en una mina de este tipo. Funcionan como cotas de referencia fundamentales para la planificar y ejecutar diferentes procesos en minería.

La altura de estos bancos es un parámetro crítico que se establece en la fase de diseño de la mina. En la Mina Constancia, se ha definido una altura fija de 15 metros. Esta altura no es arbitraria, sino que está determinada por dos factores principales: La altura de los bancos debe ser compatible con las especificaciones de los equipos de minado utilizados, como palas y camiones. Y también consideraciones geotécnicas como la estabilidad de taludes del tajo, la resistencia de la roca, la presencia de fracturas y la inclinación del talud, estas se analizan detalladamente para definir una altura de banco que minimice el riesgo de deslizamientos.

4.2.13. Software *MineSight*®

Según *MineSight*® Mintec (2011), el software *MineSight*® es una solución de software integral que supera las capacidades básicas de un programa CAD (Diseño Asistido por Computadora). Está equipado con herramientas interactivas e innovadoras que facilitan la gestión y optimización de las operaciones mineras. Este sistema ofrece funcionalidades permitiendo a los usuarios abordar tareas complejas en tajo abierto y subterránea, como:

- La determinación precisa de reservas explotables.
- El diseño de los pits finales y la planificación de las fases de la vida útil de la mina.
- El diseño detallado de perforaciones (drill holes) y patrones de voladura.

La planificación de la infraestructura minera, incluyendo carreteras, rampas y botaderos.

CAPÍTULO V: GEOLOGÍA

5.1. Geología Regional

La mina Constanca está situada estratégicamente en la vertiente norte de la Cordillera Occidental de los Andes del Sur de Perú. Geográficamente, la zona de la mina se extiende en una dirección este-oeste y abarca la porción sur del cuadrángulo de Livitaca, identificado como en la Hoja 29-s por el INGEMMET.

En cuanto a su geología, las formaciones lito estratigráficas comienza con rocas antiguas de la Formación Chilloroya también conocida como Formación Murco, que data del Cretácico Inferior, compuestas principalmente por areniscas de grano medio en colores blanco, rojo, violeta o gris, que alternan con estratos de esquistos arcillosos rojizo, la formación Esta formación se encuentra discordante y angularmente superpuesta a la Formación Ferrobamba o Formación Arcurquina, que es de edad Cretácico Superior, la cual se encuentran expuesta en un área alargada de norte-sur, de 15 km de largo por 5 km de ancho, conteniendo una secuencia de calizas, calcarenitas y lentes de conglomerados.

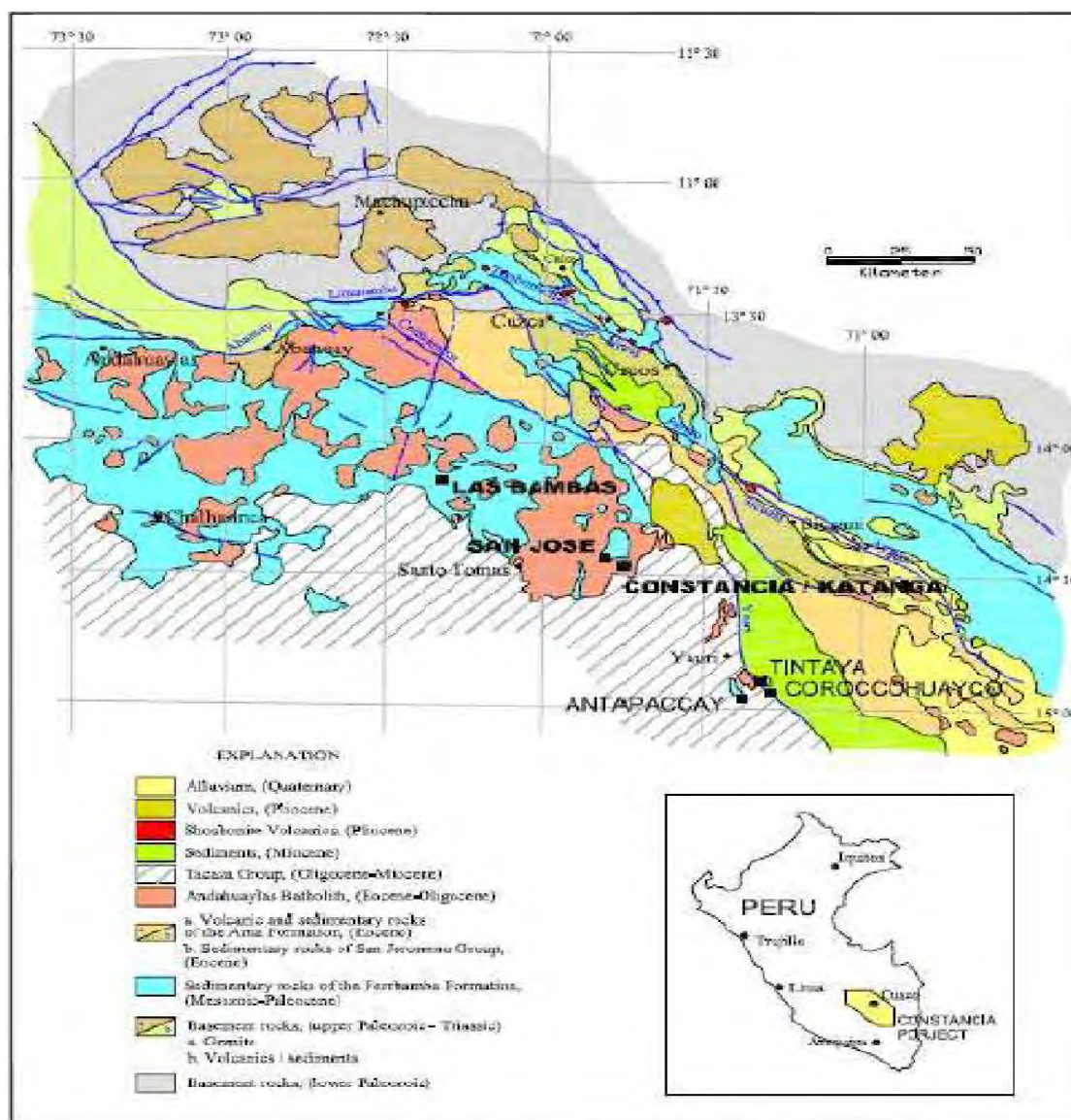
Durante el Terciario Inferior, la geología de la región fue significativamente alterada por la intrusión de cuerpos ígneos. Estos eventos magmáticos causaron metamorfismo, plegamientos, la formación de fallas y la erosión de las rocas preexistentes del Cretácico. Específicamente, la parte superior del basamento rocoso de esta columna geológica fue la más impactada por estos procesos.

El área está caracterizada por el Batolito Andahuaylas-Yauri, una unidad del Oligoceno de carácter diorítico a granodiorítico que intruye a las formaciones sedimentarias. Asociados a este evento, se observan cuerpos de skarn de magnetita. El escenario geológico se complementa con intrusiones monzoníticas y diques más jóvenes que cortan las rocas preexistentes. Estos últimos

son de gran importancia económica, ya que al interactuar con las calizas desarrollan skarns con mineralización de cobre, oro y plata, o bien presentan alteraciones propias de depósitos porfíricos de cobre

Figura 8.

Geología simplificada del área Andahuaylas-Yauri



5.1.1. Formación Murco Chilloroya (Ki-Mu):

La Formación Chilloroya está ubicada en el margen suroeste de la quebrada Ichuni y tiene un espesor de aproximadamente 1,000 metros. Esta capa de roca, que es la más antigua en el área del Proyecto Constancia, está compuesta principalmente por areniscas, areniscas cuarcíticas, limolitas y lodolitas, que se presentan en tonalidades que van del grisáceo al blanquecino. La litología de la formación es detrítica, lo que significa que sus rocas se formaron a partir de fragmentos de otras rocas preexistentes. A menudo se encuentran secuencias de arenisca intercaladas con capas de limolitas y lutitas. A nivel de afloramiento, la arenisca de esta formación muestra un grado variable de meteorización. Cerca de la superficie, la roca está de manera general muy meteorizada, pero a mayor profundidad, la meteorización disminuye. En zonas de mayor elevación, como las cimas de las crestas con pendientes pronunciadas, la arenisca está menos alterada por los agentes atmosféricos y conserva su estructura original, lo que permite observar sus características sinópticas. La Formación Chilloroya es la roca de basamento en el área del proyecto, actuando como la base sobre la cual se depositaron otras formaciones más jóvenes. Específicamente, esta formación infrayace a las calizas de la Formación Arcurquina, lo que significa que se encuentra por debajo de ella. Esta relación es un claro ejemplo de discordancia, ya que las capas de la Formación Chilloroya están plegadas y erosionadas en contraste con las capas más jóvenes de la Formación Arcurquina.

5.1.2. Formación Ferrobamba Arcurquina (Ks-Ar):

La Formación Ferrobamba Arcurquina se encuentra en la zona norte de la ampliación del depósito de desmonte (WRF), en las cabeceras de quebradas ubicadas a más de 4,000 metros sobre el nivel del mar. En estas elevaciones, la formación se presenta de manera dispersa, con

afloramientos de calizas y secuencias calcáreas. Litológicamente, la formación está compuesta por estratos de caliza cristalina de color gris claro en bancos y caliza gris oscuro a blanquecina en estratos delgados. Estas capas a menudo se intercalan con calizas nodulares y otros tipos de roca, como dolomías, margas y lutitas. Una característica distintiva de la Formación Ferrobamba Arcurquina es la presencia de morfología kárstica en varios sectores. Esto se debe a que la caliza es susceptible a la disolución por el agua, lo que crea superficies de aspecto rugoso, así como oquedades, dolinas y cavernas. Cuando la caliza entra en contacto con rocas intrusivas (como el magma que se enfría bajo tierra), se recristaliza y se transforma en mármol. Un aspecto importante de esta formación es la actividad kárstica en sus niveles inferiores. En la superficie, esta secuencia calcárea muestra indicios de mineralización de cobre (Cu), lo que la convierte en una formación geológica de interés económico.

5.1.3. Batolito Apurímac (P-Di):

El Batolito de Apurímac es una gran masa de roca ígnea con una formación geológica compleja, compuesta por múltiples cuerpos intrusivos como diques, lacolitos y lopolitos, que varían en composición. La litología de este batolito es diversa, predominando las rocas plutónicas como la diorita, monzonita y monzodiorita. También se han identificado cuerpos subvolcánicos de composición andesítica a dacítica. Estos cuerpos intrusivos se formaron al enfriarse el magma bajo la superficie terrestre y han intruido en rocas sedimentarias más antiguas, específicamente en las calizas de la formación Ferrobamba. El contacto entre el batolito y las rocas sedimentarias ha generado metamorfismo de contacto, un proceso donde el calor y la presión del magma alteran las rocas circundantes. Esto ha provocado la recristalización y marmolización de las calizas (transformación en mármol), así como procesos de silicificación y reemplazamiento metasomático, donde los minerales originales son sustituidos por otros.

El Batolito de Apurímac, que forma parte del Batolito Andahuaylas-Yauri y es de gran importancia económica. Se le considera el principal causante de la mineralización en la zona. Su composición, predominantemente diorítica-granodiorítica, está asociada con la presencia de pequeños mantos, vetas y lentes de skarn de magnetita. Además, varias de las intrusiones ígneas monzoníticas, en forma de diques o lacolitos, cortan transversalmente las litologías preexistentes. Algunas de estas intrusiones muestran las características típicas de un yacimiento de cobre porfirítico, lo que sugirió un potencial para la extracción de este mineral. Superficialmente, el batolito está cubierto por una capa de materia orgánica de hasta 50 centímetros de espesor.

5.1.4. Formación Alfabamba (Nm-AI):

La Formación Alfabamba está compuesta por pseudoestratos de andesita gris verdoso. Esta unidad geológica es porfirítica, lo que significa que tiene cristales grandes, llamados fenocristales, de plagioclasa de hasta 5 mm de tamaño incrustados en una matriz de grano más fino.

La roca está de manera general ligera a moderadamente meteorizada, y se presenta fracturada a muy fracturada. Se han identificado tres sistemas principales de fracturas que afectan a la formación:

- Primer sistema: Con orientación este-oeste y una inclinación de 78° hacia el norte.
- Segundo sistema: Con orientación $N60^\circ E$ y una inclinación de 78° hacia el noroeste.
- Tercer sistema: Con orientación norte-sur y una inclinación de 70° hacia el oeste.

En ciertos sectores, la Formación Alfabamba presenta una morfología escarpada y abrupta, indicando resistencia a la erosión. Sus pseudoestratos tienen una orientación de $N20^\circ W$ y un buzamiento (la inclinación de la capa de roca) de 46° hacia el noreste. El espesor de estos estratos varía entre 15 y 50 centímetros.

5.1.5. Depósitos Cuaternarios (Q):

En el proyecto Constancia, los depósitos cuaternarios (Q) son suelos y rocas recientes que cubren parcialmente las formaciones rocosas más antiguas. Tipos de Depósitos Cuaternarios

- **Depósitos Glaciales:** Son suelos formados por la acción de los glaciares. Se diferencian principalmente por su ubicación y características y se encuentra en la margen derecha de la quebrada Cunahuirí. Se compone de grava arcillosa con arena, bolones y bloques. Este material, por ser denso, es adecuado para cimentaciones y como material de construcción.
- **Depósitos Deluviales (Q-de):** Localizados en la margen izquierda de la quebrada Cunahuirí, son suelos formados por la erosión y gravedad. Están compuestos por grava arcillosa, densa y húmeda, de color marrón. La superficie de estos depósitos está cubierta por una fina capa de suelo orgánico.
- **Depósitos Aluviales (Q-al1):** Ubicados en las riberas y el lecho de la quebrada Cunahuirí. Están formados principalmente por grava arcillosa con arena, con algunas capas de arcilla y limo. Son materiales sueltos, con humedad variable dependiendo de si están por encima o por debajo del nivel freático. También tienen una capa superficial de suelo orgánico de aproximadamente 0.5 metros.

5.2. Geología Local

La geología local muestra múltiples fases de pórfido de monzonita, las cuales caracterizan gran parte del área. Se han reconocido al menos cuatro fases principales de intrusión, y la segunda más antigua se encuentra asociada con el evento de mineralización principal.

5.2.1. Rocas Ígneas

- **Pórfido de Monzonita 1(MP1):** El Pórfido de Monzonita es una importante formación geológica que aflora como un gran cuerpo intrusivo en el Cerro Constancia y se extiende hacia el oeste, alcanzando la Fase III del Tajo Constancia. Este pórfido es el anfitrión de la mayor parte de la mineralización relacionada con el depósito.

El MP1 se distingue por su textura porfídica, lo que significa que contiene fenocristales grandes y alargados de plagioclasa con hornblenda. Sus características principales son:

- **Plagioclasa:** Es el mineral más abundante, constituyendo entre el 40 y 50% de la roca. Sus cristales son alargados y pueden medir hasta 3 mm.
- **Hornblenda:** Presente en menor proporción, alrededor del 5 al 7%, con cristales alargados de hasta 6 mm de longitud.
- **Matriz:** La base de la roca es de color rosáceo e incluye cristales más pequeños de ortoclasa y magnetita.

Las porciones superiores de esta roca ígnea están intensamente lixiviadas, lo que significa que los minerales originales han sido disueltos y removidos por la acción de fluidos. Este proceso de alteración hace que el reconocimiento del MP1 sea particularmente difícil en la superficie.

Fotografía 1

Pórfido de Monzonita 1 “MP1”



- **Pórfido de Monzonita 2 (MP2):** El Pórfido de Monzonita es una formación geológica que se presenta en el área de Constanca y en la Fase III del Tajo Constanca. A diferencia del MP1, este pórfido se emplaza principalmente como diques tabulares, que son cuerpos intrusivos con una forma de pared, alcanzando hasta 150 metros de ancho. El MP2 se distingue por su composición mineralógica y la textura de su matriz:
 - Fenocristales de Plagioclasa: Constituyen la mayor parte de la roca, entre el 60 y 70%. Estos cristales son sub-redondeados y de un tamaño notable, llegando hasta los 4 mm de longitud.
 - Matriz: Los fenocristales están embebidos en una matriz de color blanquecino que contiene pequeñas cantidades de magnetita y otros minerales máficos.

- **Minerales Máficos:** El porcentaje de estos minerales es bajo, aproximadamente del 5 al 8%, y están representados principalmente por hornblenda (Hb) y, en menor medida, biotita (Bio).

En resumen, el MP2 se diferencia de otras unidades de monzonita por su ocurrencia geológica en forma de diques y por la alta concentración de fenocristales de plagioclasa sub-redondeados en una matriz distintiva de color blanquecino.

Fotografía 2.

Pórfido de Monzonita 2 “MP2”



- **Pórfido de Cuarzo Monzonita (QMP):** El Pórfido de Cuarzo Monzonita (QMP) es una unidad geológica que se manifiesta en la zona como diques verticales de hasta 20 metros de ancho. Estos cuerpos intrusivos tienen una orientación predominante de norte-sur a norte-noreste.

A diferencia de otros pórfidos en el área, el QMP no presenta evidencia de mineralización asociada, lo que sugiere que no tuvo un papel en la formación de los depósitos minerales de interés económico. Sus características más notables incluyen:

- Fenocristales Abundantes: La roca se compone de numerosos cristales de plagioclasa y hornblenda.

- "Ojos" de Cuarzo: La característica más singular son pequeños cristales de cuarzo, de 3 a 4 milímetros, que se asemejan a "ojos" distribuidos en la roca. Aunque su proporción es baja (1-2%), son su rasgo más distintivo.

Adicionalmente, se ha observado que esta unidad parece haber sido desplazada horizontalmente por una falla dextral, lo que implica un movimiento de la roca hacia la derecha a lo largo del plano de la falla.

Fotografía 3.

Pórfido de Cuarzo Monzonita “QMP”

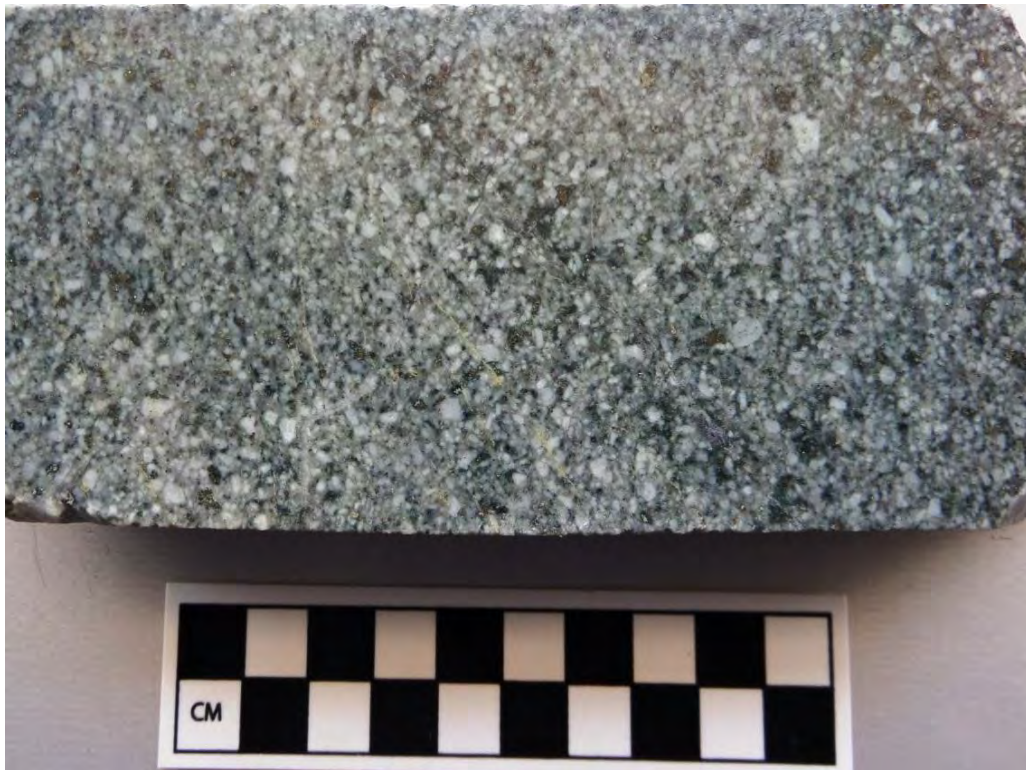


- **Pórfido Micro Monzonita (MMP):** El Pórfido Micro Monzonita es una unidad geológica que aflora en la zona sur del depósito, pero su presencia es más dispersa en el oeste, particularmente en la Fase III del Tajo Constancia. En esta misma área, también se han observado diques del Pórfido de Monzonita 1 (MP1). El MMP es un cuerpo intrusivo que se distingue por su textura de grano fino con cristales de Plagioclasa, constituyendo entre el 60 y 70% de la roca. Estos cristales son relativamente pequeños, con una longitud máxima de 2 mm. Contiene pequeñas cantidades de biotita (1-3%) y magnetita (menos del 1%) que son visibles en la matriz de color gris claro. Dentro de la matriz, se pueden observar parches de alteración de forma redondeada, con un tamaño de 1 a 7 mm. Estos

parches simulan xenolitos, que son fragmentos de roca encajante atrapados en el magma durante la intrusión, pero en este caso son resultado de un proceso de alteración.

Fotografía 4.

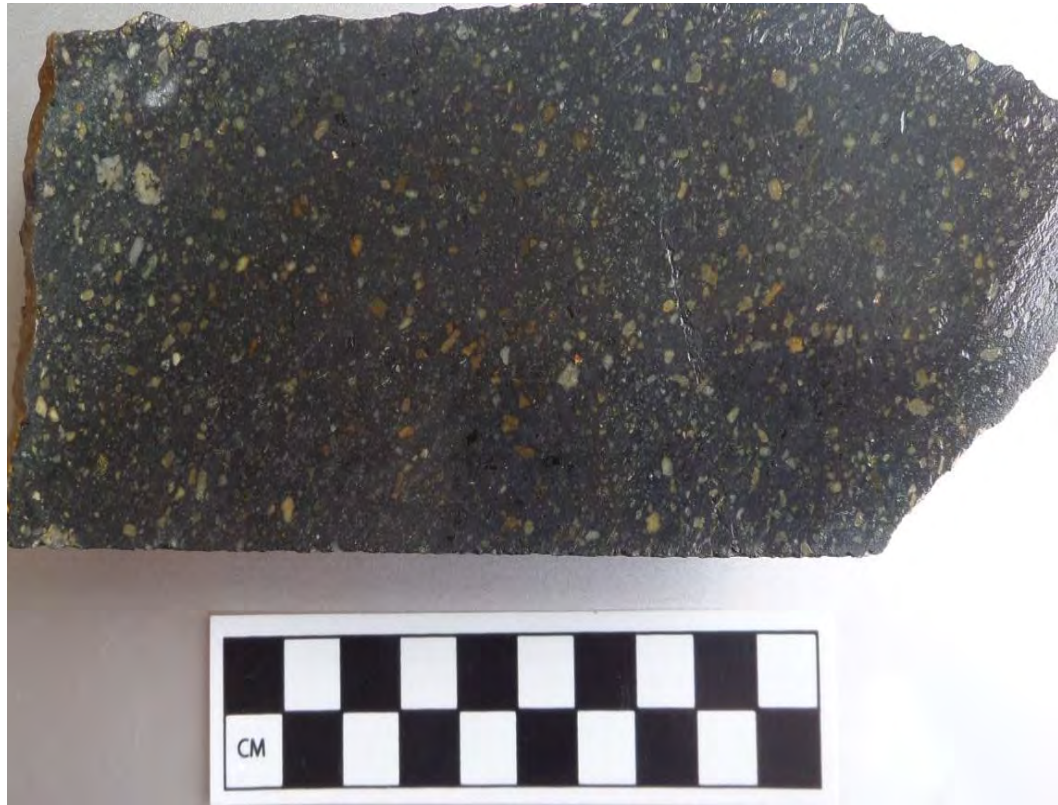
Pórfido de Micro Monzonita “MMP”



- Andesita (AAN): La Andesita es una roca ígnea afanítica, lo que significa que sus cristales son demasiado pequeños para ser vistos a simple vista. Se caracteriza por un color gris oscuro, que a menudo adquiere un tono verdoso debido a la alteración por cloritización. Esta unidad geológica se presenta principalmente como cuerpos estrechos similares a diques, algunos de los cuales se encuentran cerca de los contactos con los pórfidos de cuarzo monzonita. La roca contiene fenocristales (cristales visibles a simple vista) de plagioclasa y hornblenda, además de una pequeña cantidad de magnetita, que constituye aproximadamente el 1% de la composición total.

Fotografía 5.

Andesita “AAN”



- **Skarn (SKN):** El skarn (SKN) es una roca metamórfica que se forma por la interacción de fluidos hidrotermales, derivados de un intrusivo de diorita porfídica, con las calizas encajonantes. En el área de estudio, este skarn se manifiesta como cuerpos de morfología compleja a lo largo de la falla Yanac, y se identifica fácilmente por su textura característica y su coloración verde pardo oscuro. Su composición mineralógica típica incluye granates, piroxenos, magnetita, especularita y esfalerita. La mineralización constituye un sistema de reemplazo de skarn de magnetita con un importante valor económico, ya que alberga altas concentraciones de cobre, oro, plata, molibdeno, zinc y plomo. Los sulfuros se distribuyen en asociaciones zonales: la zona interna de granate-piroxeno contiene calcopirita \pm pirita \pm magnetita, mientras que en otras áreas predominan

asociaciones de bornita \pm calcopirita \pm esfalerita. En cuanto a la alteración, el exoskarn presenta una asociación primaria de granate con piroxeno, la cual suele ser sobreimpuesta por una alteración retrógrada de actinolita y clorita. Finalmente, la mineralización de cobre se presenta en forma de vetas y diseminaciones de stockwork, distribuidas tanto en el endoskarn como en el exoskarn.

Fotografía 6.

Muestra de Skarn "SKN"



5.2.2. Alteraciones Hidrotermales

- **Alteración Argílica:** Se identifica un proceso de Alteración Argílica, este fenómeno se manifiesta como una capa prominente compuesta por arcillas y sílice masiva, frecuentemente teñidas por óxidos de hierro. Dicha capa, que cubre extensas áreas del

yacimiento, se sitúa directamente por encima de las otras alteraciones, constituyendo lo que se conoce en exploraciones como un "Leach Capping" o capa de lixiviación.

Fotografía 7.

Muestra de Alteración Argílica



- **Alteración Potásica:** La alteración potásica es un proceso hidrotermal fundamental que transforma la roca original mediante el desarrollo de feldespato potásico secundario y biotita hidrotermal, los cuales reemplazan a los minerales ferromagnésicos y a la matriz de la roca. Su intensidad es variable, desde leve hasta intensa.

Esta alteración se manifiesta con una red de vetillas, entre las que destacan las de cuarzo de tipo "A" y "B", y es común la presencia de anhidrita. Asociada a estas vetillas, especialmente a las de tipo "A" en zonas profundas, se encuentra magnetita hidrotermal en forma de disseminaciones.

La alteración potásica está íntimamente asociada con la mineralización económica. Los sulfuros de cobre y molibdeno (calcopirita, bornita esporádica y molibdenita) y la pirita se

presentan impregnando la roca (reemplazando minerales máficos) y, predominantemente, relleno de las vetillas de tipo "A" y "B". Las leyes de cobre oscilan típicamente entre 0,2% y 4%, siendo más elevadas donde una fase de mineralización en fracturas se superpone a una previa de tipo diseminado. La mineralización hipogénica de alta ley se concentra en un denso stockwork de vetillas "A" formado en una etapa temprana del pórfido.

Fotografía 8.

Muestra de Alteración Potásica.



- **Alteración Propilítica:** La alteración propilítica representa una transición hacia la alteración potásica y se extiende más de un kilómetro desde los contactos intrusivos del pórfido. Esta alteración se caracteriza por la presencia de minerales como epidota, clorita, calcita, pirita y rodocrosita. Además, se observa calcopirita en menor proporción, la cual

rellena fracturas o sustituye minerales máficos. En el halo de alteración propilítica, se distribuyen vetillas y vetas de esfalerita-galena, formando un halo alrededor de la mineralización de cobre-molibdeno, y pueden encontrarse a distancias de hasta 3 km del sistema de pórfido de cobre.

Fotografía 9.

Muestra de Alteración Propilítica



• **Alteración Fílica:**

La alteración fílica forma una capa generalizada que rodea y, en ocasiones, se superpone a la alteración potásica. Este tipo de alteración implica la destrucción casi total de las texturas originales de la roca. Los minerales asociados a la alteración fílica incluyen sericita, cuarzo y

pirita, con cantidades menores de calcopirita. También se presentan vetas y vetillas ocasionales de tipo "D" asociadas a esta alteración.

Fotografía 10.

Muestra de Pórfido en la zona de Alteración Fílica



5.2.3. Mineralización

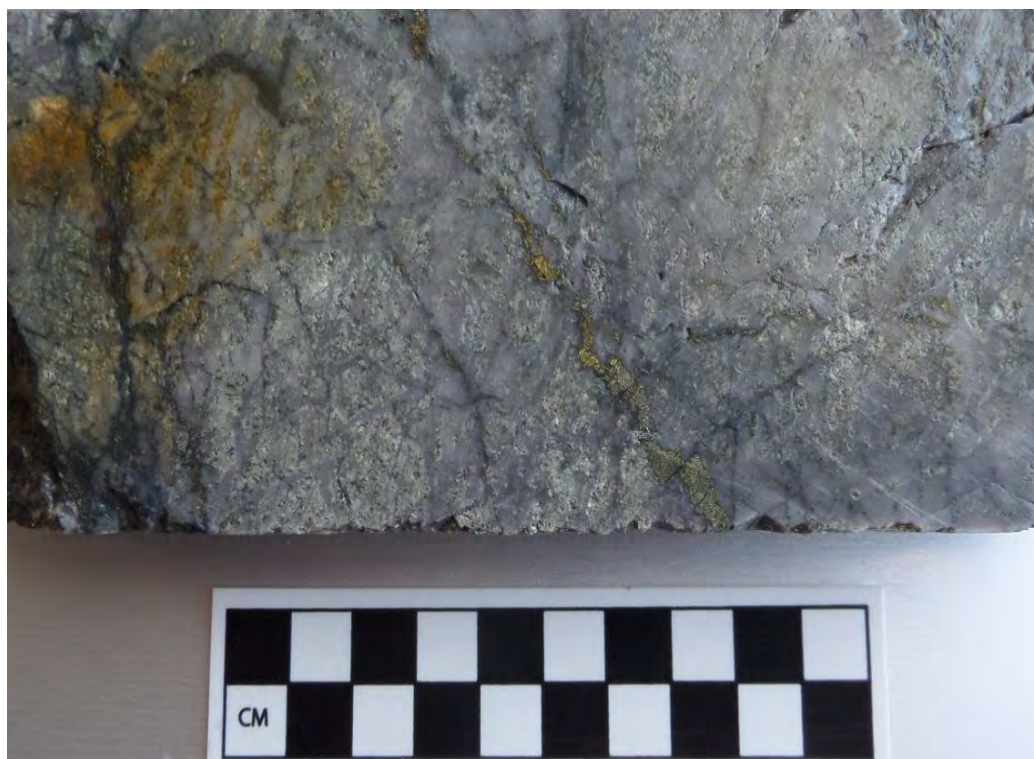
El depósito Constancia constituye un sistema de pórfido de Cu-Mo-Ag, complementado por una mineralización de skarn de cobre. Se localiza dentro del cinturón metalogénico Yauri-Andahuaylas, una provincia conocida por albergar numerosos prospectos de pórfidos de Cu-Mo-Au que no han avanzado a etapa de explotación. En el área del proyecto se distinguen dos zonas principales de mineralización tipo pórfido: Constancia, con una mineralización de carácter más profundo, y San José, donde la mineralización aflora en superficie. La zona de Constancia

propiamente tal se extiende aproximadamente 1.200 metros en dirección norte-sur y 800 metros en dirección este-oeste. En el Proyecto Constancia se han reconocido cinco tipos principales de mineralización:

- **Hipógeno:** Constituye el volumen principal del yacimiento, extendiéndose por debajo de la cota 3.900 m. Consiste en calcopirita y molibdenita en vetillas de cuarzo ("A" y "B") y disseminaciones controladas por un sistema de diaclasas en el intrusivo.

Fotografía 11.

Porfido de la zona de mineralización hipógena



- **Skarn:** Aunque de menor volumen, presenta leyes de cobre significativamente más altas y se encuentra en o cerca de la superficie. En el contacto entre los intrusivos y las calizas se desarrolla un skarn de granate y magnetita, mientras que en las areniscas calcáreas y

arcosas de la Formación Chilloroya predomina una asociación de piroxeno-diópsido (con granate y epidota). Contiene calcopirita, bornita esporádica, galena y esfalerita.

Fotografía 12.

Zona de mineralización Skarn



- **Supérgeno:** Se encuentra como remanente dentro de la capa lixiviada. Está compuesta por una asociación de digenita, covelita y calcocita (con cobre nativo raro). Junto con el skarn, alberga las leyes de cobre más altas del depósito.

Fotografía 13.

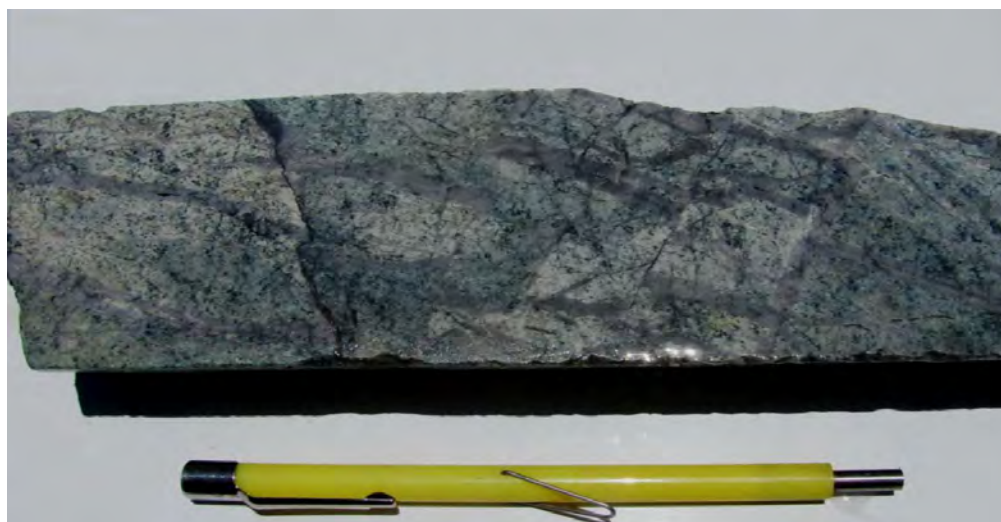
Porfido de la zona de Mineralización Supergeno



- **Zona Transicional (Mixta):** Corresponde a la zona de intermedia entre los sulfuros supergenos(Cc,Cv) y la mineralización hipógena primaria (Cpy,Py) con venillas tipo “D”

Fotografía 14.

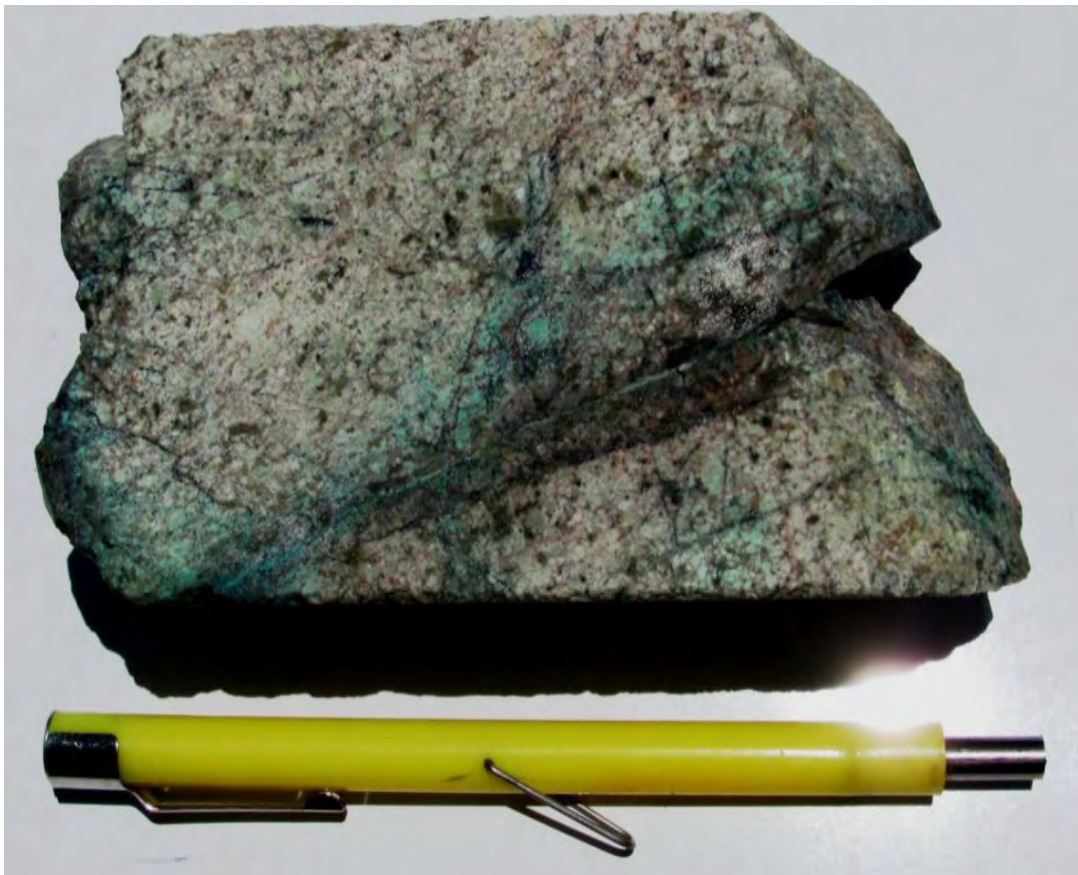
Porfido de la zona de Mineralización Transicional (Mixta)



- **Óxidos de Cobre:** Es una mineralización superficial y de volumen menor, por lo que no se considera relevante para su explotación en la etapa actual de desarrollo generalmente se encuentran minerales como la malaquita, crisocola

Fotografía 15.

Pórfido de la zona de Mineralización de Óxidos de Cobre



CAPÍTULO VI. PROCESOS DE OPERACIONES MINA

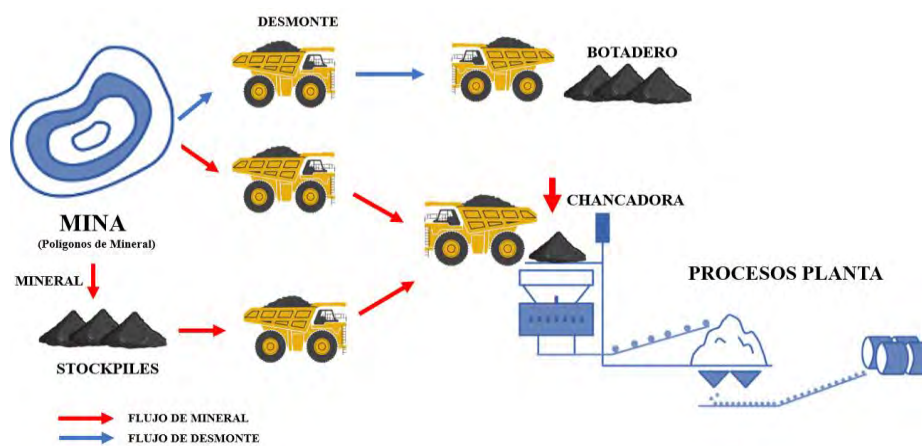
6.1. Descripción del Desarrollo Minero

El proceso de minado en el tajo abierto Constancia se basa en técnicas de extracción de mineral a cielo abierto. Este proceso comprende la ejecución del plan de minado que inicia con la perforación y voladura, seguido por el carguío y acarreo del material hacia sus destinos preestablecidos, que incluyen la planta concentradora (para el mineral), los stocks (reservas) y los botaderos (para el material estéril).

El mineral predominante explotado en Constancia es un pórfido de Cobre-Molibdeno (Cu-Mo), compuesto por sulfuros primarios y secundarios. Adicionalmente, se extrae material Skarn, el cual está emplazado por la falla Yanac a través de estructuras mineralizadas. La operación registra un movimiento total de material de aproximadamente 95,000 toneladas métricas diarias (TMD). El mineral extraído (95,000 TMD de pórfido y Skarn) es procesado en la planta concentradora de mineral mediante el método de flotación. Este proceso permite la separación y obtención de un concentrado de cobre fino de alta calidad. El concentrado de cobre producido es transportado en camiones hasta el puerto de Matarani. Desde allí, se exporta a diversos mercados internacionales, siendo los principales destinos el mercado Chino y Europa.

Figura 10.

Proceso de operación minera con el flujo de mineral y desmante

**Fotografía 16.**

Proceso de operación minera en la zona norte del Tajo Constancia.



Fotografía 17.

Proceso de operación minera de la zona sur del Tajo Constancia.

**6.2. Planeamiento Mina****6.2.1. Planeamiento a Corto Plazo**

El área de Planeamiento a Corto Plazo es esencial para la gestión operativa de la mina, enfocándose en el desarrollo y la optimización del plan operativo a corto plazo, con el objetivo primordial de cumplir con las metas de extracción de mineral. Este planeamiento se realiza a nivel diario, semanal y mensual, y su resultado es la definición precisa de las secuencias de extracción y

movimiento de material, incluyendo la programación de la secuencia de perforación y voladura. Además, el plan establece la disposición específica de todo el material, asignando el mineral a la chancadora o stocks, y el material estéril a la presa de relaves (TMF) o a los botaderos. Para generar estos planes, el área utiliza información detallada del modelo de corto plazo y de los polígonos de Geología, prestando especial atención a la litología, alteración y mineralización del macizo rocoso, así como a las leyes económicas (cut-off grade). De esta manera, el Planeamiento a Corto Plazo asegura el cumplimiento de los objetivos estratégicos de la mina, garantizando una gestión continua de los recursos y la eficiencia en la extracción.

Figura 11.

Plan de minado diario del Tajo Constancia.

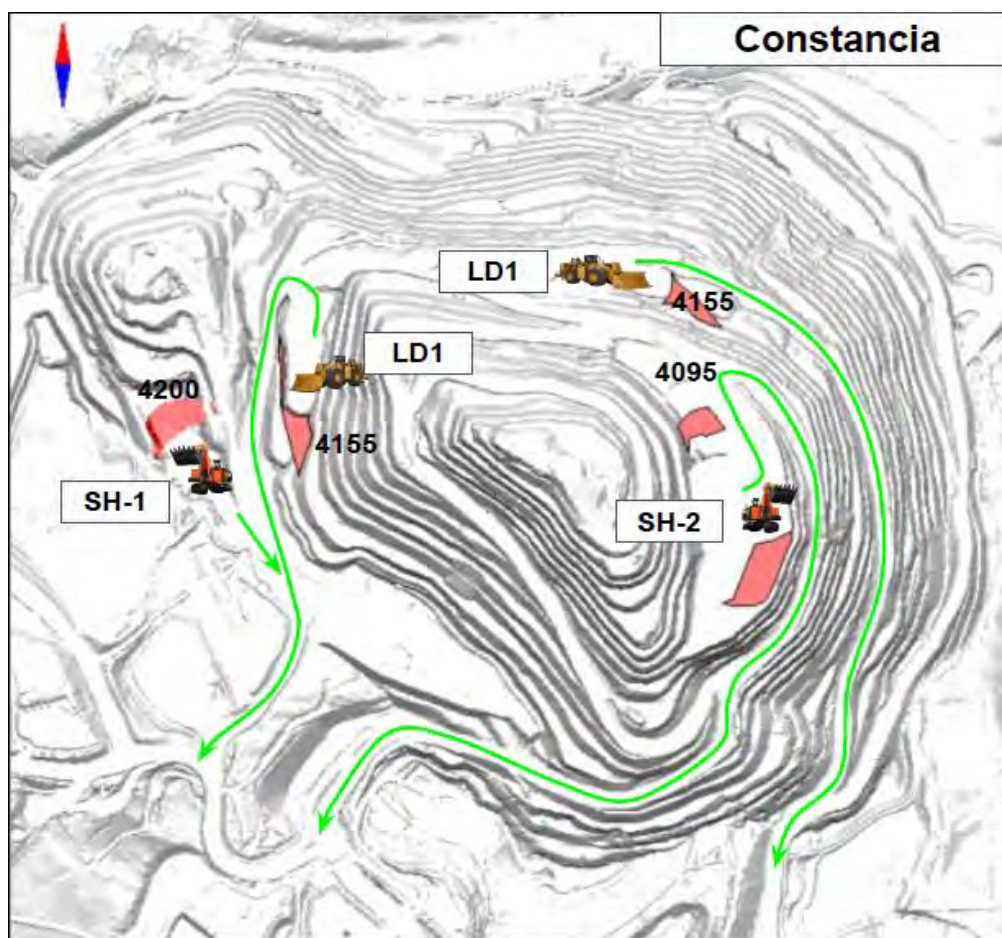
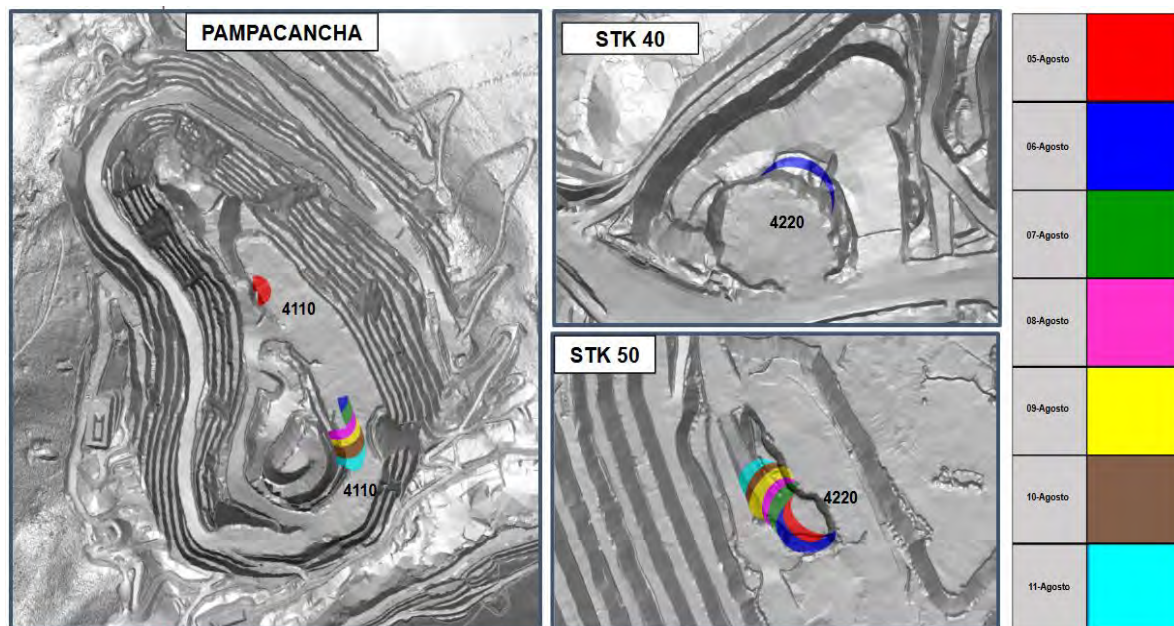


Figura 12.

Plan de minado semanal del Tajo Constancia., zona Pampacancha.



6.2.3. Planeamiento a Largo Plazo

El área de Planeamiento a Largo Plazo es fundamental para establecer la visión estratégica de la operación minera, siendo responsable del Plan de Vida de la Mina (Life-of-Mine - LOM). Su principal tarea es determinar los límites permisibles de minado económico del tajo y la elaboración de las fases de minado desde el inicio de la operación hasta el cierre de mina (como lo establece la referencia de Llamoca, 2020). Este proceso se sustenta en la información detallada del modelo geológico del yacimiento.

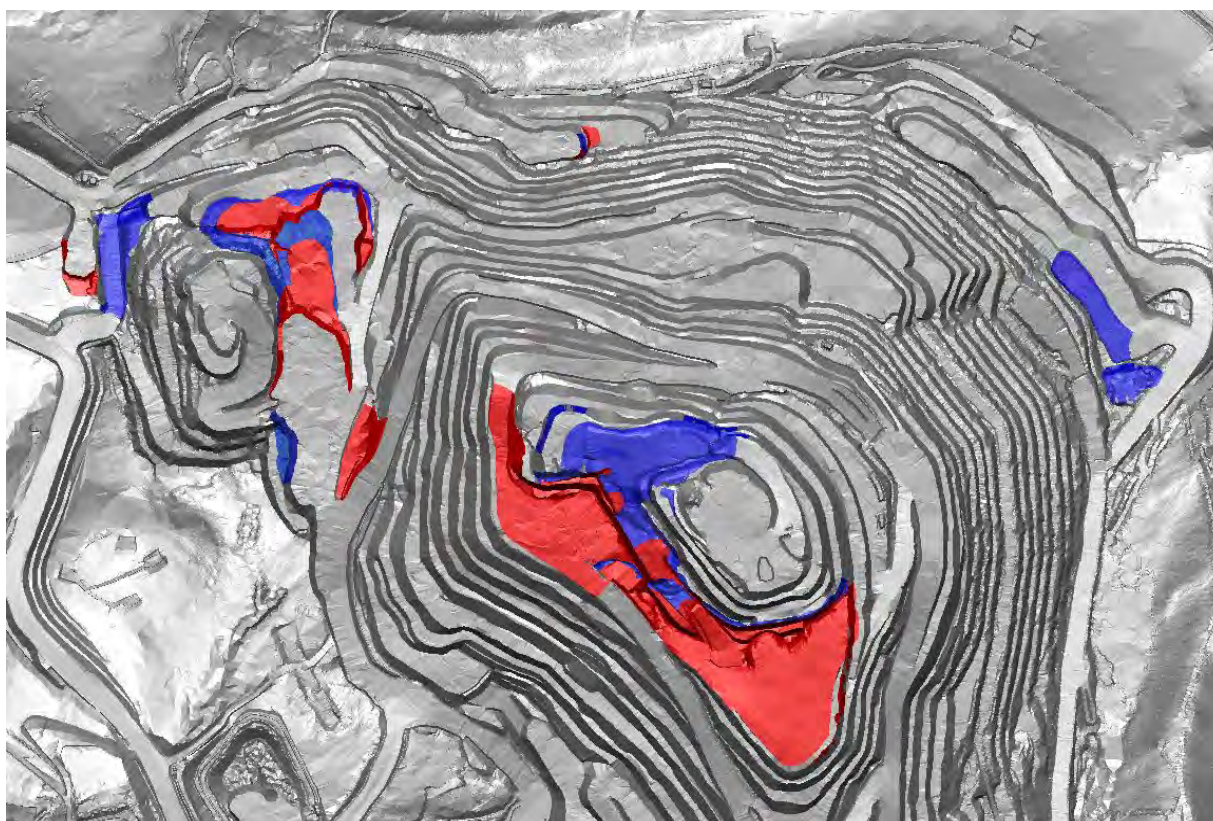
Estos planes a futuro se concretan en informes exhaustivos denominados Budget (presupuesto y plan quinquenal o de mayor duración), que contienen información crítica como la vida útil estimada de la mina, el tonelaje y las leyes a minar por año, el volumen de desmonte a mover, los límites de minado

por periodo, el diseño de la geometría del tajo (incluyendo el número de taludes) y el diseño de los depósitos de desmonte y otras infraestructuras asociadas.

Los principales desarrollos estratégicos que ejecuta esta área son: Optimizar el Límite Final de la Mina, diseño de Fases de Minado y secuencia de Minado

Figura 13.

Plan de minado mensual del Tajo Constancia mensual.



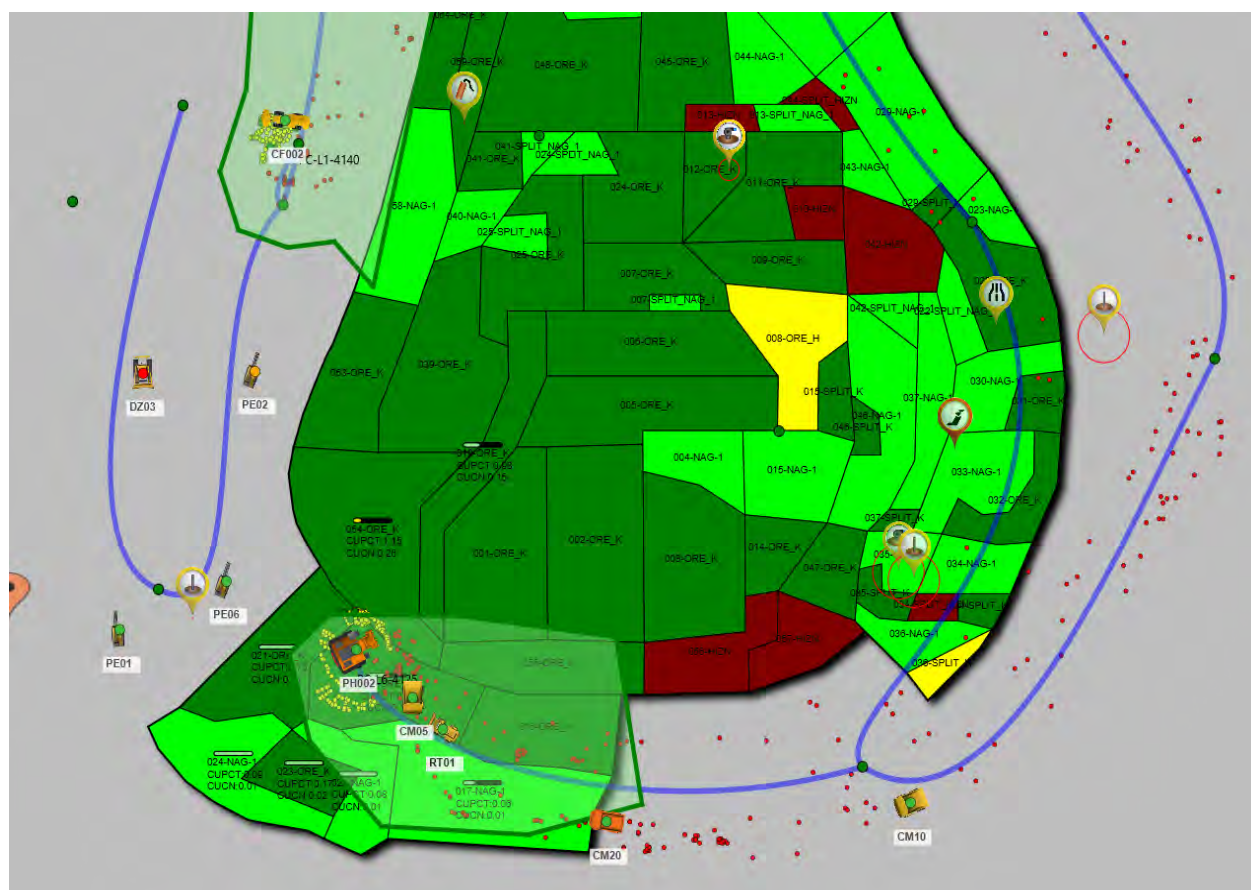
6.3. Sistema de Administración y Control de Mineral (DISPATCH)

El sistema DISPATCH es una herramienta fundamental de Administración de Mina que utiliza algoritmos avanzados, integrados en una base de datos central, para optimizar las operaciones de acarreo. Su función primordial es la asignación dinámica de camiones a los equipos de carguío, utilizando una combinación de hardware instalado en campo y sistemas de comunicación robustos

para asegurar la máxima productividad posible. Mediante el sistema DISPATCH, se realiza un monitoreo del estado de todos los equipos en tiempo real (palas, cargadores, camiones y perforadoras) a través de tecnología de HPGPS (High Precisión Global Positioning System), que proporciona sus coordenadas exactas en cada momento. Adicionalmente, el sistema centraliza y gestiona información operativa crucial como el análisis de la carga efectiva de los equipos de acarreo, el consumo y nivel de combustible, y el destino asignado a cada unidad (chancadora, stocks, botaderos). Finalmente, el sistema permite visualizar la carga y el estado de los polígonos de minado, proporcionando a los ingenieros de control una visión completa del avance de la extracción y facilitando la toma de decisiones inmediata

Figura 14.

Polígonos de minado generados por Geología dentro del sistema Dispatch



6.4. Perforación

La perforación es la etapa que inicia formalmente el ciclo minero, y su finalidad principal es la apertura de taladros que albergarán el material explosivo. Esta actividad se rige por un diseño establecido que considera los parámetros geológicos clave definidos en la malla de perforación, tales como la litología, el grado de alteración, la mineralización y la dureza de la roca (UCS). Cada malla de perforación puede comprender entre 150 y 200 taladros aproximadamente. Un subproducto vital de este proceso es la generación de conos de material de perforación, conocidos como BlastHole (BH). Este material es muestreado y analizado, permitiendo la identificación y confirmación de los parámetros geológicos y las leyes de mineral del macizo rocoso. Esta información es crucial para la posterior clasificación selectiva del material y para optimizar el diseño de carga con material explosivo para la siguiente etapa del ciclo: la voladura.

Fotografía 18.

Zonas de perforación de Blastholes - Zona Norte del Tajo Constancia



Fotografía 19.

Zona de perforación de Blastholes - Zona Sur del Tajo Constancia

**6.5. Voladura**

El proceso de voladura es un componente crítico del ciclo minero, ya que su propósito principal es generar el material roto o fragmentado con la granulometría adecuada para el carguío subsiguiente. La fragmentación obtenida debe ser óptima para permitir que el material pase

eficientemente a través de la chancadora primaria en la planta de procesamiento. Es crucial que la carga de los taladros se realice de manera selectiva y precisa, adaptándose a las características geológicas y geotécnicas del terreno. Para esto, se utiliza una variedad de explosivos, diferenciando aquellos aptos para taladros húmedos o secos. En Constanza, las voladuras se programan en una ventana horaria restringida, de 12:00 am a 12:30 am, principalmente por factores operativos que minimizan la interferencia con otras actividades mineras. El resultado de cada voladura se tiene material fragmentado y particulado que genera gases que se desprenden de la voladura.

Fotografía 20.

Zona de carga con explosivos para cada blasthole.



Fotografía 21.

Proceso de voladura dentro del Tajo Constancia.

**6.6. Carguío y Acarreo de Mineral**

La operación de carguío y acarreo de mineral constituye un sistema logístico y productivo de alta capacidad y precisión, diseñado para el movimiento masivo y selectivo del material volado hacia sus destinos finales (Chancadora, stocks, botaderos). El carguío se lleva a cabo mediante una combinación de equipos. Por un lado, las Palas Hitachi ofrecen una alta producción con una capacidad de carga de 40 toneladas por pasada, requiriendo entre 5 y 6 pases para llenar completamente un camión de 236 toneladas. Estas palas exigen un ancho operativo considerable de 20 metros. Por otro lado, los Cargadores Frontales CAT poseen una capacidad de carga menor, pero

brindan una mayor movilidad y flexibilidad para operar en diferentes frentes, requiriendo un ancho operativo más reducido de 30 a 40 metros.

Ambos equipos de carguío están dotados de la tecnología HPGPS de alta precisión, con un margen de error de milímetros. Este sistema es crucial para el control geológico y la reconciliación de polígonos, ya que captura las coordenadas X, Y, Z en tiempo real de cada acción de carga o baldada. Esta captura de datos georreferenciados permite determinar con exactitud el polígono y el bloque que está siendo minado en cada momento, sirviendo como un pilar fundamental para la integridad de los datos de extracción.

Fotografía 22.

Carguío y acarreo de mineral en la zona Norte del Tajo.



Fotografía 23.

Zona de descarga en los Stocks de mineral.

**6.7. Ore Control**

El área de control de Mineral (Ore Control) tiene la misión fundamental de gestionar la calidad y maximizar la recuperación del recurso. Su principal objetivo es asegurar la extracción de la mayor cantidad de mineral posible dentro de las zonas predefinidas del yacimiento. Adicionalmente, esta área garantiza que todo el material extraído sea enviado correctamente a sus destinos establecidos (e.g., planta, stocks y botaderos).

Para el geólogo en esta área, es esencial la definición precisa de los parámetros geológicos clave, que incluyen la litología, la alteración y la mineralización de la roca. Su trabajo se centra en el control del minado de los polígonos de mineral y en la fiscalización de todo el flujo de material, desde la mina hasta la planta de procesamiento (proceso conocido como mine to mill).

Para lograr sus metas de calidad y eficiencia, el área de Ore Control ejecuta una variedad de actividades que son indispensables para optimizar el proceso productivo y asegurar que toda la operación se lleve a cabo de la mejor manera posible.

6.7.1. Logueo de Detritos de Blastholes

El logueo de detritos de blastholes es el proceso de realizar una descripción geológica macroscópica de los fragmentos de roca (detritos) extraídos de los conos de perforación. Este análisis es fundamental para identificar la litología (el tipo de roca), sus alteraciones y la mineralización presente. Además, el proceso incluye la estimación del porcentaje de Cobre (Cu) que contienen los detritos.

Esta función tiene una importancia estratégica vital para la operación minera. La información recopilada se utiliza para determinar y delimitar las zonas mineralizadas dentro del tajo, lo que facilita la caracterización geológica del yacimiento. Asimismo, el logueo permite identificar la presencia de elementos contaminantes, como el Zinc (Zn) y el Plomo (Pb), los cuales deben controlarse ya que afectan la calidad del concentrado de Cobre final.

La metodología para esta actividad requiere el uso de herramientas específicas. Primero, los detritos de roca se lavan y clasifican utilizando mallas tipo tamices. La inspección y el examen detallado de la muestra se realizan con la ayuda de una lupa de 20X. Se emplean también instrumentos complementarios, como un lápiz, un rayador y un imán, para identificar las propiedades y los minerales presentes en la roca.

Fotografía 24.

Logeo de detritos de Blasthole del tajo Constancia norte



Fotografía 25.

Logeo de detritos de Blasthole del tajo Constancia

**6.7.2. Muestreo de Detritos de Blastholes**

El muestreo de detritos de blastholes se considera la actividad más importante dentro del área de Control de Mineral (Ore Control). En el caso específico de la mina Constancia, se emplea una metodología de muestreo por incrementos. Este método consiste en realizar cuatro cortes transversales en cada blasthole utilizando una pala manual.

El objetivo es recolectar una muestra de aproximadamente 5 kg por cada pozo de perforación. Esta muestra debe ser altamente representativa, ya que su composición se considera los 15 metros de profundidad del taladro perforado. Una vez recolectada, la muestra se prepara para ser enviada al laboratorio para su análisis químico, de ahí la importancia de un correcto muestreo ya que implica tener la representatividad de todo el material perforado.

Fotografía 26.

Muestreo de detritos de Blasthole del tajo Constancia



6.7.3. Muestreo de Densidad

El Muestreo de Densidad es un proceso esencial enfocado en obtener una muestra de roca representativa para evaluar las variaciones de densidad en función de la alteración hidrotermal. El objetivo es determinar cómo la densidad cambia entre diferentes tipos de litologías (tipos de roca) que han sido afectadas por la misma alteración hidrotermal.

El procedimiento comienza con la identificación de un área que muestre una alteración geológica homogénea. Tras la voladura, se procede a recoger la muestra de mano directamente de los puntos seleccionados, asegurándose de que la muestra sea representativa del tipo de roca, su alteración y su litología. Para el análisis en sí, la muestra pasa por un proceso de pesaje en seco y pesaje en húmedo. Los valores serán ingresados a la base de datos, la cual alimentará el modelo de bloques. Los valores promedio de la densidad de la roca son:

- Pórfido Monzonítico (2.4-2.7 kg/m³)
- Dique Monzonítico (2.4-2.7 Kg/m³)
- Skarn de granates (2.6- 3.2 kg/m³)
- Skarn de Magnetita (2.8-4.5 kg/m³)
- Calizas (2.4-2.7 Kg/m³)
- Areniscas(2.4- 2.7 Kg/m³)

Fotografía 27.

Muestreo de densidad post voladura

**6.7.4. Mapeo de Bancos**

Procedimiento en el que se realiza la toma de información de los frentes expuestos en mina y de los taludes finales, recolectando datos de litología, alteración, mineralización, estructuras y fallas ya sean locales o regionales. Toda esta información de datos es de manera gráfica y escrita (cuadros, planos), considerando factores como la escala, orientación, dimensión además de tener una simbología predeterminada y estandarizada.

Este mapeo de Bancos también es utilizado para hacer correlaciones con el logueo de BlastHoles, los cuales sirven para la alimentación de información al modelo de bloques de corto plazo.

Fotografía 28.

Mapeo de bancos de frentes de minado en el Tajo Constancia.



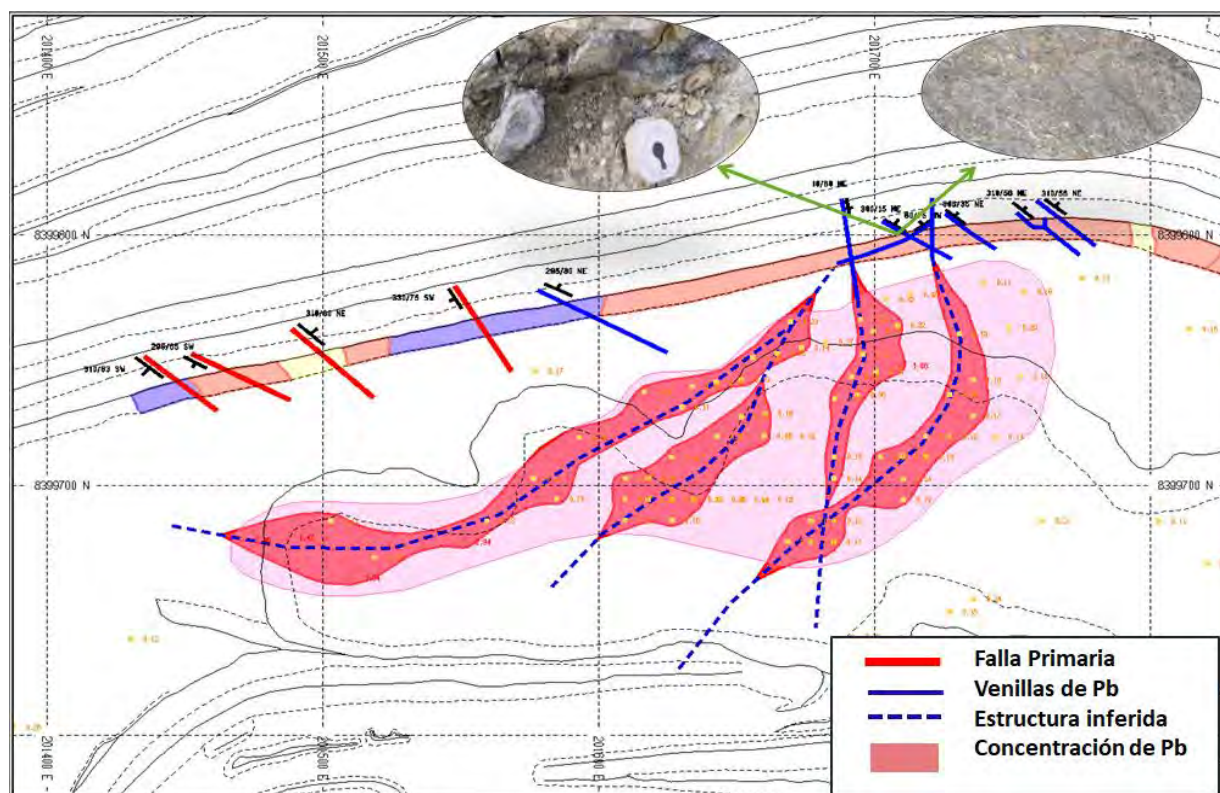
En esta actividad primero se determinan las zonas a mapear para recolectar datos litológicos, alteraciones, mineralización y tomando muestras de mano para luego interpretarlas de manera gráfica y escrita a una escala determinada. Una vez finalizado este trabajo serán digitalizados en MineSight, para su correcta interpretación y así tener una mejor información para la generación de polígonos de minado.

- I. Planificar las zonas a mapear (zonas con falta de información, avances de frentes de minado, taludes finales y zonas con nuevos diseños).

- II. Solicitar la topografía actualizada para generar el plano del área a ser mapeada
- III. Una vez en campo, ubicar en el plano el punto o coordenadas de inicio del mapeo con GPS.
- IV. A partir del punto ubicado, determinar unidades geológicas y sus características visibles (litología, alteración y mineralización, estructuras y geometría de emplazamiento), este procedimiento se realiza cada 4 metros. Identificamos también las estructuras locales para determinar su relación con estructurales regionales.
- V. Graficar la información geológica en los planos de mapeo. Realizando el marcado de puntos de control, como contactos litológicos, fallas, vetas, etc.
- VI. Finalmente digitalizar dicho gráfico en el software MineSight en la cota correspondiente y ajustar a la topografía actual, esto para la actualización en el modelo de corto plazo.

Figura 15.

Digitalización del mapeo de bancos, con presencia de venillas y estructuras.

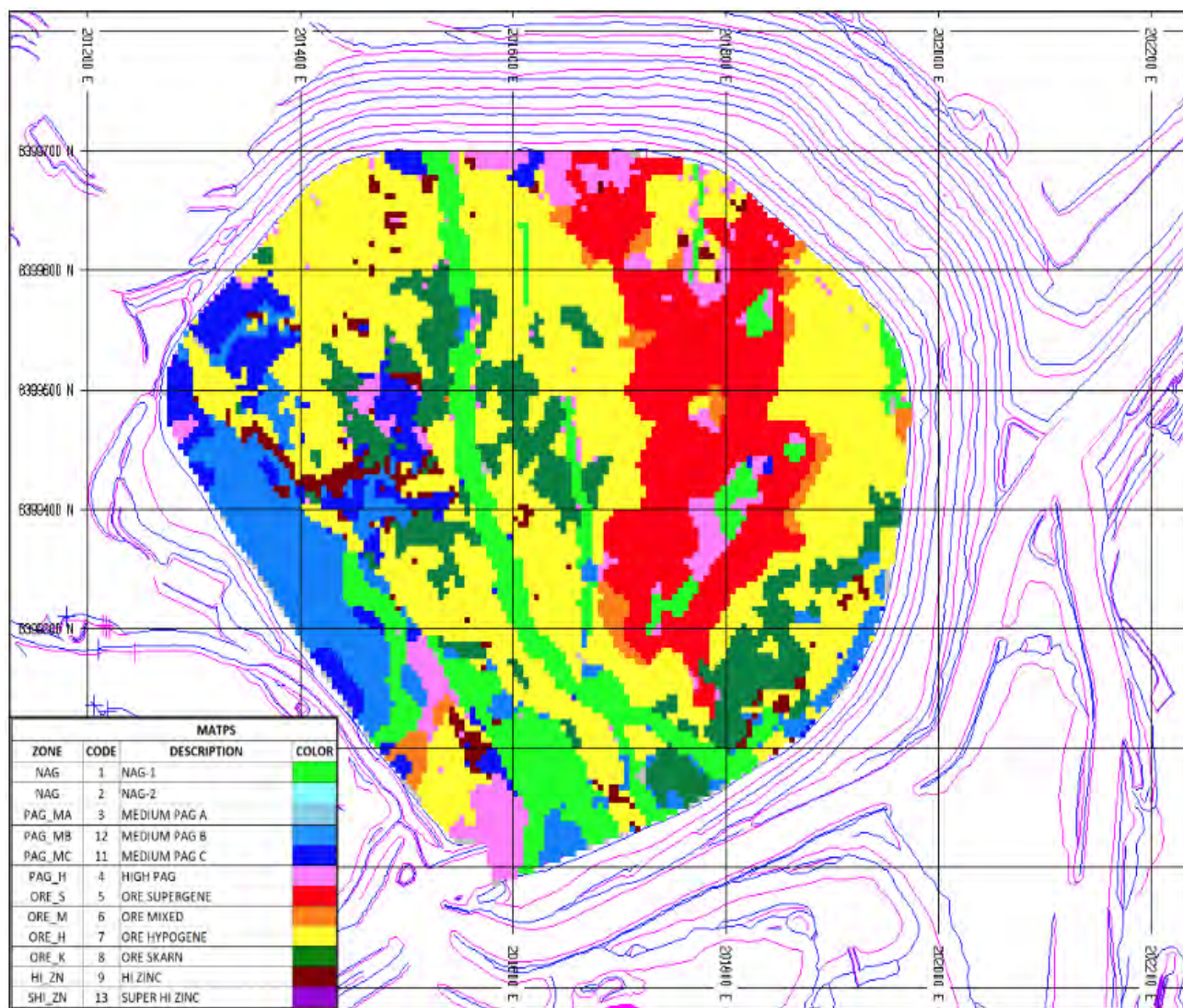


6.7.5 Generación del Modelo Geológico

Es un proceso que comienza con la incorporación de la información de todos los taladros muestreados. Se añade la información obtenida del logueo de cada blasthole, que incluye la litología, la alteración y la mineralización de la zona. Una vez que se han establecido los dominios litológicos y mineralógicos, el paso siguiente es la carga total de los resultados de laboratorio al software MineSight, incluyendo las leyes de Cobre (Cu), Oro (Au), Plata (Ag), Zinc (Zn) y Plomo (Pb), así como los datos geológicos ya mencionados. Con toda esta información consolidada, se procede a interpolar el modelo utilizando los datos recolectados para generar una representación precisa del yacimiento a corto plazo. Esta información fue la base para la creación de un Modelo de Bloques (10 x 10 x 15 m) en MineSight, donde se representaron los dominios geológicos. La Estimación de Recursos Minerales se enfocó en elementos como Cu, Ag, Mo y Au además de analizar contaminantes. El procedimiento incluyó la utilización de los métodos de kriging e inverso a la distancia para interpolar las leyes. El proceso finalizó con una validación del modelo.

Figura 16.

Modelo de bloques (10X10X15) con los diferentes tipos de materiales.



6.7.6. Creación de Polígonos

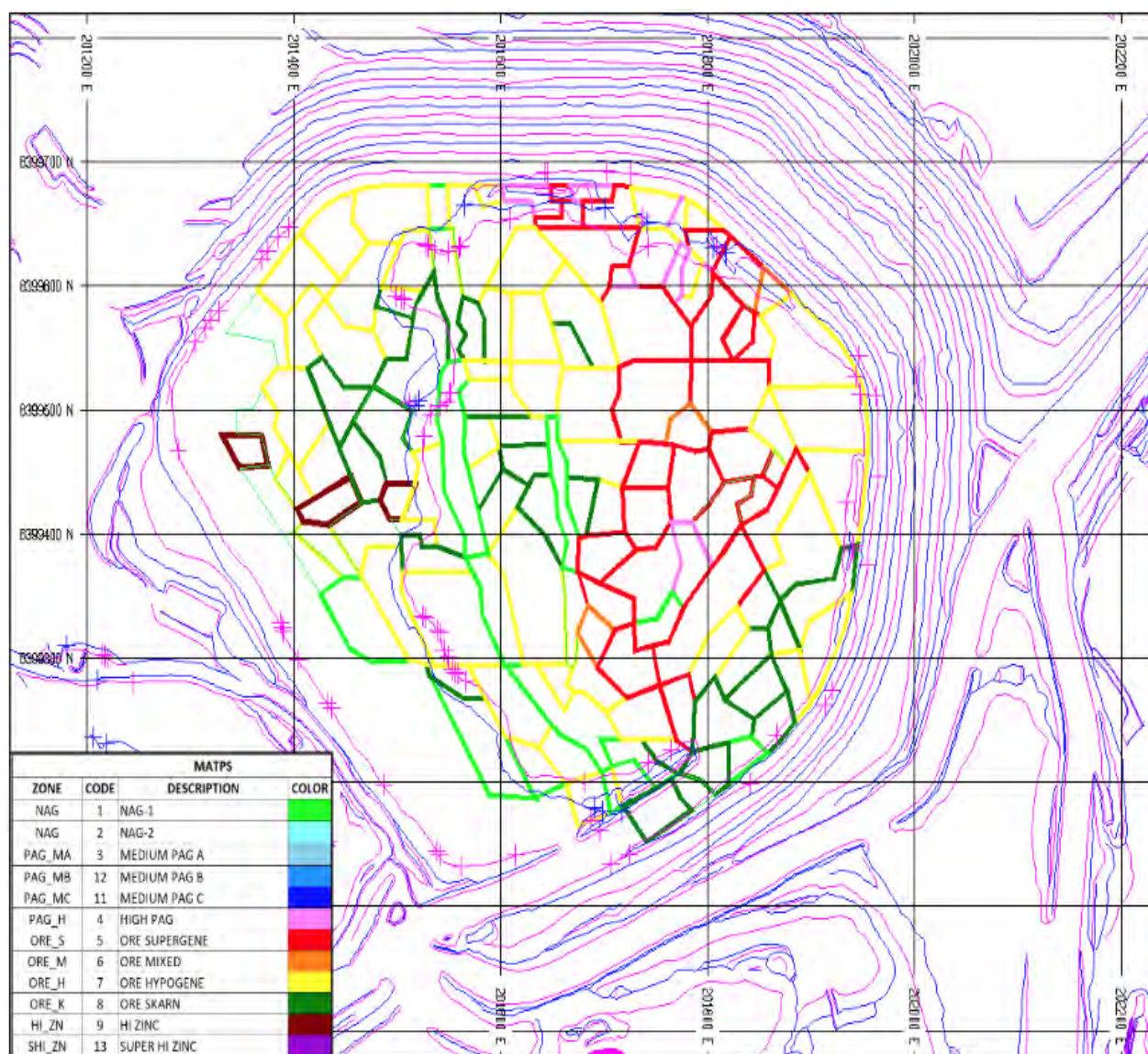
El diseño y la creación de polígonos representan el paso final de la planificación de minado y se basan en la integración de la información geometalúrgica y las condiciones operativas de la mina.

Cuando el modelo de bloques está completamente actualizado y definido, se procede al diseño de los polígonos de minado. Estos polígonos son geometrías que agrupan información tanto del modelo de

bloques como de las leyes reales de los blastholes. La forma y el tamaño final de estos polígonos están determinados por el área de Geología Mina de acuerdo a las características geometalúrgicas del mineral y las limitaciones operativas para su posterior extracción donde se diferencia el mineral del desmonte.

Figura 17.

Polígonos de mineral y desmonte generados a partir del modelo de bloques (10X10X15).



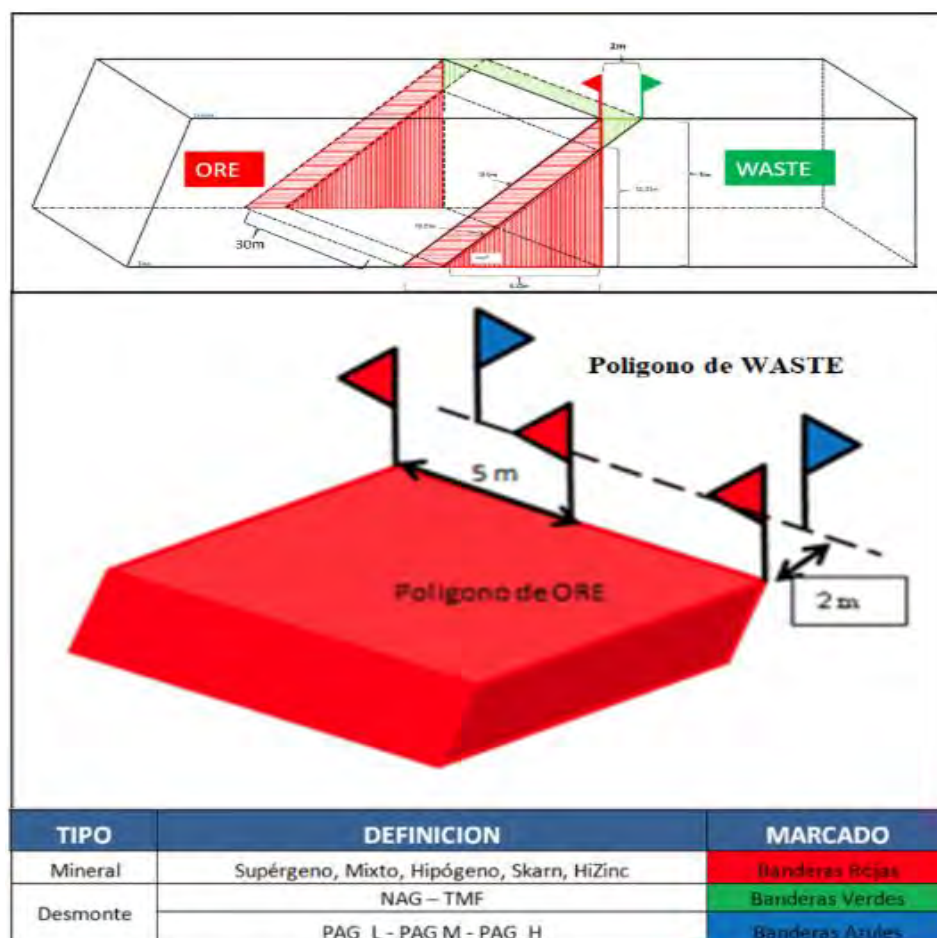
6.7.7. Supervisión de Frentes de Minado

El Geólogo de Ore Control se encarga de controlar la dilución y/o maximización del minado, generalmente decidiendo mover o no los límites entre mineral y desmonte; en base a algunos parámetros a fin de minimizar la dilución y/o maximizar el minado de mineral

El Geólogo se encarga de verificar la zona de contacto mineral/desmonte y de acuerdo al desplazamiento de mineral se coloca los banderines de Mineral (Rojo) y Desmonte (Azul y verde) ambos a una distancia de 2m en zona de contacto.

Figura 18

Límites entre mineral y desmonte, separados por banderines de Mineral (Rojo) y Desmonte (Azul y verde)



Fotografía 29.

Límites entre mineral y desmonte, separados por banderines de Mineral (Rojo) y Desmonte (verde) marcados en campo.



Fotografía 30.

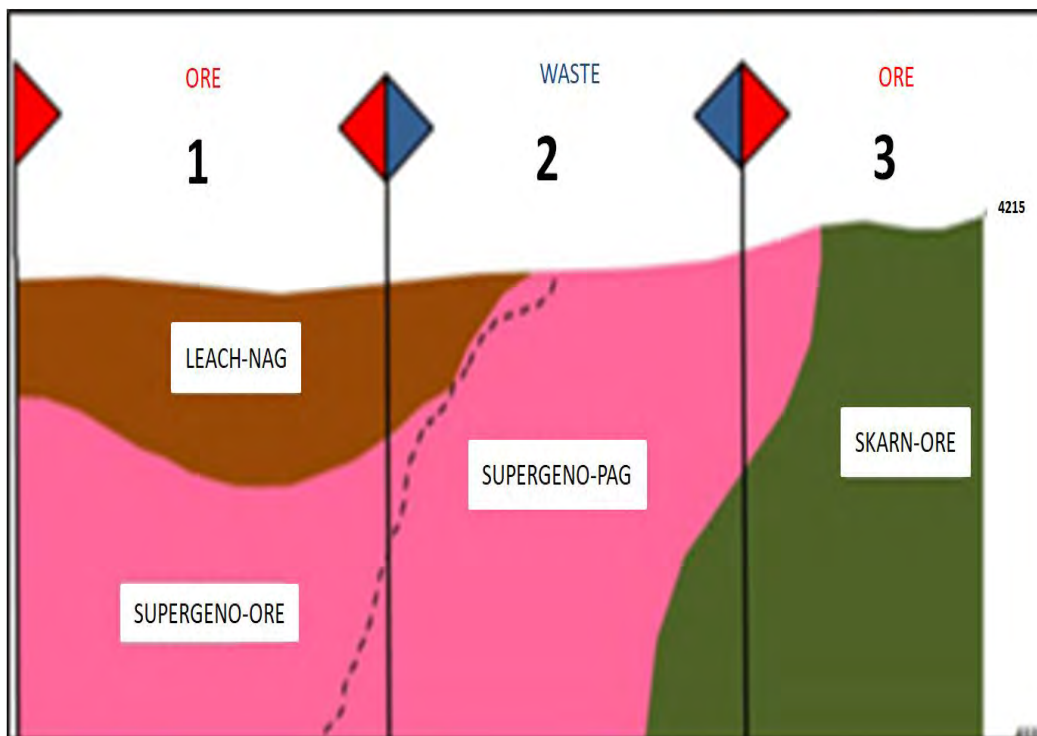
Supervisión en campo del correcto destino del mineral.



Es importante también conocer y ver los contactos irregulares que se presentan dentro de cada litología, alteración y mineralización, esto para evitar que haya un sobre minado en cuanto a los polígonos, ya que cada litología tiene una diferente característica ya sea por la textura, color, dureza.

Figura 19.

Contactos irregulares que se presentan dentro de la mineralización



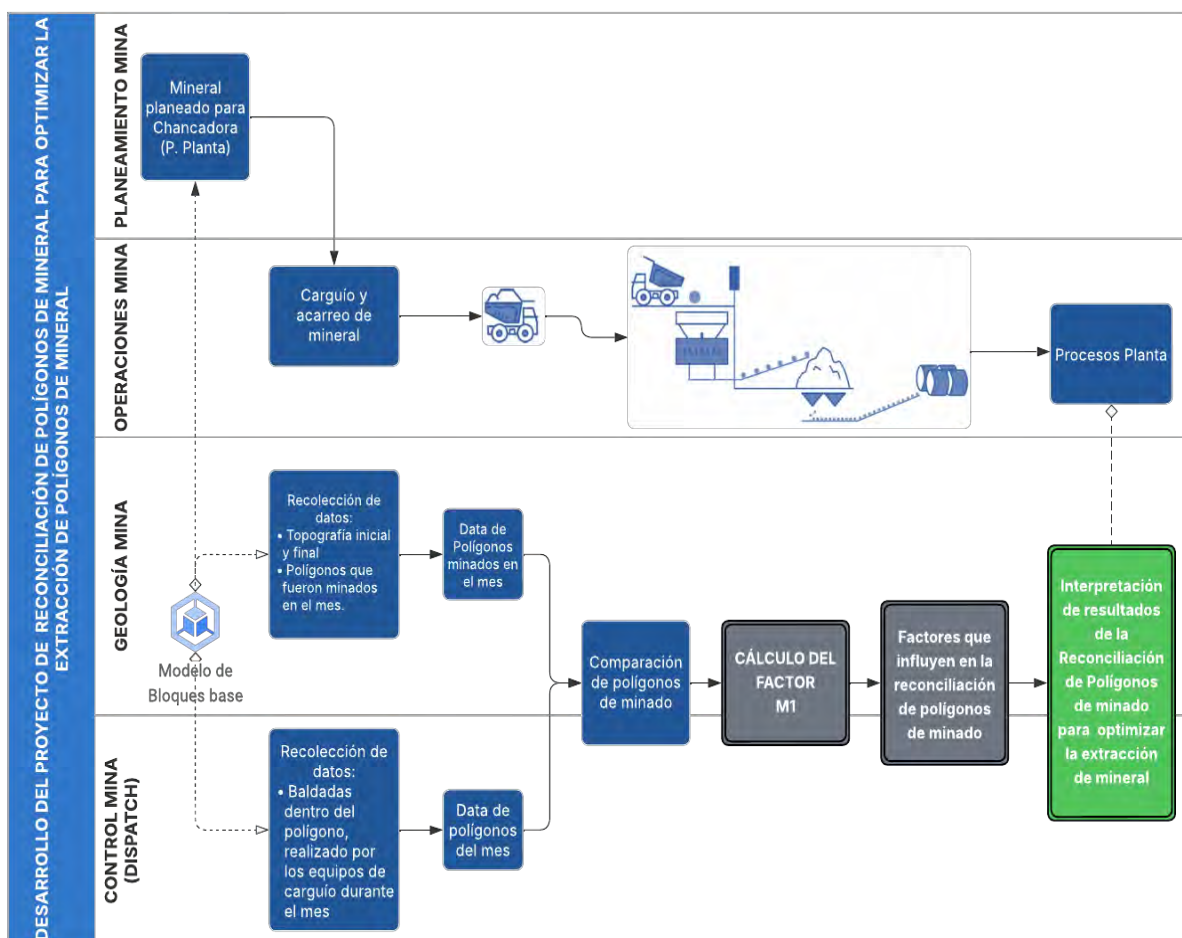
CAPÍTULO VII. RECONCILIACIÓN DE POLÍGONOS DE MINADO PARA OPTIMIZAR LA EXTRACCIÓN DE MINERAL

7.1. Desarrollo del Proyecto

A continuación, se detalla la metodología/planificación empleada para el procesamiento de los datos de Geología de Mina y Dispatch, cuyos resultados tienen como objetivo la obtención del Factor de Reconciliación M1. Además, se presenta un análisis de los principales factores que influyen en la precisión de la reconciliación de los polígonos de minado.

Figura 20.

Diagrama de Flujo del cálculo del factor de reconciliación M1

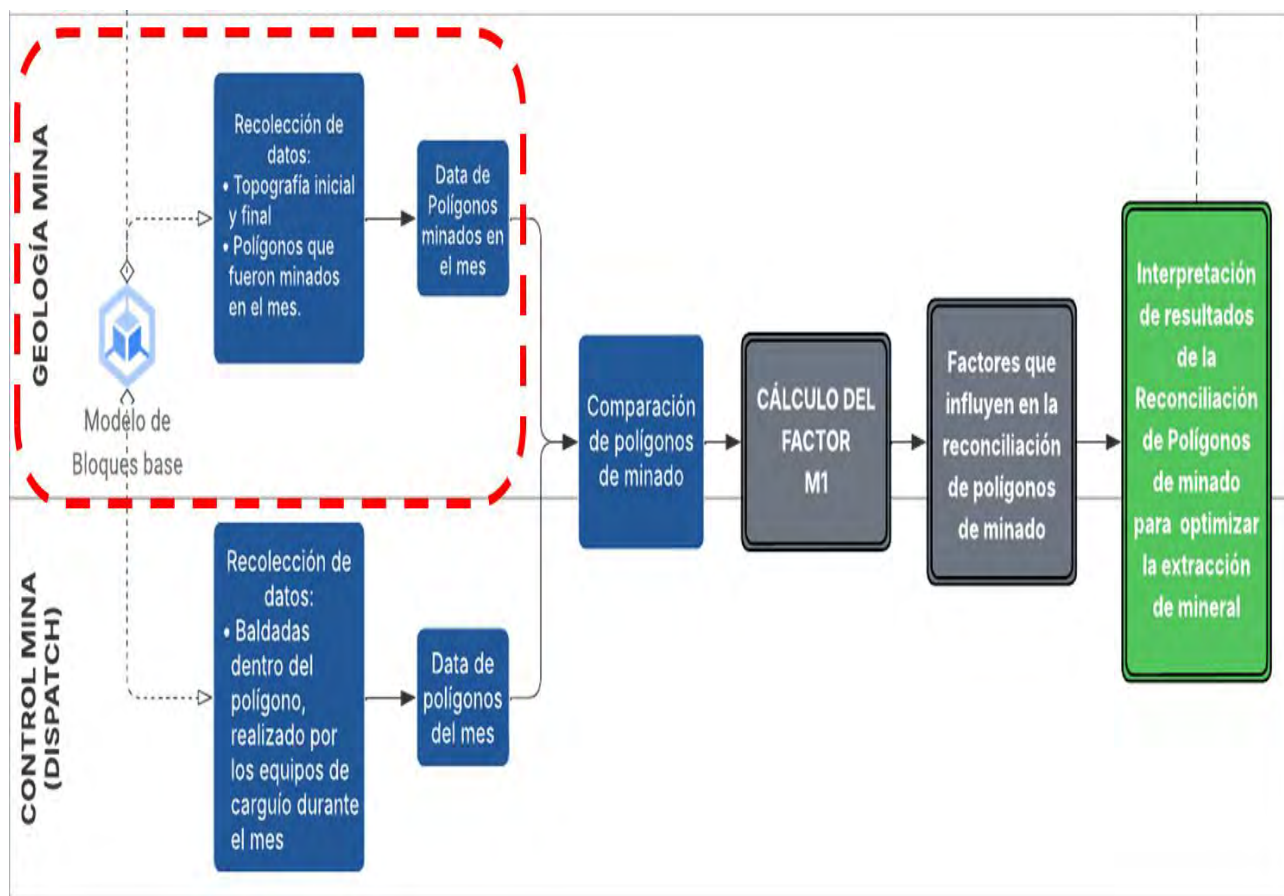


7.1.1. Recolección de la Data de Geología

El proceso de reconciliación comienza con la recolección de datos de todos los polígonos de minado ejecutados. Para ello, se parte de las superficies topográficas inicial y final del período (mensual). Al superponer estas superficies con los polígonos de extracción, se generan sólidos de minado tridimensionales que representan el volumen exacto de material movido. A estos sólidos se les aplica el modelo de bloques geológicos para calcular las reservas reales extraídas, obteniendo los tonelajes y leyes reconciliados. El siguiente diagrama describe este flujo de generación de datos desde la perspectiva geológica.

Figura 21.

Diagrama de flujo de Geología Mina, para la obtención el factor de reconciliación M1



7.1.1.1. Generación de Sólidos de Minado Mensuales para la Reconciliación

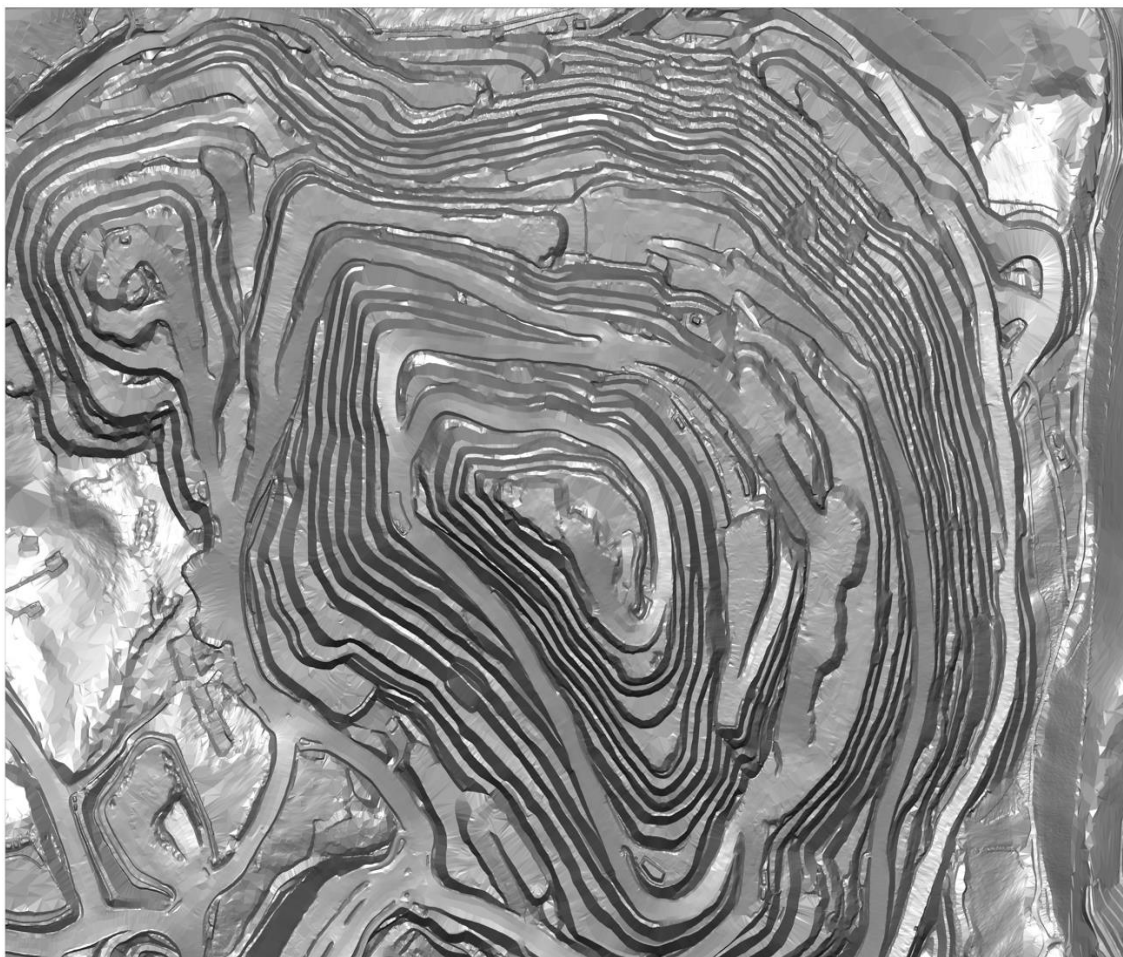
Para garantizar una evaluación efectiva y periódica, es fundamental definir intervalos de tiempo específicos para el proceso de reconciliación. En el presente estudio, se ha establecido el ciclo mensual como la unidad temporal de análisis. La metodología consiste en la generación de un sólido de minado que representa volumétricamente la extracción realizada durante cada mes. Este sólido se obtiene mediante un proceso de diferencia topográfica, comparando la superficie minera del primer día del mes con la del último día del mismo. Esta técnica permite cuantificar con precisión el volumen total de material movido en el período, excluyendo las actividades de otros meses.

1. Topografía de inicio de mes

Corresponde a la superficie registrada el primer día del mes, antes del inicio de las actividades de minado o extracción de mineral. Esta data inicial es fundamental como referencia para el cálculo de diferencias volumétricas mediante comparación con la topografía de fin de mes.

Figura 22.

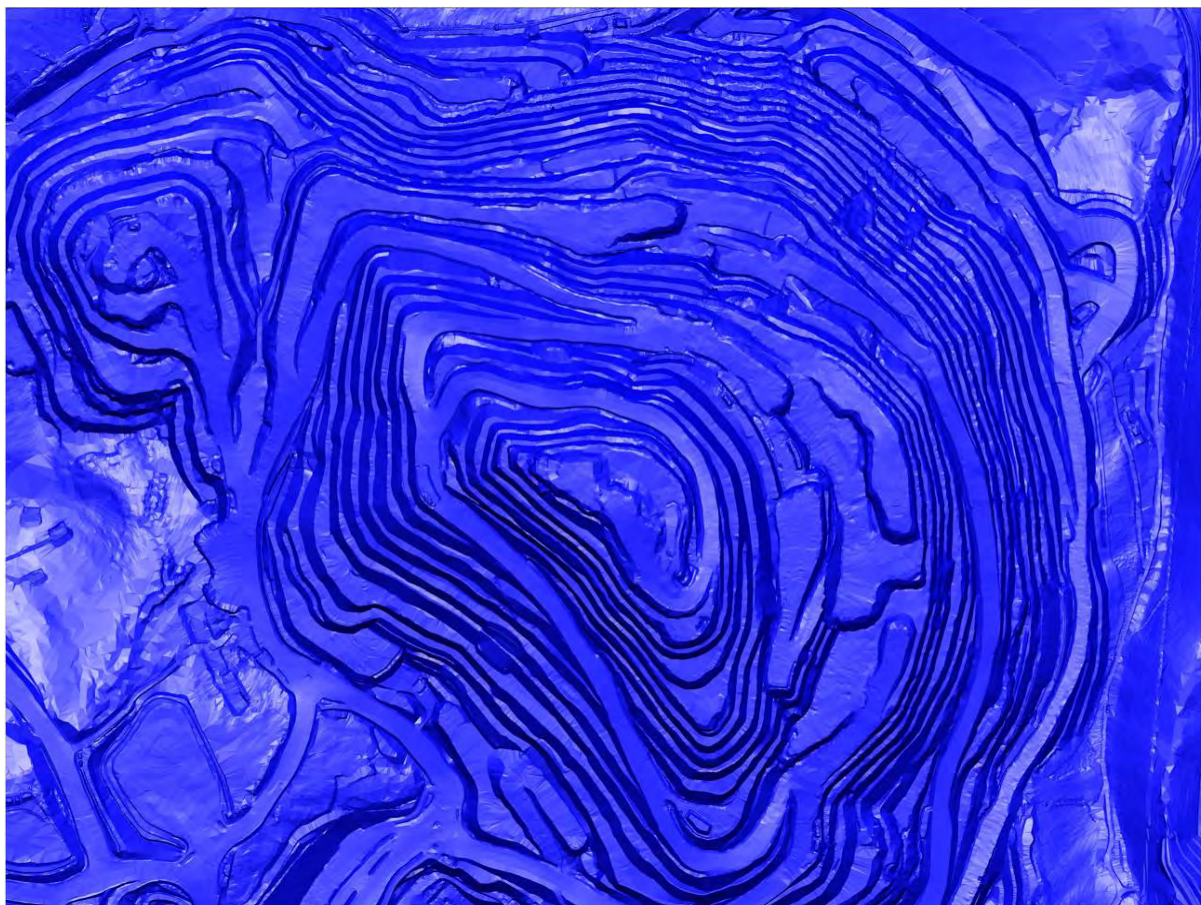
Topografía de inicio de mes del Tajo Constancia

**2. Topografía de Cierre Mensual**

Esta superficie representa el estado final del tajo al concluir el período de operaciones mineras. Registra el avance de excavación alcanzado durante el mes y constituye la base topográfica de referencia para el cálculo volumétrico mediante comparación con la topografía inicial.

Figura 23.

Topografía de cierre de mes del Tajo Constancia

**3. Cálculo Volumétrico Mediante Diferencia Topográfica (Sólido de Minado)**

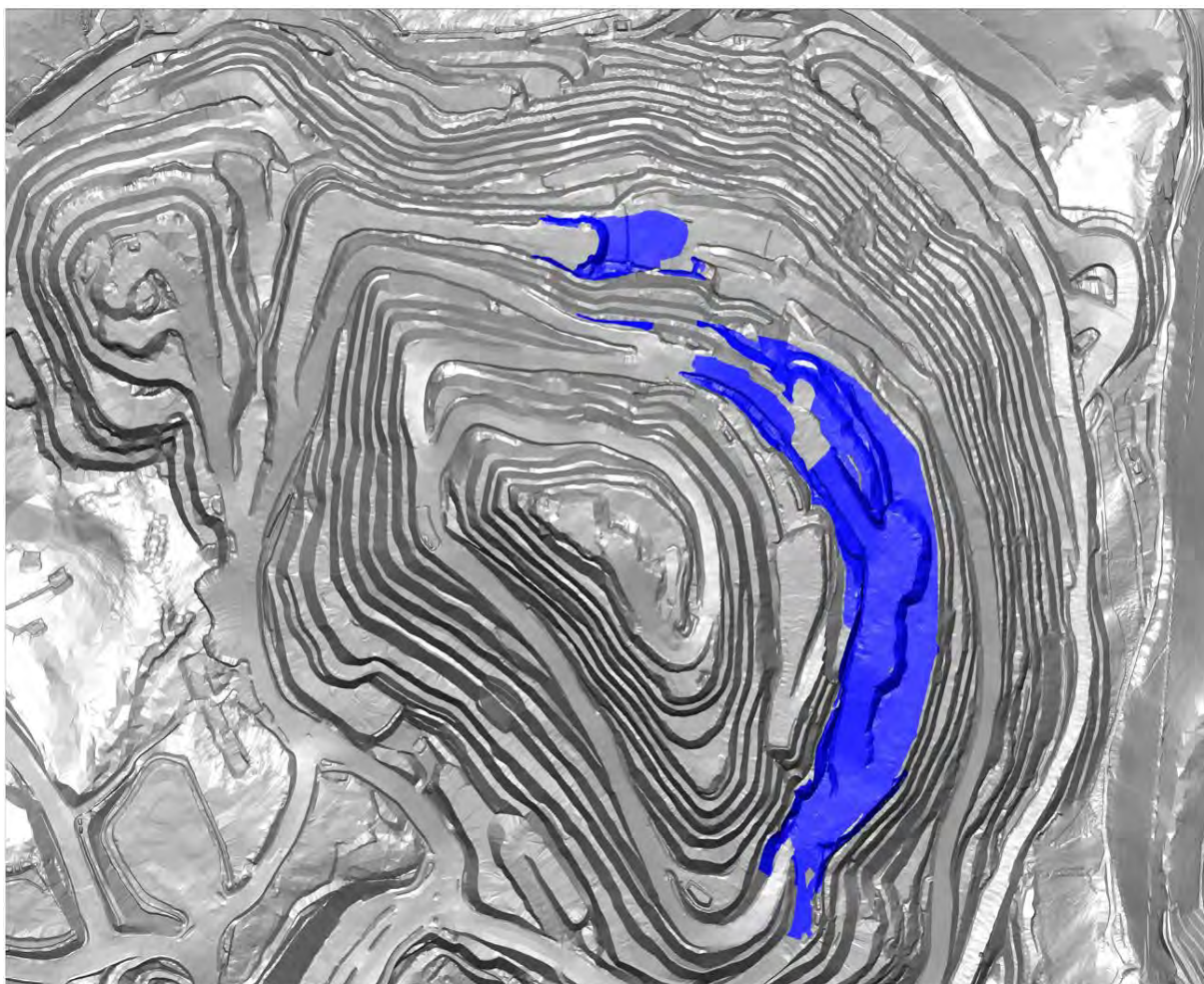
El volumen de material extraído durante el mes se determina mediante un análisis de diferencias entre los modelos topográficos inicial y final. Este proceso consiste en la intersección de ambas superficies, generando un sólido tridimensional que representa con exactitud el volumen minado en el período, como se visualiza en la imagen siguiente.

El sólido resultante constituye la base geométrica fundamental para los subsiguientes análisis de reconciliación minera. Específicamente, permitirá

realizar la comparación detallada entre el volumen real extraído (representado por este sólido) y el volumen planeado según los polígonos de diseño, facilitando la cuantificación de desviaciones y el análisis de eficiencia operativa.

Figura 24.

Diferencia topográfica por cálculo volumétrico del sólido minado del mes del Tajo Constancia

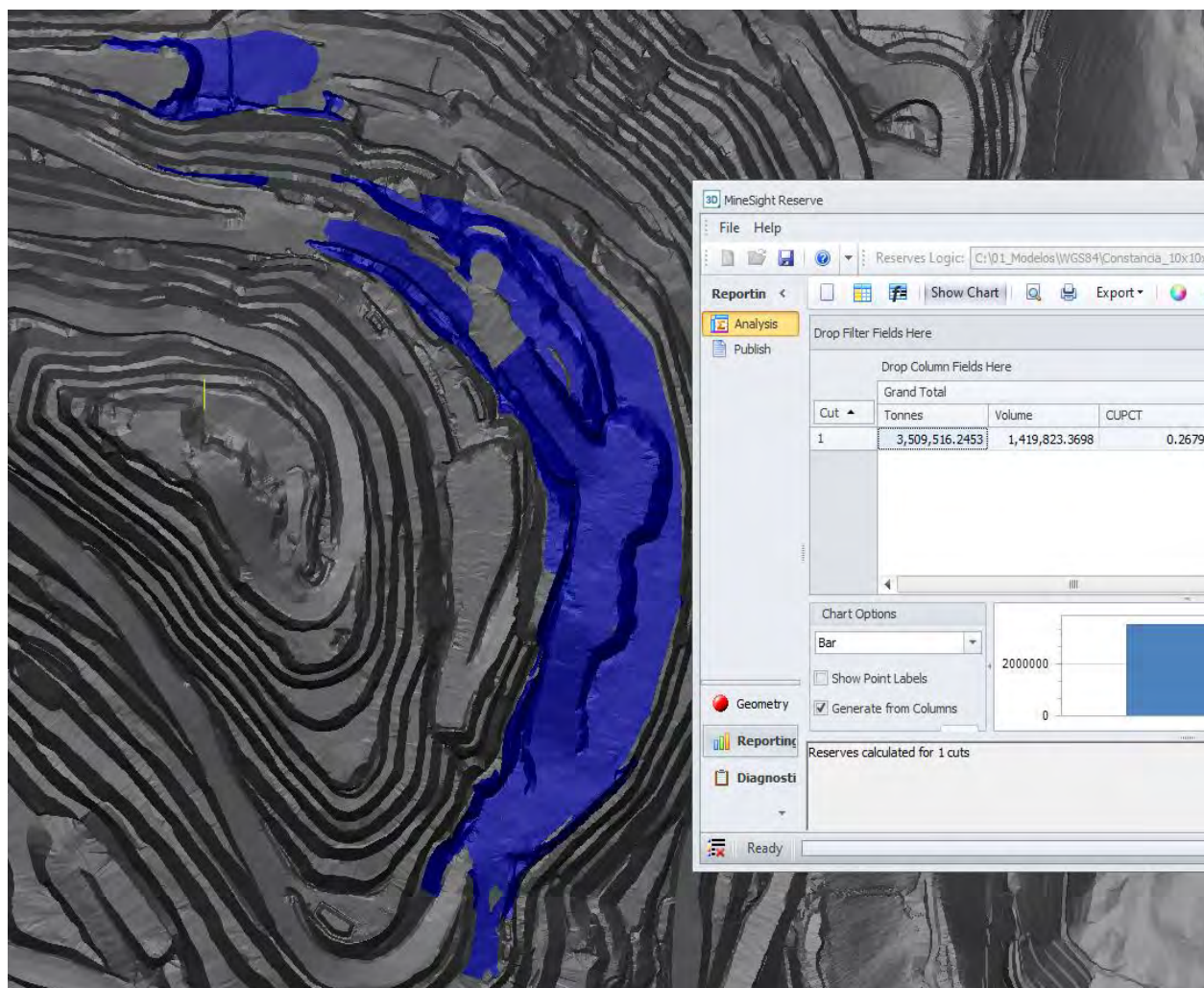


4. Cálculo de reservas del modelo de bloques

Una vez obtenida la diferencia topográfica (sólido mensual), se procede con el cálculo de reservas con la herramienta “MS Reserve” del software MineSight, este procedimiento permitirá obtener la información de tonelaje y leyes del sólido mensual.

Figura 25.

Cálculo de reservas con el modelo de bloques del sólido minado del mes del Tajo Constancia

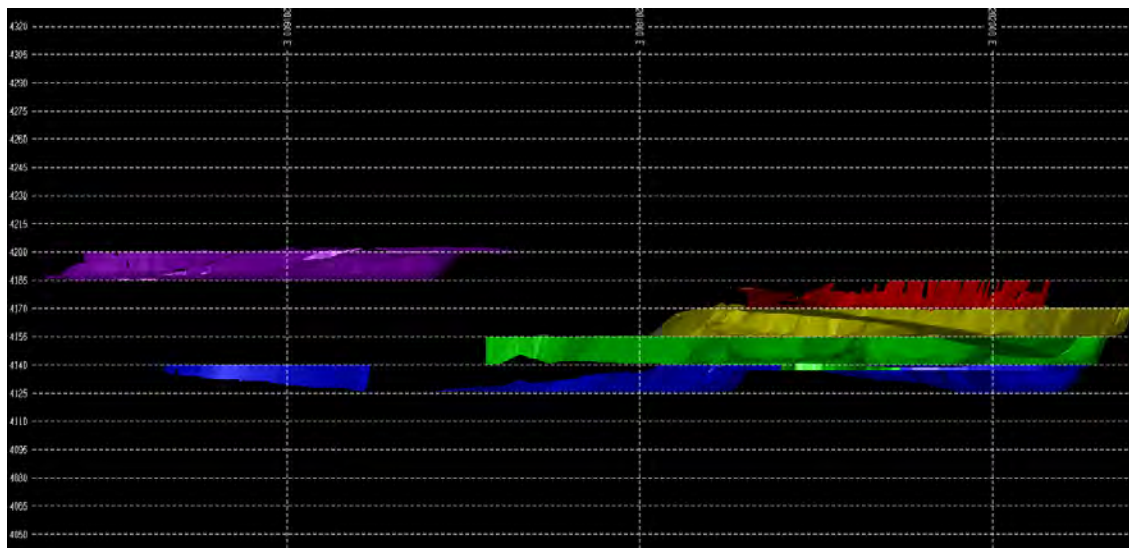


5. Generación de sólidos por banco:

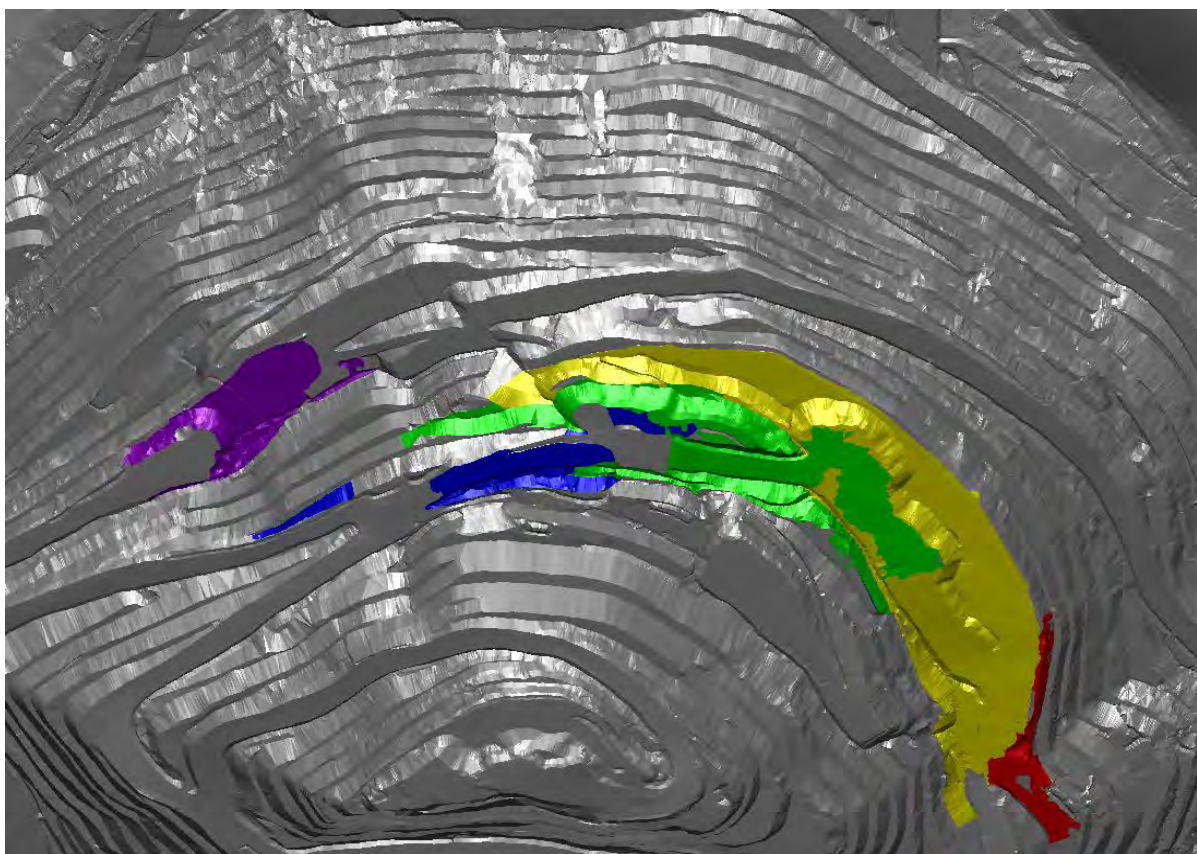
Una vez se realice el cálculo de volumen, se procede a segmentar el sólido de minado por niveles (bancos de 15 metros), generando sólidos independientes, como se muestra en la siguiente figura, este proceso de segmentación se realiza principalmente para tener un mejor cálculo de tonelaje y leyes de cada banco, donde la suma de cada sólido independiente deberá tener el mismo volumen y tonelaje que el sólido general.

Figura 26.

Generación de sólidos minados por banco del mes (Vista en perfil) -Tajo Constancia

**Figura 27.**

Vista en 3D de los sólidos generados por banco y la topografía mensual del tajo Constancia.



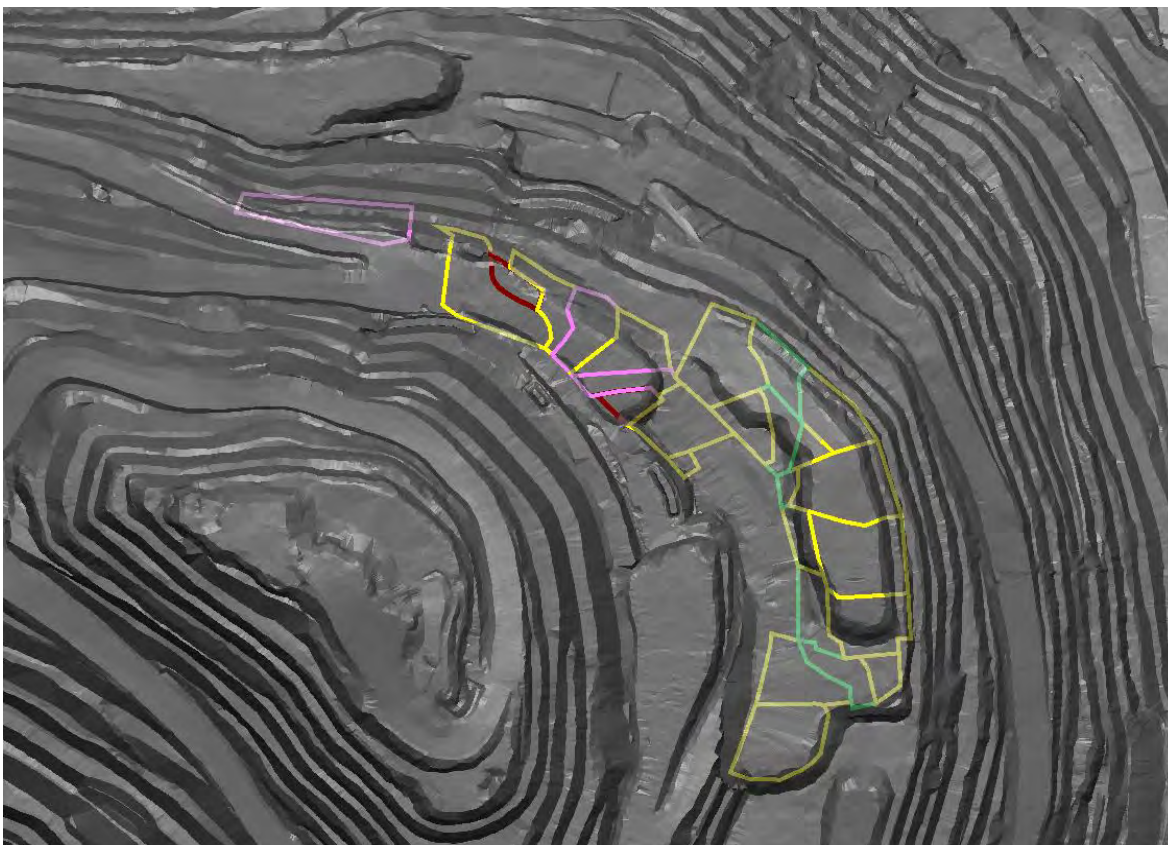
6. Polígonos de Minado

Los polígonos de minado, son una delimitación de una cierta extensión de terreno que cumplen características geo metalúrgica, leyes, tipo de roca, tipo de alteración, mineralización, donde se puede diferenciar mineral y desmonte que posteriormente serán enviados a Chancadora (planta) o al WRF (botaderos), respectivamente.

Cada polígono tendrá una connotación diferente (nombre de polígono) asignada por el área de Geología Mina, basada en las características geológicas distintivas del material. Y estos a su vez tendrán diferente información de tonelaje y leyes, estos datos serán resultado del uso de la herramienta “MS Reserve” del software MineSight.

Figura 28.

Polígonos que fueron minados durante el mes dentro del tajo Constancia



7. Sólidos de Polígonos de Minado:

Mediante la herramienta "Clip Surface and Solids" del software MineSight, se procederá a intersectar estos polígonos con los sólidos previamente generados para cada banco. Este proceso permite segmentar la superficie minada real de acuerdo con la topografía mensual y clasificarla según la designación mineral-desmonte del plan operativo.

La ejecución de esta metodología requiere revisión y análisis por parte del geólogo de turno, quien deberá verificar la correcta identificación de las zonas minadas, validar el desplazamiento real del mineral versus lo planificado, documentar características operativas como zonas de rampa, contactos geológicos y por último confirmar la precisión en la delimitación entre polígonos de mineral y desmonte. La información generada mediante este proceso constituye un insumo fundamental para la reconciliación de polígonos de minado, esta validación técnico-operativa permitirá cuantificar desviaciones y optimizar futuras reconciliaciones.

Figura 29.

Intersección de geometrías oficiales de “Ore” (Rojo) y “Waste” (verde) con el sólido del banco 4125.

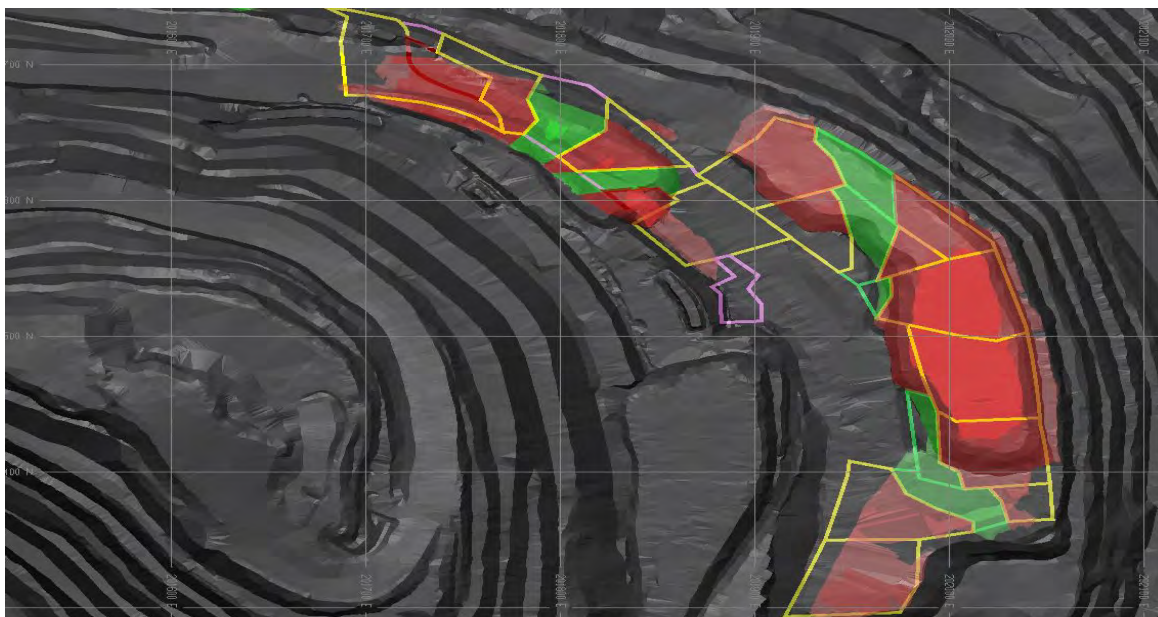
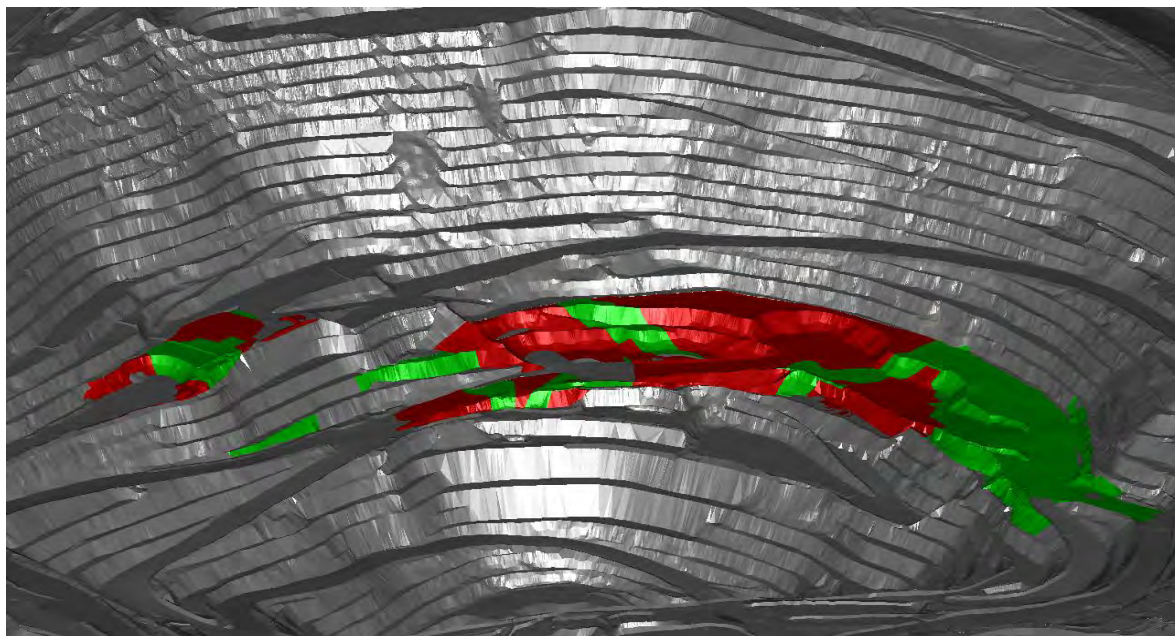


Figura 30.

Sólidos de polígonos minados creados de “Ore” (Rojo) y “Waste” (verde)



8. Generación de Reporte de Geología Mina

La cuantificación del tonelaje y las leyes de mineral se realiza mediante la herramienta especializada MS Reserve, la cual es una herramienta del software MineSight para la estimación de reservas/recursos específicos, esta herramienta se aplica a todos los sólidos que han sido generados a partir de los polígonos que fueron minados en el mes. La fuente principal de información para la determinación de las propiedades de los sólidos es el Modelo de Bloques de Geología, este modelo contiene la información espacialmente distribuida de las leyes de los minerales y la densidad a lo largo de todo el yacimiento.

Al intersectar el Modelo de Bloques con cada sólido generado, MS Reserve realiza una integración volumétrica y una ponderación para calcular con precisión el tonelaje y leyes de mineral de cada sólido minado.

Figura 31.

Cálculo de leyes de mineral y tonelaje de los sólidos minados

| Name | Tonnes | Volume (BCM) | CUPCT | CUSS_ | _OX | CUCN_ | _SEC | MOPCT | AUPPM | AGPPM |
|-----------------------|------------|--------------|--------|--------|---------|--------|----------|--------|--------|--------|
| 02-28-043-NAG-1 | 48,078.11 | 16,829.31 | 0.0538 | 0.0070 | 6.9805% | 0.0181 | 15.6532% | 0.0012 | 0.0891 | 2.0788 |
| 02-28-044-NAG-1 | 55,482.79 | 21,027.93 | 0.0106 | 0.0005 | 6.3738% | 0.0014 | 13.2074% | 0.0010 | 0.0893 | 1.3289 |
| 02-28-045-ORE_K | 29,338.05 | 8,216.85 | 0.2106 | 0.0139 | 5.7949% | 0.0340 | 13.9934% | 0.0053 | 0.3352 | 5.1273 |
| 02-28-046-NAG-1 | 25,218.87 | 8,506.74 | 0.0249 | 0.0008 | 4.8724% | 0.0027 | 13.2142% | 0.0016 | 0.1663 | 2.2067 |
| 02-28-047-NAG-1 | 102,355.27 | 39,582.72 | 0.0135 | 0.0005 | 7.2698% | 0.0007 | 7.9020% | 0.0016 | 0.0428 | 1.3939 |
| 02-28-048-ORE_K | 109,462.80 | 33,520.08 | 0.5748 | 0.0467 | 7.8229% | 0.1014 | 16.3512% | 0.0012 | 0.3772 | 8.1534 |
| 02-28-049-NAG-1 | 83,591.77 | 31,022.80 | 0.0426 | 0.0017 | 3.5787% | 0.0037 | 5.3091% | 0.0014 | 0.0345 | 2.1944 |
| 02-28-049-SPLIT_K | 4,584.62 | 1,491.90 | 0.4586 | 0.0242 | 4.7307% | 0.1573 | 26.1681% | 0.0010 | 0.1926 | 5.0794 |
| 02-28-050-ORE_K | 25,552.83 | 8,569.40 | 0.4247 | 0.0076 | 1.9191% | 0.0123 | 3.5749% | 0.0089 | 0.1264 | 4.5609 |
| 02-28-051-HIZN | 39,360.65 | 12,452.21 | 0.3901 | 0.0053 | 1.6440% | 0.0112 | 4.2144% | 0.0047 | 0.1138 | 3.1087 |
| 02-28-052-ORE_K | 91,317.55 | 26,966.75 | 0.3222 | 0.0061 | 1.9895% | 0.0114 | 3.9793% | 0.0139 | 0.1839 | 2.6725 |
| 02-28-052-SPLIT_NAG_1 | 12,891.55 | 4,097.26 | 0.0974 | 0.0038 | 3.2015% | 0.0099 | 8.2559% | 0.0357 | 0.0562 | 1.2864 |
| 02-28-053-NAG-1 | 46,631.93 | 15,895.78 | 0.0792 | 0.0025 | 3.4670% | 0.0075 | 10.4538% | 0.0138 | 0.3826 | 2.1061 |
| 02-28-054-ORE_K | 31,914.41 | 10,801.01 | 0.1551 | 0.0029 | 1.7085% | 0.0062 | 4.1155% | 0.0136 | 0.0588 | 1.5021 |
| 02-28-055-ORE_K | 90,555.56 | 28,664.45 | 0.2957 | 0.0218 | 9.1884% | 0.0338 | 13.6162% | 0.0089 | 0.2153 | 2.9050 |
| 02-28-055-SPLIT_NAG_1 | 11,171.17 | 4,141.86 | 0.0913 | 0.0084 | 9.6239% | 0.0092 | 9.0016% | 0.0039 | 0.1109 | 1.9246 |
| 02-28-056-NAG-1 | 13,105.73 | 4,866.67 | 0.0819 | 0.0060 | 5.7859% | 0.0101 | 9.6457% | 0.0032 | 0.1339 | 1.4731 |
| 02-28-057-ORE_K | 83,788.32 | 27,672.76 | 0.1809 | 0.0042 | 2.5535% | 0.0065 | 3.9725% | 0.0160 | 0.0901 | 2.3323 |

7.1.2. Recolección de la Data de Dispatch

Opera basándose en una fuente de datos centralizada que es el modelo de bloques de corto plazo, generado por el área de Geología. El modelo define los polígonos de “ORE” o “WASTE”, los cuales se les asignan atributos como tonelaje y leyes estimadas.

Para el proceso de reconciliación minera, el dato operativo más crucial es el reporte de cargas o "baldadas" de los equipos de carguío (palas). Estos equipos registran en tiempo real la cantidad de “baldadas” realizadas en cada polígono en el sistema Dispatch, que utiliza este conteo, junto con la densidad del material y las leyes del modelo de bloques, para calcular el tonelaje y la ley extraídos de manera precisa. Finalmente, la información operativa es contrastada con la data de Geología Mina (Sólidos de polígonos de minado), permitiendo cuantificar las desviaciones y validar la reconciliación de polígonos.

Figura 32.

Diagrama de flujo de Dispatch, para la obtención el factor de reconciliación M1

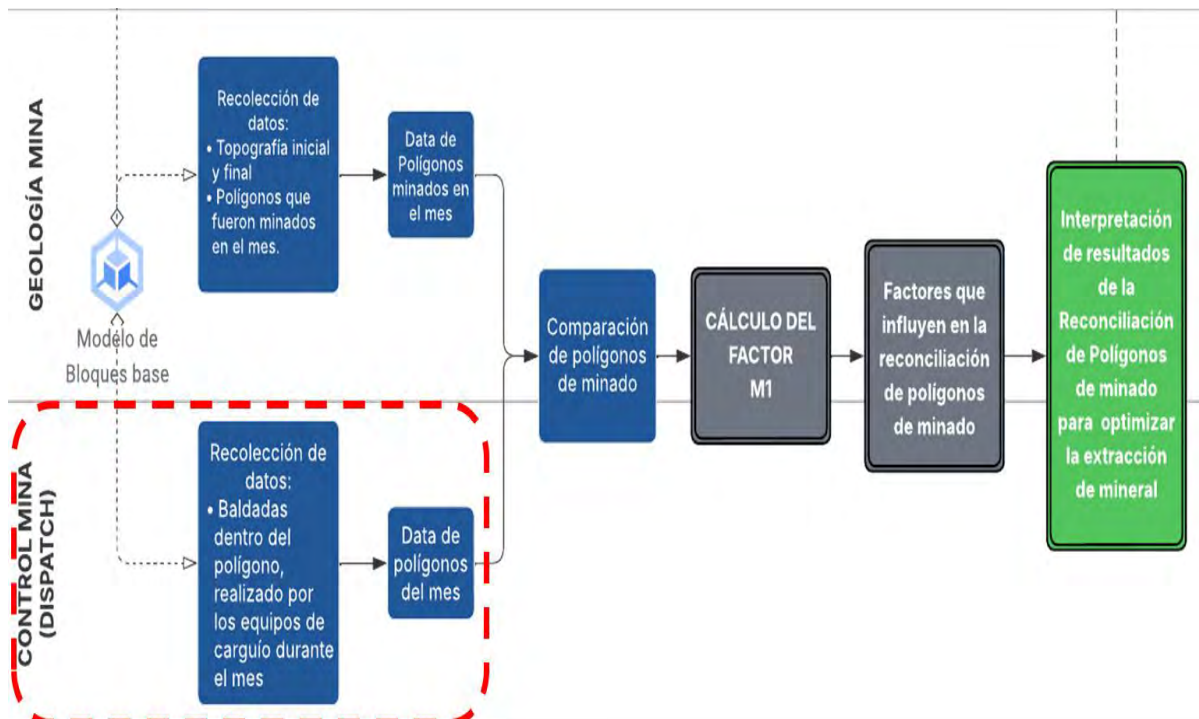


Figura 33.

Los puntos amarillos indican las cargas o “baldadas” del equipo de carguío.

**Figura 34.**

Data de Dispatch que muestra el polígono minado con la localización de sus respectivas baldadas y leyes de mineral.

| LEY CU | LOCACIÓN DE DESCARGA | POLÍGONO | POLÍGONO HPGPS | X DES | Y DES | Z DES | P1 |
|--------|------------------------------|-----------------|-----------------|-----------|------------|---------|------------------------------|
| 0.176 | Chancadora | 02-29-042-ORE_K | 02-29-042-ORE_K | 200080.7 | 8398753.92 | 4146.87 | 204473.89,8396718.02,4073.17 |
| 0.201 | STK03-9006-PC | 02-29-042-ORE_K | 02-29-042-ORE_K | 201637.26 | 8398482.11 | 4254.39 | 204458.57,8396726.22,4070.23 |
| 0.196 | Chancadora | 02-29-044-ORE_K | 02-29-044-ORE_K | 200074.62 | 8398758.23 | 4171 | 204623.64,8396750.29,4069.25 |
| 0.158 | Chancadora | 02-29-044-ORE_K | 02-29-044-ORE_K | 200072.8 | 8398756.81 | 4160.72 | 204620.07,8396753.55,4068.85 |
| 0.33 | Chancadora | STK1-9014-CO | STK1-9014-CO | 200081.83 | 8398753.42 | 4144.93 | 200497.65,8398724.63,4140.22 |
| 0.214 | TMF-4141-40-OESTE-AB | STK-NAG-4235 | STK-NAG-4235 | 197831.85 | 8396043.82 | 4156.42 | 201767.10,8398308.10,4225.49 |
| 0.213 | TMF-4141-40-OESTE-AB | STK-NAG-4235 | STK-NAG-4235 | 197839.1 | 8396066.2 | 4166.3 | 201764.41,8398311.03,4224.13 |
| 0.815 | Chancadora | STK2-9031 | STK2-9031 | 0 | 0 | 0 | |
| 0.364 | Chancadora | STK1-9014-CO | STK1-9014-CO | 200078.94 | 8398750.22 | 4174.3 | 200500.19,8398723.12,4140.23 |
| 0.219 | TMF-4140-20-ESTE-AR-VALLE-02 | STK-NAG-4235 | STK-NAG-4235 | 199654.51 | 8394623.75 | 4141.67 | 201763.88,8398313.28,4223.98 |
| 0.239 | TMF-4141-40-OESTE-AB | STK-NAG-4235 | STK-NAG-4235 | 197848.75 | 8396033.69 | 4169.2 | 201790.26,8398270.75,4224.46 |
| 0.37 | Chancadora | STK1-9014-CO | STK1-9014-CO | 200082.07 | 8398753.47 | 4144.96 | 200496.04,8398722.31,4145.73 |
| 0.255 | TMF-4141-40-OESTE-AB | STK-NAG-4235 | STK-NAG-4235 | 197849.01 | 8396027.44 | 4164.8 | 201791.49,8398266.02,4225.41 |
| 0.34 | Chancadora | STK2-9031 | STK2-9031 | 200083.16 | 8398754.9 | 4173.5 | 200892.69,8399128.50,4186.57 |
| 0.244 | TMF-4141-40-OESTE-AB | STK-NAG-4235 | STK-NAG-4235 | 197823.41 | 8396027.02 | 4141.5 | 201787.87,8398259.21,4221.94 |
| 0.33 | Chancadora | STK1-9014-CO | STK1-9014-CO | 200080.77 | 8398751.19 | 4168.5 | 200505.21,8398718.45,4140.23 |
| 0.086 | WRF-4235 | 02-29-043-NAG_1 | 02-29-043-NAG_1 | 201832.87 | 8398263.06 | 4254.48 | 204636.51,8396762.75,4071.38 |
| 0.268 | Chancadora | STK2-9031 | STK2-9031 | 200073.74 | 8398757.33 | 4169.1 | 200893.44,8399132.16,4193.66 |

7.1.3. Cálculo del Factor de Reconciliación M1

El Factor de Reconciliación M1 es un indicador esencial en la minería que mide la correlación entre la producción mineral y el modelo geológico. De acuerdo con la metodología establecida por Morley (2008), el factor M1 se calcula como el cociente entre el tonelaje de producción real (Data Dispatch) y el tonelaje estimado por el modelo geológico (Data Geología Mina) cuyo valor ideal es 1 o 100%

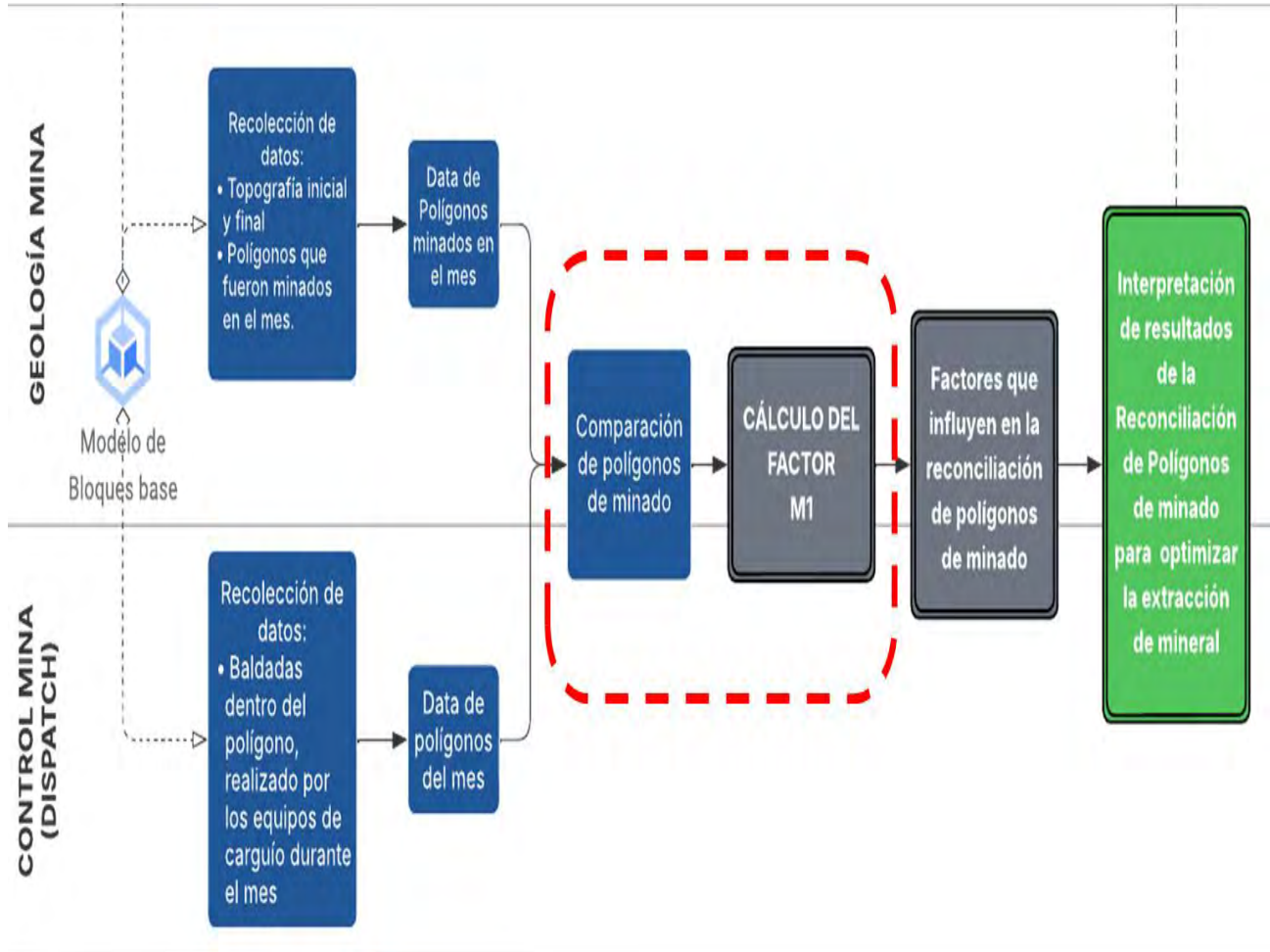
$$\text{Factor de reconciliación M1} = \frac{\text{Producción mineral (Data de Dispatch)}}{\text{Modelo geológico (Data de Geología Mina)}} = \text{“1 o 100\%”}$$

Para la determinación del factor M1 en el presente estudio, se requiere la integración y validación de datos provenientes de dos fuentes operacionales clave:

- Datos de Producción mineral: Se obtienen del sistema Dispatch (o del sistema de control de flota y producción), que registra las leyes y tonelaje de mineral efectivamente extraído y movido. Dicha información constituye el numerador del cálculo del factor M1.
- Datos del Modelo Geológico: Se recolectan del área de Geología de Mina, los cuales provienen del modelo de bloques o del plan de minado a corto plazo. Esta información representa el mineral y tonelaje esperado y ejerce como el denominador.

Figura 35.

Diagrama de flujo de Dispatch, para la obtención el factor de reconciliación M1



7.2. Desarrollo de las Reconciliaciones Mensuales Primer Semestre

7.2.1 Reconciliación de Polígonos entre Data de Geología Mina y Dispatch del Primer Semestre (enero-junio) 2024.

- **Factor de reconciliación M1 del Tonelaje de enero a junio del 2024**

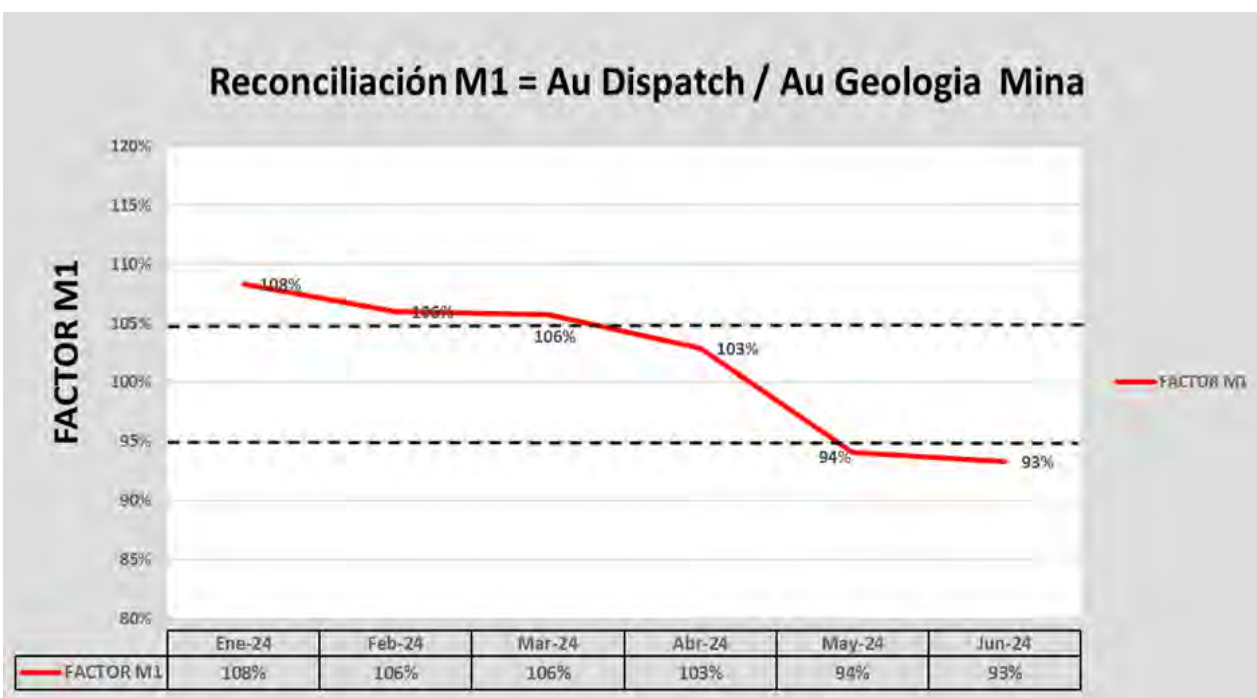
Una vez recolectada la data de Geología y Dispatch, se procede a realizar el cálculo del factor de reconciliación M1, que nos ayudará a obtener el porcentaje de sesgo obtenido entre ambas áreas.

$$\text{Factor de reconciliación M1} = \frac{\text{Producción mineral (Data de Dispatch)}}{\text{Modelo Geológico (Data de Geología Mina)}}$$

Figura 36.

Gráfico de tendencia del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1”

(Dispatch/Geología Mina) para el Tonelaje de enero a junio 2024



Nota: El gráfico presenta la tendencia del factor de reconciliación M1 (Dispatch/Geología Mina) para el tonelaje, correspondiente al período de enero a junio de 2024. Como referencia, se incluyen los límites de aceptación (líneas entrecortadas) establecidos para la reconciliación de mineral ($\pm 5\%$).

El análisis del factor de reconciliación M1, cuyo valor ideal es 100%, revela una tendencia de sobrestimación consistente durante el primer semestre. Como se detalla a continuación, la mayoría de los meses presentaron valores fuera del rango de aceptación para la reconciliación de mineral ($\pm 5\%$), con la excepción del mes de junio:

Tabla 5.

Resultados del factor de reconciliación de polígonos de minado "M1" del primer semestre para el tonelaje

| Primer Semestre | Factor de reconciliación para el Tonelaje | | | Comentarios |
|-----------------|-------------------------------------------|-------|-----------------------------------|-----------------------------|
| | Factor de reconciliación "M1" | Sesgo | Rango de aceptación ($\pm 5\%$) | |
| Ene-24 | 107% | 7% | Inaceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Feb-24 | 107% | 7% | Inaceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Mar-24 | 106% | 6% | Inaceptable | Sobrestimación de Dispatch |
| Abr-24 | 108% | 8% | Inaceptable | Sobrestimación de Dispatch |
| May-24 | 107% | 7% | Inaceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Jun-24 | 105% | 5% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Promedio | 107% | 7% | Inaceptable | Sobreestimación de Dispatch |

Nota: El promedio del primer semestre fue de 107%, que representa una desviación del 7% sobre el valor ideal. Considerando que el valor ideal del factor de reconciliación M1 es del 100%, se observa una sobreestimación en el tonelaje durante todo el semestre. Este resultado se clasifica como **inaceptable**, ya que **supera** consistentemente **el rango de aceptación** de reconciliación de $\pm 5\%$.

- **Factor de reconciliación M1 de la ley de Cu de enero a junio del 2024**

Una vez recolectada la data de Geología y Dispatch, se procede a realizar el cálculo del factor de reconciliación M1, que nos ayudará a obtener el porcentaje de sesgo que se tendrá entre ambas áreas.

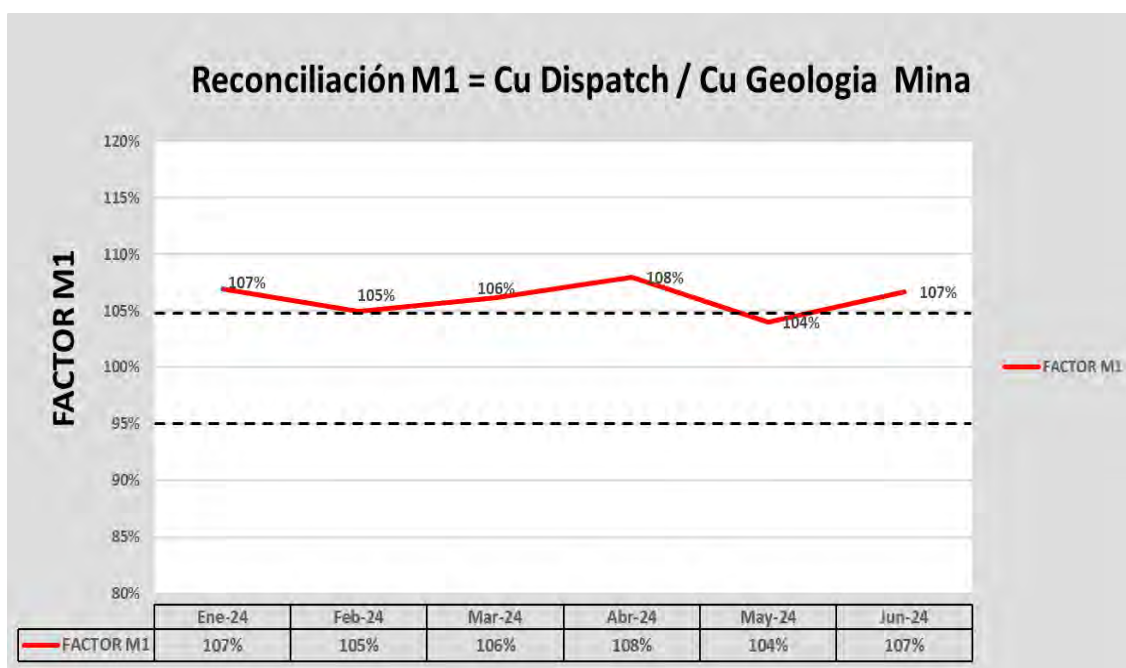
Factor de reconciliación M1 = $\frac{\text{Producción mineral (Data de Dispatch)}}{\text{Modelo Geológico (Data de Geología Mina)}}$

Modelo Geológico (Data de Geología Mina)

Figura 37.

Gráfico de tendencia del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1”

(Dispatch/Geología Mina) para la ley de Cu de enero a junio 2024



Nota: El gráfico presenta la tendencia del factor de reconciliación M1 (Dispatch/Geología Mina) para la ley de Cu, correspondiente al período de enero a junio de 2024. Como referencia, se incluyen los límites de aceptación (líneas entrecortadas) establecidos para la reconciliación de mineral ($\pm 5\%$).

El análisis del factor de reconciliación M1, cuyo valor ideal es 100%, revela una tendencia de sobrestimación consistente durante el primer semestre. Como se detalla a continuación, la mayoría de los meses presentaron valores fuera del rango de aceptación para la reconciliación de mineral ($\pm 5\%$), con la excepción del mes de febrero y mayo:

Tabla 6.

Resultados del factor de reconciliación de polígonos de minado "M1" del primer semestre para la ley de Cu

| Primer Semestre | Factor de reconciliación para el Cu | | | Comentarios |
|-----------------|-------------------------------------|-------|-----------------------------------|-----------------------------|
| | Factor de reconciliación "M1" | Sesgo | Rango de aceptación ($\pm 5\%$) | |
| Ene-24 | 107% | 7% | Inaceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Feb-24 | 105% | 5% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Mar-24 | 106% | 6% | Inaceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Abr-24 | 108% | 8% | Inaceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| May-24 | 104% | 4% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Jun-24 | 107% | 7% | Inaceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Promedio | 106% | 6% | Inaceptable | Sobreestimación de Dispatch |

Nota: El promedio del primer semestre fue de 106%, que representa una desviación del 6% sobre el valor ideal. Considerando que el valor ideal del factor de reconciliación M1 es del 100%, se observa una sobreestimación en la ley de Cu durante todo el semestre. Este resultado se clasifica como **inaceptable**, ya que supera consistentemente el rango de aceptación de reconciliación de $\pm 5\%$.

- **Factor de reconciliación M1 de la ley de Mo de enero a junio del 2024**

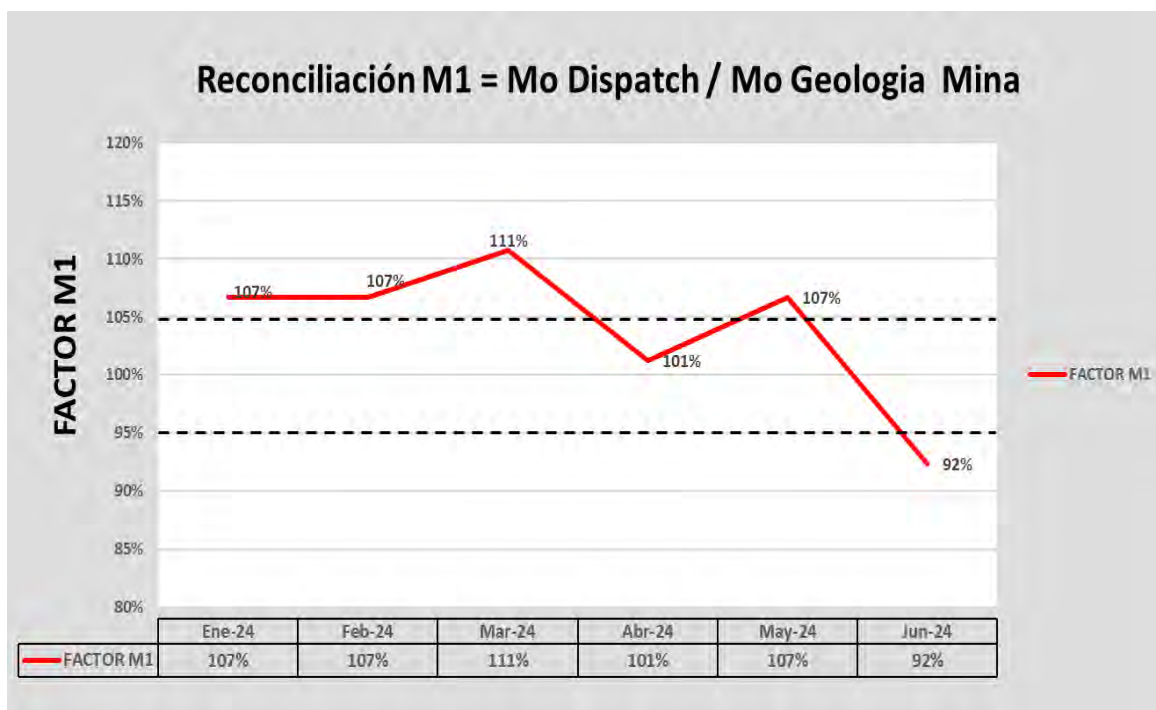
Una vez recolectada la data de Geología y Dispatch, se procede a realizar el cálculo del factor de reconciliación M1, que nos ayudará a obtener el porcentaje de sesgo que se tendrá entre ambas áreas.

$$\text{Factor de reconciliación M1} = \frac{\text{Producción mineral (Data de Dispatch)}}{\text{Modelo Geológico (Data de Geología Mina)}}$$

Figura 38.

Gráfico de tendencia del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1”

(Dispatch/Geología Mina) para la ley de Mo de enero a junio 2024



Nota: El gráfico presenta la tendencia del factor de reconciliación M1 (Dispatch/Geología Mina) para la ley de Mo, correspondiente al período de enero a junio de 2024. Como referencia, se incluyen los límites de aceptación (líneas entrecortadas) establecidos para la reconciliación de mineral ($\pm 5\%$).

El análisis del factor de reconciliación M1, cuyo valor ideal es 100%, revela una tendencia de sobrestimación consistente durante el primer semestre. Como se detalla a continuación, la mayoría de los meses presentaron valores fuera del rango de aceptación para la reconciliación de mineral ($\pm 5\%$), con la excepción del mes de Abril:

Tabla 7.

Resultados del factor de reconciliación de polígonos de minado "M1" del primer semestre para la ley de Mo

| Primer Semestre | Factor de reconciliación para el Mo | | | Comentarios |
|-----------------|-------------------------------------|-------|-----------------------------------|-----------------------------|
| | Factor de reconciliación "M1" | Sesgo | Rango de aceptación ($\pm 5\%$) | |
| Ene-24 | 107% | 7% | Inaceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Feb-24 | 107% | 7% | Inaceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Mar-24 | 111% | 11% | Inaceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Abr-24 | 101% | 1% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| May-24 | 107% | 7% | Inaceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Jun-24 | 92% | -8% | Inaceptable | Subestimación de Dispatch |
| Promedio | 104% | 4% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |

Nota: El promedio del primer semestre fue de 104%, que representa una desviación del 4% sobre el valor ideal. Considerando que el valor ideal del factor de reconciliación M1 es del 100%, se observa una sobreestimación en la ley de Mo durante todo el semestre. Este resultado se clasifica como **aceptable**, ya que se encuentra dentro del rango de aceptación de reconciliación de $\pm 5\%$. Sin embargo, el sesgo que se obtuvo en todos los meses a excepción de abril superan el valor aceptable de reconciliación, por lo que, en una comparación mensual, estos resultados son considerados como **valores inaceptables**.

- **Factor de reconciliación M1 de la ley de Au de enero a junio del 2024**

Una vez recolectada la data de Geología y Dispatch, se procede a realizar el cálculo del factor de reconciliación M1, que nos ayudará a obtener el porcentaje de sesgo que se tendrá entre ambas áreas.

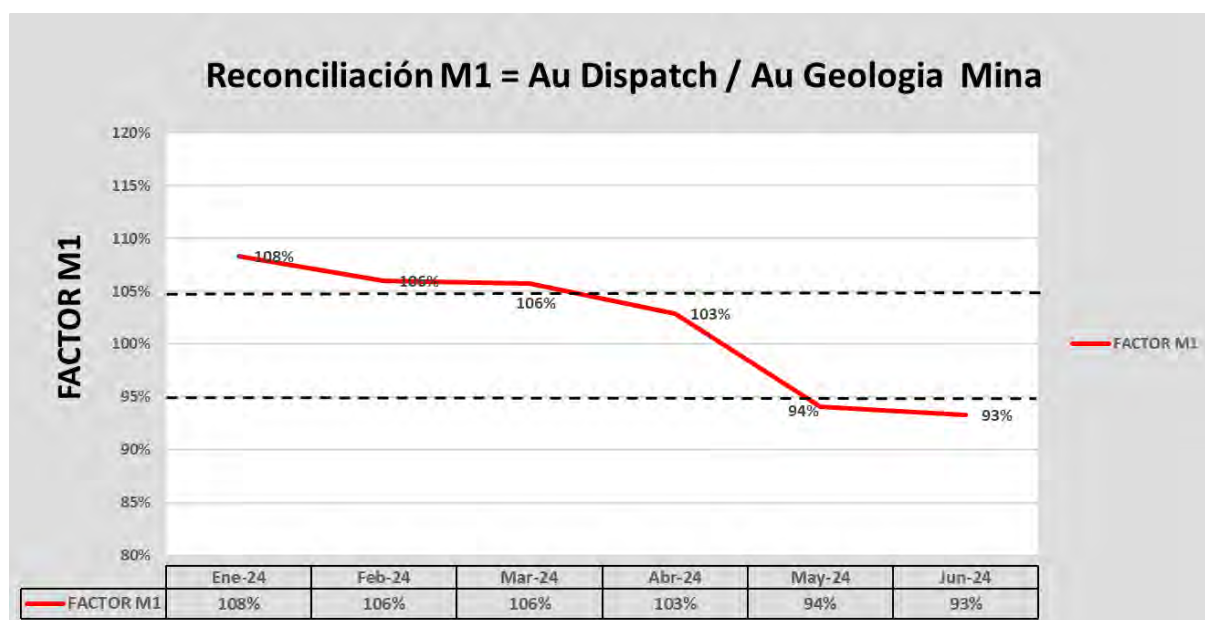
Factor de reconciliación M1 = $\frac{\text{Producción mineral (Data de Dispatch)}}{\text{Modelo Geológico (Data de Geología Mina)}}$

Modelo Geológico (Data de Geología Mina)

Figura 39.

Gráfico de tendencia del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1”

(Dispatch/Geología Mina) para la ley de Au de enero a junio 2024



Nota: El gráfico presenta la tendencia del factor de reconciliación M1 (Dispatch/Geología Mina) para la ley de Au, correspondiente al período de enero a junio de 2024. Como referencia, se incluyen los límites de aceptación (líneas entrecortadas) establecidos para la reconciliación de mineral ($\pm 5\%$).

El análisis del factor de reconciliación M1, cuyo valor ideal es 100%, revela una tendencia de sobrestimación consistente durante el primer semestre. Como se detalla a continuación, todos los meses presentaron valores fuera del rango de aceptación para la reconciliación de mineral ($\pm 5\%$):

Tabla 8.

Resultados del factor de reconciliación de polígonos de minado "M1" del primer semestre para la ley de Au

| Primer Semestre | Factor de reconciliación para el Au | | | Comentarios |
|-----------------|-------------------------------------|-------|-----------------------------------|----------------------------|
| | Factor de reconciliación "M1" | Sesgo | Rango de aceptación ($\pm 5\%$) | |
| Ene-24 | 108% | 8% | Inaceptable | Sobrestimación de Dispatch |
| Feb-24 | 106% | 6% | Inaceptable | Sobrestimación de Dispatch |
| Mar-24 | 106% | 6% | Inaceptable | Sobrestimación de Dispatch |
| Abr-24 | 103% | 3% | Aceptable | Sobrestimación de Dispatch |
| May-24 | 94% | -6% | Inaceptable | Subestimación de Dispatch |
| Jun-24 | 93% | -7% | Inaceptable | Subestimación de Dispatch |
| Promedio | 102% | 2% | Aceptable | Sobrestimación de Dispatch |

El promedio del primer semestre fue de 102%, que representa una desviación del 2% sobre el valor ideal. Considerando que el valor ideal del factor de reconciliación M1 es del 100%, se observa una sobrestimación en la ley de Au durante todo el semestre. Este resultado se clasifica como **aceptable**, ya que se encuentra dentro del rango de aceptación de reconciliación de $\pm 5\%$. Sin embargo, el sesgo que se obtuvo en todos los meses superan el valor aceptable de reconciliación, por lo que, en una comparación mensual, estos resultados son considerados como **valores inaceptables**.

- **Factor de reconciliación M1 de la ley de Ag de Enero a Junio del 2024**

Una vez recolectada la data de Geología y Dispatch, se procede a realizar el cálculo del factor de reconciliación M1, que nos ayudará a obtener el porcentaje de sesgo que se tendrá entre ambas áreas.

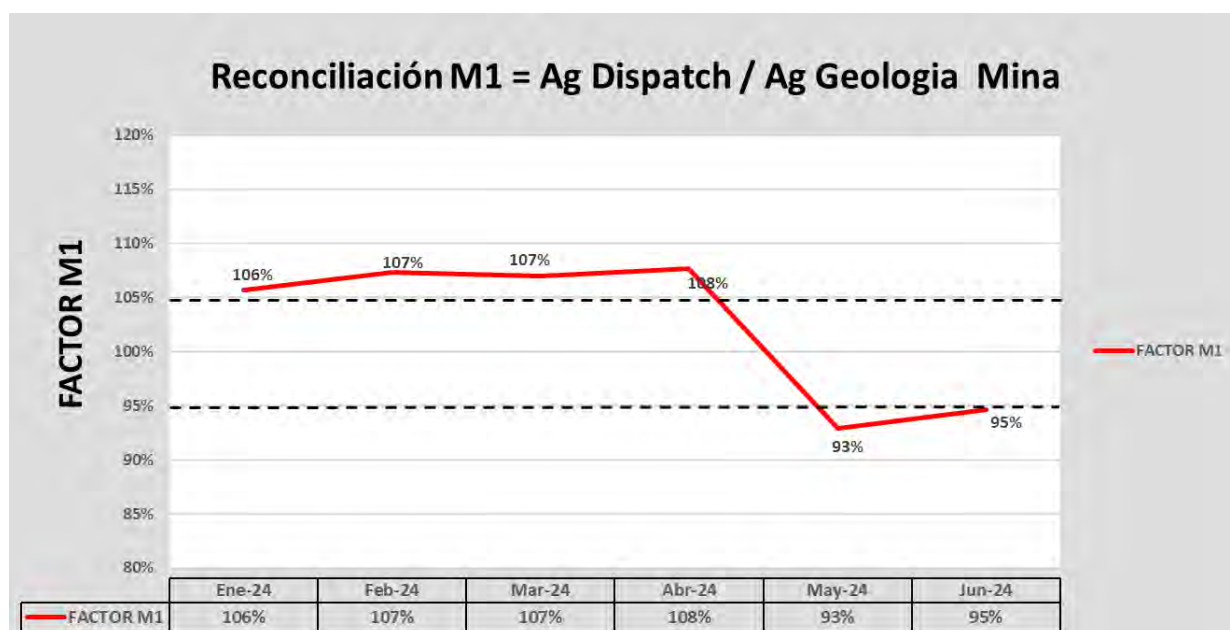
Factor de reconciliación M1 = $\frac{\text{Producción mineral (Data de Dispatch)}}{\text{Modelo Geológico (Data de Geología Mina)}}$

Modelo Geológico (Data de Geología Mina)

Figura 40.

Gráfico de Tendencia del Factor de reconciliación de polígonos de minado “M1”

(Dispatch/Geología Mina) para la ley de Ag de enero a junio 2024



Nota: El gráfico presenta la tendencia del factor de reconciliación M1 (Dispatch/Geología Mina) para la ley de Ag, correspondiente al período de enero a junio de 2024. Como referencia, se incluyen los límites de aceptación (líneas entrecortadas) establecidos para la reconciliación de mineral ($\pm 5\%$).

El análisis del factor de reconciliación M1, cuyo valor ideal es 100%, revela una tendencia de sobrestimación consistente durante el primer semestre. Como se detalla a continuación, la mayoría de los meses presentaron valores fuera del rango de aceptación para la reconciliación de mineral ($\pm 5\%$), con la excepción del mes de junio:

Tabla 9.

Resultados del factor de reconciliación de polígonos de minado "M1" del primer semestre para la ley de Ag

| Primer Semestre | Factor de reconciliación para el Ag | | | Comentarios |
|-----------------|-------------------------------------|-------|-----------------------------------|----------------------------|
| | Factor de reconciliación "M1" | Sesgo | Rango de aceptación ($\pm 5\%$) | |
| Ene-24 | 106% | 6% | Inaceptable | Sobrestimación de Dispatch |
| Feb-24 | 107% | 7% | Inaceptable | Sobrestimación de Dispatch |
| Mar-24 | 107% | 7% | Inaceptable | Sobrestimación de Dispatch |
| Abr-24 | 108% | 8% | Inaceptable | Sobrestimación de Dispatch |
| May-24 | 93% | -7% | Inaceptable | Subestimación de Dispatch |
| Jun-24 | 95% | -5% | Aceptable | Subestimación de Dispatch |
| Promedio | 103% | 3% | Aceptable | Sobrestimación de Dispatch |

El promedio del primer semestre fue de 103%, que representa una desviación del 3% sobre el valor ideal. Considerando que el valor ideal del factor de reconciliación M1 es del 100%, se observa una sobrestimación en la ley de Ag durante todo el semestre. Este resultado se clasifica como **aceptable**, ya que se encuentra dentro del rango de aceptación de reconciliación de $\pm 5\%$. Sin embargo, el sesgo que se obtuvo en todos los meses a excepción de junio superan el valor aceptable de reconciliación, por lo que, en una comparación mensual, estos resultados son considerados como **valores inaceptables**.

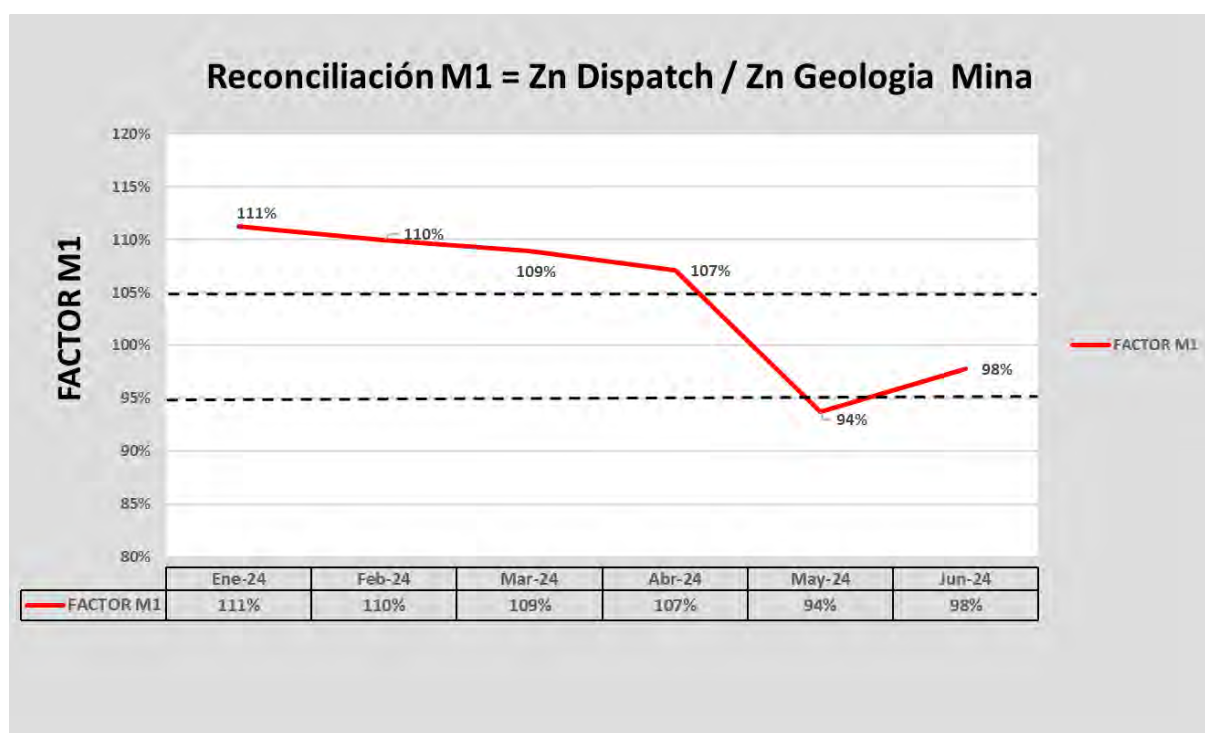
- **Factor de reconciliación M1 de la ley de Zn de enero a junio del 2024**

Una vez recolectada la data de Geología y Dispatch, se procede a realizar el cálculo del factor de reconciliación M1, que nos ayudará a obtener el porcentaje de sesgo que se tendrá entre ambas áreas.

$$\text{Factor de reconciliación M1} = \frac{\text{Producción mineral (Data de Dispatch)}}{\text{Modelo Geológico (Data de Geología Mina)}}$$

Figura 41.

Gráfico de tendencia del factor de reconciliación de polígonos de minado "M1" (Dispatch/Geología Mina) para la ley de Zn de enero a junio 2024



Nota: El gráfico presenta la tendencia del factor de reconciliación M1 (Dispatch/Geología Mina) para para la ley de Zn, correspondiente al período de enero a junio de 2024. Como referencia, se incluyen los límites de aceptación (líneas entrecortadas) establecidos para la reconciliación de mineral ($\pm 5\%$).

El análisis del factor de reconciliación M1, cuyo valor ideal es 100%, revela una tendencia de sobrestimación consistente durante el primer semestre. Como se detalla a continuación, la mayoría de los meses presentaron valores fuera del rango de aceptación para la reconciliación de mineral ($\pm 5\%$), con la excepción del mes de junio.

Tabla 10.

Resultados del factor de reconciliación de polígonos de minado "M1" del primer semestre para la ley de Zn

| Primer Semestre | Factor de reconciliación para el Zn | | | Comentarios |
|-----------------|-------------------------------------|-------|-----------------------------------|-----------------------------|
| | Factor de reconciliación "M1" | Sesgo | Rango de aceptación ($\pm 5\%$) | |
| Ene-24 | 111% | 11% | Inaceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Feb-24 | 110% | 10% | Inaceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Mar-24 | 109% | 9% | Inaceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Abr-24 | 107% | 7% | Inaceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| May-24 | 94% | -6% | Inaceptable | Subestimación de Dispatch |
| Jun-24 | 98% | -2% | Aceptable | Subestimación de Dispatch |
| Promedio | 105% | 5% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |

El promedio del primer semestre fue de 105%, que representa una desviación del 5% sobre el valor ideal. Considerando que el valor ideal del factor de reconciliación M1 es del 100%, se observa una sobreestimación en la ley de Zn durante todo el semestre. Este resultado se clasifica como **aceptable**, ya que se encuentra dentro del rango de aceptación de reconciliación de $\pm 5\%$. Sin embargo, el sesgo que se obtuvo en todos los meses a excepción de junio superan el valor aceptable de reconciliación, por lo que en una comparación mensual, estos resultados son considerados como **valores inaceptables**.

- **Factor de reconciliación M1 de la ley de Pb de Enero a Junio del 2024**

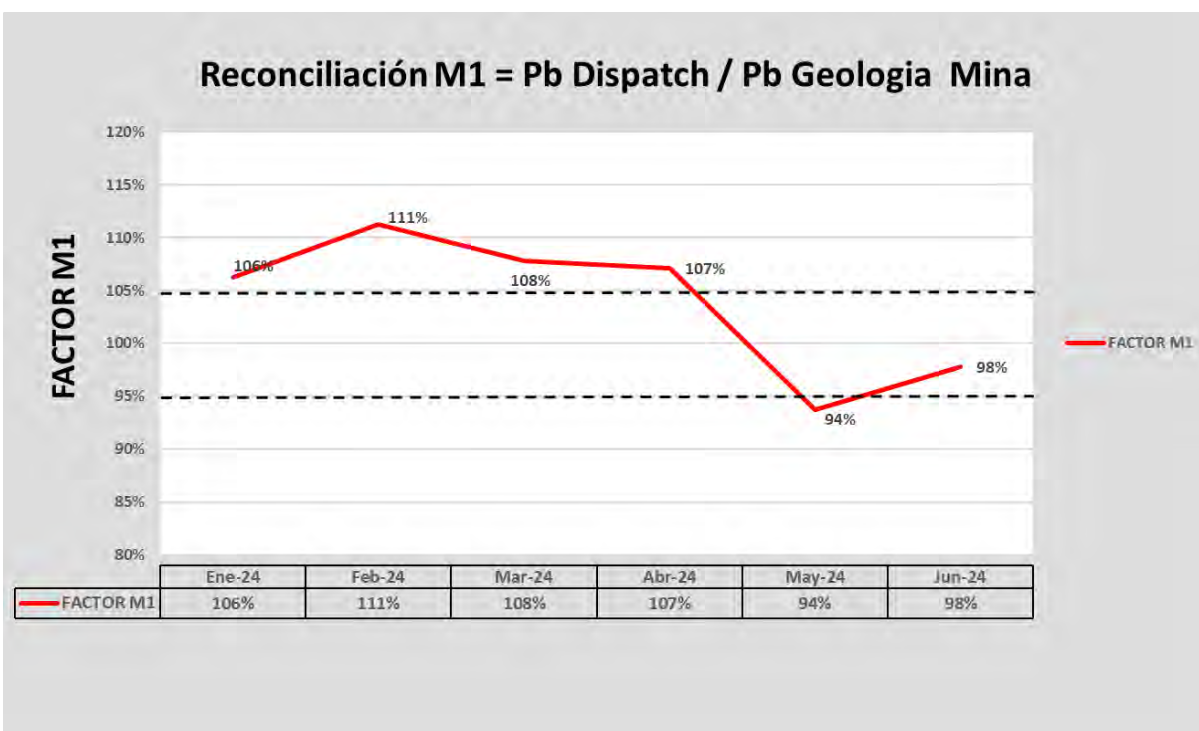
Una vez recolectada la data de Geología y Dispatch, se procede a realizar el cálculo del factor de reconciliación M1, que nos ayudará a obtener el porcentaje de sesgo que se tendrá entre ambas áreas.

$$\text{Factor de reconciliación M1} = \frac{\text{Producción mineral (Data de Dispatch)}}{\text{Modelo Geológico (Data de Geología Mina)}}$$

Figura 42.

Gráfico de tendencia del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1”

(Dispatch/Geología Mina) para la ley de Pb de enero a junio 2024



Nota: El gráfico presenta la tendencia del factor de reconciliación M1 (Dispatch/Geología Mina) para la ley de Pb, correspondiente al período de enero a junio de 2024. Como referencia, se incluyen los límites de aceptación (líneas entrecortadas) establecidos para la reconciliación de mineral ($\pm 5\%$).

El análisis del factor de reconciliación M1, cuyo valor ideal es 100%, revela una tendencia de sobrestimación consistente durante el primer semestre. Como se detalla a continuación, la mayoría de los meses presentaron valores fuera del rango de aceptación para la reconciliación de mineral ($\pm 5\%$), con la excepción del mes de junio:

Tabla 11.

Resultados del factor de reconciliación de polígonos de minado "M1" del primer semestre para la ley de Pb

| Primer Semestre | Factor de reconciliación para el Pb | | | Comentarios |
|-----------------|-------------------------------------|-------|-----------------------------------|-----------------------------|
| | Factor de reconciliación "M1" | Sesgo | Rango de aceptación ($\pm 5\%$) | |
| Ene-24 | 106% | 6% | Inaceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Feb-24 | 111% | 11% | Inaceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Mar-24 | 108% | 8% | Inaceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Abr-24 | 107% | 7% | Inaceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| May-24 | 94% | -6% | Inaceptable | Subestimación de Dispatch |
| Jun-24 | 98% | -2% | Aceptable | Subestimación de Dispatch |
| Promedio | 104% | 4% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |

El promedio del primer semestre fue de 104%, que representa una desviación del 4% sobre el valor ideal. Considerando que el valor ideal del factor de reconciliación M1 es del 100%, se observa una sobreestimación en la ley de Pb durante todo el semestre. Este resultado se clasifica como **aceptable**, ya que se encuentra dentro del rango de aceptación de reconciliación de $\pm 5\%$. Sin embargo, el sesgo que se obtuvo en todos los meses a excepción de junio superan el valor aceptable de reconciliación, por lo que, en una comparación mensual, estos resultados son considerados como **valores inaceptables**.

7.3. Desarrollo de Reconciliaciones del Segundo Semestre

7.3.1. Reconciliación de Polígonos entre Data De Geología Mina y Dispatch del Segundo Semestre (Julio a diciembre) 2024.

- **Factor de reconciliación M1 del Tonelaje de julio a diciembre del 2024**

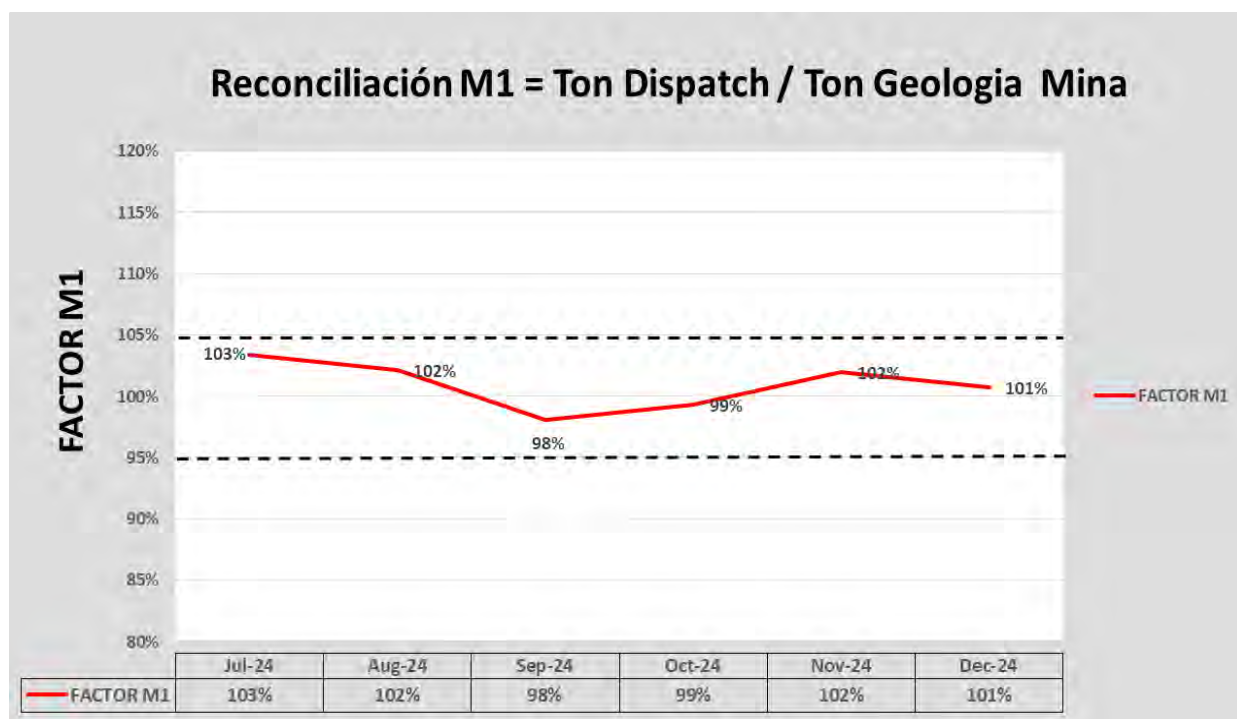
Una vez recolectada la data de Geología y Dispatch, se procede a realizar el cálculo del factor de reconciliación M1, que nos ayudará a obtener el porcentaje de sesgo que se tendrá entre ambas áreas.

$$\text{Factor de reconciliación M1} = \frac{\text{Producción mineral (Data de Dispatch)}}{\text{Modelo Geológico (Data de Geología Mina)}}$$

Figura 43.

Gráfico de tendencia del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1”

(Dispatch/Geología Mina) para el Tonelaje de julio a diciembre 2024



Nota: El gráfico presenta la tendencia del factor de reconciliación M1 (Dispatch/Geología Mina) para el tonelaje, correspondiente al período de julio a diciembre de 2024. Como referencia, se incluyen los límites de aceptación (líneas entrecortadas) establecidos para la reconciliación de mineral ($\pm 5\%$).

El análisis del factor de reconciliación M1, cuyo valor ideal es 100%, revela una tendencia al sesgo mínimo consistente durante el segundo semestre. Como se detalla a continuación, la mayoría de los meses presentaron valores dentro del rango de aceptación para la reconciliación de mineral ($\pm 5\%$):

Tabla 12.

Resultados del factor de reconciliación de polígonos de minado "M1" del segundo semestre para el Tonelaje

| Segundo Semestre | Factor de reconciliación para el Tonelaje | | | Comentarios |
|------------------|-------------------------------------------|-------|-----------------------------------|-----------------------------|
| | Factor de reconciliación "M1" | Sesgo | Rango de aceptación ($\pm 5\%$) | |
| Jul-24 | 103% | 3% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Aug-24 | 102% | 2% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| sep-24 | 98% | -2% | Aceptable | Subestimación de Dispatch |
| Oct-24 | 99% | -1% | Aceptable | Subestimación de Dispatch |
| Nov-24 | 102% | 2% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Dec-24 | 101% | 1% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Promedio | 101% | 1% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |

Nota: El promedio del segundo semestre fue de 101%, que representa una desviación del 1% sobre el valor ideal. Considerando que el valor ideal del factor de reconciliación M1 es del 100%, se observa una tendencia al sesgo mínimo en el tonelaje durante todo el semestre. Este resultado se clasifica como **acceptable**, ya que todos los valores se encuentran dentro del rango de aceptación de reconciliación de $\pm 5\%$.

- **Factor de reconciliación M1 del Cu de julio a diciembre del 2024**

Una vez recolectada la data de Geología y Dispatch, se procede a realizar el cálculo del factor de reconciliación M1, que nos ayudará a obtener el porcentaje de sesgo que se tendrá entre ambas áreas.

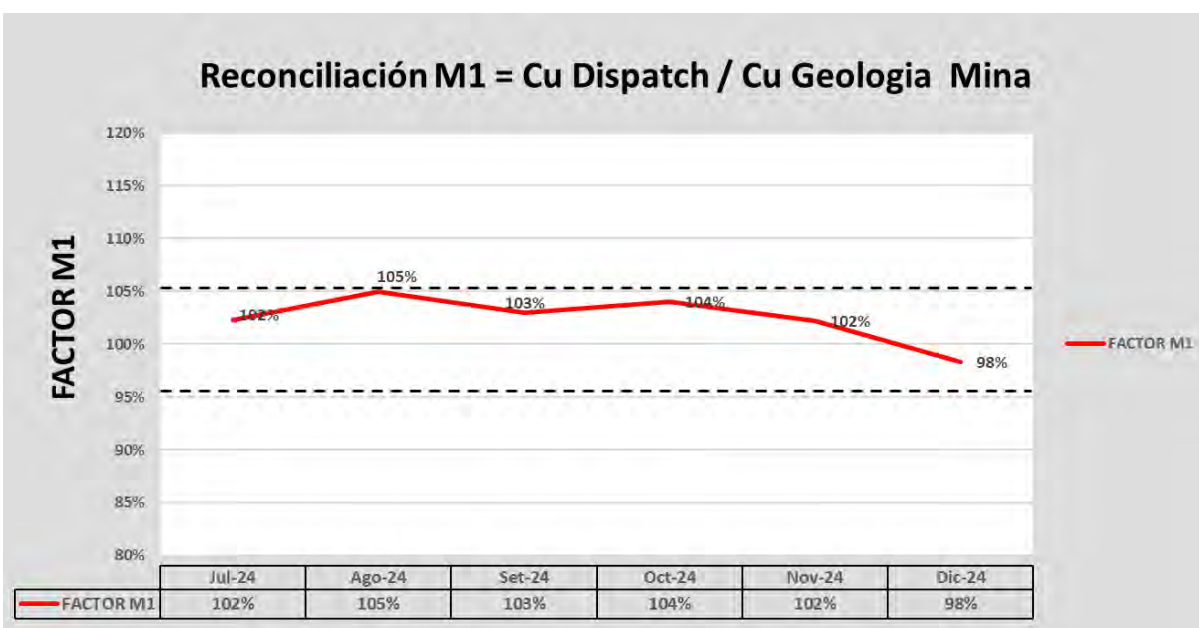
Factor de reconciliación M1 = $\frac{\text{Producción mineral (Data de Dispatch)}}{\text{Modelo Geológico (Data de Geología Mina)}}$

Modelo Geológico (Data de Geología Mina)

Figura 44.

Gráfico de tendencia del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1”

(Dispatch/Geología Mina) para el Cu de julio a diciembre 2024



Nota: El gráfico presenta la tendencia del factor de reconciliación M1 (Dispatch/Geología Mina) para el Cu, correspondiente al período de julio a diciembre de 2024. Como referencia, se incluyen los límites de aceptación (líneas entrecortadas) establecidos para la reconciliación de mineral ($\pm 5\%$).

El análisis del factor de reconciliación M1, cuyo valor ideal es 100%, revela una tendencia al sesgo mínimo consistente durante el segundo semestre. Como se detalla a continuación, la mayoría de los meses presentaron valores dentro del rango de aceptación para la reconciliación de mineral ($\pm 5\%$):

Tabla 13.

Resultados del factor de reconciliación de polígonos de minado "M1" del segundo semestre para la ley de Cu

| Segundo Semestre | Factor de reconciliación para el Cu | | | Comentarios |
|------------------|-------------------------------------|-------|-----------------------------------|-----------------------------|
| | Factor de reconciliación "M1" | Sesgo | Rango de aceptación ($\pm 5\%$) | |
| Jul-24 | 102% | 2% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Aug-24 | 105% | 5% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| sep-24 | 103% | 3% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Oct-24 | 104% | 4% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Nov-24 | 102% | 2% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Dec-24 | 98% | -2% | Aceptable | Subestimación de Dispatch |
| Promedio | 102% | 2% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |

Nota: El promedio del segundo semestre fue de 102%, que representa una desviación del 2% sobre el valor ideal. Considerando que el valor ideal del factor de reconciliación M1 es del 100%, se observa una tendencia al sesgo mínimo en el Cu durante todo el segundo semestre. Este resultado se clasifica como **aceptable**, ya que todos los valores se encuentran dentro del rango de aceptación de reconciliación de $\pm 5\%$.

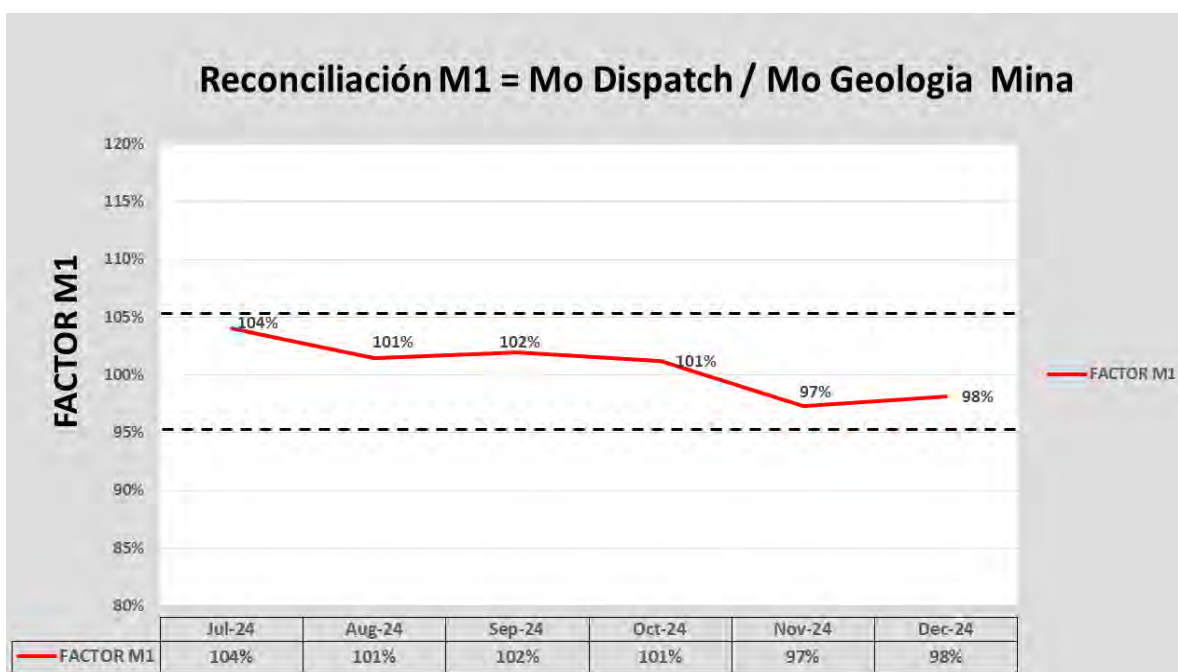
- **Factor de reconciliación M1 de la ley de Mo de julio a diciembre del 2024**

Una vez recolectada la data de Geología y Dispatch, se procede a realizar el cálculo del factor de reconciliación M1, que nos ayudará a obtener el porcentaje de sesgo que se tendrá entre ambas áreas.

$$\text{Factor de reconciliación M1} = \frac{\text{Producción mineral (Data de Dispatch)}}{\text{Modelo Geológico (Data de Geología Mina)}}$$

Figura 45.

Gráfico de tendencia del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1” (Dispatch/Geología Mina) para la ley de Mo de julio a diciembre 2024



Nota: El gráfico presenta la tendencia del factor de reconciliación M1 (Dispatch/Geología Mina) para la ley de Mo, correspondiente al período de julio a diciembre de 2024. Como referencia, se incluyen los límites de aceptación (líneas entrecortadas) establecidos para la reconciliación de mineral ($\pm 5\%$).

El análisis del factor de reconciliación M1, cuyo valor ideal es 100%, revela una tendencia al sesgo mínimo consistente durante el segundo semestre. Como se detalla a continuación, la mayoría de los meses presentaron valores dentro del rango de aceptación para la reconciliación de mineral ($\pm 5\%$)

Tabla 14.

Resultados del factor de reconciliación de polígonos de minado "M1" del segundo semestre para la ley de Mo

| Segundo Semestre | Factor de reconciliación para el Mo | | | Comentarios |
|------------------|-------------------------------------|-------|-----------------------------------|-----------------------------|
| | Factor de reconciliación "M1" | Sesgo | Rango de aceptación ($\pm 5\%$) | |
| Jul-24 | 104% | 4% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Aug-24 | 101% | 1% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| sep-24 | 102% | 2% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Oct-24 | 101% | 1% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Nov-24 | 97% | -3% | Aceptable | Subestimación de Dispatch |
| Dec-24 | 98% | -2% | Aceptable | Subestimación de Dispatch |
| Promedio | 101% | 1% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |

Nota: El promedio del segundo semestre fue de 101%, que representa una desviación del 1% sobre el valor ideal. Considerando que el valor ideal del factor de reconciliación M1 es del 100%, se observa una tendencia al sesgo mínimo en el Mo durante todo el segundo semestre. Este resultado se clasifica como **aceptable**, ya que todos los valores se encuentran dentro del rango de aceptación de reconciliación de $\pm 5\%$.

- **Factor de reconciliación M1 de la ley de Au de julio a diciembre del 2024**

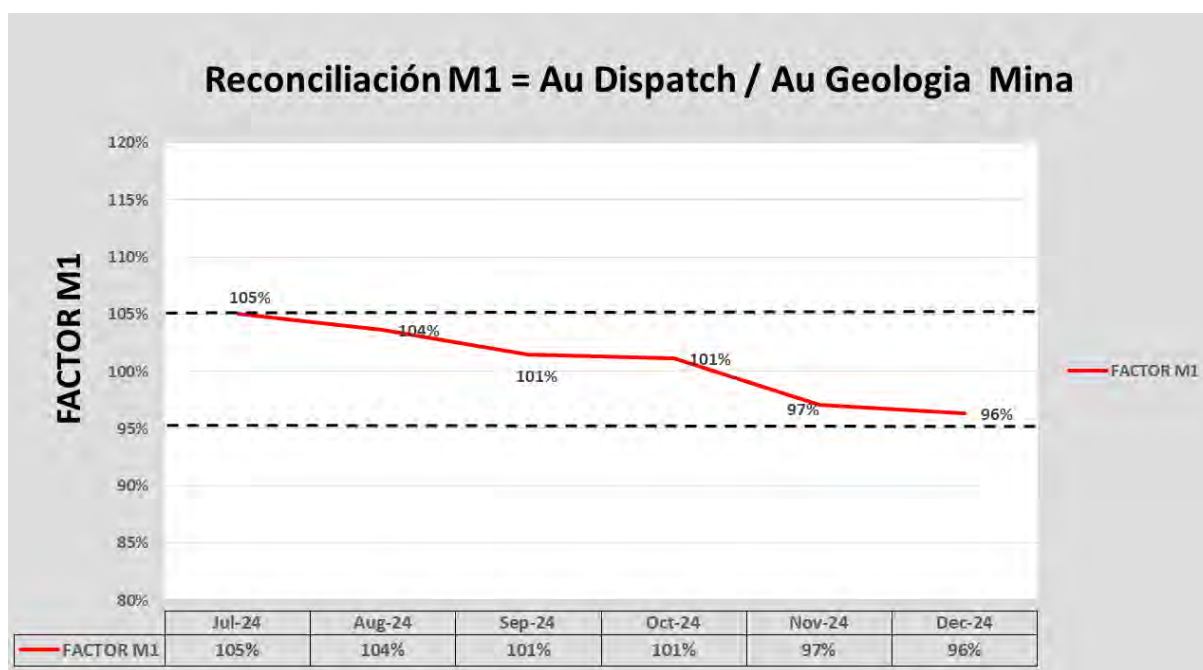
Una vez recolectada la data de Geología y Dispatch, se procede a realizar el cálculo del factor de reconciliación M1, que nos ayudará a obtener el porcentaje de sesgo que se tendrá entre ambas áreas.

$$\text{Factor de reconciliación M1} = \frac{\text{Producción mineral (Data de Dispatch)}}{\text{Modelo Geológico (Data de Geología Mina)}}$$

Figura 46.

Gráfico de tendencia del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1”

(Dispatch/Geología Mina) para la ley de Au de julio a diciembre 2024



Nota: El gráfico presenta la tendencia del factor de reconciliación M1 (Dispatch/Geología Mina) para el Au, correspondiente al período de julio a diciembre de 2024. Como referencia, se incluyen los límites de aceptación (líneas entrecortadas) establecidos para la reconciliación de mineral ($\pm 5\%$).

El análisis del factor de reconciliación M1, cuyo valor ideal es 100%, revela una tendencia al sesgo mínimo consistente durante el segundo semestre. Como se detalla a continuación, la mayoría de los meses presentaron valores dentro del rango de aceptación para la reconciliación de mineral ($\pm 5\%$):

Tabla 15.

Resultados del factor de reconciliación de polígonos de minado "M1" del segundo semestre para la ley de Au.

| Segundo Semestre | Factor de reconciliación para el Au | | | Comentarios |
|------------------|-------------------------------------|-------|-----------------------------------|-----------------------------|
| | Factor de reconciliación "M1" | Sesgo | Rango de aceptación ($\pm 5\%$) | |
| Jul-24 | 105% | 5% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Aug-24 | 104% | 4% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| sep-24 | 101% | 1% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Oct-24 | 101% | 1% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Nov-24 | 97% | -3% | Aceptable | Subestimación de Dispatch |
| Dec-24 | 96% | -4% | Aceptable | Subestimación de Dispatch |
| Promedio | 101% | 1% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |

Nota: El promedio del segundo semestre fue de 101%, que representa una desviación del 1% sobre el valor ideal. Considerando que el valor ideal del factor de reconciliación M1 es del 100%, se observa una tendencia al sesgo mínimo en el Au durante todo el semestre. Este resultado se clasifica como **aceptable**, ya que todos los valores se encuentran dentro del rango de aceptación de reconciliación de $\pm 5\%$.

Factor de reconciliación M1 de la ley de Ag de julio a diciembre del 2024

Una vez recolectada la data de Geología y Dispatch, se procede a realizar el cálculo del factor de reconciliación M1, que nos ayudará a obtener el porcentaje de sesgo que se tendrá entre ambas áreas.

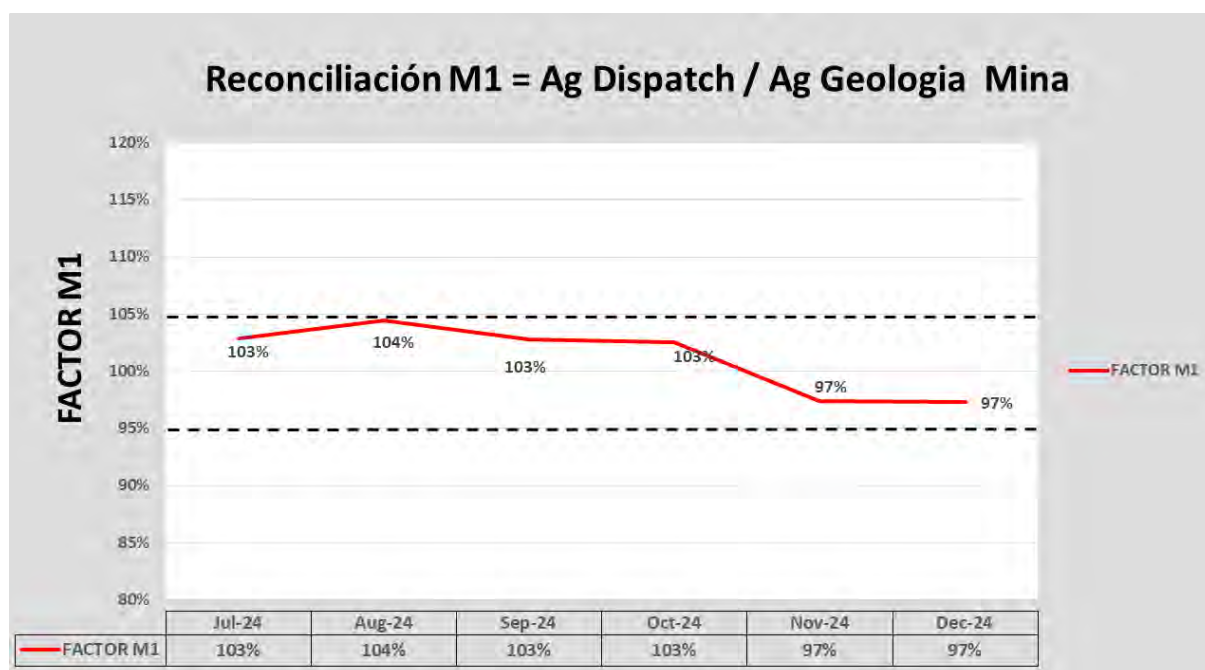
$$\text{Factor de reconciliación M1} = \frac{\text{Producción mineral (Data de Dispatch)}}{\text{Modelo Geológico (Data de Geología Mina)}}$$

Modelo Geológico (Data de Geología Mina)

Figura 47.

Gráfico de tendencia del factor de reconciliación de polígonos de minado "M1"

(Dispatch/Geología Mina) para la ley de Ag de julio a diciembre 2024



Nota: El gráfico presenta la tendencia del factor de reconciliación M1 (Dispatch/Geología Mina) para la ley de Ag, correspondiente al período de julio a diciembre de 2024. Como referencia, se incluyen los límites de aceptación (líneas entrecortadas) establecidos para la reconciliación de mineral ($\pm 5\%$).

El análisis del factor de reconciliación M1, cuyo valor ideal es 100%, revela una tendencia al sesgo mínimo consistente durante el segundo semestre. Como se detalla a continuación, la mayoría de los meses presentaron valores dentro del rango de aceptación para la reconciliación de mineral ($\pm 5\%$):

Tabla 16.

Resultados del factor de Reconciliación de polígonos de minado "M1" del segundo semestre para la ley de Ag.

| Segundo Semestre | Factor de reconciliación "M1" | Factor de reconciliación para el Ag | | Comentarios |
|------------------|-------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| | | Sesgo | Rango de aceptación ($\pm 5\%$) | |
| Jul-24 | 103% | 3% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Aug-24 | 104% | 4% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| sep-24 | 103% | 3% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Oct-24 | 103% | 3% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Nov-24 | 97% | -3% | Aceptable | Subestimación de Dispatch |
| Dec-24 | 97% | -3% | Aceptable | Subestimación de Dispatch |
| Promedio | 101% | 1% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |

Nota: El promedio del segundo semestre fue de 101%, que representa una desviación del 1% sobre el valor ideal. Considerando que el valor ideal del factor de reconciliación M1 es del 100%, se observa una tendencia al sesgo mínimo en el Ag durante todo el semestre. Este resultado se clasifica como **aceptable**, ya que todos los valores se encuentran dentro del rango de aceptación de reconciliación de $\pm 5\%$.

- **Factor de reconciliación M1 de la ley de Zn de julio a diciembre del 2024**

Una vez recolectada la data de Geología y Dispatch, se procede a realizar el cálculo del factor de reconciliación M1, que nos ayudará a obtener el porcentaje de sesgo que se tendrá entre ambas áreas.

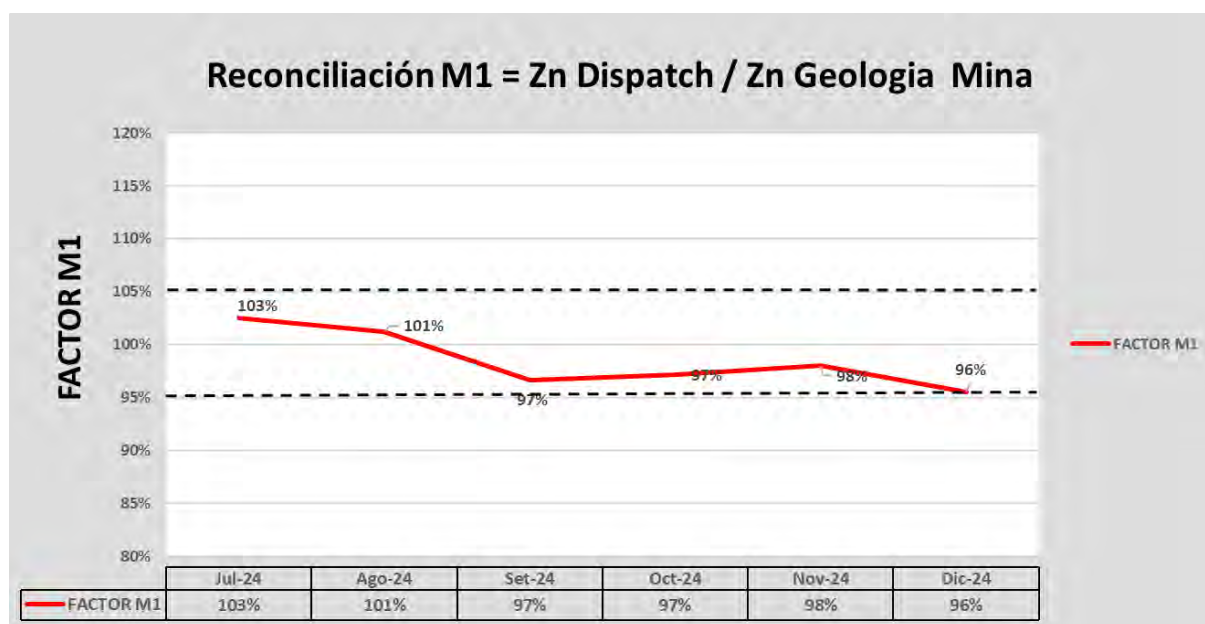
Factor de reconciliación M1 = $\frac{\text{Producción mineral (Data de Dispatch)}}{\text{Modelo Geológico (Data de Geología Mina)}}$

Modelo Geológico (Data de Geología Mina)

Figura 48.

Gráfico de tendencia del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1”

(Dispatch/Geología Mina) para la ley de Zn de julio a diciembre 2024



Nota: El gráfico presenta la tendencia del factor de reconciliación M1 (Dispatch/Geología Mina) para el Zn, correspondiente al período de julio a diciembre de 2024. Como referencia, se incluyen los límites de aceptación (líneas entrecortadas) establecidos para la reconciliación de mineral ($\pm 5\%$).

El análisis del factor de reconciliación M1, cuyo valor ideal es 100%, revela una tendencia al sesgo mínimo consistente durante el segundo semestre. Como se detalla a continuación, la mayoría de los meses presentaron valores dentro del rango de aceptación para la reconciliación de mineral ($\pm 5\%$):

Tabla 17.

Resultados del factor de reconciliación de polígonos de minado "M1" del segundo semestre para la ley de Zn.

| Segundo Semestre | Factor de reconciliación para el Zn | | | Comentarios |
|------------------|-------------------------------------|-------|-----------------------------------|-----------------------------|
| | Factor de reconciliación "M1" | Sesgo | Rango de aceptación ($\pm 5\%$) | |
| Jul-24 | 103% | 2% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Aug-24 | 101% | 1% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| sep-24 | 97% | -3% | Aceptable | Subestimación de Dispatch |
| Oct-24 | 97% | -3% | Aceptable | Subestimación de Dispatch |
| Nov-24 | 98% | -2% | Aceptable | Subestimación de Dispatch |
| Dec-24 | 96% | -4% | Aceptable | Subestimación de Dispatch |
| Promedio | 99% | -1% | Aceptable | Subestimación de Dispatch |

Nota: El promedio del segundo semestre fue de 99%, que representa una desviación del 1% sobre el valor ideal. Considerando que el valor ideal del factor de reconciliación M1 es del 100%, se observa una tendencia al sesgo mínimo en el Zn durante todo el semestre. Este resultado se clasifica como **aceptable**, ya que todos los valores se encuentran dentro del rango de aceptación de reconciliación de $\pm 5\%$.

- **Factor de reconciliación M1 de la ley de Pb de julio a diciembre del 2024**

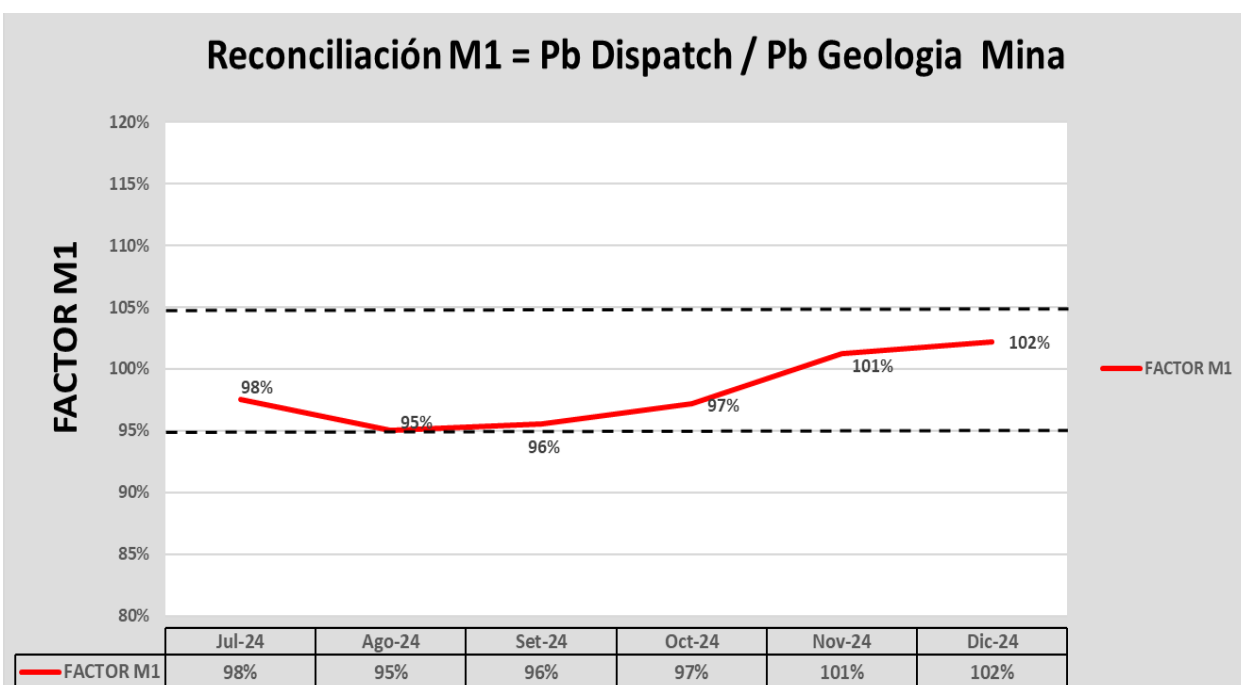
Una vez recolectada la data de Geología y Dispatch, se procede a realizar el cálculo del factor de reconciliación M1, que nos ayudará a obtener el porcentaje de sesgo que se tendrá entre ambas áreas.

$$\text{Factor de reconciliación M1} = \frac{\text{Producción mineral (Data de Dispatch)}}{\text{Modelo Geológico (Data de Geología Mina)}}$$

Figura 49.

Gráfico de tendencia del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1”

(Dispatch/Geología Mina) para la ley de Pb de julio a diciembre 2024



Nota: El gráfico presenta la tendencia del factor de reconciliación M1 (Dispatch/Geología Mina) para el Pb, correspondiente al período de julio a diciembre de 2024. Como referencia, se incluyen los límites de aceptación establecidos para la reconciliación de mineral ($\pm 5\%$).

El análisis del factor de reconciliación M1, cuyo valor ideal es 100%, revela una tendencia al sesgo mínimo consistente durante el segundo semestre. Como se detalla a continuación, la mayoría de los meses presentaron valores dentro del rango de aceptación para la reconciliación de mineral ($\pm 5\%$):

Tabla 18.

Resultados del factor de reconciliación de polígonos de minado "M1" del segundo semestre para la ley de Pb.

| Segundo Semestre | Factor de reconciliación "M1" | Factor de reconciliación para el Pb | | Comentarios |
|------------------|-------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| | | Sesgo | Rango de aceptación ($\pm 5\%$) | |
| Jul-24 | 98% | -3% | Aceptable | Subestimación de Dispatch |
| Aug-24 | 95% | -5% | Aceptable | Subestimación de Dispatch |
| sep-24 | 96% | -4% | Aceptable | Subestimación de Dispatch |
| Oct-24 | 97% | -3% | Aceptable | Subestimación de Dispatch |
| Nov-24 | 101% | 1% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Dec-24 | 102% | 2% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Promedio | 98% | -2% | Aceptable | Subestimación de Dispatch |

Nota: El promedio del segundo semestre fue de 98%, que representa una desviación del 2% sobre el valor ideal. Considerando que el valor ideal del factor de reconciliación M1 es del 100%, se observa una tendencia al sesgo mínimo en el Pb durante todo el semestre. Este resultado se clasifica como **aceptable**, ya que todos los valores se encuentran dentro del rango de aceptación de reconciliación de $\pm 5\%$.

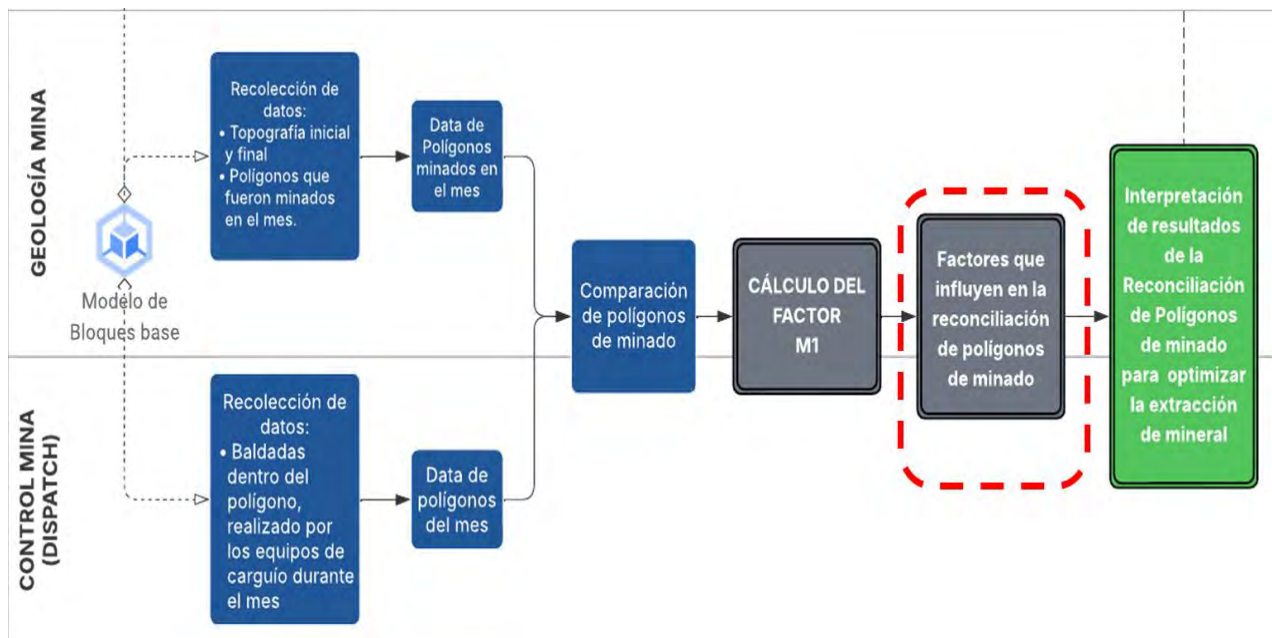
7.4. Análisis de Factores que Afectan la Reconciliación del Primer Semestre

Dentro de la operación minera, lograr una reconciliación precisa de los polígonos de minado entre los equipos de Geología y el sistema de Dispatch es fundamental para la eficiencia operativa. Sin embargo, existen varios factores críticos que comprometen esta precisión.

El primero es el error de despacho, que suele estar motivado por una mala asignación de polígonos dentro del propio sistema Dispatch, lo que conduce a confusiones operativas. Además, la dilución y el desplazamiento de mineral post voladura modifican la ubicación del mineral conduciendo a una pérdida de mineral. Finalmente, la dirección de minado de los equipos de carguío es fundamental ya que se podría generar una pérdida de mineral si es que esté minado no está en dirección de la veta o estructuras mineralizadas.

Figura 50.

Diagrama de flujo para determinar los factores que influyen en la reconciliación de polígonos de minado.



7.4.1. Errores de Despacho

Los errores humanos son la causa principal de las asignaciones incorrectas de polígonos de origen y destino del material minero. Estos fallos impactan directamente la segregación de leyes (calidad del mineral) y la eficiencia del proceso productivo.

Por ejemplo, las equivocaciones del operador de pala (o cargador frontal) al enviar camiones a chancadora son críticas. Si un camión con material estéril (sin valor mineral o de muy baja ley) es dirigido erróneamente a los stock piles de mineral de alta ley o, peor aún, a la chancadora/planta de procesamiento, se genera una severa dilución y un aumento innecesario en los costos de procesamiento.

Contrariamente, al enviar mineral valioso a un botadero de material estéril o de baja ley resulta en la pérdida irrecuperable de recursos y la disminución de las reservas. Estas desviaciones operacionales son el resultado de la inconsistencia en la comunicación y la incorrecta interpretación de los planes de minado por parte del personal de campo.

Figura 51.

Sugerencias de destino (Botadero o Planta) del sistema Dispatch



Optimización de procesos de minado: Correcta asignación y despacho del material

Inicialmente, el sistema Dispatch asignó el material al Botadero (depósito de material estéril). No obstante, tras la inspección visual y clasificación realizada por el Geólogo de Mina en campo, se determinó que dicho material cumplía con las especificaciones de mineral. Por consiguiente, se procedió a modificar el destino de descarga a la Chancadora de Planta.

7.4.2. Dilución y Pérdida De Mineral: Impacto Operacional Post-Voladura

La dilución de mineral es la contaminación o mezcla no deseada del mineral económicamente explotable con material estéril (desmonte) o de baja ley durante el proceso de minado. Este fenómeno resulta en una disminución de la ley promedio del material enviado a planta y un incremento en los costos de procesamiento por tonelada de metal recuperado.

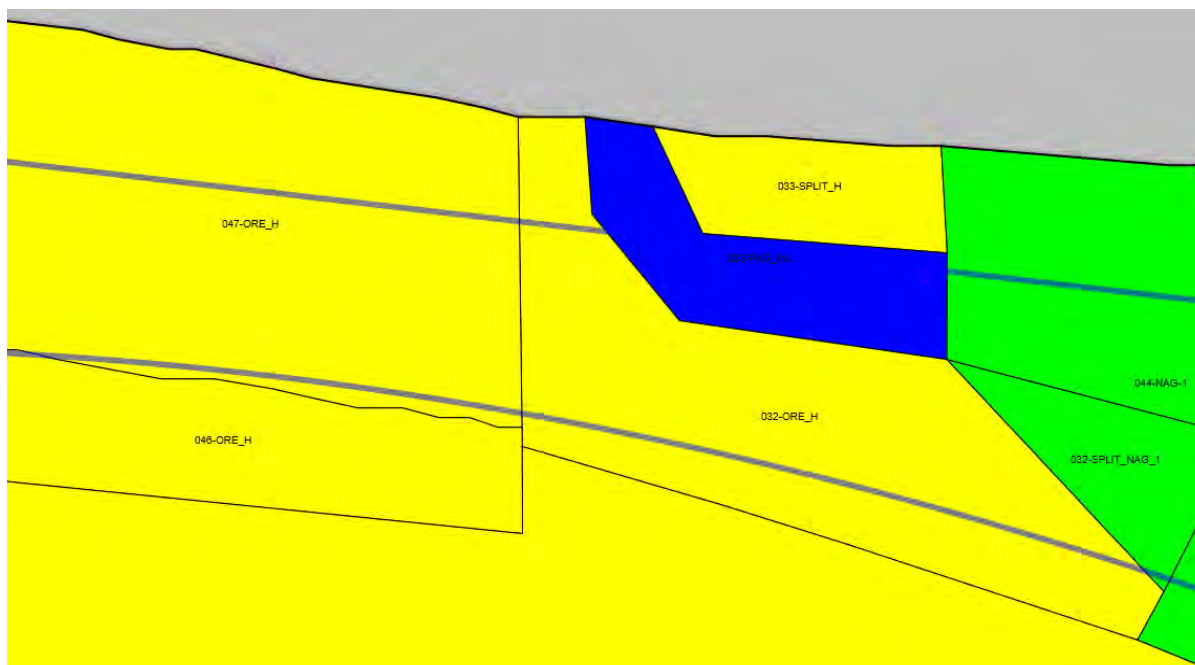
Causas operacionales detalladas:

- **Errores de delimitación y geometría de bloques:**

Polígonos de Mineral Demasiado Pequeños: Cuando los polígonos de mineral a minar son muy angostos o irregulares y están en contacto directo con polígonos de desmonte (material estéril), se incrementa significativamente la probabilidad de mezclas incontroladas durante la excavación y carguío.

Figura 52.

Polígonos de minado muy estrechos e irregulares



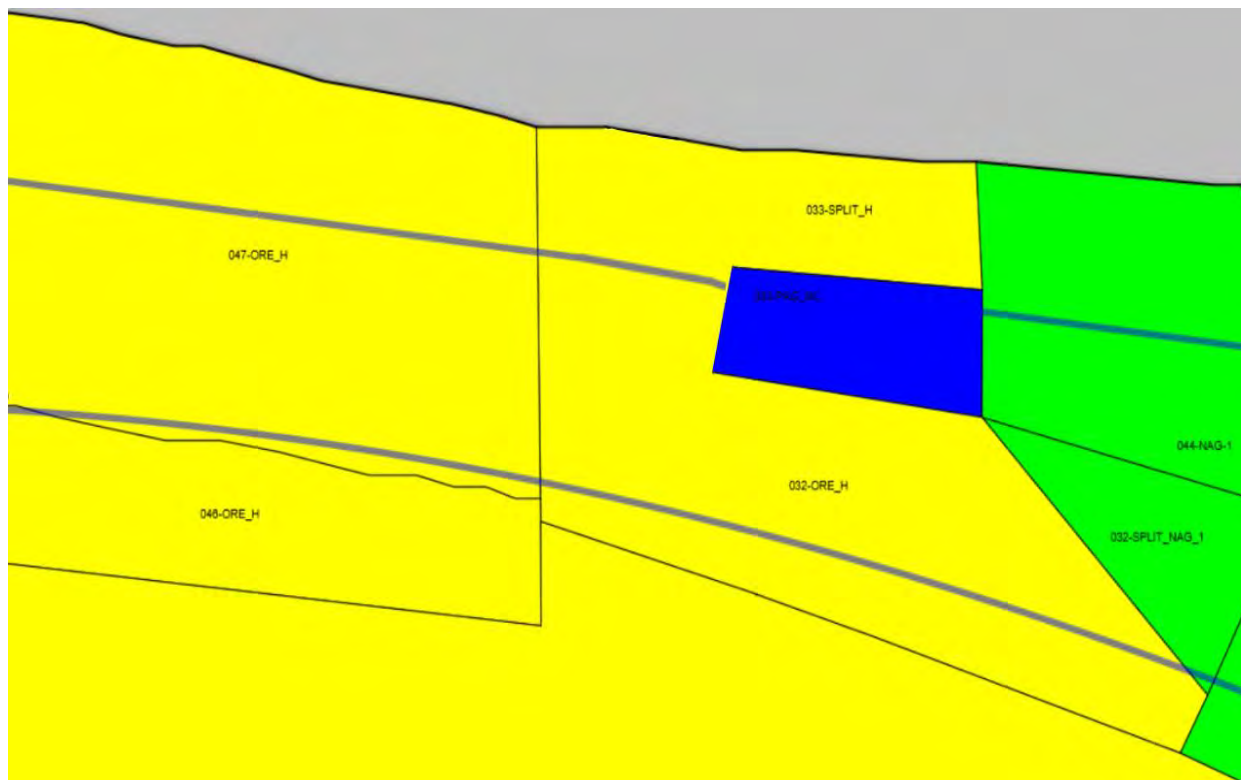
Optimización de procesos de minado: Modificación del polígono de minado para la eficiencia operacional

El área de Geología de Mina es responsable de generar los polígonos de minado, que definen las geometrías y límites exactos del material a extraer en cada ciclo operativo.

En este caso específico, el polígono inicial fue modificado por el área de Geología Mina. La alteración consistió en crear geometrías más regulares, esta modificación se realiza con el objetivo principal de optimizar la eficiencia del proceso de carguío y minado, puesto que las formas más regulares permiten que los equipos de carguío (Palas y Cargadores) operen con mayor fluidez, reduciendo maniobras innecesarias y el tiempo de ciclo. Adicionalmente al simplificar la geometría del polígono, se facilita a los operadores el seguimiento del diseño, minimizando la dilución y la pérdida de mineral, asegurando también una extracción más precisa y rentable del material.

Figura 53.

Modificación y corrección del polígono de minado



- **Desplazamiento Post-Voladura:** El diseño y la ejecución de la voladura generan un movimiento de la masa rocosa fragmentada. Este desplazamiento induce una mezcla mecánica entre los polígonos de mineral y de desmonte adyacentes.
 - **Dilución de Mineral:** Se produce cuando el material estéril (porción de polígonos de desmonte) se desplaza o cae sobre los polígonos de mineral.
 - **Pérdida de Mineral:** Ocurre cuando el mineral de valor (porción de polígonos de mineral) se desplaza fuera de la zona de extracción planificada, mezclándose con el desmonte que será desechado.

En resumen, la dilución de mineral y la pérdida de mineral, por la imprecisión en la definición de polígonos y el desplazamiento por voladura, tienen un impacto directo y negativo en la rentabilidad, al reducir los ingresos (por menor ley de cabeza) y aumentar los costos operativos (por procesar toneladas de material sin valor).

Optimización de procesos de minado: Generación de polígonos desplazados post-voladura

Para contrarrestar el efecto del desplazamiento de material generado por cada voladura, el área de Geología de Mina utiliza el software especializado "ORE PRO" (Sistema de medición de movimiento de material post voladura). Esta herramienta cuantifica con precisión el movimiento tridimensional del material post-voladura en relación con su posición original en el modelo. Utilizando los datos de ORE PRO, Geología genera nuevos polígonos de minado ajustados que reflejan la ubicación real del mineral después del movimiento.

La integración de esta tecnología permite una optimización crítica del proceso de minado, ya que asegura que los equipos de carguío apunten a la posición real del mineral. De esta forma, se logra

recuperar un alto porcentaje del material de valor que, de otra manera, se perdería o se enviaría incorrectamente al botadero (dilución).

Para garantizar esta optimización, el Geólogo de Mina desempeña un rol central en la coordinación con las áreas operacionales de Dispatch y Operaciones Mina

En las siguientes figuras se observa los polígonos y bloques pre-voladura y la optimización en la generación de polígonos y bloques desplazados post-voladura

Figura 54.

“A” muestra los polígonos antes de la voladura, “B” muestra los polígonos después de la voladura

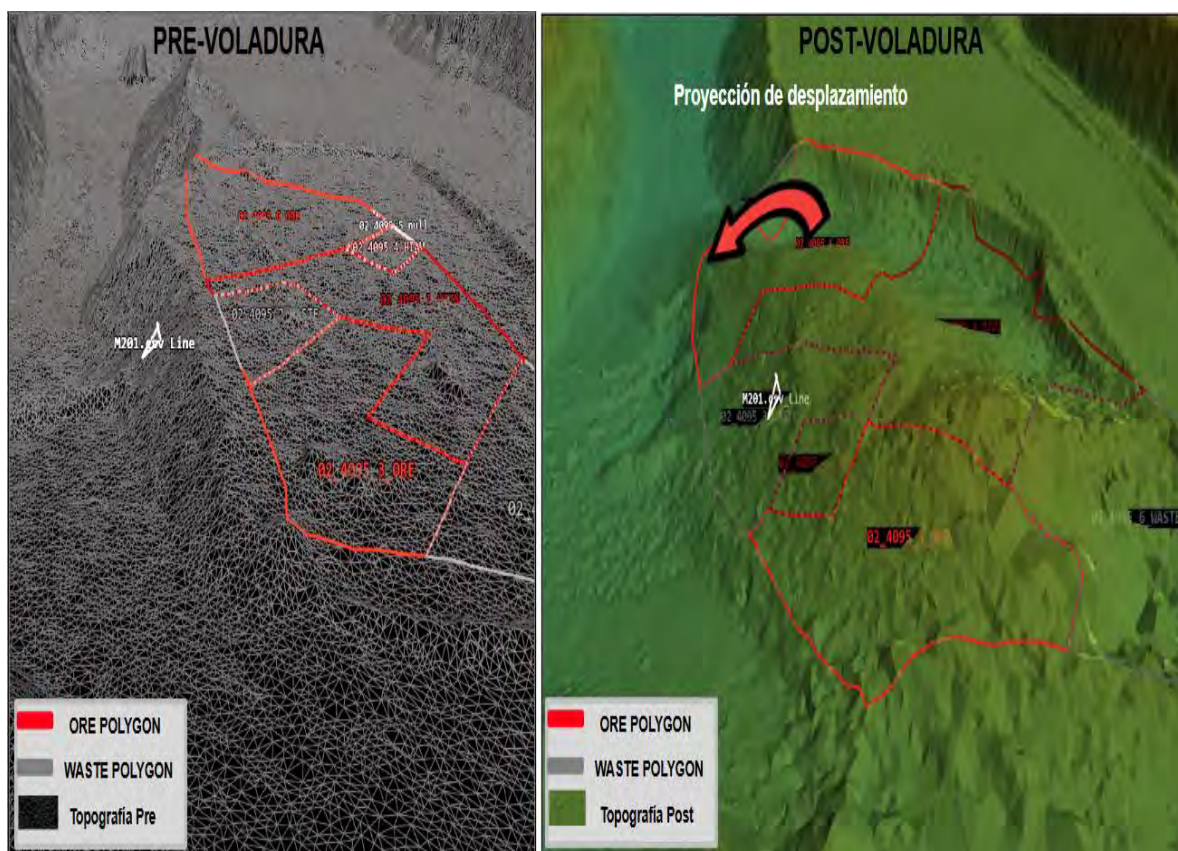


Figura 55.

“A” muestra el modelo de bloques antes de la voladura, “B” muestra el modelo de bloques después de la voladura.

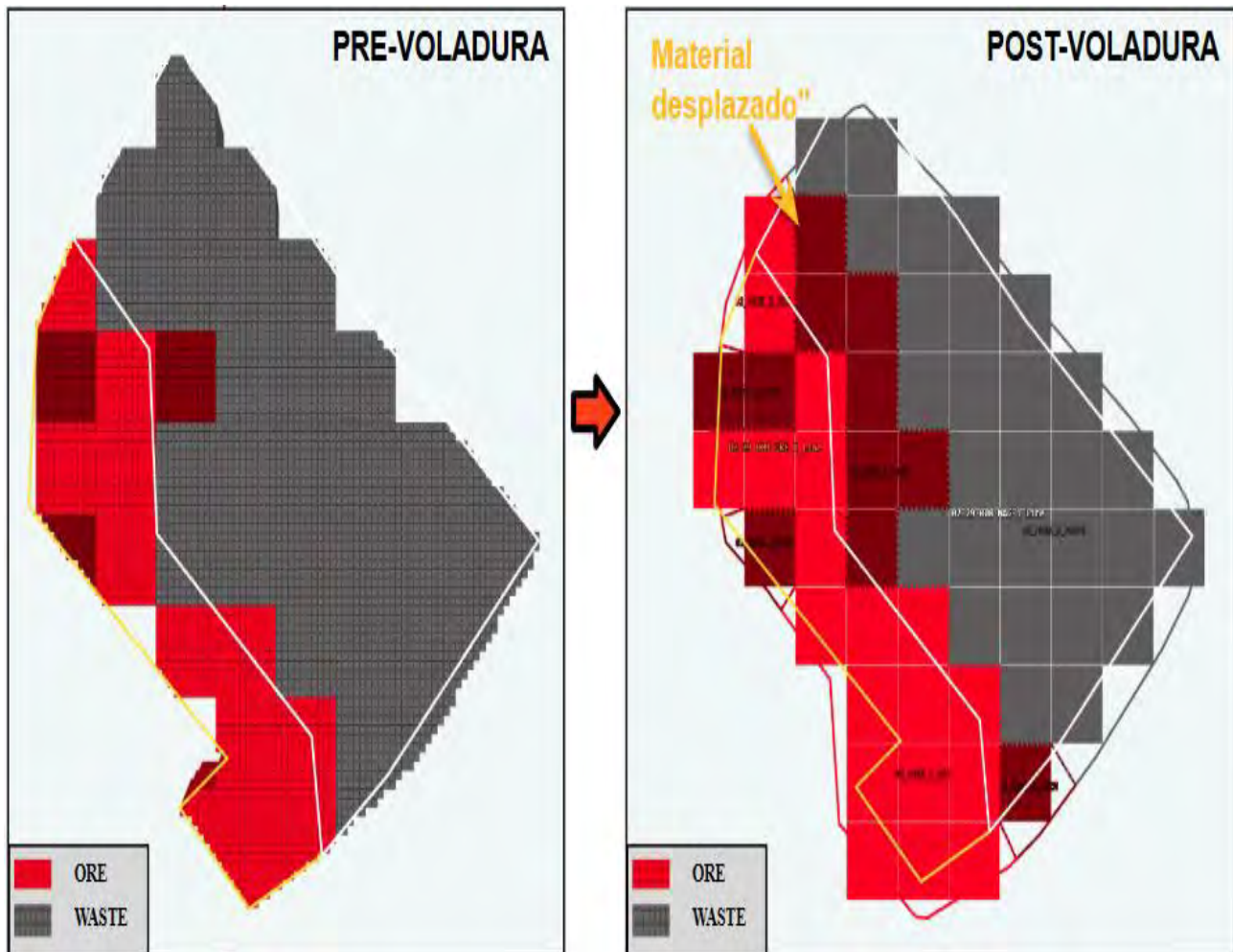


Figura 56.

“A” muestra el modelo de bloques antes de la voladura, “B” muestra el modelo de bloques después de la voladura con la generación de un Split de Ore desplazado.

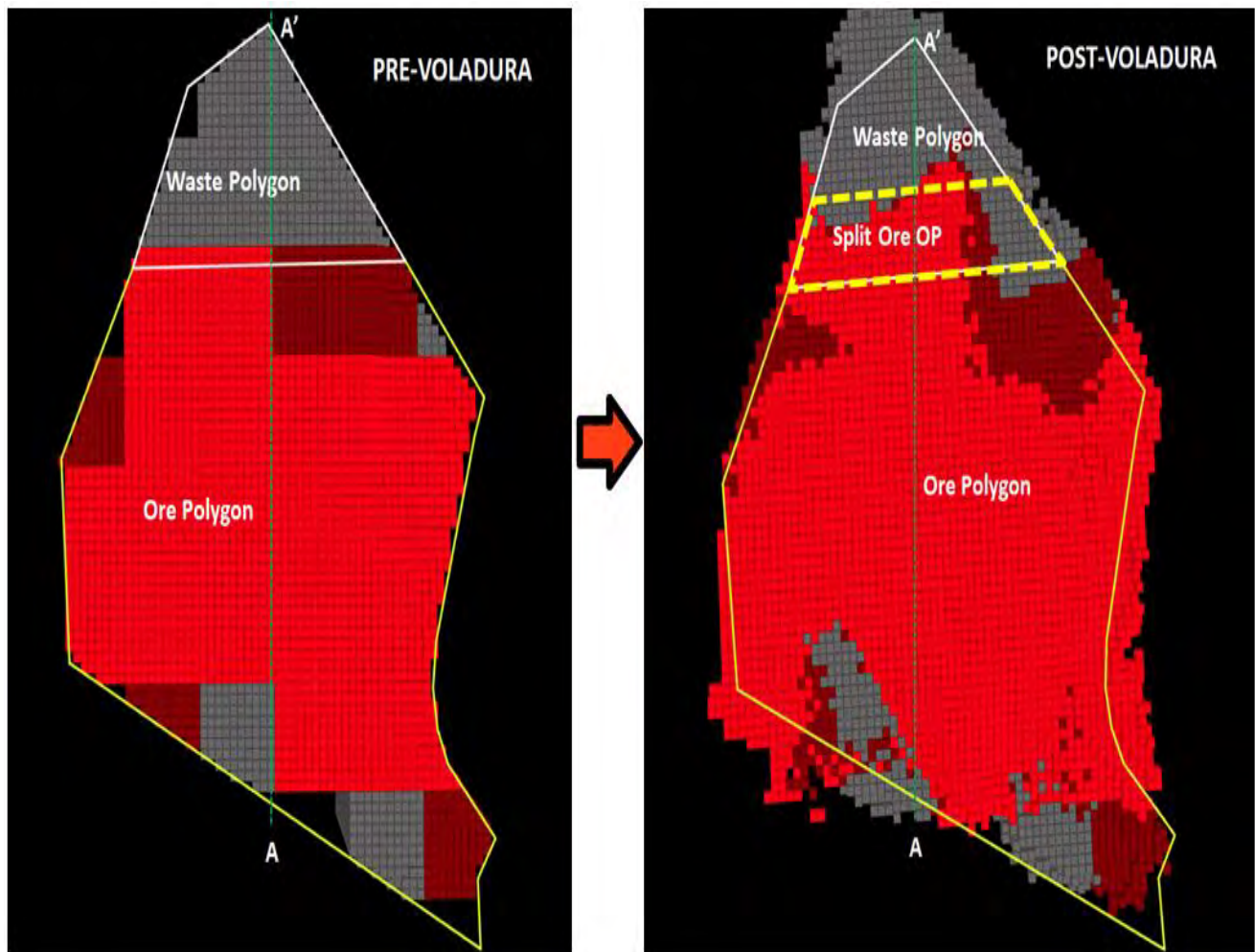
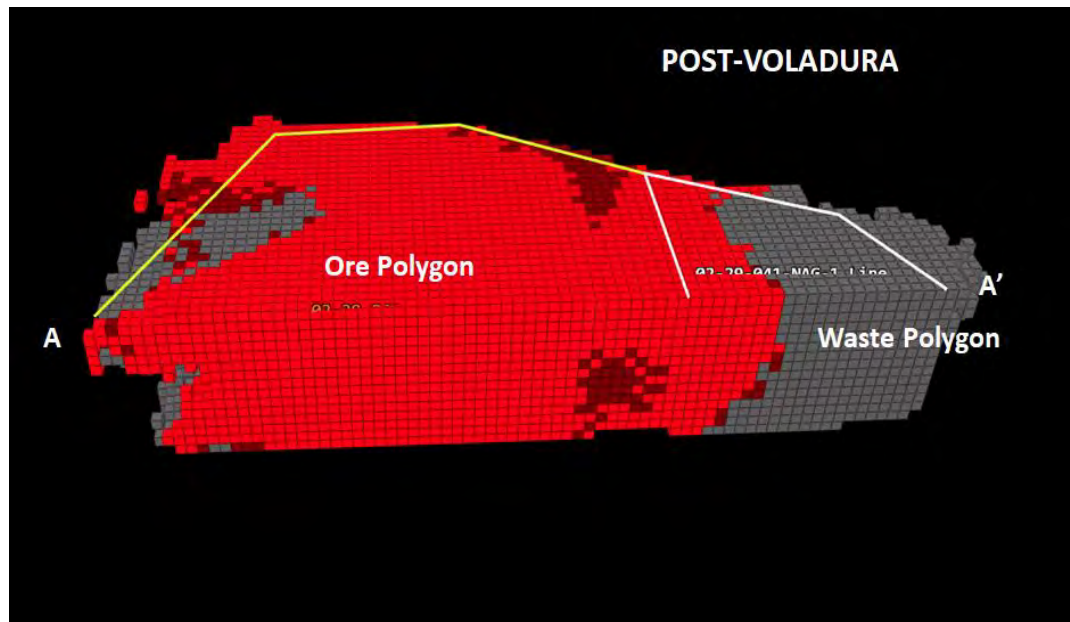


Figura 57.

Se muestra el modelo desplazado en perfil, muestra la sección A-A', en la cual se evidencia el desplazamiento de mineral



7.4.3. Influencia de la Dirección de Minado

La dirección de minado es un factor crítico que influye directamente en la precisión del control de límites del yacimiento

- **Minado paralelo a la estructura (Longitudinal):**
 - Desventaja Operacional: Cuando la pala realiza el minado de forma paralela a la orientación del cuerpo de una veta (polígono de mineral) o dique (polígono de desmonte), el control visual del contacto entre el mineral y el desmonte se vuelve extremadamente difícil.
 - Razón: El límite de la veta o dique es menos visible y más irregular en el frente de avance, lo que dificulta la identificación precisa por parte del operador del equipo

de carguío, incrementando el riesgo de extraer estéril junto con el mineral (dilución).

Figura 58.

Muestra a la pala realizando el minado de forma paralela a la orientación del cuerpo de un dique (polígono de desmonte).



- **Optimización de procesos de minado: Minado transversal a la estructura (Perpendicular)**
 - Estrategia Óptima: Es preferible que la dirección de minado sea transversal (perpendicular) a la orientación de la mineralización.

- **Beneficio Principal:** Esta aproximación expone el contacto mineral-desmante de manera más visible en el frente de trabajo, ofreciendo una clara referencia visual para el operador. Esto permite un control más estricto y preciso de los límites de minado, facilitando la extracción selectiva de material y en consecuencia minimizando significativamente la dilución de mineral y mejorando la recuperación del mineral de alta ley.

Figura 59.

Muestra a la pala realizando el minado de forma perpendicular a la orientación del cuerpo de un dique (polígono de desmante).



7.4.4. Errores Topográficos:

Los errores topográficos representan una fuente significativa de incertidumbre e ineficiencia en la cadena de valor minera. No se limitan solo a la medición, sino que tienen consecuencias directas en la planificación.

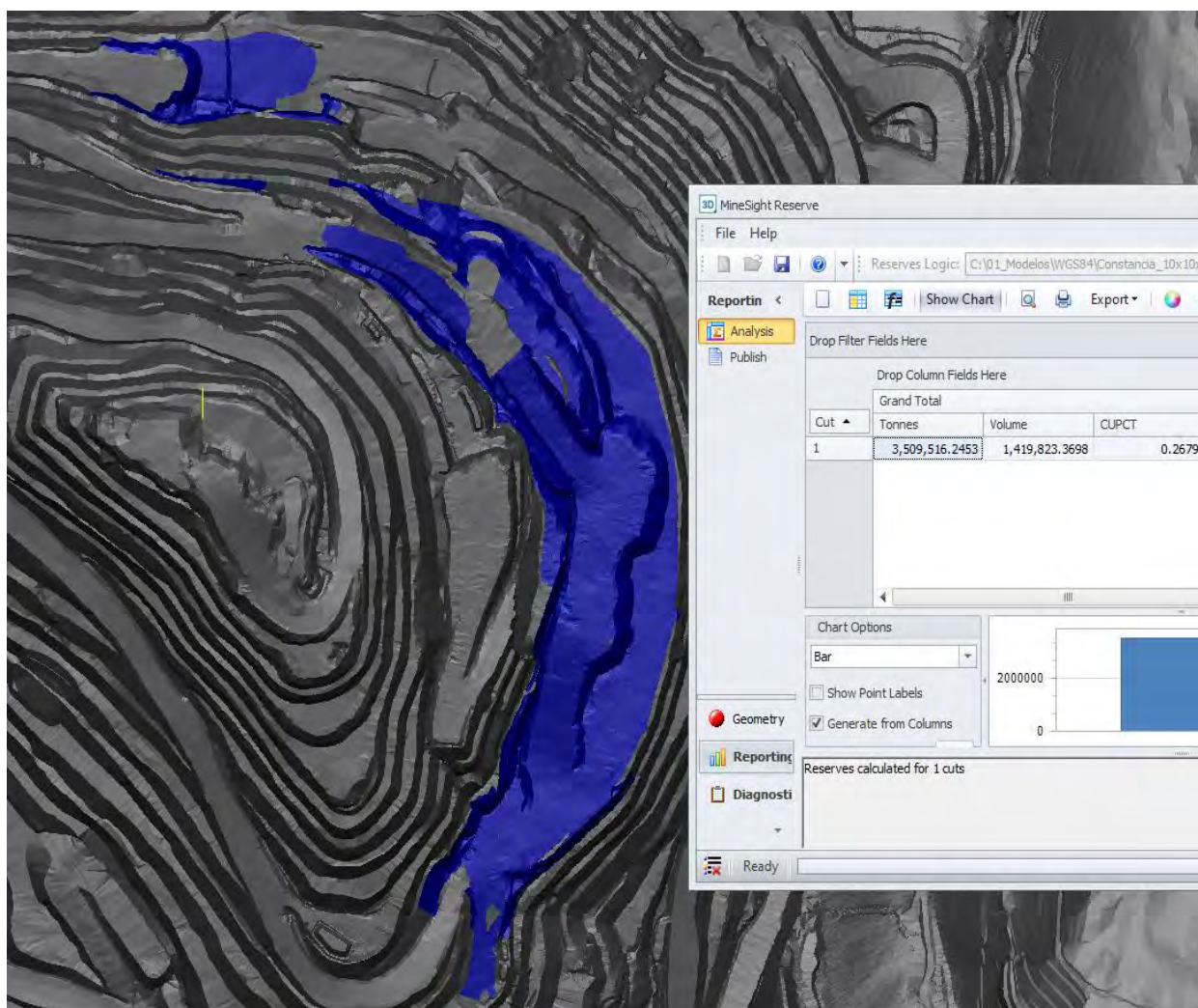
Los errores en el levantamiento y procesamiento de datos topográficos pueden causar:

- **Volúmenes incorrectos:** Un levantamiento topográfico erróneo del piso (toe) y cresta (crest) del minado lleva a calcular y generar superficies y sólidos de minado incorrectos para volúmenes de reconciliación, puesto que la base del control volumétrico (el cálculo de las toneladas removidas) es la topografía.
- **Errores en diseños de límites de mineral y desmonte para minado:** Una ubicación incorrecta de los contactos topográficos genera una mala delimitación entre polígonos de desmonte (material estéril de baja ley) y polígonos de mineral (de alta ley). Esto resulta en la dilución del material o la pérdida de mineral (dejar mineral valioso en el botadero).
- **Optimización de procesos de minado: Corrección de errores topográficos**
Los geólogos de campo desempeñan un papel crucial en la corrección de errores topográficos, principalmente a través de la verificación directa, la validación de datos y la coordinación con el equipo de Topografía. Su enfoque está en asegurar que los límites geológicos (mineral/estéril) se ajusten a la realidad física del terreno levantado. Para corregir los errores topográficos el geólogo del área debe supervisar y validar los levantamientos de los pisos (toes) y cresta (crests) de los bancos realizados por Topografía, especialmente antes de calcular el volumen minado del mes. Si el levantamiento topográfico de la cresta o el pie de banco está desplazado, el geólogo debe coordinar con Topografía para corregir la base del diseño antes de demarcar el límite de

mineral. Así mismo antes de la reconciliación mensual, el geólogo debe confirmar que el sólido de minado que se está comparando con el modelo, representa con precisión la geometría topográfica real.

Figura 60.

Cálculo volumétrico del sólido de minado generado para la reconciliación de polígonos de minado.



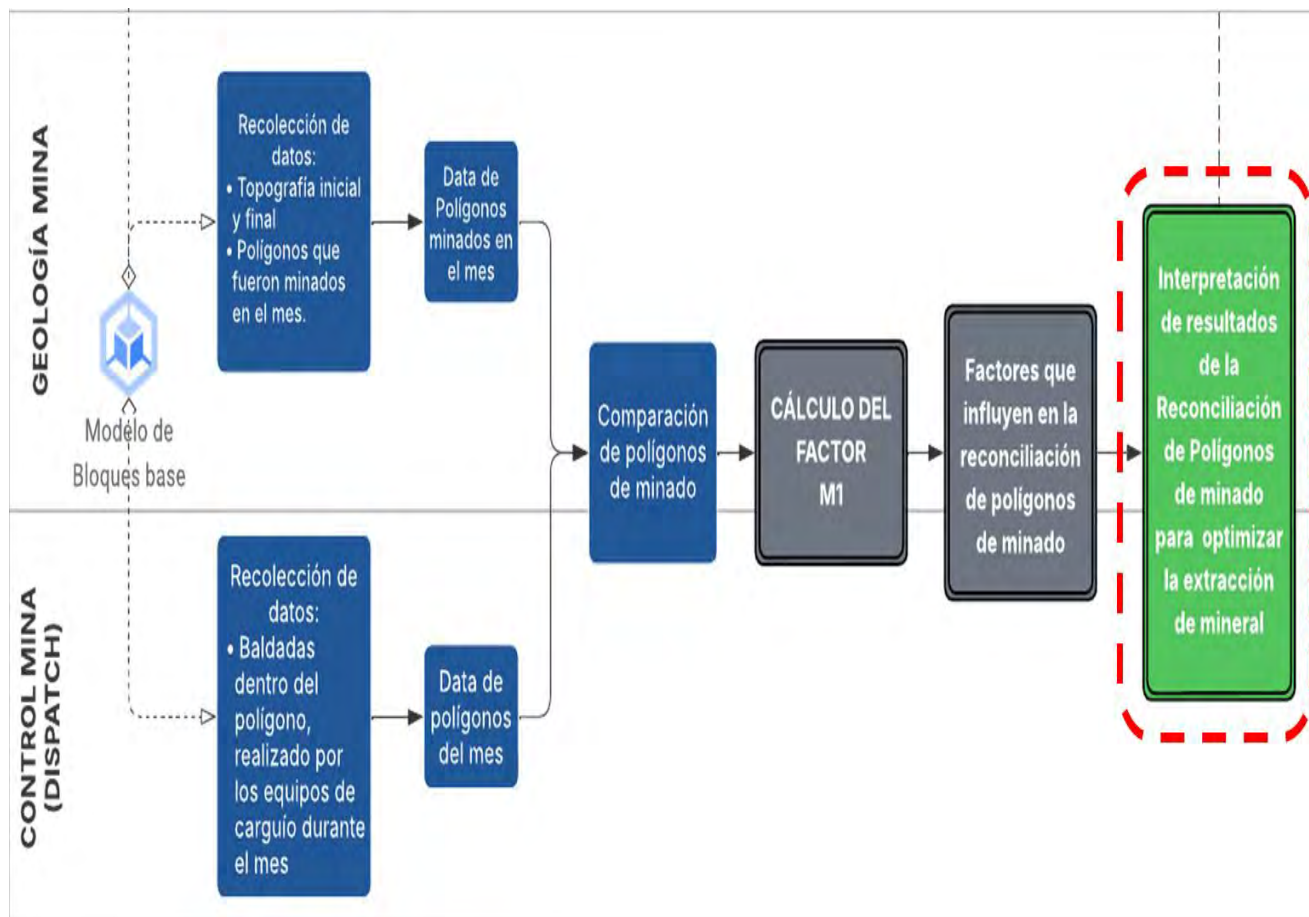
**CAPITULO VIII. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE LA RECONCILIACIÓN
DE POLÍGONOS DE MINADO DEL PRIMER Y SEGUNDO SEMESTRE, PARA
OPTIMIZAR LA EXTRACCIÓN DE MINERAL**

De acuerdo a los resultados obtenidos se presenta un análisis comparativo del desempeño operativo entre el primer y segundo semestre del 2024, con el objetivo fundamental de identificar desviaciones, diagnosticar sus causas principales y descubrir oportunidades de mejora continua. A través de la medición rigurosa de métricas clave y el análisis de datos, se busca traducir los hallazgos en acciones concretas y mejoras que optimicen la eficiencia operativa de la mina, fortalezcan los procesos de planificación y maximicen la valorización del mineral, este diagnóstico busca:

Fortalecer los procesos de planificación y control optimizando la extracción de mineral a través de la reconciliación de polígonos de minado. Esto implica disminuir el sesgo de tonelaje y leyes entre los datos de Geología y Dispatch, y evaluar el desplazamiento y dilución del material. El objetivo es proveer información confiable para perfeccionar los modelos de corto plazo y asegurar una asignación de recursos más efectiva.

Figura 61.

Diagrama de flujo para la interpretación de resultados de la Reconciliación de polígonos de minado para optimizar la extracción de mineral.



8.1. Interpretación de resultado del Objetivo Específico 1.

El primer objetivo específico fue cuantificar el sesgo de tonelaje y leyes, después de la recolección de la información de Geología Mina y Dispatch, se efectuó el cálculo del sesgo de tonelaje y leyes, este sesgo se calcula a través del factor de reconciliación “M1” establecido en la estandarización de los factores de conciliación por Morley (2008), contrastando los resultados del primer y segundo semestre. Como resultado del primer semestre se obtuvieron factores de reconciliación inaceptables y la tendencia del Factor de Reconciliación M1 para el tonelaje y leyes para el segundo semestre se ubicó dentro de los límites de aceptación de reconciliación ($\pm 5\%$), ingresando así dentro del parámetro aceptable establecido por Parker (2006), lo que indica un sesgo mínimo entre el tonelaje y leyes de los sólidos de minado creados por la Geología Mina y el tonelaje y leyes efectivamente extraído reportado por Dispatch. Por lo tanto, el desempeño durante la segunda mitad del año fue totalmente aceptable, demostrando la así la hipótesis específica 1, que la efectividad de la implementación de las reconciliaciones se redujo a rangos aceptables de $\pm 5\%$.

8.2. Interpretación de resultado del Objetivo Específico 2.

El segundo objetivo específico fue medir y cuantificar el impacto del desplazamiento y dilución en el factor de reconciliación de cada polígono. Para medir y cuantificar el desplazamiento se utilizó la herramienta ORE PRO, esta herramienta cuantifica con precisión el movimiento tridimensional del material post-voladura en relación con su posición original en el modelo. Una vez recolectada la información, se rediseñan los polígonos, recuperando el material desplazado después de cada voladura efectuada, de esta forma, se logra recuperar un alto porcentaje del material de valor que, de otra manera, se perdería o se enviaría incorrectamente al

botadero (dilución). Este proceso nos lleva a determinar que efectivamente la hipótesis del desplazamiento post-voladura y la dilución operativa son variables que ejercen mayor impacto en el factor de reconciliación ya que la medición, cuantificación del desplazamiento y dilución incrementará la productividad y desempeño de la operación, controlando la calidad del material extraído, lo que resulta en una explotación eficiente del mineral.

8.3. *Interpretación de resultado del Objetivo Específico 3.*

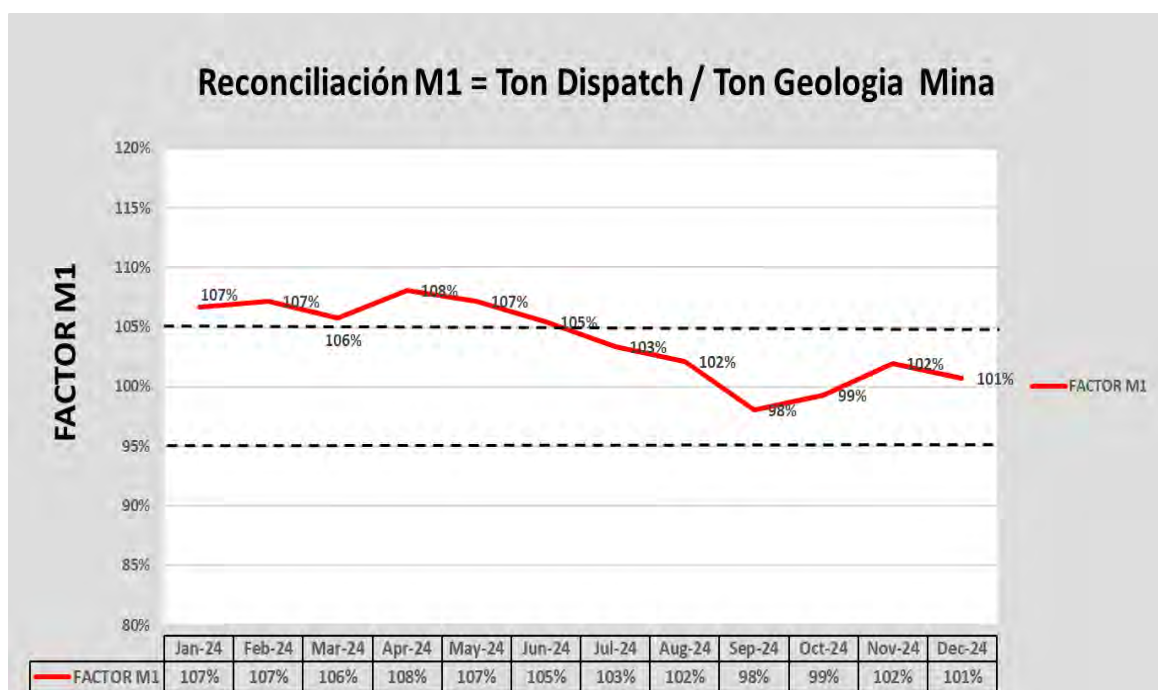
El tercer objetivo fue determinar la influencia de la dirección de minado en la eficiencia del proceso de extracción de mineral. El análisis inicial de la tendencia revela que, durante el primer semestre del 2024, el Factor de reconciliación M1 para el tonelaje se mantuvo consistentemente por encima de los límites de aceptación de reconciliación ($\pm 5\%$) establecido por Parker (2006). Esta desviación indica que Dispatch registró sistemáticamente más tonelaje de lo que el modelo de Geología Mina había reportado para los polígonos minados, es decir, Dispatch estaba sobreestimando el tonelaje extraído debido a la incorrecta dirección de minado, puesto que en las zonas de diques y contactos entre material mineral y desmonte, la pala o cargador realizaba la extracción de material de manera paralela a los polígonos, después de la implementación de optimización en las actividades operacionales, como el minado transversal y en los parámetros de control, ayudaron a mejorar la diferencia de tonelaje entre lo reportado por Dispatch y lo reportado por Geología que se tenían durante el primer semestre, logrando así tener mejores resultados para el segundo semestre, validando así nuestra hipótesis sobre la extracción selectiva realizando el minado transversal para disminuir el índice de dilución externa.

- **Factor de reconciliación M1 del Tonelaje de enero a diciembre del 2024**

Figura 62.

Gráfico de tendencia del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1”

(Dispatch/Geología Mina) para el Tonelaje de enero a diciembre 2024



Nota: La figura lustra la tendencia del Factor de Reconciliación M1 (Dispatch / Geología Mina) específicamente para el tonelaje de mineral, abarcando el periodo de enero a diciembre del 2024.

Tabla 19.

Resultados del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1” del primer semestre para el Tonelaje.

| Factor de reconciliación para el Tonelaje | | | | |
|--------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| Primer Semestre | Factor de reconciliación "M1" | Sesgo | Rango de aceptación (±5%) | Comentarios |
| Ene-24 | 107% | 7% | Inaceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Feb-24 | 107% | 7% | Inaceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Mar-24 | 106% | 6% | Inaceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Abr-24 | 108% | 8% | Inaceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| May-24 | 107% | 7% | Inaceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Jun-24 | 105% | 5% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |

Tabla 20.

Resultados del factor de reconciliación de polígonos de minado "M1" del segundo semestre para el Tonelaje.

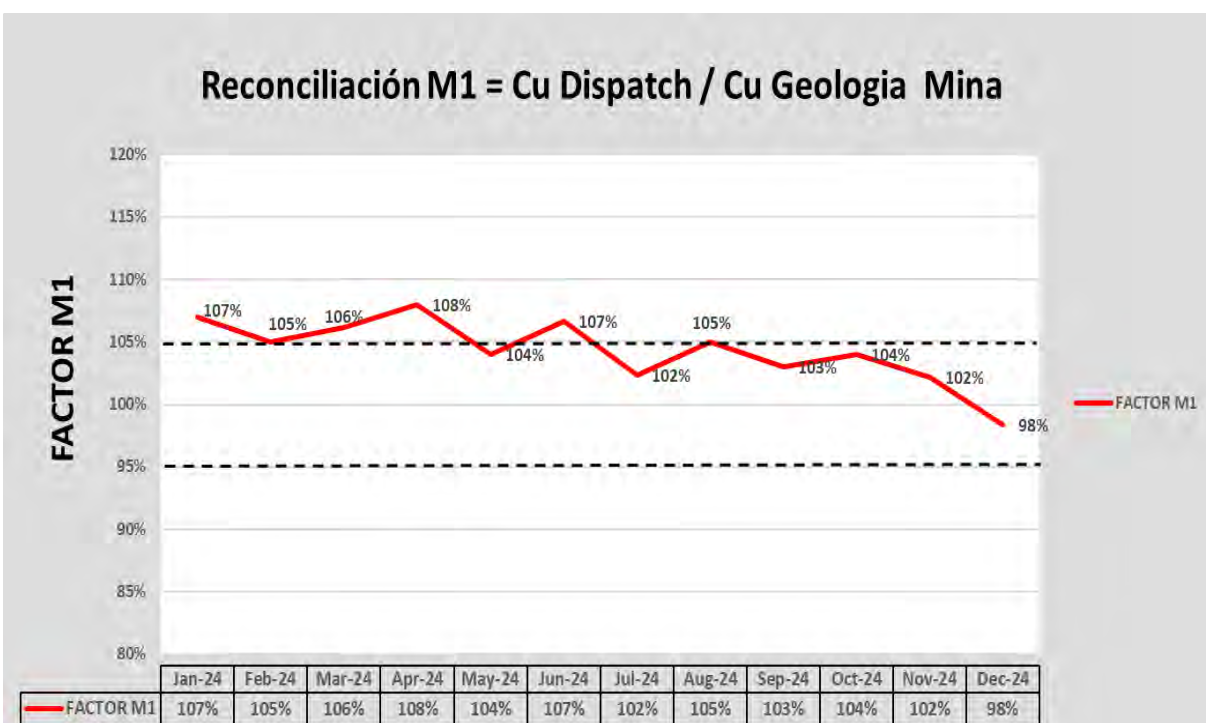
| Factor de reconciliación para el Tonelaje | | | | |
|--------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| Segundo Semestre | Factor de reconciliación "M1" | Sesgo | Rango de aceptación (±5%) | Comentarios |
| Jul-24 | 103% | 3% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Aug-24 | 102% | 2% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| sep-24 | 98% | -2% | Aceptable | Subestimación de Dispatch |
| Oct-24 | 99% | -1% | Aceptable | Subestimación de Dispatch |
| Nov-24 | 102% | 2% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Dec-24 | 101% | 1% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |

- **Factor de reconciliación M1 de la ley Cu de enero a diciembre del 2024**

Figura 63.

Gráfico de tendencia del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1”

(Dispatch/Geología Mina) para el Cu de enero a diciembre 2024



Nota: La figura ilustra la tendencia del Factor de Reconciliación M1 (Dispatch / Geología Mina) específicamente para la ley de Cu, abarcando el periodo de enero a diciembre del 2024.

Tabla 21.

Resultados del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1” del primer semestre para la ley de Cu.

| Primer Semestre | Factor de reconciliación para el Cu | | | Comentarios |
|--------------------|-------------------------------------|-------|-------------------------------|-----------------------------|
| | Factor de reconciliación "M1" | Sesgo | Rango de aceptación (±5%) | |
| Ene-24 | 107% | 7% | Inaceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Feb-24 | 105% | 5% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Mar-24 | 106% | 6% | Inaceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Abr-24 | 108% | 8% | Inaceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| May-24 | 104% | 4% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Jun-24 | 107% | 7% | Inaceptable | Sobreestimación de Dispatch |

Tabla 22.

Resultados del factor de reconciliación de polígonos de minado "M1" del segundo semestre para la ley de Cu

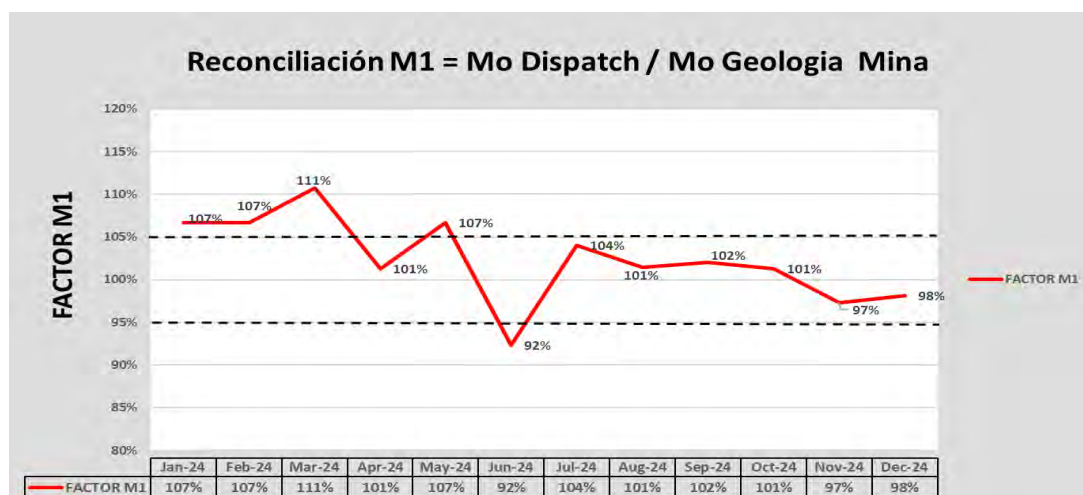
| Segundo Semestre | Factor de reconciliación para el Cu | | | Comentarios |
|---------------------|-------------------------------------|-------|-------------------------------|-----------------------------|
| | Factor de reconciliación "M1" | Sesgo | Rango de aceptación (±5%) | |
| Jul-24 | 102% | 2% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Aug-24 | 105% | 5% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| sep-24 | 103% | 3% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Oct-24 | 104% | 4% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Nov-24 | 102% | 2% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Dec-24 | 98% | -2% | Aceptable | Subestimación de Dispatch |

- **Factor de reconciliación M1 de la ley de Mo de enero a diciembre del 2024**

Figura 64.

Gráfico de tendencia del factor de reconciliación de polígonos de minado "M1"

(Dispatch/Geología Mina) para la ley de Mo de enero a diciembre 2024



Nota: La figura ilustra la tendencia del Factor de Reconciliación M1 (Dispatch / Geología Mina) específicamente para la ley de Mo, abarcando el periodo de enero a diciembre del 2024.

Tabla 23.

Resultados del factor de reconciliación de polígonos de minado "M1" del primer semestre para la ley de Mo

| Primer Semestre | Factor de reconciliación para el Mo | | | Comentarios |
|-----------------|-------------------------------------|-------|-----------------------------------|-----------------------------|
| | Factor de reconciliación "M1" | Sesgo | Rango de aceptación ($\pm 5\%$) | |
| Ene-24 | 107% | 7% | Inaceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Feb-24 | 107% | 7% | Inaceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Mar-24 | 111% | 11% | Inaceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Abr-24 | 101% | 1% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| May-24 | 107% | 7% | Inaceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Jun-24 | 92% | -8% | Inaceptable | Subestimación de Dispatch |

Tabla 24.

Resultados del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1” del segundo semestre para la ley de Mo

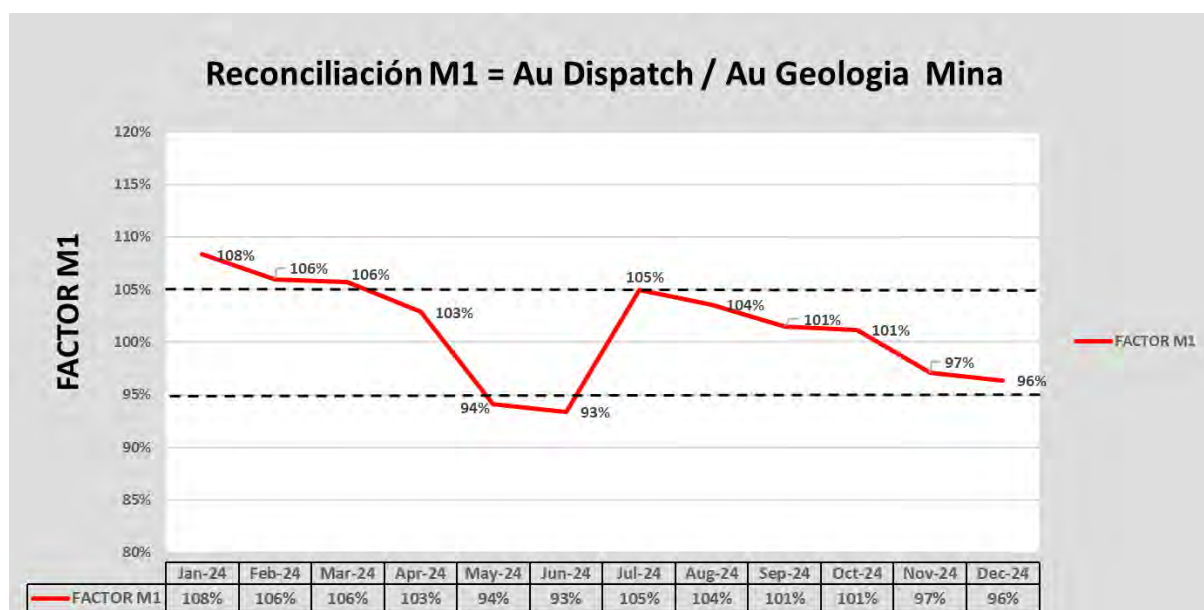
| Segundo Semestre | Factor de reconciliación para el Mo | | | Comentarios |
|------------------|-------------------------------------|-------|-----------------------------------|-----------------------------|
| | Factor de reconciliación "M1" | Sesgo | Rango de aceptación ($\pm 5\%$) | |
| Jul-24 | 104% | 4% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Aug-24 | 101% | 1% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| sep-24 | 102% | 2% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Oct-24 | 101% | 1% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Nov-24 | 97% | -3% | Aceptable | Subestimación de Dispatch |
| Dec-24 | 98% | -2% | Aceptable | Subestimación de Dispatch |

- Factor de reconciliación M1 de la ley de Au de enero a diciembre del 2024

Figura 65.

Gráfico de tendencia del factor de reconciliación de polígonos de minado “M1”

(Dispatch/Geología Mina) para la ley de Au de enero a diciembre 2024



Nota: La figura ilustra la tendencia del Factor de Reconciliación M1 (Dispatch / Geología Mina) específicamente para la ley de Au, abarcando el periodo de enero a diciembre del 2024.

Tabla 25.

Resultados del factor de reconciliación de polígonos de minado "M1" del primer semestre para la ley de Au

| Primer Semestre | Factor de reconciliación para el Au | | | Comentarios |
|-----------------|-------------------------------------|-------|-----------------------------------|-----------------------------|
| | Factor de reconciliación "M1" | Sesgo | Rango de aceptación ($\pm 5\%$) | |
| Ene-24 | 108% | 8% | Inaceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Feb-24 | 106% | 6% | Inaceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Mar-24 | 106% | 6% | Inaceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Abr-24 | 103% | 3% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| May-24 | 94% | -6% | Inaceptable | Subestimación de Dispatch |
| Jun-24 | 93% | -7% | Inaceptable | Subestimación de Dispatch |

Tabla 26.

Resultados del factor de reconciliación de polígonos de minado "M1" del segundo semestre para la ley de Au

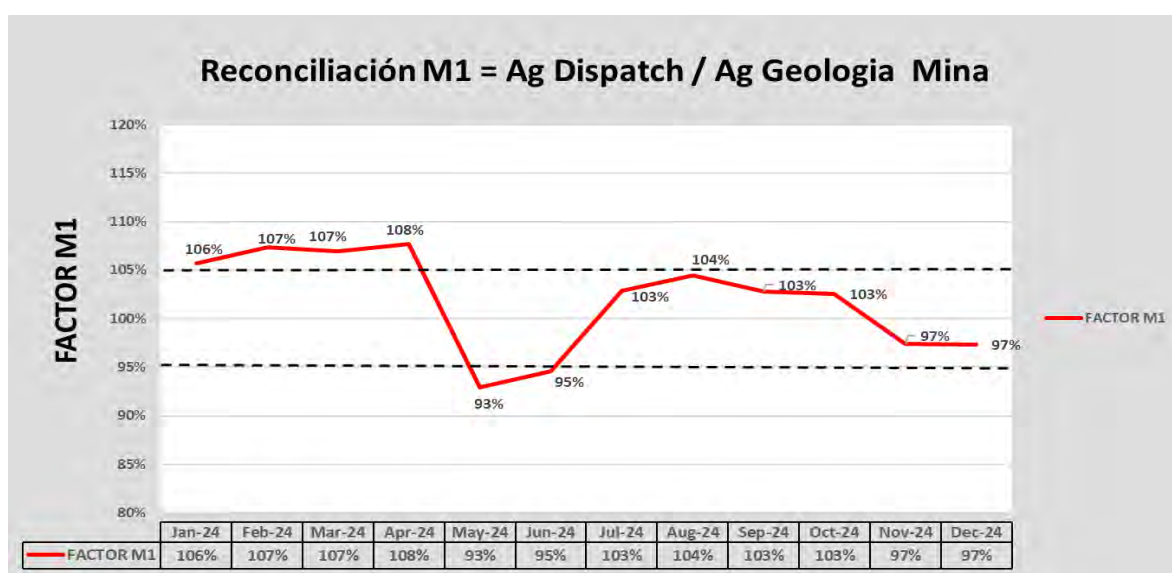
| Segundo Semestre | Factor de reconciliación "M1" | Factor de reconciliación para el Au | | Comentarios |
|------------------|-------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| | | Sesgo | Rango de aceptación ($\pm 5\%$) | |
| Jul-24 | 105% | 5% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Aug-24 | 104% | 4% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| sep-24 | 101% | 1% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Oct-24 | 101% | 1% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Nov-24 | 97% | -3% | Aceptable | Subestimación de Dispatch |
| Dec-24 | 96% | -4% | Aceptable | Subestimación de Dispatch |

- **Factor de reconciliación M1 de la ley de Ag de enero a diciembre del 2024**

Figura 66.

Gráfico de tendencia del factor de reconciliación de polígonos de minado "M1"

(Dispatch/Geología Mina) para la ley de Ag de enero a diciembre 2024



Nota: La figura ilustra la tendencia del Factor de Reconciliación M1 (Dispatch / Geología Mina) específicamente para la ley de Ag, abarcando el periodo de enero a diciembre del 2024.

Tabla 27.

Resultados del factor de reconciliación de polígonos de minado "M1" del primer semestre para la ley de Ag

| Primer Semestre | Factor de reconciliación para el Ag | | | Comentarios |
|-----------------|-------------------------------------|-------|-----------------------------------|-----------------------------|
| | Factor de reconciliación "M1" | Sesgo | Rango de aceptación ($\pm 5\%$) | |
| Ene-24 | 106% | 6% | Inaceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Feb-24 | 107% | 7% | Inaceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Mar-24 | 107% | 7% | Inaceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Abr-24 | 108% | 8% | Inaceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| May-24 | 93% | -7% | Inaceptable | Subestimación de Dispatch |
| Jun-24 | 95% | -5% | Aceptable | Subestimación de Dispatch |

Tabla 28.

Resultados del factor de reconciliación de polígonos de minado "M1" del segundo semestre para la ley de Ag

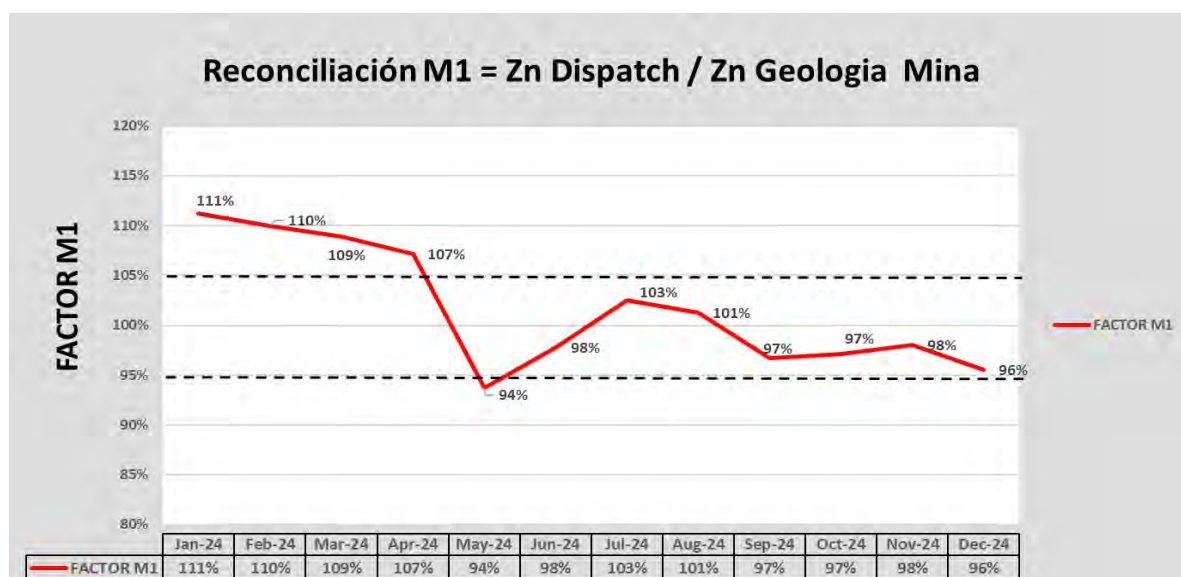
| Segundo Semestre | Factor de reconciliación "M1" | Factor de reconciliación para el Ag | | Comentarios |
|------------------|-------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| | | Sesgo | Rango de aceptación ($\pm 5\%$) | |
| Jul-24 | 103% | 3% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Aug-24 | 104% | 4% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| sep-24 | 103% | 3% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Oct-24 | 103% | 3% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Nov-24 | 97% | -3% | Aceptable | Subestimación de Dispatch |
| Dec-24 | 97% | -3% | Aceptable | Subestimación de Dispatch |

- **Factor de reconciliación M1 de la ley de Zn de enero a diciembre del 2024**

Figura 67.

Gráfico de tendencia del factor de reconciliación de polígonos de minado "M1"

(Dispatch/Geología Mina) para la ley de Zn de enero a diciembre 2024



Nota: La figura ilustra la tendencia del Factor de Reconciliación M1 (Dispatch / Geología Mina) específicamente para la ley de Zn, abarcando el periodo de enero a diciembre del 2024.

Tabla 29.

Resultados del factor de reconciliación de polígonos de minado "M1" del primer semestre para la ley de Zn

| Primer Semestre | Factor de reconciliación para el Zn | | | Comentarios |
|-----------------|-------------------------------------|-------|----------------------------|-----------------------------|
| | Factor de reconciliación "M1" | Sesgo | Rango de aceptación (±5%) | |
| Ene-24 | 111% | 11% | Inaceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Feb-24 | 110% | 10% | Inaceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Mar-24 | 109% | 9% | Inaceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Abr-24 | 107% | 7% | Inaceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| May-24 | 94% | -6% | Inaceptable | Subestimación de Dispatch |
| Jun-24 | 98% | -2% | Aceptable | Subestimación de Dispatch |

Tabla 30.

Resultados del factor de reconciliación "M1" del segundo semestre para la ley de Zn

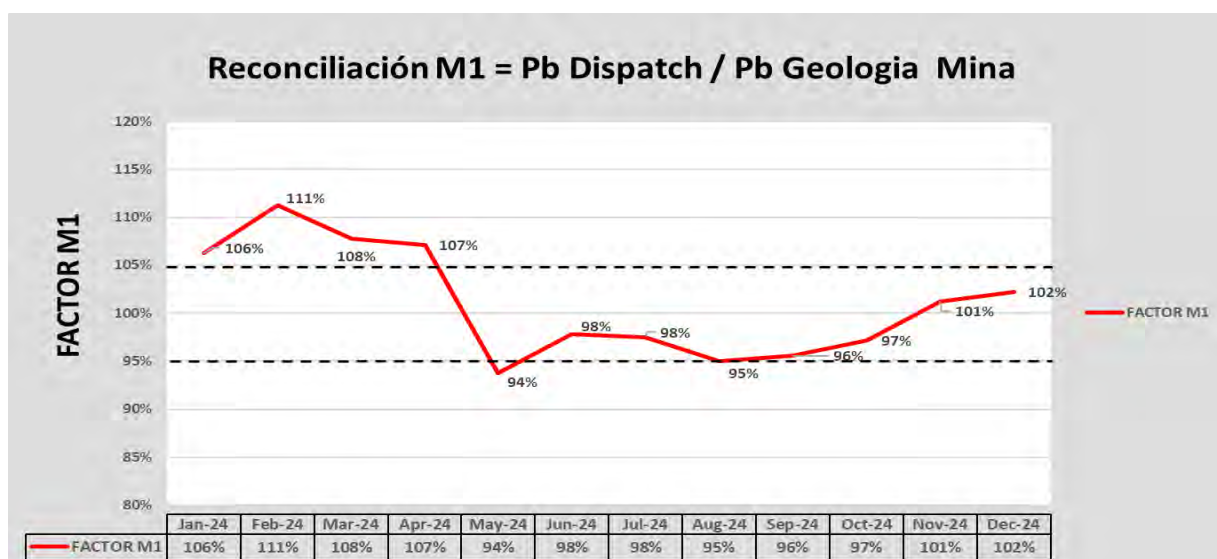
| Segundo Semestre | Factor de reconciliación para el Zn | | | Comentarios |
|------------------|-------------------------------------|-------|-----------------------------------|-----------------------------|
| | Factor de reconciliación "M1" | Sesgo | Rango de aceptación ($\pm 5\%$) | |
| Jul-24 | 103% | 2% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Aug-24 | 101% | 1% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| sep-24 | 97% | -3% | Aceptable | Subestimación de Dispatch |
| Oct-24 | 97% | -3% | Aceptable | Subestimación de Dispatch |
| Nov-24 | 98% | -2% | Aceptable | Subestimación de Dispatch |
| Dec-24 | 96% | -4% | Aceptable | Subestimación de Dispatch |

- **Factor de reconciliación M1 de la ley de Pb de enero a diciembre del 2024**

Figura 68.

Gráfico de tendencia del factor de reconciliación de polígonos de minado "M1"

(Dispatch/Geología Mina) para la ley de Pb de enero a diciembre 2024



Nota: La figura ilustra la tendencia del Factor de Reconciliación M1 (Dispatch / Geología Mina) específicamente para la ley de Pb, abarcando el periodo de enero a diciembre del 2024.

Tabla 31.

Resultados del factor de reconciliación de polígonos de minado "M1" del primer semestre para la ley de Pb

| Primer Semestre | Factor de Reconciliación para el Pb | | | Comentarios |
|-----------------|-------------------------------------|-------|-----------------------------------|-----------------------------|
| | Factor de reconciliación "M1" | Sesgo | Rango de aceptación ($\pm 5\%$) | |
| Ene-24 | 106% | 6% | Inaceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Feb-24 | 111% | 11% | Inaceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Mar-24 | 108% | 8% | Inaceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Abr-24 | 107% | 7% | Inaceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| May-24 | 94% | -6% | Inaceptable | Subestimación de Dispatch |
| Jun-24 | 98% | -2% | Aceptable | Subestimación de Dispatch |

Tabla 32.

Resultados del factor de reconciliación de polígonos de minado "M1" del segundo semestre para la ley de Pb

| Segundo Semestre | Factor de reconciliación para el Pb | | | Comentarios |
|------------------|-------------------------------------|-------|-----------------------------------|-----------------------------|
| | Factor de reconciliación "M1" | Sesgo | Rango de aceptación ($\pm 5\%$) | |
| Jul-24 | 98% | -3% | Aceptable | Subestimación de Dispatch |
| Aug-24 | 95% | -5% | Aceptable | Subestimación de Dispatch |
| sep-24 | 96% | -4% | Aceptable | Subestimación de Dispatch |
| Oct-24 | 97% | -3% | Aceptable | Subestimación de Dispatch |
| Nov-24 | 101% | 1% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |
| Dec-24 | 102% | 2% | Aceptable | Sobreestimación de Dispatch |

Después de la recolección de la información de Geología y Dispatch, se efectuó el cálculo del factor de reconciliación M1 establecido en la estandarización de los factores de conciliación por Morley (2008), contrastando los resultados del primer y segundo semestre. Tras realizar un estudio exhaustivo y una observación detallada de las operaciones, se logró identificar los factores específicos que intervienen negativamente en el cálculo de la reconciliación, como errores en el factor de despacho, dilución, desplazamiento post voladura, dirección de minado, errores topográficos, etc. Posteriormente, se implementó una gestión de ajustes y optimización

CONCLUSIONES

1. Durante el primer semestre, se observó que el factor de reconciliación de mineral se situaba fuera del rango de aceptación $\pm 5\%$, lo que indicaba un sesgo significativo entre los reportes de Geología y Dispatch. Luego de la implementación de acciones sobre los factores que afectan la reconciliación de mineral, para el segundo semestre se logró disminuir exitosamente el sesgo de tonelaje y leyes de mineral (Cu, Mo, Au, Ag, Zn, Pb) entre los reportes de Geología y Dispatch, alcanzando el rango de aceptación de $\pm 5\%$, lo que ha resultado en una optimización del proceso de extracción de mineral en la mina Constancia.

2. La dilución y desplazamiento post voladura afectaba la recuperación de tonelaje y leyes de mineral, que generaba una pérdida en la extracción de mineral. Con la implementación del Software Ore Pro, los polígonos de minado fueron rediseñados teniendo en cuenta el desplazamiento y dilución, de esta forma se logró recuperar y optimizar la extracción de mineral diluido.

3. El minado paralelo a la estructura presenta una desventaja operacional ya que dificulta la identificación del contacto mineral-desmonte que incrementa el riesgo de dilución. Se determinó un minado selectivo perpendicular a la estructura que optimizó la extracción de mineral aminorando la dilución.

4. La aplicación de la reconciliación de polígonos de minado y la integración de la data de Geología y Dispatch permitieron identificar y cuantificar los principales factores que afectan la precisión del proceso de extracción en la mina Constancia. Los factores clave identificados, tales como el sesgo entre tonelaje y leyes, el desplazamiento de mineral post-voladura y la dirección de minado, fueron abordados mediante la implementación de acciones de mejora específicas.

Estas medidas no solo corrigieron las desviaciones detectadas, sino que también sentaron las bases importantes para optimizar la extracción de mineral en la mina Constancia

RECOMENDACIONES

1. Efectuar reconciliaciones periódicas más cortas (diarias y semanales) con la finalidad de identificar, controlar algunos errores operacionales, descubrir la causa raíz y tomar acciones de corrección inmediatas que ayuden a mejorar la reconciliación mensual de polígonos.

Mantener el sesgo mínimo de reconciliación de polígonos de minado entre Geología y Dispatch dentro del rango de aceptación ($\pm 5\%$) a través de las correcciones operacionales y control de los datos en campo.

2. Generar continuamente el modelo geológico desplazado post voladura en el software ORE PRO con el fin de determinar la dilución y desplazamiento de mineral de cada polígono mineral para luego rediseñar las geometrías de mineral y desmonte.

3. Estandarizar la dirección de Minado Transversal durante el minado de estructuras, vetas y diques delgados en la planificación de corto plazo para todos los frentes de carguío en contacto, garantizando la minimización de la dilución y la máxima selectividad de mineral.

BIBLIOGRAFÍA

- Briceño, M. I. (29 de junio de 2015). Técnica e Instrumentos. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=-m0aBE33c>
- Cook, A. (2008). Rio Tinto Group reconciliation factors – September 2008, unpublished report prepared for Rio Tinto competent persons.
- De Nicola Perez, C. F. (2015). Dilución Operacional en Mina el Soldado. Tesis. Santiago de Chile, Chile.
- De Viana, J. (s.f). Guía para el tratamiento y eliminación de desperdicios de perforación de exploración y producción. 107p. Guía ambiental ARPEL N° 4. Montevideo.
- Fouet, T., Riske, R., Morley, C., Cook, A., Conti, D., & Centofanti, J. (2009). Standardising the reconciliation factors required in governance reporting. En *Proceedings Seventh International Mining Geology Conference 2009* (pp. 127–140). The Australasian Institute of Mining and Metallurgy (AusIMM).
- Franco, G. (2011). Modelo de bloques para un yacimiento de sulfuros masivos utilizando el software MineSight®. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, (30), 25-34.
- Gutiérrez Panihuara, Y. A. (2016). Metodología de control de calidad de mineral en la producción de oro, aplicado en minería a tajo abierto - "Yacimiento Jessica" Compañía Minera Aruntani - Puno - Perú
- Herrera Valdez, J. y Mayorga Rojas, J. C. (2020). Acciones para reducir diferencias de reconciliación entre el mineral recibido y el enviado a molienda. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 32(35), <http://dx.doi.org/10.15381/iigeo.v23i45.18059>
- JORC, (2004). Australasian Code for Reporting of Mineral Resources and Ore Reserves,

Joint Committee of The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Australian Institute of Geoscientists and Minerals Council of Australia.

JORC, (2001). Mining and Metallurgy, Australian Institute of Geoscientists, and The Minerals Council of Australia, (pp 9-12)

Lane, K. F. (1988). *The Economic Definition of Ore*. Mining Journal Books.

Matheron, G. (1963). Principles of geostatistics. *Economic Geology*, 58(8), 1246–1266.

MineSight®, (2011). Introducción al modelamiento 3D.

MineSight® software solutions from Mintec, INC., 2011 [En línea]. [Consulta 11 agosto 2025]. Disponible en Internet: <http://www.minesight.com/products/design.php>

Morley, C, (2003). Beyond reconciliation a pro-active approach to Using Mining Data, in *Proceedings Fifth Large Open Pit Conference, pp 185-191* (The Australasian Institute of Mining and Metallurgy: Melbourne).

Morley, Craig. (2014). Guide to creating a mine site reconciliation code of practice. Mineral Resource and Ore Reserve Estimation – The AusIMM Guide to Good Practice - Second Edition. Monograph 30. 755.

Noppé, M. (2004). Reconciliation: importance of good sampling and data QAQC. Brisbane.

Parker, R. S. (2006). Reconciliation and the calculation of value. En *Mineral Resource and Ore Reserve Estimation: The AusIMM Guide to Good Practice* (pp. 4-1–4-14). The Australasian Institute of Mining and Metallurgy (AusIMM).

Parker, H. M. (2012). Reconciliation principles for the mining industry. *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, Section A: Mining Technology*, 121(3), 160–176. <https://doi.org/10.1179/1743277812Y.0000000010>

Salinas, P. (2010). "Metodología de la investigación científica". Universidad de Los Andes,
Mérida, Venezuela.

Tamayo y Tamayo, M. (2005). El proceso de investigación científica. Limusa

ANEXOS

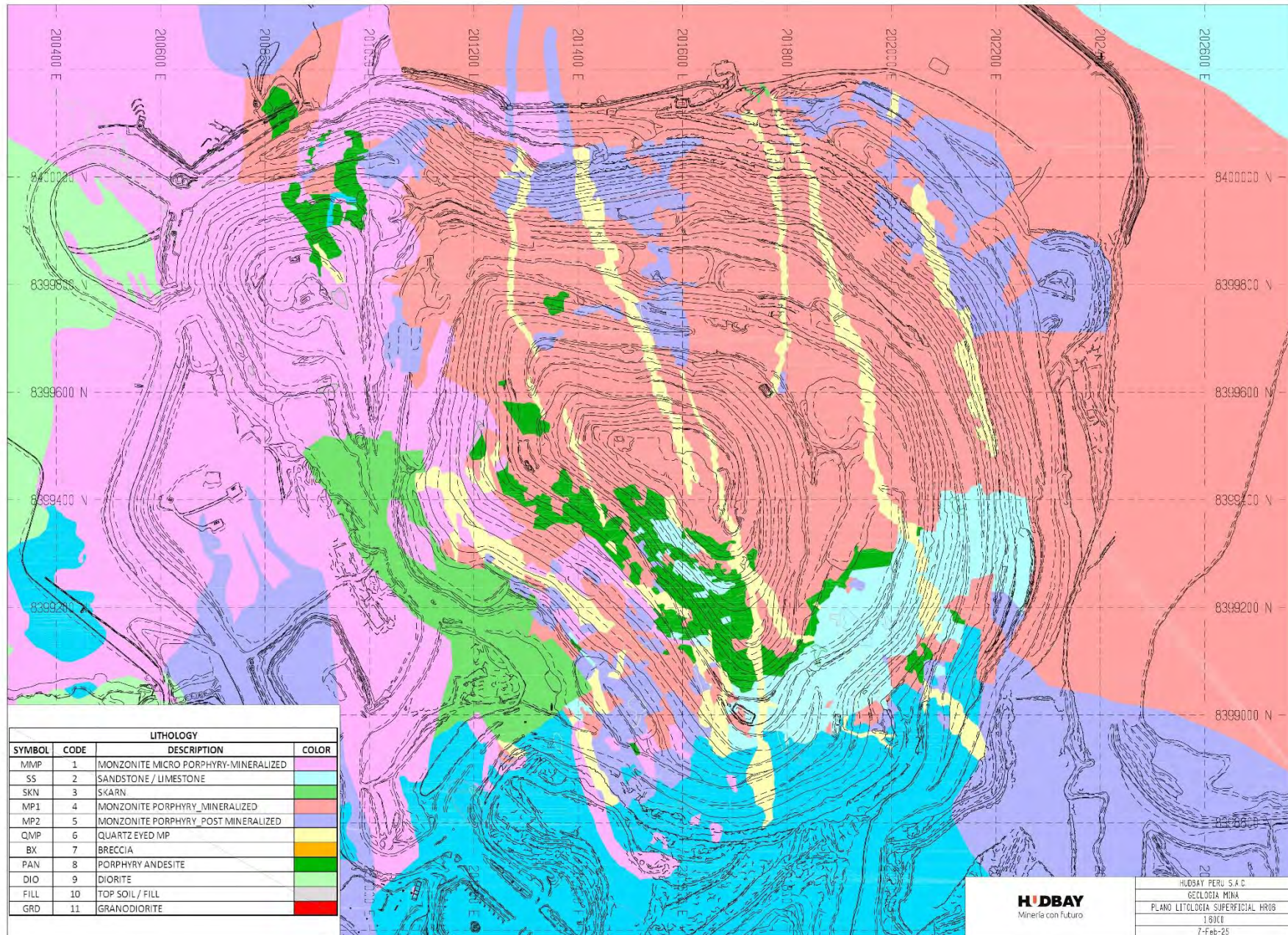
ANEXOS 1: Matriz de consistencia

| RECONCILIACIÓN DE POLÍGONOS DE MINADO PARA OPTIMIZAR LA EXTRACCIÓN DE MINERAL, MINA CONSTANCIA. CHUMBIVILCAS-CUSCO 2024 | | | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN | OBJETIVOS | HIPÓTESIS | VARIABLES E INDICADORES | METODOLOGÍA | POBLACIÓN Y MUESTRA |
| <p>Problema general:</p> <p>¿Qué optimizar en la extracción de mineral realizando la reconciliación de polígonos de minado en la mina Constancia?</p> | <p>Objetivo General:</p> <p>Optimizar la extracción de mineral a través de la reconciliación de polígonos de minado.</p> | <p>Hipótesis General:</p> <p>La aplicación de la reconciliación de polígonos de minado optimizará el proceso de extracción al reducir el sesgo de tonelaje y leyes a menos del 5%.</p> | <p>Variable independiente:</p> <p>Reconciliación de polígonos de minado.</p> | <p>Tipo de investigación:</p> <p>Tipo: Aplicado</p> <p>Nivel: Descriptivo-Correlacional</p> | <p>Población:</p> <p>Polígonos de minado ejecutados y reportados en los 12 meses del año 2024 (Enero a Diciembre).</p> |
| <p>Problema específicos:</p> <p>1. ¿Cuál es la magnitud del sesgo de reconciliación de tonelaje y leyes de mineral entre lo reportado por Dispatch y Geología?</p> <p>2. ¿Qué afecta el desplazamiento y dilución de material al proceso de extracción de mineral en la mina Constancia?</p> <p>3. ¿Cuál es la influencia de la dirección de minado dentro del proceso de extracción de mineral en la mina Constancia?</p> | <p>Objetivos específicos:</p> <p>1. Cuantificar el sesgo de tonelaje y leyes de mineral entre lo reportado por Geología Mina y Dispatch para proponer acciones correctivas y minimizar la diferencia.</p> <p>2. Medir y cuantificar el impacto del desplazamiento y la dilución en el factor de reconciliación de cada polígono.</p> <p>3. Determinar la influencia de la dirección de minado en la eficiencia del proceso de extracción de mineral.</p> | <p>Hipótesis Específicas:</p> <p>1. La implementación de reconciliaciones periódicas reducirá el sesgo de tonelaje y leyes a un margen de error aceptable $\pm 5\%$.</p> <p>2. El desplazamiento post-voladura y la dilución operativa son las variables que ejercen el mayor impacto y afecta el factor de reconciliación.</p> <p>3. La dirección de minado transversal incrementará la extracción selectiva, logrando una disminución en el índice de dilución externa.</p> | <p>Variables Dependientes:</p> <p>A. Optimización de extracción de mineral. B. Sesgo de tonelaje y leyes C. Tonelaje D. Leyes de mineral.</p> <p>Indicadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> Factor de Reconciliación de polígonos de minado. Desplazamiento post-voladura Dirección de minado Dilución Errores topográficos Sistema de alta precisión (HPGPS) | <p>Método de investigación:</p> <p>Analítico-sintético</p> <p>Diseño de investigación:</p> <p>El diseño es No Experimental,</p> <p>Es de corte Longitudinal (mediciones a lo largo de 12 meses).</p> | <p>Instrumentos:</p> <ul style="list-style-type: none"> Bases de datos de producción (Geología y Dispatch) Fichas de registro de datos (Dilución y Desplazamiento) |

ANEXOS 2: Matriz de operacionalización de variables.

| MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES | | | | | |
|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| Variable | Definición Conceptual | Definición Operacional | Dimensiones | Indicadores | Índice / Unidad |
| V.I.: Reconciliación de polígonos de minado | Proceso de comparación técnica entre el modelo geológico de corto plazo y el material realmente extraído, (Morley, 2003) | Evaluación sistemática, medición del sesgo entre los reportes de Geología vs. Dispatch para identificar desviaciones. | Gestión de Datos | Factor de Reconciliación de polígonos | Mensual |
| | | | Control Operativo | | Porcentaje (%) |
| V.D.: Optimización de la extracción de mineral | Maximización de la recuperación de valor económico reduciendo pérdidas y dilución. | Medición de la reducción del sesgo y mejora de la selectividad en el carguío. | Precisión de Leyes | Sesgo de tonelaje y leyes: Diferencia de toneladas (Geología vs. Dispatch) Variación de leyes (Cu,Ag,Au,etc.) | % de error |
| | | | Precisión de Tonelaje | | |
| Variables Intervinientes / Factores de Influencia | Elementos operativos que alteran el diseño del polígono original durante el minado. | Análisis de factores físicos y técnicos que generan el sesgo en la reconciliación. | Voladura/Geología | Desplazamiento post-voladura | Metros (m) |
| | | | Operación de Carguío | Dirección de minado (Transversal vs. Longitudinal) | Ángulo |
| | | | Dilución | Dilución: Contaminación de mineral con desmonte | % de error |
| | | | Tecnología | Precisión del HPGPS | Metros (m) |

ANEXO 3: Plano de litología del tajo Constancia.



ANEXO 4: Plano de alteración del tajo Constancia.

