

Los Fundamentos del Modelo de Recursos Recuperables

Bruna Novillo, J.¹, Bassan, J.², Rossi, M.³,

(1) Superintendente de Geología, Gerencia de Servicios Técnicos, Minera Alumbraera Ltd., Hualfín 4139, Belén, Catamarca, Argentina (2) Geólogo Senior. Ingeniero Jacobacci, Río Negro, Argentina. (3) Geostadístico, GeoSystems International, Delray Beach, Florida, EEUU.

Resumen

Un modelo de recursos recuperables se funda a partir de una determinada inversión realizada a un proyecto en exploración, el cual conlleva riesgos asociados, en donde las personas desde los ayudantes de campo hasta el directorio de la compañía responsables del mismo, tendrán control directo sobre las variables endógenas como el muestreo, la interpretación del modelo geológico, y los presupuestos, asociados directamente a las técnicas de exploración para una determinada área o zona metalogénica.

Estas técnicas de exploración incluyen sondajes de perforación DDH o RC, los cuales facilitan mayormente el entendimiento y construcción de un modelo geológico 3D en el subsuelo.

En caso de ser exitosos en ese proyecto de exploración en donde se busca recuperar algún mineral de valor en el mercado, el proyecto de exploración se transformará en un modelo de recursos recuperables.

Estos recursos de determinado valor económico podrán alcanzar su mejor valor si se acogen a ciertas normas vigentes actuales que se aplican como certificaciones de facto. Estas normas son derivadas de los requerimientos que imponen algunas Bolsas de Valores a las empresas mineras para publicar recursos como activos de la Compañía. Estas normas preservan y sirven de guía para ejecutar los pasos a ser cumplidos en el desarrollo del recurso minero.

Introducción

La exploración geológica es una actividad de inversión que se desarrolla en un área geográfica con el fin de descubrir y evaluar cuerpos mineralizados de interés para el desarrollo de futuros proyectos mineros.

Los proyectos de exploración geológica, así como cualquier otro proyecto de inversión, deben ser preparados, analizados y aprobados aplicando conceptos técnicos y económicos que maximicen el retorno de la inversión.

Sin embargo, el costo de un proyecto de exploración no se arriesga de una sola vez, sino que a través de incrementos de inversión que van entregando información relevante que le agregan o restan valor a las zonas que se exploran. Esta información que se va adquiriendo, ayuda además a definir las próximas actividades que convendrá realizar, o de lo contrario, permite descartar seguir invirtiendo en la exploración de una zona poco atractiva.

Durante el desarrollo de un trabajo de exploración, son muchas las decisiones de inversión que se toman consecutivamente, las que van a determinar diferentes acciones, según la experiencia, visión e interpretación del responsable, la etapa de exploración en que se encuentra y el presupuesto asignado al proyecto en estudio. La decisión de continuar o desestimar un determinado proyecto dependerá de las características cuantitativas (incluye las normas políticas y gubernamentales regulatorias) y cualitativas interpretativas de los profesionales a cargo del proyecto.

El objetivo principal de la exploración, es el de la generación de valor a través de la extensión de los recursos y de la vida útil de las minas, aumentando el flujo de caja y maximizando el NPV.

Fundamentos del Modelo de Recursos Recuperables

Para continuar o desestimar el entendimiento del proyecto en exploración un análisis geoquímico proveniente de la exploración representará un valor cuántico que impactará directamente en la estadística de la población de muestras como también en la interpretación cualitativa a cargo de los profesionales geólogos, ingenieros y técnicos. Otros análisis con herramientas complementarias a la perforación como la geofísica, ayudarán a la interpretación del proyecto y a definir o desestimar en profundidad, el “*target*” de perforación.

Si bien la geofísica no es tan tangible como puede ser una muestra de suelo, trinchera, canaleta, sondajes RC (Aire Reverso) ó DDH (Diamantina), y mapeos geológicos de superficie; la misma ha demostrado que resulta de suma importancia en la definición de algunos tipos de yacimientos.

Si el proyecto es exitoso, se pueden estimar recursos recuperables y por lo tanto darle un valor económico de mercado, buscando inversionistas en los mercados internacionales, más comúnmente bajo algunas de las normas más conocidas como las Australianas (JORC), Canadienses (guías del CIM sancionadas por las distintas bolsas de valores Canadienses), SEC (Oficina gubernamental en Estados Unidos), Código para la Certificación de Prospectos de Exploración, Recursos y Reservas Mineras (Chile) y los códigos Europeo y Sudafricanos.

Para llegar a este valor de mercado se necesita cumplir con ciertos requisitos o normas, tal es así que cuando se modela un tipo de yacimiento cualquiera, se usa toda la información disponible. Esa información proviene en gran parte de las muestras recolectadas y brindarán información geológica para realizar la interpretación correspondiente, siendo ambos los pilares fundamentales donde

se apoyará la geoestadística, herramienta que nos permitirá realizar mediante un método de interpolación el modelo de recursos & reservas.

Este modelo será la base del valor económico del proyecto en el mercado, dependiendo de las condiciones económicas del mercado reinantes en ese momento para acrecentar las expectativas o desestimar el mismo, además de otra serie de factores de riesgo técnico, ambiental, y social.

1) Muestreo

La muestra es una parte o porción extraída de un conjunto por métodos que permiten considerarla como representativa del mismo.

Casi todas las decisiones que se hacen respecto de un proyecto minero, desde la exploración hasta el cierre de la mina, están basadas en valores obtenidos de material muestreado. Estas decisiones significan sumas económicas muy importantes.

Las muestras son importantes, por¹:

- proveen información geológica para definir la geometría del yacimiento, entender los controles de mineralización, y para determinar la cantidad y la calidad del recurso mineral existente;
- deben representar un volumen mucho mayor que el material muestreado; deben representar no sólo la ley de la mineralización, sino también todas sus características mineralógicas y de calidad, la presencia de contaminantes de mineralización, comportamiento metalúrgico, respuesta geofísica y geotécnica, y otras características de importancia para la extracción del mineral;

- se estiman los recursos y reservas, y así poder desarrollar una evaluación técnica y económica; comúnmente se acepta un margen de error de $\pm 30\%$ para un Estudio de Factibilidad final, y de un $\pm 50\%$; para una Pre-factibilidad;
- todos los procedimientos (protocolos) de muestreo, preparación, y análisis deben estar disponibles por escrito; el personal de supervisión se debe encargar del entrenamiento adecuado de los operadores de los equipos de perforación (Figura 1);
- los errores asociados a cada etapa de muestreo se representan generalmente como varianzas con respecto al valor real. Estas varianzas, medidas a cada paso del proceso, son aditivas; rara vez son tales que se compensan una con otras.

Toda muestra arrastra consigo una serie de errores, algunos relacionados a las características geológicas del material muestreado, otros relacionados a las técnicas de muestreo empleadas, y a las técnicas de preparación y analíticas empleadas. Los procesos de recolección, manipulación de muestras y posteriores datos de laboratorio son sometidos a controles de calidad (QA-QC), que aseguren precisión, exactitud y representatividad de los valores obtenidos. Las siglas QA-QC, significan, el Aseguramiento de la Calidad (*Quality Assurance*), dado por el conjunto de actividades preestablecidas y sistemáticas necesarias para garantizar que una determinada actividad u operación, alcance un grado aceptable de calidad; y el Control de Calidad (*Quality Control*), que son las técnicas y actividades de carácter operativo, utilizadas para determinar el nivel de calidad realmente alcanzado².

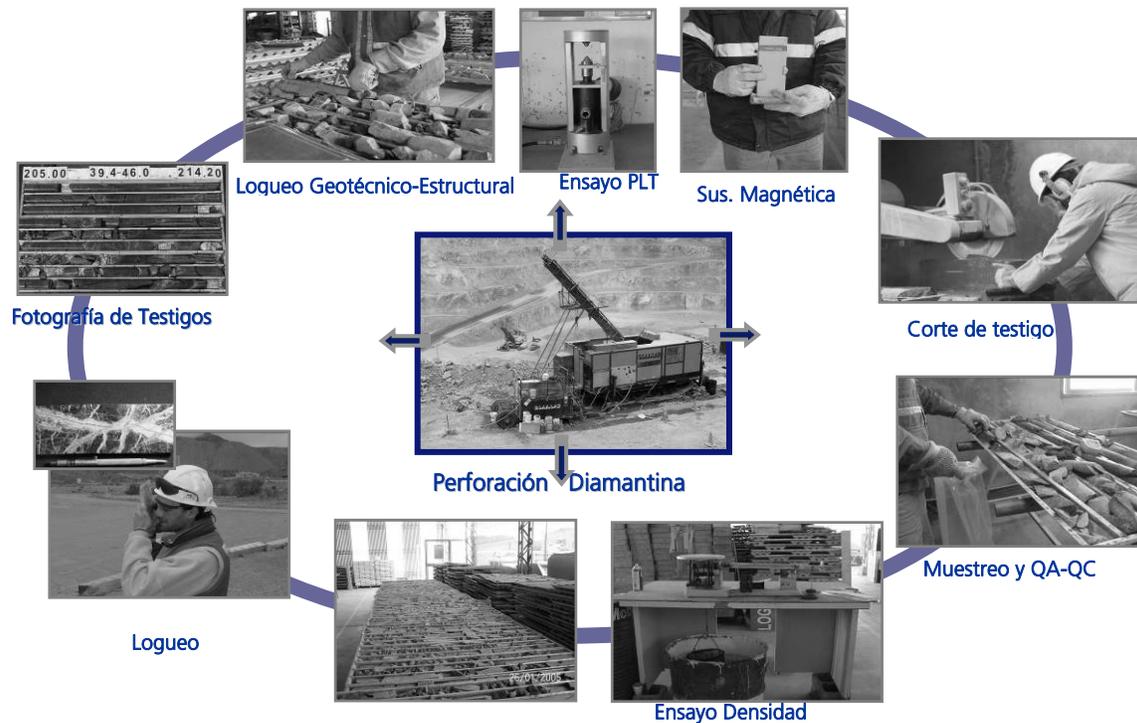


Figura 1: tratamiento, procesos y ensayos de muestras de testigo diamantina.

Todos los programas de control se caracterizan por¹:

- incluyen blancos, duplicados y estándares; esto se hace para poder medir la contaminación, la "precisión" (la reproducibilidad de un ensayo) y "exactitud" (proximidad al valor verdadero);
- la precisión se evalúa con medidas de dispersión (varianza, coeficiente de variación); exactitud se evalúa con valores medios, y por análisis de las diferencias entre pares de ensayos.;
- se recomienda un 5 a 10% de chequeos de material grueso, y otro tanto de las pulpas (re-etiquetadas), siempre manteniendo el anonimato del proceso; el total de inserciones de blancos y estándares es del mismo orden, 5 a 10% del total. En 40 muestras se tiene una de c/u de las muestras de control (10% = 4 muestras);

- se trabaja por lotes de muestras, no con muestras individuales. Se deben establecer criterios de aceptación para cada lote, usando diferencias relativas y cartas de control de calidad (blancos y estándares) en función de desviaciones estándar; éstas se deben hacer, además, en función del tiempo para analizar sesgos del laboratorio;
- todas las etapas anteriores deben ser estrictamente controladas y chequeadas, para evitar demoras, presupuestos fuera de control, y sorpresas desagradables;
- en todos los casos, el control de calidad y los chequeos de los trabajos realizados representan al menos tanto, o mayor, esfuerzo, tiempo, y presupuesto que el trabajo original. Esto es, en gran medida, porque gran cantidad de los trabajos involucran juicios personales, modelos que no siempre se pueden comprobar a priori, evaluaciones temporarias, iteraciones en los procesos involucrados, etc.;
- un control de calidad eficiente, organizado, y bien presentado ahorra muchos dolores de cabeza en el futuro. Si auditores o terceros necesitan revisar la información, la buena ejecución y presentación de los procedimientos de control de calidad gana la batalla antes de comenzar!

2) Modelo Geológico

Se denomina modelo geológico al resultado del proceso de generar una representación conceptual, gráfica o visual, de fenómenos, sistemas o procesos geológicos a fin de analizar, describir, explicar, simular y predecir esos fenómenos o procesos³.

El modelo geológico es uno de los pilares para la construcción de un modelo económico geoestadístico de bloques y requiere de un conocimiento profundo de la geología, alteraciones, estructura, mineralizaciones y génesis del yacimiento

(Figura 2). Un error conceptual de base puede ocasionar pérdidas irreparables en el negocio minero futuro⁴.

El valor de un modelo reside en su confiabilidad y predictibilidad. Un modelo es confiable cuando puede ser auditado y muestra consistencia y coherencia. Es predictivo cuando podemos generar planes de minado a futuro en base a este modelo.

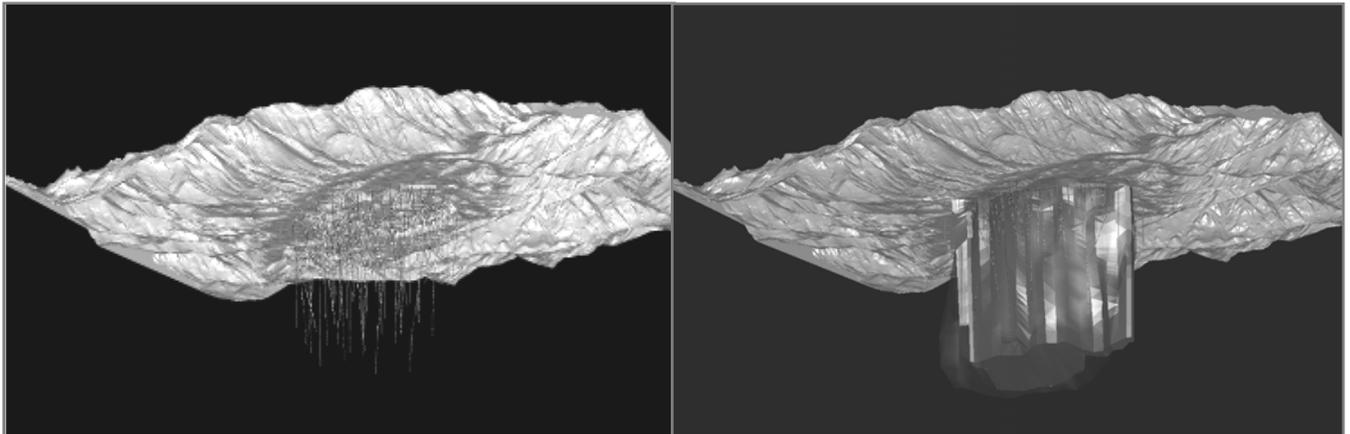


Figura 2: perforación, interpretación de la información y modelamiento conceptual 3D.

Algunos de los aspectos más importantes que se deben tener en cuenta para desarrollar un modelo geológico adecuado son los siguientes¹:

- la geología aplicada a la estimación de recursos y reservas (a nivel de estudio de factibilidad), no debe ser la misma que la geología aplicada a la exploración. Al mismo tiempo, es imposible estimar de manera confiable recursos y reservas sin el apoyo y uso de modelos geológicos;
- determinación y modelamiento de los controles de mineralización; uso de litologías, estructuras, alteración, grado de oxidación, etc.; pero no todos estos factores son necesariamente relevantes;

- existe la posibilidad de incorporar demasiada geología en el cálculo de reservas, innecesaria y a veces contraproducente;
- por eso la importancia de definir Dominios (o Unidades) de Estimación (UGs), equivale a definir las zonas de estacionaridad (en sentido estadístico y geoestadístico). El proceso se basa en una combinación de geología y estadística;
- los modelos de bloques son herramientas para modelar digitalmente la geología y los recursos de un depósito. La geometría del modelo depende de la geometría del depósito (Figura 3);

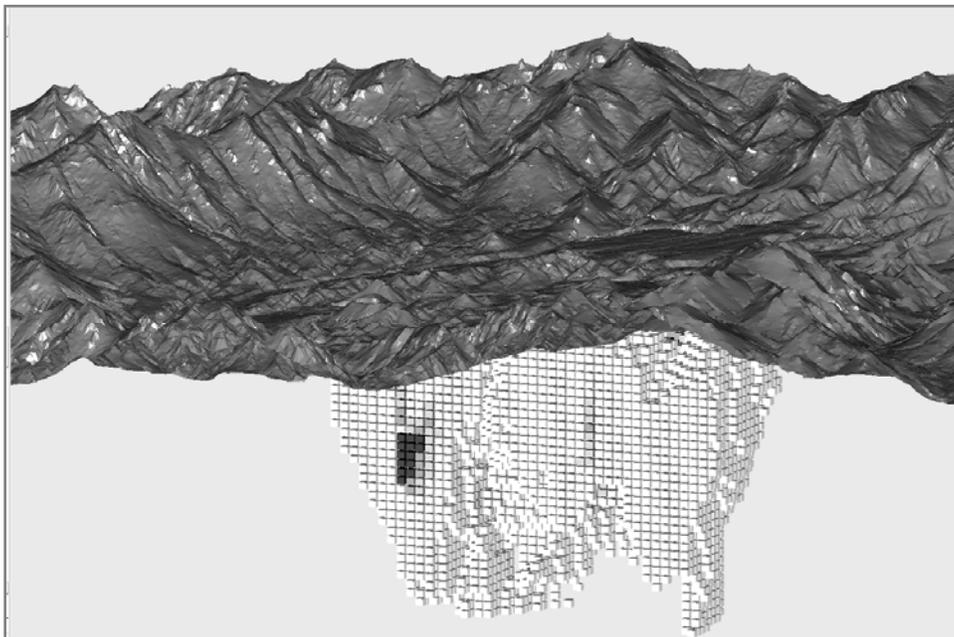


Figura 3: Modelo de Bloques 3D de Cu %, mostrando la topografía original.

- importa solamente aquella geología que permite predecir el tonelaje y ley extraídos en una operación; específicamente, se deben describir y modelar los controles de mineralización;

- desarrollo de un modelo "práctico", con suficiente detalle para cumplir los objetivos propuestos, pero al mismo tiempo lo más "sencillo" posible;
- comunicación y presentación efectiva del trabajo realizado; uso de modelos tri-dimensionales, si es posible; siempre desarrollar secciones y plantas de calidad de presentación.

Factores a tener en cuenta

Sin lugar a duda el factor de mayor peso para la Gerencia de Exploración o bien un profesional modelador resultará ser la proveniente de sondajes DDH>RC, y este signo ">", no es arbitrario ya que el RC es un método de perforación de bajo costo y rápido para obtener información del subsuelo (este tipo de perforación necesita mucho control de calidad en el muestreo o cumplir con procedimientos altamente estrictos para que la muestra sea representativa y homogénea). Es así que cuando se cuenta con sondeos DDH, la interpretación cuantitativa y cualitativa parece mucho más fácil, pero no hay que olvidarse que por ejemplo si se desarrolla un pozo DDH y no se toma registro de su "survey" a lo largo del mismo, seguramente el riesgo a predecir por donde va el pozo aumentará a medida de que se aleje de la máquina de perforación en profundidad, por lo tanto, si se está tratando de definir un contacto geológico o bien determinar la continuidad de un vetiforme, seguramente en el momento no impactará lo suficiente en la modelación de estas características, pero si en un futuro ese proyecto comienza a producir, posiblemente se encontrará con esa incertidumbre in-situ, ¿estéril o mineral?.

Entonces, resulta fundamental cumplir metódicamente con todas las etapas y controles de calidad en la exploración ya bien conocidas por todos los que se encuentran en la industria minera metalífera y no metalífera.

Ahora bien en un caso hipotético, al final del primer año de exploración cuando se analiza el presupuesto y se observa que solo un 30% a 40% del presupuesto se usó en perforaciones DDH>RC y que no se obtuvo ningún resultado alentador, probablemente esto facilitará la toma de decisión de no seguir con el proyecto en su primer año de exploración, en cambio si se tuvo éxito en ese primer año, se tratará de publicar los recursos mineros, que permitirán alentar y acrecentar mayor liquidez y presupuesto para el proyecto. Y es en este punto en donde se comienza a discutir si con un 30% a 40% del presupuesto del primer año se publican “x” recursos, es decir efectuar una primera estimación de potencial tonelaje-ley de mineral, existente en el cuerpo mineralizado, para llegar a determinar si el yacimiento es o no económicamente explotable. Al año siguiente, con más presupuesto, se puede delinear con mayor conocimiento el yacimiento y comenzar a dimensionar el cuerpo mineralizado en volumen, profundidad y ley, a un nivel de detalle suficiente para efectuar un estudio de prefactibilidad técnica-económica para su explotación minera.

Unos de los puntos que se plantean en esos primeros años de exploración, en un proyecto factible de continuar con las etapas posteriores de exploración, es si para publicar “x” recursos se logra con un 30% a 40% del presupuesto ese año, al año siguiente se podrá incrementar el presupuesto para poder delinear mejor o aumentar los recursos un “x+1”, y es en este punto en donde lo cualitativo vs. lo cuantitativo comienza la discusión en donde se plantean diferentes posturas que tienen que ver con el desarrollo del proyecto y en donde queda más que claro que si sondajes de tipo DDH>RC, son los que permiten publicar recursos, se asigna más presupuesto a sondajes, y es aquí en donde probablemente se desaliente la exploración que parte de la línea base como el simple muestreo de suelos & canaletas & trincheras & mapeos y de esta manera se aumente el riesgo de perder conocimiento de una determinada nueva área metalogénica.

Si bien no siempre es así y las empresas de exploración tienen toda la organización de recursos para enfrentar este tipo de situaciones, en realidad se observa en la práctica problemas diversos. Algunos ejemplos pueden incluir sondajes que finalizan en mineral; pozos de exploración aislados sin una continuidad o criterios cualitativos y cuantitativos predefinidos; pozos DDH sin mediciones de desviación del sondajes (“survey”); gran número de trincheras y canaletas o muestreo de suelos, los que en la práctica no incluyen suficientes controles de calidad como para poder ser utilizadas en la estimación y publicación de recursos mineros.

Entonces la pregunta es en base a lo anteriormente detallado, ¿dónde quedó el QA-QC en general?

Si se fue exitoso el primer año de exploración, ¿dónde se incrementará el presupuesto?, ¿en perforación DDH o RC?, ¿dependerá de lo que diga el mercado?, ¿dependerá del directorio?

Todas estas preguntas anteriores resultan en influencias directas para la continuidad de un proyecto en exploración ya sea exitoso o no.

En este sentido el conocimiento y praxis de los involucrados en la exploración de una determinada área de interés deberán acentuar y poner énfasis en el desarrollo y el control de calidad en cada una de los diferentes métodos y etapas de exploración, aunque los mismos no sean o formen parte de la estimación y simulación de un recurso minero. No se deben subestimar métodos de exploración, como el muestreo de suelo, geofísica, trincheras, y canaletas, ya que probablemente sean el complemento necesario para poder definir o delimitar

las diferentes áreas de perforación y de esta manera poder definir recursos mineros en los inicios de un proyecto de exploración.

Conclusiones

Los controles de calidad sobre el muestreo y su coexistencia directa con la interpretación de un modelo geológico dependerán directamente de la experiencia de las personas que se encuentren conduciendo cualquier engranaje de la Gerencia de Exploración. Estas personas deberán poner mayor énfasis en las técnicas de exploración que faciliten o cumplan con las normas que han conducido a un estándar de facto, como las mencionadas Canadiense, Australianas, etc., para poder publicar recursos mineros de un determinado mineral en el mercado.

Las diferentes etapas de una exploración y métodos o técnicas poseen e inducen riesgos asociados a variables endógenas como el factor conocimiento de una nueva área metalogénica, dependiendo directamente de las soluciones, controles de calidad y/o certidumbres que manejan las personas a cargo de la Gerencia de Exploración, comenzando desde el técnico o ayudante de campo hasta el directorio de la compañía. El conjunto de estas variables endógenas impactarán directamente en el presupuesto del área en estudio y la valorización en el mercado de la misma.

Las variables exógenas serán más impredecibles o de difícil estimación, a lo que se requerirá medida y buena comprensión en su lectura. Entre éstas se encuentran también variables que no son técnicas; y que muchas veces condicionan los trabajos y el valor de los resultados de las campañas de Exploración.

Referencias

- [1] Rossi, M. (2008). Curso de Geoestadística aplicada al cálculo de recursos y reservas. Nivel I y II, Teórico y Práctico. *Universidad Nacional de San Luis.*, Marzo y Noviembre 2008. Páginas 1 a 74.
- [2] Bruna Novillo, J. (2009). La exploración minera: etapas, procesos y la generación de valor. *Conferencia: "Día de la Minería", Asociación de Empresas Mineras de Catamarca.* Catamarca, 7 de Mayo 2009.
- [3] Ortiz, Julian y Magri, Eduardo (2006). Curso interno Minera Alumbreira Ltd, *Universidad de Chile.* Estadística Básica y Muestreo para Evaluación de Yacimientos. Catamarca, Argentina, Diciembre 2006.
- [4] Bassan, Jose y Bruna Julio (2006). Informe interno Minera Alumbreira Ltd. Modelo de Recursos y Reservas ALUK. Catamarca, Argentina, Diciembre 2006. Páginas 1 a 10.