

Tecnología ShovelSense para clasificación de material a granel en el frente de carguío en la mina Teck Carmen de Andacollo

Victor Araya ¹, Miguel Carrera ² y Martin Bradshaw ³

1. *Geology Department; Carmen de Andacollo, Teck; Geology Superintendent; victor.araya@teck.com; +56 981380216*
 2. *Business Development Department; MineSense Technologies, Ltd.; Chile; Mining Solution Specialist, mcarrera@minesense.com; +56 974510977*
 3. *Geoscience Department, MineSense Technologies, Ltd.; Canada; Data Analyst, mbradshaw@minesense.com; +1 2368863386*
-

RESUMEN

Teck Resources Limited está implementando desde hace ya algunos años un fuerte programa global de incorporación tecnológica, tanto de desarrollo propio como también de empresas líderes en tecnología minera. Es así como la operación Teck Carmen de Andacollo ha implementado un revolucionario sistema desarrollado por la empresa MineSense Technologies Ltd, que permite mejorar considerablemente la selectividad de los equipos de carguío en las frentes de bancos, reduciendo la cantidad de mineral perdido en botaderos y eliminando el estéril que diluye el mineral destinado al procesamiento.

Esta tecnología llamada ShovelSense® consiste en sensores que se instalan en el balde de palas de producción y/o cargadores frontales, sin afectar la capacidad de carga del balde ni el espacio ocupado por la máquina. El sistema está basado en el análisis de fluorescencia de rayos X que determina la ley del material y clasifica cada carga en tiempo real, a medida que las rocas fluyen hacia el balde. Las lecturas de alta resolución de leyes ShovelSense® están acoplados a un sistema satelital de navegación global de alta precisión (HPGNSS) para proporcionar la posición exacta y la ley del balde para cada equipo de carguío en la mina. La alta capacidad de selección de este sistema en las frentes de carguío, su clasificación de alta resolución, integrada estrechamente a los sistemas de gestión de flotas, permite tomar decisiones de rutas inteligentes dirigiendo los camiones al destino correcto. Esta resolución que antes no estaba disponible ahora mejora de forma importante la eficiencia, la sostenibilidad y la rentabilidad de las operaciones mineras.

Teck Carmen de Andacollo es la primera faena minera en Sudamérica en instalar ShovelSense® y capturar

estos beneficios comprobados, generando valor adicional a través de la optimización de los planes mineros de Corto Plazo y la generación de una mejor calidad de minerales destinados a proceso.

Palabras claves: Dilución, Pérdida de Mineral, Selectividad.

1. Introducción

En la industria minera la dilución y la pérdida de mineral son dos de los factores más importantes que afectan la rentabilidad de los proyectos mineros. Si bien las minas pueden identificar y cuantificar los costos de capital asociados con la infraestructura y el procesamiento del sitio de la mina, a menudo se hacen suposiciones sobre la dilución y la pérdida de mineral, que varían dentro de una mina para diferentes bancos y zonas. Esta variación se debe a los cambios observados en la distribución de la ley y la forma del yacimiento que se conocen, pero que, debido al tamaño de la unidad mínima del Modelo de Bloques, no es posible su selectividad.

La dilución en la minería impacta negativamente en el costo operativo, al aumentar las toneladas extraídas y molidas a una ley de alimentación más bajo. También afecta la eficiencia y la recuperación de la mayoría de los molinos. Por otra parte, la dilución minera, la pérdida de mineral corresponde al material de valor que se deja in situ o es enviado a botadero, lo cual tiene un impacto negativo en los potenciales ingresos.

MineSense Technologies ha desarrollado un sistema que determina la ley del material en el frente de carguío, lo que aumenta la rentabilidad, la sostenibilidad y la eficiencia operativa de una mina a través de la selectividad. Este sistema se llama ShovelSense y es una combinación de hardware patentado, software innovador y una red de

comunicación digital, que está conectado a un portal de datos del cliente alojado de forma segura en la nube. El sistema se instala en las palas y cargadores frontales de la mina y funciona como un componente clave de la infraestructura operativa al proporcionar otro nivel de información sobre el cuerpo de mineral en tiempo real. Las operaciones mineras que utilizan esta tecnología han mejorado rentabilidad debido a que reduce la dilución de estériles alimentados a planta, rescata mineral desde lo que el plan minero definió originalmente como desecho, aumenta la vida útil de la mina al permitir la identificación de más mineral en el yacimiento y prolonga la vida útil de los botaderos.

ShovelSense escanea el material extraído utilizando la tecnología de fluorescencia de rayos X (XRF) mientras se llena el balde del equipo en la frente de carguío después de la voladura. Luego, el sistema analiza la composición del material para crear un conjunto de datos que determina la ley y la caracterización del material en el balde en tiempo real. Luego, esta información es enviada automáticamente al Sistema de gestión de flotas (Wenco), lo que permite tomar decisiones de enrutamiento de minerales y lastre en tiempo real.

2. Contexto Geológico

La geología de Carmen de Andacollo está estrechamente ligada a los fenómenos tectónicos del Cretácico temprano, donde un cambio en la dirección de subducción durante el Aptiano-Albiano (Brown et al., 1991) generaría un régimen compresivo con reactivación de estructuras NS de movimiento sinistral, que en el área de Andacollo habría permitido la formación un sistema tipo dúplex conformado por los sistemas de Fallas Andacollo, Twila, Central y Carmen (Araya, V. et al., 2021). Con la apertura de Atlántico (Albiano-Cenomaniano), la generación de una etapa extensiva en esta zona (Parra y Yañez, 1988) finaliza con el emplazamiento del Batolito Tablalalume, intrusivo estrechamente asociado al origen del sistema mineralizador Andacollo-Los Negritos (Montes, M., 2018), profundizando el desarrollo de estructuras NW y favoreciendo la intrusión de diques porfíricos dacíticos con mineralización de Cu-Au. En Carmen de Andacollo la mineralización primaria temprana es predominantemente calcopirita-(bornita) y calcopirita-pirita diseminadas y en vetillas (EDM, A), mientras la mineralización primaria transicional es calcopirita-molibdenita (vetas B) y bornita-calcopirita (vetas SGV). Hacia las etapas tardías de la mineralización primaria, vetillas tipo D poco desarrolladas con pirita-(calcopirita)

son finalmente cortadas por mineralización pirita-tenantita-tetrahedrita en vetillas tipo E (Araya, V. et al., 2016). La mineralización secundaria está dada principalmente por calcosina y escasa covelina, con ausencia total de una típica zona de óxidos de cobre. Los procesos geológicos relevantes en la formación del Yacimiento Carmen de Andacollo cierran con el evento compresivo del Campaniano (Emparan & Pineda, 2006), que generaría en CDA los sistemas anastomosados de Fallas NE a NS (El Toro, Hermosa, El Churque) que segmentan los sistemas estructurales y mineralizadores anteriores, los cuales son finalmente desplazados con movimientos normales con desarrollo de estructuras tipo horst-graben (Veloso, M. et al., 2015) de hasta un par de centenas de metros durante los eventos extensivos del Maastrichtiano.

La mina de cobre Carmen de Andacollo (Teck Resources Limited) está ubicada en la Cordillera de la Costa de Chile central, Provincia de Coquimbo, IV Región, en el centro de Chile a 30°15'S latitud y 17°10'W de longitud. La propiedad es adyacente al pueblo de Andacollo, aproximadamente a 350 km al norte de Santiago de Chile y a 55 km al sureste de la ciudad de La Serena, desde donde se accede por caminos asfaltados. La propiedad se encuentra cerca del límite sur del Desierto de Atacama a una altura de aproximadamente 1.000 m s.n.m. Su minería es una explotación a cielo abierto que produce cobre en concentrados a partir de la mineralización hipógena del yacimiento. El proyecto considera una alimentación diaria a chancados de 55 Ktpd con una ley media de 0.30 Cut y su Plan Minero vigente considera una vida útil hasta el año 2036.

3. Uso de la tecnología

Durante el año 2021, el sistema ShovelSense fue equipado en un cargador frontal de mina Carmen de Andacollo, sistema que posterior a su etapa de comisionamiento puede comenzar a generar leyes en tiempo real por cada baldada de material extraído de la mina en el frente de producción, las leyes por baldadas son promediadas por camión para clasificar el destino final del camión, con una mayor granularidad a la existente actualmente en la industria minera, permitiendo desviar camiones de mineral en polígonos de lastre o camiones de lastre en polígonos de mineral. Adicionalmente, el sistema puede identificar elementos nocivos como el arsénico, bismuto y mercurio. El potencial del sistema se hace evidente cuando se han recopilado suficientes datos que identifican tendencias y patrones que pueden relacionarse con las propiedades del mineral. A medida que se recopilan las lecturas de leyes y se combinan con la posición del

balde (utilizando datos de High Performance Global Positioning System (HPGPS)), los operadores de la mina pueden comenzar a optimizar la planificación a corto y largo plazo de la mina, visualizando estos datos en 3D y alimentándolos al plan de la mina (Carrera et al, 2021).

La recopilación de datos de ley de mineral en tiempo real en el frente de extracción permite la clasificación instantánea de materiales que está transformando la forma en que operan las minas. Tradicionalmente, el método para representar el yacimiento y las características geológicas es a través de un modelo de bloques basado en datos de sondajes y pozos de tronaduras. La información tiene la forma de un bloque homogéneo (por ejemplo, 10 m de largo, 10 m de ancho y 10 m de alto), con sólo una clasificación promedio de atributos dentro de ese bloque. Sin embargo, esta unidad de información es significativamente más heterogénea y consta de “subbloques” granulares más pequeños dentro del bloque mayor. Si consideramos que cada subbloque de material tiene características uniformes, en una minería tradicional el negocio tendrá pérdidas de minerales si este subbloque es mineral dentro de un bloque de desechos más grande, decir, el mineral se enviará a los vertederos. Si se considera el bloque más pequeño como lastre dentro del bloque de mineral mayor, la operación minera tendrá dilución, es decir, el estéril se enviará al molino dando como resultado una ley de alimentación a planta más baja.

ShovelSense puede equiparse en el balde de una pala o de un cargador frontal utilizando dos o tres cabezas sensoras en la parte superior del balde, que están compuestas por un emisor de fluorescencia de rayos X

de una fuente eléctrica, un receptor de fluorescencia de rayos X y un láser que permite medir la distancia entre el material y los sensores, cabezas sensoras que cumplen la función de generar espectros de manera redundante. A medida que el balde se va llenando con material run of mine (ROM) en el frente de banco, las cabezas sensoras son activadas cuando el láser identifica que el material comienza a rodar hacia el balde y cada sensor recopila espectros de fluorescencia de rayos X por milisegundo, obteniendo un promedio de 140 a 210 espectros por balde, permitiendo una caracterización representativa del material. Espectros que son comparados espacialmente con los pozos de tronaduras ubicados en zonas homogéneas para generar la calibración de un modelo predictivo de leyes de cobre, modelo que se utiliza para estimar las leyes de cobre promedio por balde (Figura 1). Al integrar el posicionamiento global y los datos de ley de cobre, MineSense puede detectar de manera in situ el movimiento post tronadura y conocimiento geológico, en zonas donde la información de perforación no existe o se encuentra muy espaciada para reconocer cuerpos mineralizados angostos como bolsonadas de mineral, vetas angostas o diques no mineralizados.

Para validar el uso de la tecnología en Carmen de Andacollo, la superintendencia de geología puso a prueba la exactitud y precisión de la estimación de leyes de cobre total de la solución ShovelSense mediante muestreos de camiones completos denominados pruebas de terrenos, muestras que fueron enviadas a analizar al laboratorio interno y para posteriormente ser comparadas con las leyes del modelo de bloque y ShovelSense.

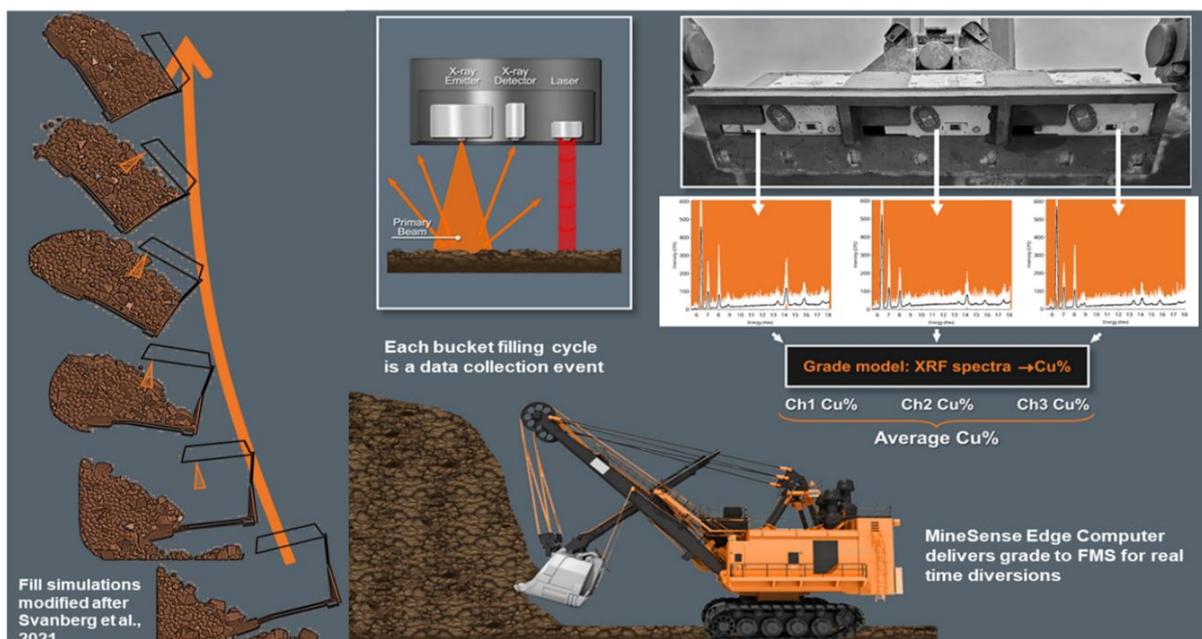


Figura 1. Visión general del funcionamiento del Sistema ShovelSense.

4. Metodología

El proyecto ShovelSense en CDA consideró varias etapas de desarrollo, desde pruebas básicas de laboratorio con masas y granulometrías reducidas hasta la implementación de una prueba piloto con distintos materiales de granulometría ROM, representativos de los dominios geológicos relevantes del Plan Minero. Cumplidos los requisitos, la tecnología ingresó a la etapa de Prueba Industrial con la instalación de tres sensores en el balde de uno de los Cargadores de Producción de CDA. Aquí, el objetivo principal fue validar el sistema a través de indicadores de disponibilidad y de calidad de leyes basada en indicadores de Precisión, Exactitud y Sesgo.

Para efectos de evaluación la información oficial ShovelSense (SS) fue reportada en el portal (nube) de MineSense. De esta manera, el equipo técnico de CDA pudo acceder a los datos de operación del Cargador, como el número identificador de cada baldada, su posición en el espacio, la fecha y hora exacta, turno, número identificador del camión de extracción y la ley de cobre de cada balde cargado, tanto en frentes de producción como en frentes de desarrollo.

La prueba industrial fue realizada durante los meses de octubre y noviembre 202. Se realizaron 5 pruebas de exactitud y 3 pruebas de precisión para evaluar la certeza de la estimación de leyes de cobre total del sistema ShovelSense. Para esta prueba, el sistema ShovelSense fue instalado en el cargador frontal N°4 que corresponde a un modelo CAT 994 con una capacidad de carguío de 30 toneladas aproximadamente el cual se encontraba en el momento de la prueba en una zona principalmente de mineral.

5. Control de Calidad de la Tecnología

5.1. Disponibilidad del Sistema

Durante el periodo de prueba, el equipo técnico de CDA pudo verificar una alta disponibilidad del sistema. Los datos operativos fueron registrados en Wenco, donde se pudo verificar una disponibilidad del Sistema ShovelSense del 96% de un target del 90.

5.2. Control de Calidad de Leyes ShovelSense

Con el propósito de asegurar la confiabilidad de la información reportada por el sistema, la

Superintendencia de Geología Teck-CDA implementó un plan basado en el control digital y controles de campo de los indicadores claves de calidad. En este trabajo estuvo comprometido personal de diversas áreas operativas, como Geóloga(o) de Producción, Ingeniero de Terreno de Geología, Controlador de Terreno, Ingeniero Corto Plazo, Topografía Mina, Jefa(es) de Turno, Jefe de Capacitación y Entrenamiento, Operadoras(es) de Equipo de Transporte, Operadores de Carguío, Despachadora(es) Mina, Ingeniero de Terreno de MineSense, Administrador de Bases de Datos de Geología, Metalurgista Senior Planta y Superintendente de Geología.

Precisión. La capacidad del sistema SS para reproducir sus propios datos de leyes bajo las mismas condiciones de operación fue medida a través del coeficiente de variación CV:

$$CV = S / \bar{x}$$

donde S es la desviación estándar muestral de las lecturas SS y \bar{x} es la media de aquellas lecturas.

Cada prueba de control de *Precisión* consistió en la selección de un material de frente de extracción (aproximadamente 40 tons) geológicamente conocido y aislado para evitar cualquier contaminación con materiales ajenos a la prueba, el cual fue rigurosamente homogenizado y posteriormente sometido a lecturas reiteradas de la carga y descarga del balde (mínimo 30 veces). El resultado de cada una de las pruebas de Precisión se presenta en la Tabla 1. El promedio de las tres mediciones de campo realizadas durante la prueba industrial entregó un CV= 0.068 de un máximo establecido para el Trial de 0.2.

Date (2021)	Cycles	Standar Deviation (% TCu)	Mean Grade (% Tcu)	Coefficient of Variation (CV)
October 15	40	0,0441	0,4	0,11
October 29	34	0,008	0,246	0,03
November 3	40	0,0171	0,284	0,06

Tabla 1. Tabla resumen con el número de ciclos de cargas y descargas, desviación estándar, ley media y coeficiente de correlación obtenidos de la prueba de terreno de precisión.

Exactitud. La metodología para la medición de la Exactitud del sistema SS consistió en la comparación de las lecturas SS respecto a una ley “patrón” conocida y asumida como la “ley real”. Durante la Prueba Industrial este tipo de control se realizó de forma digital a través del cálculo del Error Porcentual Medio

(MPE) y en terreno a través del cálculo del Error Porcentual Absoluto Medio (MAPE).

Control Digital y Sesgo: Este tipo de control fue realizado en forma rutinaria durante toda la operación de la Prueba industrial. La base de comparación de las lecturas SS fue el Modelo de Bloques Grade Control, el cual en esta oportunidad fue estimado en bloques de 1m x 1m x 10m después de haber sido procesado en el programa OrePro 3D® (control de desplazamiento de materiales debido a la tronadura). Para el control digital los datos SS fueron ingresados en el Administrador de Datos Geológicos Acquire®. La Figura 2 presenta un ejemplo del control del sesgo mediante un gráfico de exactitud.

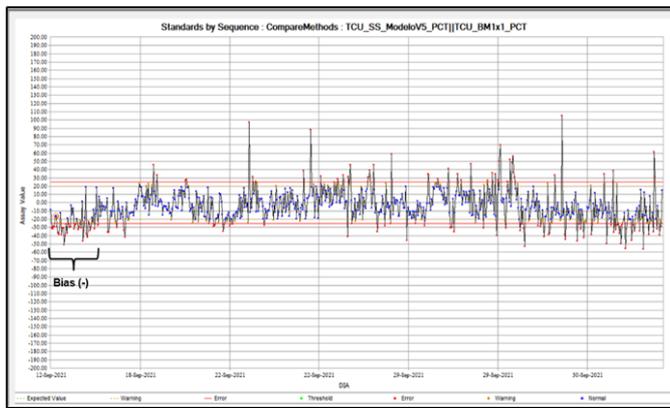


Figura 2. Gráfico de Exactitud según MPE que permitió visualizar un leve sesgo al inicio de la Prueba.

Control de Campo: Para el control de campo fue utilizada la fórmula MAPE:

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \frac{|y_{ave,n} - \hat{y}_{ave,n}|}{\hat{y}_{ave,n}} * 100$$

donde:

y_{ave} es la Ley a evaluar (SS)

\hat{y}_{ave} es la Ley de referencia (ley “patron”)

$MAPE$ es el Error Porcentual Absoluto Medio

Las pruebas de campo fueron realizadas cargando dos camiones de 190 toneladas con 6 baldadas, obteniendo seis leyes con ShovelSense que fueron promediadas para obtener la ley del camión. A su vez basado en el modelo de bloques se pudo obtener la ley del bloque desde donde se obtuvieron las baldadas para la prueba.

Para la recolección de muestras representativas, fueron cargados dos camiones consecutivos con el mismo tipo de material, para posteriormente ser triturados por un

chancador primario y secundario, proceso detallado a continuación:

1. Después de cargar el primer camión con material ROM desde la frente de producción, este vacía su contenido en la chancadora donde el material es reducido a una granulometría de 2.5 cm (1 pulgada) con la finalidad de limpiar y eliminar cualquier material contaminante.
2. Una vez que el chancado fue limpiado, se procede a descargar el material del segundo camión para ser procesado por el chancador.
3. Después de que el material del segundo camión es chancado, desde la correa se obtienen 30 incrementos individuales de al menos 40 cm (ancho de la cinta) y 2 kilos aproximadamente, separadas cada 1 metros, asegurándose de que todo el material fino se recoja en la bolsa de muestras (Imagen 1).



Imagen 1. Muestreo de correa, 30 incrementos de aproximadamente dos kilos recolectados cada un metro, las cuales fueron compositadas para obtener una ley promedio por camión.

4. Una vez recolectados los incrementos, estos son enviados al laboratorio interno de análisis químico para que se analicen individualmente y promediados para obtener la ley por camión.

Después de obtener los resultados de los análisis químicos, se calcularon el error absoluto medio (MAE) y el error porcentual absoluto promedio (MAPE), de las estimaciones realizadas utilizando ShovelSense y modelo de bloque para cada una de las cinco muestras. Las que posteriormente fueron analizada en conjunto (Tabla 2), presentando un resumen de los valores mínimos, máximos y el promedio de los errores MAE y MAPE calculadas para las pruebas de terreno. Destacando una menor dispersión y valor promedio de los errores MAE y MAPE de las estimaciones de

ShovelSense con respecto al modelo de bloque, observando una diferencia de alrededor 26% (MAPE) y 0.03% TCu (MAE), cumpliendo con los criterios de éxito esperados durante la etapa de validación del sistema ShovelSense.

Error	Dataset	Min	Max	Average
MAPE (%)	ShovelSense	1,9	24	11,09
	Block Model	3,3	108,9	37,66
MAE (% TCu)	ShovelSense	0,06	0,074	0,026
	Block Model	0,08	0,099	0,056

Tabla 2. Tabla resumen de los errores MAE y MAPE obtenidos al comparar las leyes promedio por camión de laboratorio con las leyes estimadas ShovelSense y de modelo de bloque para evaluar la prueba de campo.

Al contrastar específicamente cada resultado de las estimaciones de ShovelSense y modelo de bloque con las leyes obtenidas del muestreo de camión completo (Figura 2) podemos observar que tan correlacionables son las estimaciones de leyes de cobre total de los dos sets de datos con respecto promedios de ley por camión. Gráficamente esto se puede observar a simple vista comparando la distancia horizontal que existe entre las estimaciones de ShovelSense y modelo de bloque con respecto a la línea 1 es a 1, a medida que las estimaciones se encuentren más cercana los resultados son más exactos.

Al añadir la ley de corte (cutoff) de 0.13 % TCu en el eje de las leyes estimadas y las leyes de laboratorio, utilizada en minera Carmen de Andacollo, es posible observar cuatro cuadrantes que corresponde a clasificaciones correctas (Ore y Waste) y erradas (Ore misclassification y waste missclassification) de los camiones analizados. Una vez definidos los cuadrantes gráficamente es posible comparar las clasificaciones realizadas por los datos de ShovelSense y modelo de bloque, observando inicialmente que 3 de las 5 muestras fueron clasificadas correctamente de la misma manera como mineral, sin embargo, las otras dos muestras presentaron diferencias en las clasificaciones (Figura 3).

Al analizar con mayor detalle estas muestras podemos observar que las estimaciones realizadas por el sistema ShovelSense se encuentra en línea con la correcta clasificación derivaba del análisis químico de cada camión, sin embargo, si la asignación de material hubiera sido utilizando las leyes estimadas con el modelo de bloque, estas estarían errada, aumentando a la dilución y a la pérdida de mineral de la en la frente en la operación minera.

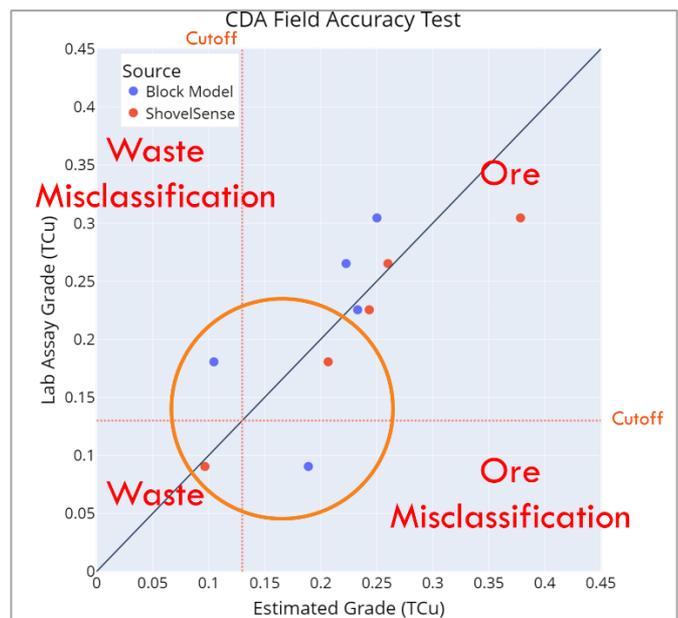


Figura 3. Resultados de las pruebas de exactitud de terreno.

Durante noviembre del 2021 se finalizaron tanto las pruebas de terreno de exactitud y precisión exitosamente, esto dado que se cumplió a cabalidad con los indicadores claves de desempeño esperados para el sistema ShovelSense. Lo que dio paso a la firma de contrato para convertir a Carmen de Andacollo en la primera compañía minera en Sudamérica en contar con los servicios de MineSense, específicamente el sistema ShovelSense que brinda mayor resolución y selectividad balde a balde permitiendo tomar mejores decisiones de clasificación de materiales reduciendo la dilución y la pérdida de mineral.

5. Conclusiones

Carmen de Andacollo es un excelente ejemplo de cómo se logra la correcta clasificación del material extraído de la mina con un nuevo nivel de resolución y selectividad utilizando el sistema ShovelSense. Es así como después de haber finalizado exitosamente las pruebas de terreno de exactitud y precisión del sistema ShovelSense, este ha permitido un mayor grado de certeza en las leyes promedios cargadas por camión mejorando la clasificación de los materiales, permitiendo la disminución de la dilución y pérdida de mineral camión a camión mejorando tanto en cantidad como en calidad de mineral acopiado como alimentado a la planta de procesamiento.

Actualmente, las decisiones de enrutamiento de camiones se toman utilizando modelos de bloques donde la (SMU) brinda una resolución limitada debido al tamaño de los bloques y al método de estimación.

Las empresas mineras saben que existen estructuras y bolsionadas post-minerales de menor tamaño que la SMU que aumentan la dilución y la pérdida de mineral. Realidad que la industria minera no pueden ignorar dado al impacto económico que esta condición genera en los proyectos y operaciones mineras, por lo que tener una SMU que presenta una mayor granularidad, es decir que sea más pequeña, puede proporcionar un nuevo set de datos permitiendo aumentar las ganancias y el desempeño. ShovelSense reduce la SMU de una mina al nivel del balde, lo que brinda características nunca vistas de ley y clasificación de material en el frente de carguío donde el impacto es mayor, mejorando la continuidad operacional de la cadena productiva minera completa.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su sincera gratitud a la superintendencia de geología de Carmen de Andacollo (Teck Resources Limited) por colaborar con este trabajo y permitirnos usar sus datos para este documento.

Referencias

- Carrera, M; Sandler, S; Cabeza, J. 2021. Economic Impact of Material Sorting at the Face. Minería Digital 2021.
- Herrera, H.; Canut de Bon, C.; Araya, V.; Iribarren, M.; Novoa, D.; Fuentealba, M.; Torres, L. Mineral Resources & Mineral Reserves End of Year 2011 Andacollo Copper Mine, Region de Coquimbo, Chile.

Geólogo de la Universidad de la República Oriental de Uruguay, con experiencia profesional de 30 años en geología económica aplicada a diversos yacimientos de la gran minería de Chile. Enfocado en la geología de producción rajo abierto y subterránea. ore control, geología de corto y mediano plazo. procedimientos de mapeo de labores subterráneas, bancos open pit y pozos de tronadura. Modelamiento geológico y geometalúrgico de largo, mediano y corto plazo.

Víctor Araya Araya
Superintendente de geología
Carmen de Andacollo, Teck
victor.araya@teck.com
+56981380216
Camino Chepequilla s/n, Casilla 3, Andacollo

Geólogo y MBA de la Universidad Católica del Norte, con 12 años de experiencia en campañas de sondajes Infill, Brownfield y Greenfield. Desempeñando labores como geólogo de producción y exploración de yacimientos tipo skarn e IOCG (Distrito Punta del Cobre, Copiapó) y pórfidos cupríferos (distrito Clúster Escondida, Antofagasta).

Miguel Angel Carrera Briceño
Especialista en Soluciones Mineras
MineSense Technologies, Ltd.
mcarrera@minesense.com
+56974510977
100 – 8365 Ontario Street, Vancouver, BC, V5X 3E8
Canada

Experimentado especialista en geología con un historial demostrado de trabajo en la industria minera, petrolera, energética y ambiental. Experto en minería y geología de exploración con experiencia en gestión de bases de datos, software de minería y control de leyes. Graduado con una Licenciatura en Ciencias (BSc) enfocada en Ciencias Geológicas y de la Tierra/Geociencias de la Universidad de Columbia Británica.

Martin Bradshaw
Analista de datos
MineSense Technologies, Ltd.
mcarrera@minesense.com
+12368863386
100 – 8365 Ontario Street, Vancouver, BC, V5X 3E8
Canada

