



Ingeniería gerencial y reconocimiento topográfico en la etapa de diseño de un proyecto de megaminería en Antioquia, Colombia.

Autor: Sergio Posada Restrepo

Modalidad Semestre de Industria o Práctica Empresarial para optar por el título de ingeniero civil

Asesor

Álvaro José Mattos Olivella. Magister en ingeniería

Universidad de Antioquia
Escuela ambiental
Pregrado en ingeniería civil
Medellín, Antioquia
2022

| | |
|----------------------------|---|
| Cita | Posada Restrepo, S (2022). <i>Ingeniería gerencial y reconocimiento de topográfico en la etapa de diseño de un proyecto de megaminería en Antioquia, Colombia.</i> |
| Referencia | Posada Restrepo, S. (2022). <i>Ingeniería gerencial y reconocimiento de topográfico en la etapa de diseño de un proyecto de megaminería en Antioquia, Colombia</i> [Trabajo de Pregrado]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. |
| Estilo APA 7 (2020) | |



Créditos a Álvaro Mattos, Maria Alexandra Cifuentes, Fernando Navarro y Minera de Cobre Quebradona.



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes

Decano: Jesús Francisco Vargas Bonilla

Jefe departamento: Diana Catalina Rodríguez Loaiza

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Agradecimientos

Con este trabajo culmino mi vida académica en el pregrado de ingeniería civil, y quiero utilizar este espacio para dar un reconocimiento a mis compañeros que en todos estos largos años han estado a mi lado y de los que he aprendido demasiado, tanto académica como personalmente, no me olvido tampoco de mis profesores, las largas horas de catedra, esos exámenes complejos que sacaban siempre lo mejor de nosotros, y aunque en ese momento no los veíamos con buenos ojos hoy esa exigencia nos ha hecho lo que somos, orgullosos estudiantes e ingenieros de la universidad de Antioquia, el alma mater de los antioqueños, una oportunidad increíble para personas de todo Colombia de alcanzar un sueño que de no ser por la universidad pública sería muy complicado. A la empresa Minera de Cobre Quebradona también le quiero dedicar un espacio especial por confiar en mí y darme todas las herramientas necesarias para explotar lo que aprendí en la universidad, tienen un equipo humano y profesional excelente y solo deseo lo mejor para su futuro, soy un convencido de que si a Quebradona le va bien los más beneficiados seremos los antioqueños y en especial los habitantes de esa hermosa tierra de Jericó en la que también aprendí y conocí personas fantásticas. Por último, un agradecimiento más que especial a mi familia y amigos, a mi mama, mi papa, mi abuela, a Alexandra que estuvo siempre a mi lado empujándome a ser mejor. Escribo estas palabras con alegría y con nostalgia, nunca es fácil terminar una etapa tan bella pero lo que viene será increíble, un hasta pronto UdeA.

Tabla de contenido

| | |
|---|----|
| Resumen | 7 |
| Abstract | 8 |
| Introducción | 9 |
| 1 Objetivos | 12 |
| 1.1 Objetivo general | 12 |
| 1.2 Objetivos específicos..... | 12 |
| 2 Marco teórico | 13 |
| 3 Metodología y resultados | 24 |
| 3.1 Plano de secuencia constructiva mensual para movimientos de tierras: | 25 |
| 3.2 Reconocimiento topográfico de la zona del proyecto | 29 |
| 3.2.1 Replanteo de la ubicación de los postes para cables de medio voltaje | 29 |
| 3.2.2 Red geodésica de primer orden..... | 31 |
| 3.3 Registro de seguimiento a las reuniones de ingeniería con contratistas expertos y personal interno de la compañía. | 36 |
| 3.4 Rendimientos y comparación de ofertas técnicas enviadas por proponentes para movimientos de tierras masivos: | 37 |
| 4. Discusión de resultados | 38 |
| 5 Conclusiones | 43 |
| Referencias | 44 |

Lista de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Cronograma de movimientos de tierra para la construcción..... | 26 |
| Tabla 2. <i>Cantidades y precios para monumentos de primer orden de topografía.....</i> | 35 |
| Tabla 3. <i>Comparativo de propuestas de proponentes de movimientos de tierra masivos.</i> | 38 |

Lista de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1. <i>Excavación.....</i> | 14 |
| Figura 2. <i>Método minero de Sublevel Caving</i> | 15 |
| Figura 3. <i>Secuencia de actividades para una posible obra.....</i> | 18 |
| Figura 4. <i>Secuencia de actividades para una posible obra.....</i> | 18 |
| Figura 5. <i>Clasificación de vías según su uso y topografía.....</i> | 19 |
| Figura 6. <i>Localización general del proyecto.....</i> | 24 |
| Figura 7. <i>Distribución espacial y cronograma de las obras de ingeniería en MCQ.....</i> | 27 |
| Figura 8. <i>Plano de avance de construcción para el mes 4 de los early Works 1</i> | 28 |
| Figura 9. <i>Trabajos topográficos en área del proyecto.....</i> | 30 |
| Figura 10. <i>Replanteo topográfico de postes para cables de media tensión</i> | 31 |
| Figura 11. <i>Replanteo topográfico de red geodésica de primer orden en la zona del proyecto</i> | 32 |
| Figura 12. <i>Vista lateral de detalles de acero para monumentos de primer orden topografía.....</i> | 33 |
| Figura 13. <i>Vista superior de detalles de acero para monumentos de primer orden topografía.....</i> | 33 |
| Figura 14. <i>Vista inferior de detalles de acero para monumentos de primer orden topografí.</i> | 34 |

| | |
|--|----|
| Figura 15. <i>Vista del armado de tubo para monumentos de primer orden para topografía</i> | 34 |
| Figura 16. <i>monumento de primer orden para topografía</i> | 36 |
| Figura 17. <i>Documentos de reuniones cargados y modificados en Intranet</i> | 37 |

Resumen

La megaminería es un tema que puede resultar tabú en Colombia, históricamente las personas asocian esta actividad con contaminación, corrupción y violencia, prefiriendo tener esto alejado de su territorio. Anglo Gold Ashanti por medio de Minera de Cobre Quebradona (MCQ) tiene el reto de traer a el país una minería moderna, sostenible y que demuestre que es posible realizar una explotación mineral respetando la fauna, flora y cultura del lugar.

Este no será un trabajo basado en el aspecto minero, si no en cómo se desarrollan trabajos complementarios desde la ingeniería para sacar adelante las obras complementarias vitales para que el proyecto se pueda llevar a cabo, visto más desde una perspectiva gerencial y de seguimiento a expertos que del diseño o construcción de obras, es de aquí que parte el título de este trabajo como “ingeniería gerencial” ya que como practicante no era responsabilidad el realizar los diseños o las obras si no el gestionar que los contratistas expertos contaran con las herramientas, el conocimiento y los materiales para entregar a MCQ lo que se buscaba con sus servicios.

Podremos encontrar en este informe trabajos de campo enfocados en topografía, especialmente en el uso de radares GPS de alta precisión necesarios para lo que un megaproyecto como este necesita para su puesta en marcha y control, no siendo responsabilidad del practicante manejar estos instrumentos, pero si el guiar a los expertos y acompañar a los demás miembros del equipo de MCQ a cumplir con los objetivos de la empresa.

Palabras clave: Gerenciamiento, red topográfica, Quebradona, minería Jericó.

Abstract

Mega-mining is a topic that can be taboo in Colombia, historically people associate this activity with pollution, corruption, and violence, preferring to have this far from their territory. Anglo Gold Ashanti through Minera de Cobre Quebradona (MCQ) has the challenge of bringing to the country modern, sustainable mining that proves that it is possible to carry out mineral exploitation while respecting the fauna, flora, and culture of the place.

This will not be a work based on the mining aspect, but on how complementary works are developed from engineering to carry out the complementary works vital so that the project can be carried out, seen more from a managerial perspective and follow-up to experts that of the design or construction of works, it's because of that the title of this work starts as "managerial engineering" since as an intern it was not the responsibility to carry out the designs or the works but to manage that the expert contractors had the tools, the knowledge, and materials to deliver what MCQ was looking for with its services.

We can find in this report fieldwork focused on topography, especially in the use of high precision GPS radars necessary for what a megaproject like these needs for its start-up and control, it is not the responsibility of the practitioner to handle these instruments, but if guiding the experts and accompanying the other members of the MCQ team to meet the objectives of the company.

Keywords: Management, topographic network, Quebradona, Jericó mining

Introducción

Minera de Cobre Quebradona S.A.S. B.I.C. (MCQ) es una compañía filial de la multinacional sudafricana AngloGold Ashanti. Esta empresa con sede en Medellín busca explotar un depósito de cobre ubicado en el municipio de Jericó, Antioquia. En el momento de la realización de este documento (Segundo semestre del año 2021) la compañía se encuentra avanzando la fase de ingeniería de detalle de las obras tempranas y a espera de la aprobación por parte de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) del estudio de impacto ambiental (EIA) con el fin de obtener la licencia ambiental del proyecto, la cual se elaboró siguiendo altos estándares mineros y medio ambientales, con la aprobación se podrán iniciar las obras de minería e ingeniería. Es importante reconocer el énfasis en el cuidado del medio ambiente y los recursos naturales que Minera de cobre Quebradona exige en la ejecución del proyecto, teniendo a este como uno de sus 6 principales valores corporativos, reconociendo la importancia que tiene para las comunidades regionales y nacionales y con el fin de cambiar la percepción que las personas, a nivel nacional, tienen sobre la minería. El propósito de MCQ es transformar la riqueza mineral en progreso económico, social y ambiental, y para esto cuenta con un nutrido grupo de profesionales en el área ambiental que trabajan día a día para cumplir las normas, proteger la fauna y la flora de la región y pensando en la forma más óptima de elaborar un proyecto de megaminería que sea sostenible y mitigue los impactos provocados por las futuras actividades.

AngloGold Ashanti ha participado ya en diferentes proyectos mineros en Colombia, como lo son las minas de oro de La Colosa en Tolima y Gramalote en San Roque, Antioquia. Ninguno de estos proyectos ha entrado aún en fase de explotación y las más grandes expectativas de la empresa para Colombia están concentradas en el proyecto Quebradona del que trata este documento.

MCQ no es una compañía de ingeniería, es, como su nombre y razón social lo indican, es una empresa de minería, especializada en la extracción de minerales como oro y cobre. Dentro del organigrama de Minera de Cobre Quebradona hay un departamento de ingeniería encargado de gestionar el desarrollo de los distintos estudios, diseños y planes de construcción de las obras de infraestructura de soporte a la operación minera, tales como: movimientos de tierra para vías y plataformas, depósitos de material sobrante y cobertura vegetal, sistemas de drenaje y manejo de

aguas, sistemas de agua potable y aguas residuales, planta de beneficio, edificaciones e instalaciones auxiliares, redes eléctricas, parque biodinámico, entre otros. Dichos estudios se desarrollan con el apoyo de empresas de consultoría especializadas como Hatch y Golder, reconocidas compañías multinacionales que cuentan con oficinas alrededor del mundo, en este caso se trabajó con las oficinas en Santiago de Chile de Hatch y de Bogota para Golder.

Igualmente se debe trabajar de la mano con otras áreas de la empresa como el grupo ambiental, grupo de mina, grupo de geotecnia, el grupo de compras, el grupo legal, el grupo de control de proyectos, el grupo de control de riegos, Seguridad, entre muchos otros. Esto hace de la práctica en esta empresa una oportunidad única, multidisciplinaria y diversa en muchos campos del conocimiento, con los que se tiene que estar en sintonía y constante comunicación para realizar un proyecto en los estándares exigidos para la misma, con énfasis en la seguridad y la mitigación de impactos ambientales.

Durante el desarrollo de esta práctica académica se busca que, como parte del equipo de ingeniería, se brinde el apoyo necesario en las diferentes actividades que surjan de un proceso dinámico como lo es el diseño de un proyecto de tan grandes dimensiones en el cual se deben evaluar diversos aspectos (normativos, de diseño, de cronograma, de logística, etc.) que se han de tener en cuenta en este tipo de proyectos. La mina que se pretende explotar es uno de los proyectos más importantes de extracción de cobre que hay en la actualidad en la región y además fue clasificada por el gobierno colombiano como un proyecto de interés nacional y estratégico (PINES) (Comunicaciones AGA 2020). Esto es una muestra del compromiso y la tarea tan importante que se asume con esta práctica. Se debe estar preparado para apoyar la gestión de profesionales de la ingeniería y abordar temas complejos que requieren de las soluciones más eficientes, económicas y sostenibles posibles.

Varias de las actividades que se realizan en la vinculación como practicante se basan en apoyar la gestión de trabajos de ingeniería de factibilidad y de detalle para obras de construcción de diferentes tipos: Estructuras, vías, tuberías, obras de captación de agua, movimientos de tierra masivos, conformación de llenos y terraplenes, este apoyo es especialmente del tipo administrativo en temas como la realización de actas de reuniones que se realizan de forma constante, la

investigación de obras y tecnologías de la ingeniería que sirvan en la empresa para desarrollar diversas actividades con diferentes grados de complejidad.

El apoyo en campo también será un pilar importante de la vinculación que se tiene como practicante. Se deben atender diferentes labores en la zona del municipio de Jericó, como acompañamiento a avanzadas de topografía u otras diferentes actividades de campo que puedan surgir en un proyecto que como ya se ha enfatizado es totalmente dinámico y cambiante en esta etapa de su desarrollo.

Para realizar estas actividades la empresa provee elementos como el computador e implementos y accesorios necesarios para el practicante. Cuando se debe realizar visitas al municipio de Jericó, se cubre la totalidad de los gastos en transporte, alimentación, estadía y elementos de seguridad y protección personal. Igualmente, en la cabecera municipal hay espacios con internet, salas de reuniones y todas las diferentes instalaciones y equipos necesarios para realizar el trabajo de oficina.

Al final del proceso de prácticas se logró cumplir con los retos planteados inicialmente, tanto en trabajos de campo como en el gerenciamiento con los consultores expertos para llevar a cabo la ingeniería de detalle y las actividades complementarias para las obras tempranas de la mina, logrando un gran desempeño en la compañía y llevando a cabo importantes actividades para el desarrollo futuro de la mina.

1 Objetivos

1.1 Objetivo general

Desarrollar junto al equipo de Minera de Cobre Quebradona actividades de ingeniería que tendrán como finalidad impulsar el desarrollo de las obras tempranas de la mina, referentes a los 6 primeros meses de construcción del proyecto, apoyando trabajos de oficina y de campo.

1.2 Objetivos específicos

- Coordinar con contratista externo la elaboración de planos de movimiento de tierras en la etapa de trabajos tempranos (early Works 1) de la mina para verificar secuencias y lógicas constructivas.
- Registrar los avances de ingeniería en actas o archivos de seguimiento de tareas en Word y Excel para tener un control documentado de lo que se reporta en las reuniones periódicas internas y con contratistas.
- Analizar las propuestas de oferentes en la licitación de movimientos de tierra masivos para tener un comparativo de actividades, horarios, jornadas y concluir sobre la viabilidad de estas.
- Elaborar planos y documentos necesarios para infraestructura en concreto reforzado de la red geodésica del proyecto.
- Realizar junto a demás miembros del equipo de ingeniería, las avanzadas de exploración y reconocimiento de campo en actividades de topografía para obtener los datos necesarios en el diseño de detalle de las obras de apoyo a la mina utilizando técnicas de georreferenciación mediante GPS.

2 Marco teórico

2.1 Mecánica de rocas

Según Herrera y Gómez (2007) la mecánica de rocas es una ciencia que trata de la respuesta de las rocas a los campos de fuerzas presentes en su entorno físico. Esta ciencia hace parte de las Ciencias de la Tierra, posibilitando la solución a diferentes problemáticas y preguntas alrededor de la minería y la ingeniería, de tal forma que se puedan encontrar técnicas adecuadas para el control del terreno en las minas u otras obras.

La mecánica de rocas no representa una teoría que unifica diferentes modelos, sino que, responde a diversas soluciones planteados bajo diferentes modelos de acuerdo con los comportamientos mecánicos que ya se encuentran bien definidos, entre estos se encuentran: el modelo geológico, el modelo geo mecánico y el modelo matemático. De esta forma, la mecánica de rocas tiene un papel importante en el diseño de las minas subterráneas y de cielo abierto con el objetivo de controlar el terreno y aprovechar los recursos minerales y energéticos. (Herrera y Gómez, 2007)

2.1.1 Excavaciones

Se define como las labores de movimientos de tierra con el propósito de adecuar y preparar los terrenos para la ejecución de obras como construcciones civiles, edificaciones, mineras, entre otras. (Instituto de Desarrollo Urbano, 2005). En diferentes situaciones, esta crea una zanja que permite la preparación de dicho terreno, como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Según Alvarez (1987) existen diferentes tipos de excavación, entre ellos, la excavación mecánica, la cual permite un alto grado de mecanización y automatización que lleva a un gran rendimiento de la excavación y a mayores cotas de seguridad. Por otro lado, genera grandes ventajas sobre otros tipos de explotación como por ejemplo las usadas con explosivos debido a que economiza los procesos constructivos gracias a su método en el cual se altera las características

resistentes iniciales de la roca al aplicar energía en el proceso de excavación. Y, como se mencionó anteriormente, posee más seguridad.

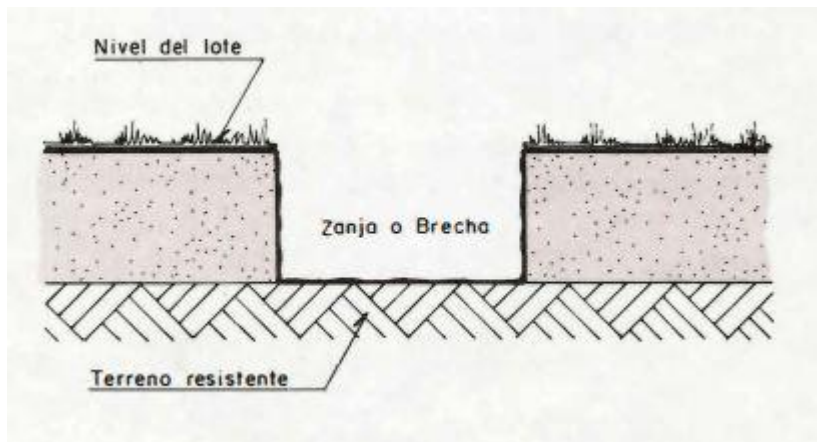


Figura 1. *Excavación* (Bonilla et al., 1991).

2.1.2 Sublevel Caving

Para extraer los materiales necesarios del suelo, se usan diversos métodos mineros. En la Minera de Cobre Quebradona se hace uso del método minero Sublevel Caving (hundimiento por subniveles) (AngloGoldAshanti, 2019). Este método consiste, según Huacotto (2020) en arrancar el mineral a partir de subniveles mediante tiros en abanicos y dispuestos según planos verticales o con una cierta inclinación con respecto a la vertical, como se puede observar en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** expuesta a continuación. Los subniveles se ubican a través del cuerpo mineralizado en intervalos horizontales ocasionando que la explotación posea una configuración geométrica simétrica.

En Colombia, este método es innovador, pues busca adaptarse lo mejor posible a la roca que debe ser perforada y no al contrario (Huacotto, 2020). Esta, se realiza en la Minera de Cobre Quebradona con una gran seguridad, basada en profundos análisis y estudios que permiten que la explotación sea controlada y con el menor impacto posible, tanto en la zona a explotar, como en sus alrededores, de tal manera que cada etapa del proyecto sea la más sostenible posible incluyendo

la zona de subsidencia del cerramiento y la recuperación de la zona, para evitar perjuicios a la fauna nativa, migrante y a la comunidad.

Además de ser un método por subniveles, este tiene otras características, tales como: el ser un método por rebaje, el carguío mineral arrancado se efectúa en los mismos subniveles de preparación, la cara libre principal sobre la cual actúa el explosivo permanece siempre en contacto con el mineral arrancado (Huacotto, 2020)

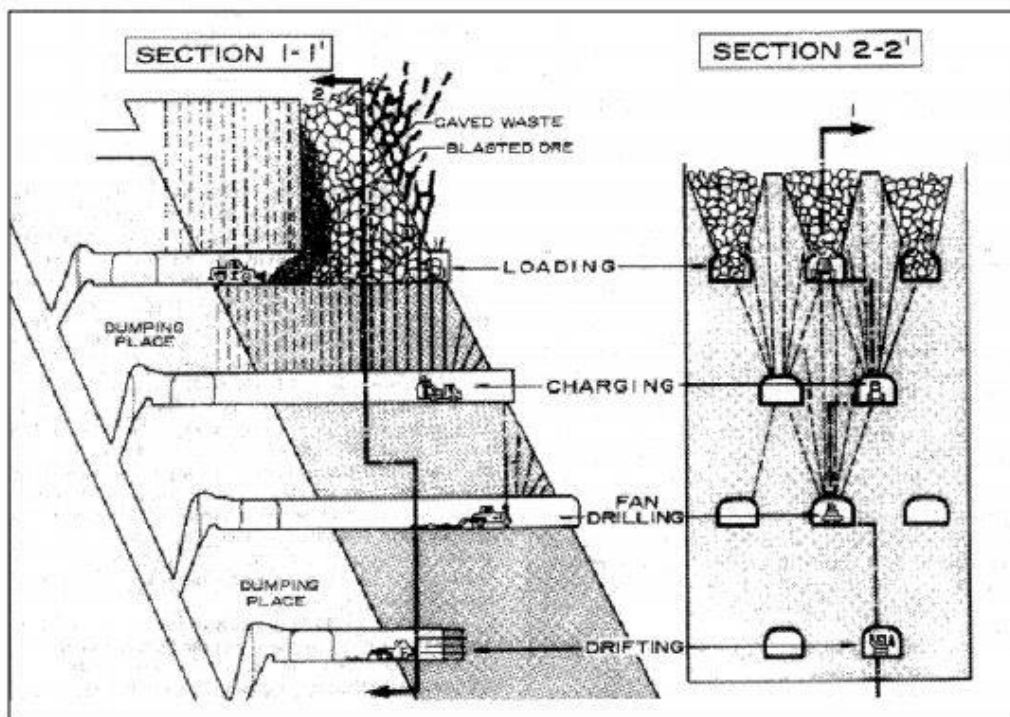


Figura 2. Método minero de Sublevel Caving. (Herrera y Gómez, 2007)

2.2 Campaña de topografía minera

La topografía, según Fuentes (2014), es una ciencia que se encarga del estudio de la superficie física de la tierra desde el punto de vista geométrico. Estos estudios, se ven reflejados en documentos gráficos como mapas topográficos y los perfiles donde se visualiza con exactitud los objetos y sectores de la superficie. De esta manera, la topografía es una herramienta necesaria para

los diferentes procesos de edificación y minería de tal forma que se pueda graficar exactamente el terreno en el que se pretende realizar la extracción del recurso.

Para realizar los documentos gráficos de topografía, es necesario el uso de diferentes instrumentos encaminados a realizar las mediciones geométricas necesarias de la forma más exacta posible.

La palabra topografía minera surge del alemán Markscheide que se traduce a límite y arte. Estos trabajos de topografía minera estuvieron ligados a la extracción de yacimientos mineros. Pero, a medida que pasaba el tiempo, surgía la necesidad de instrumentos más exactos para la extracción de materiales. De esta manera, al desarrollarse cada vez más la minería y su producción se requerían estudios topográficos que fundamentara la extracción, todo esto, mediante representaciones matemáticas y geométricas (Lorenzo, 2018)

Las principales investigaciones que se han realizado y que posteriormente han sido utilizadas hasta la actualidad se encuentran basadas en la geometrización de los yacimientos minerales, investigaciones relacionadas con la aparición de la presión minera y etnomovimiento de las rocas mineras por influencia de las excavaciones subterráneas originadas durante la extracción de los yacimientos. También investigaciones sobre la construcción de nuevos instrumentos topográficos que permitan una amplia evolución hacia el mejoramiento de los procesos en la minería (Lorenzo, 2018).

2.3 Secuencia de obras de construcción

Una obra o proyecto de construcción, es definida por Rivera Esteban (2015) como una infraestructura necesaria para satisfacer una necesidad pública o privada. Para la realización de esta, se deben tener en cuenta diferentes fases que lleven a su logro exitoso. En primer lugar, se debe realizar un estudio preliminar para delimitar la necesidad existente y la factibilidad. Se debe realizar un diseño preliminar para tener un acercamiento a los costos de la obra. Al tener estos pasos bien determinados, se puede proceder a la materialización de planos con la descripción de las especificaciones técnicas generales y los detalles de la obra.

Para materializar una obra de construcción se requiere de una planeación adecuada. La planeación, Rivera Esteban (2015) la define como la elaboración de una estrategia general para la realización del proyecto. Esta, se puede realizar al construir las actividades generales de la obra para estimar los tiempos de realización y todos los requerimientos que se van a necesitar, a su vez que, se puede estimar las posibles limitaciones o imprevistos.

A partir de la planeación, se puede realizar la programación y la organización. Rivera Esteban (2015) define la primera como la elaboración de la planeación, de manera más detallada, donde se integran las actividades más específicas del proyecto y se organizan de forma sistemática. Por otro lado, la organización implica el ordenamiento de todos los recursos necesarios para cada proceso, tales pueden ser materiales, herramientas, equipos y mano de obra.

La planificación debe realizarse antes de llevar a cabo una obra, para esto, existen la planificación estratégica, donde se fijan aspectos como la misión y la visión; La planificación táctica, donde se evalúa y define la ejecución de un plan estratégico, la fijación de objetivos y los pasos para cumplir estos, a su vez que, se definen los presupuestos, el calendario y el rendimiento. Finalmente, se encuentra la planificación operativa, en la cual se toma decisiones sobre el uso de los recursos financieros, humanos y materiales Rivera Esteban (2015).

Posterior a la planificación, se puede abordar la definición de actividades, las cuales, según Rivera Esteban (2015) son el conjunto de acciones que se llevan a cabo para cumplir los objetivos que se plantean en una obra, mediante el uso de los recursos materiales, técnicos, financieros y humanos, a continuación, en la figura 4, se muestra la secuencia de actividades de una posible obra.

| PROGRAMA DE TRABAJO | Levantado |
|---|--|
| Trabajo de gabinete | <ul style="list-style-type: none"> • Armado de solera de humedad, solera intermedia y solera de corona |
| <ul style="list-style-type: none"> • Anteproyecto | <ul style="list-style-type: none"> • Levantado bajo nivel de piso y fundición de pines |
| <ul style="list-style-type: none"> • Fase de diseño | <ul style="list-style-type: none"> • Fundición de solera de humedad |
| <ul style="list-style-type: none"> • Elaboración de planos | <ul style="list-style-type: none"> • Levantado a solera intermedia |
| <ul style="list-style-type: none"> • Financiamiento | <ul style="list-style-type: none"> • Fundición de solera intermedia |
| <ul style="list-style-type: none"> • Tramite de licencias | <ul style="list-style-type: none"> • Levantando a solera de corona |
| <ul style="list-style-type: none"> • Contratación de personal | <ul style="list-style-type: none"> • Formaletas y fundición de columnas |
| Preliminares | Vigas |
| <ul style="list-style-type: none"> • Limpieza y chapeo | <ul style="list-style-type: none"> • Entarimado de vigas |
| <ul style="list-style-type: none"> • Nivelación del terreno | <ul style="list-style-type: none"> • Armado de vigas primera losa |
| <ul style="list-style-type: none"> • Instalaciones provisionales | Losa |
| <ul style="list-style-type: none"> • Puentes y trazo | <ul style="list-style-type: none"> • Entarimado de losa |
| <ul style="list-style-type: none"> • Fundición de tacos | <ul style="list-style-type: none"> • Armado de losa tradicional |
| Primer Nivel | <ul style="list-style-type: none"> • Fundición de losa |
| <ul style="list-style-type: none"> • Cimentación | <ul style="list-style-type: none"> • Fraguado de losa |
| <ul style="list-style-type: none"> • Excavación de cimiento | <ul style="list-style-type: none"> • Desentarimado de vigas y losa |
| <ul style="list-style-type: none"> • Armado y colocación de cimiento corrido | Instalaciones |
| <ul style="list-style-type: none"> • Armado y colocación de columnas y pines | <ul style="list-style-type: none"> • Eléctricas <ul style="list-style-type: none"> ○ Instalaciones en piso ○ Instalaciones en pared ○ Instalaciones en losa ○ Fuerza, iluminación y especiales |
| <ul style="list-style-type: none"> • Fundición de cimiento corrido | |

Figura 3. *Secuencia de actividades para una posible obra* (Rivera-Esteban, 2015).

| |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Hidráulicas <ul style="list-style-type: none"> ○ De agua pluvial ○ Instalación a conexiones de drenajes ○ De agua municipal ○ Pañuelos en losa |
| Acabados |
| <ul style="list-style-type: none"> • Instalación de piso |
| <ul style="list-style-type: none"> • Repello y cernido |
| <ul style="list-style-type: none"> • Instalación de ventanas |
| <ul style="list-style-type: none"> • Instalación de puertas |

Figura 4. *Secuencia de actividades para una posible obra* (Rivera-Esteban, 2015).

2.4 Vías

Montoya y Moreno (2015) define las vías como todo espacio donde se produce tránsito, existen diferentes tipos, pero a modo general estas están compuestas por una calzada, acera, separador central, berma, cuneta, jardín y equipamiento de servicios. Las vías poseen una clasificación según el autor, las cuales se catalogan dependiendo de su uso y la topografía o tipo de terreno, a continuación, en la Figura 5 se muestra esta clasificación.

| NIVEL DE USO | CONECTA | CONDICIONES DE DISEÑO |
|--------------|--|---|
| PRIMARIA | Accesos principales entre capitales y/o Departamentos. | PAVIMENTO |
| | Países entre sí. | |
| SECUNDARIA | Cabeceras municipales | PAVIMENTO O AFIRMADO |
| | Municipios con vías primarias | |
| TERCIARIA | Cabeceras municipales con veredas | PAVIMENTO (Según condiciones geométricas) |
| | Veredas entre si | AFIRMADO |

Figura 5. Clasificación de vías según su uso y topografía. (Montoya y Moreno, 2015)

Para la planeación de una vía, se debe tener en cuenta la normativa vigente que rige dentro del territorio, así como realizar trabajos de campo, tales como de topografía. También se realizan trabajos a nivel de software, haciendo uso de programas para el diseño de esta y los modelos.

Dentro de las etapas que define Figueroa (2011) para la construcción de una vía son, en primer lugar, se encuentra la definición del pavimento, el cual, es una estructura compuesta por diferentes capas de suelo y materiales pétreos. Esta debe cumplir con diferentes especificaciones tales como la plasticidad y la calidad de los materiales, también, el valor del soporte superficial que determina si resiste o no las cargas del tráfico que estará transitando sobre la vía.

A su vez, las etapas que componen el proceso de la construcción de una vía están compuestas por: el movimiento de tierras, la construcción de drenaje menor y mayor, la construcción de sub-base y base, la construcción de la superficie de pavimento o rodadura, la construcción de estructuras de puentes y la colocación de las señales y marcas de tráfico.

2.5 Estudio de Impacto Ambiental (EIA)

El Estudio de Impacto Ambiental nace a partir de una sanción de la Ley Nacional de Política Ambiental en Estados Unidos, con el propósito de controlar y atender todos los problemas ambientales en todas sus etapas. En 1972 en la Conferencia de Estocolmo el tema obtuvo una gran importancia después de un riguroso análisis. Diez años después a mediados de 1985 se regularizó la EIA estableciendo criterios de evaluación de las incidencias de los proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente, esto gracias a la Comunidad Económica Europea (Coria, 2008). A partir de esto, muchos países adoptaron este documento configurándolo de acuerdo con los contextos de cada país y regulándolo mediante leyes que lo exigían para la puesta en marcha de cualquier proyecto que genere un impacto sobre el medio ambiente en el entorno donde se planea dicha actividad. En Colombia, la autoridad que se encarga de brindar licencias ambientales es la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) autoridad creada en el 2011 con el fin de asumir las funciones que dicta el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, tales como el otorgamiento de licencias, seguimiento y asegurar la participación ciudadana (Martínez, Delgado, López, y Uribe, 2021).

Según la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) el Estudio de Impacto Ambiental es un instrumento que permite la correcta toma de decisiones sobre proyectos, obras o actividades que requieran una licencia ambiental. Además, según la ley, se exigirá esta licencia a todo aquel que realice una acción que necesite de licencia ambiental. El documento que se debe construir para obtener dicha licencia debe contener detalladamente las características y entorno del proyecto (ANLA, s,f).

De esta forma, la ANLA mediante la autorización N° 00294 del 23 de enero de 2020 inicia el trámite administrativo de solicitud de Licencia Ambiental para la Sociedad Minera de Cobre

Quebradona y se adoptan otras decisiones. Así, mediante esta Licencia, se pretende atender a la ley que nace de la necesidad de que el país tenga un desarrollo sostenible y al otorgar dicha Licencia, la Minera se compromete a atenuar y corregir cualquier daño ambiental que sea producto de las actividades mineras que se pretenden llevar a cabo en el territorio (Barrera, Enciso y Uribe, 2021).

2.6 Geodesia

Según Peñafiel (2001) la geodesia es una ciencia encargada de la recepción y observación de las señales precedentes de elementos que no estén ligados directamente a la superficie terrestre. La observación se hace mediante satélites artificiales. Es decir, esta ciencia permite tener un acercamiento de la descripción de la apariencia de la Tierra como la magnitud y figura del globo para posteriormente construir mapas.

2.6.1 Red Geodésica de primer orden

- Los levantamientos geodésicos que se realizan responden a una clasificación dispuesta por el Instituto Geográfico Nacional (IGN). Esta clasificación va de acuerdo con un nivel de confiabilidad. De esta forma, la Red de Primer Orden son estaciones que se encuentran relacionadas con dos o más estaciones de orden superior teniendo definidos sus vértices de acuerdo con características definidas en la Red pasiva MAGNA. Estas características son textualmente (Acosta Hermoso y Ortiz Baron, 2015):

Características:

- Precisión absoluta de posición horizontal: entre $\pm 0.011\text{m} \pm 0.020\text{m}$.
- Precisión relativa de la posición horizontal: Entre $\pm 0.006\text{m}$ y $\pm 0.010\text{m}$.
- Tiempo de medición mayor a 24 horas.
- Equipo: GNSS de doble frecuencia (geodésico).

2.6.2 Vértices Geodésicos

Seijas (2014) define los vértices geodésicos como los puntos de la red que materializa un Marco de Referencia y sirve como apoyo para realizar un trabajo cartográfico o topográfico. Esta red tiene coordenadas que se encuentran en el Sistema de Referencia establecido para esta Red Geodésica. Así, estos puntos se ubican sobre el terreno a trabajar, dispuestos a través de señales que pueden ser de diversos tipos (Rastrero Seijas, 2014).

2.6.3 Manual de Procedimientos para la exploración y materialización de vértices IGAC

Este Manual propuesto por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) tiene como objetivo: Describir las actividades necesarias para la exploración, distribución y materialización de los vértices, así como las especificaciones técnicas de construcción de los puntos de control nuevos o establecidos por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC, de cualquiera de las redes que componen el sistema de referencia nacional. (IGAC, 2017)

2.6.4 Levantamiento topográfico: GPS

GPS es una abreviación que responde a Global Positioning System (Sistema de Posicionamiento Global). Este sistema corresponde a un conjunto de satélites artificiales activos (al menos 24 satélites) ubicados alrededor de la órbita y que mediante la transmisión – recepción de señales electromagnéticas proporcionan información sobre diferentes puntos situados en la superficie terrestre (Alcaraz, 2015).

Este sistema es ampliamente usado para el levantamiento topográfico. Además, este se clasifica de acuerdo con diferentes criterios, tales como el sistema de referencia, según el movimiento del receptor, según el observable utilizado, según el momento de la obtención de coordenadas, entre otros.

De esta manera, Pachas (2019) citando a Torres y Villate (2001) define el levantamiento topográfico como el conjunto de actividades que se realizan en el campo para capturar información

que permita determinar las coordenadas rectangulares de los puntos del terreno. Esta información se puede obtener mediante cálculos o directamente. Como producto, se obtendrá una gráfica del terreno levantado, el área y volúmenes de tierra, entre otros datos que sean necesarios.

2.6.4.1 Método de trabajo RTK en topografía

RTK corresponde a siglas que significan Real Time Kinematic (GPS en Tiempo Real) es un sistema clasificado dentro del criterio según el momento de la obtención de la coordenada. Este método consiste en obtener coordenadas en tiempo real en el sistema de referencia adoptado previamente. Además, es un sistema innovador dentro de los métodos de medida GPS ya que permite estar menos tiempo en la toma del punto y tener resultados directamente en el campo, es decir, coordenadas al instante (Peñafiel, 2001). Su funcionamiento consiste en mantener un receptor fijo en un punto donde las coordenadas sean conocidas, y el receptor móvil permitirá determinar las coordenadas en tiempo real. Para Quebradona es importante contar con un nivel de precisión muy alto, tanto para las labores a desarrollar en infraestructura como para el control de los movimientos ambientales en cuanto a ocupaciones de cauces y aprovechamiento forestal, es por esto que la compañía decidió este método de trabajo por GPS para contar con los mejores resultados posibles a la hora de el muestreo, minimizando el error que se puede tener con otros sistemas de toma de coordenadas como la estación total.

2.7 Intranet

Según Rodríguez (2007) el Intranet constituye un amplio medio de comunicación eficaz para la difusión de información, se diferencia del internet porque es una red que, según O'Brien contiene información interna para un número limitado de usuarios, mientras que el internet es ampliamente abierto a cualquier usuario. Además, el Intranet se configura sobre una red de clientes-servidor tcp/ip (Transmission Control Protocol/Internet Protocol (Protocolo de control de transmisión/Protocolo de Internet)) con navegadores y un servidor web, conjunto de software y hardware que permiten crear y acceder a datos hipermedia, publicar páginas web, establecer comunicaciones, compartir información, entre muchas otras funciones. El intranet dentro de una

organización cumple un papel importante que contiene unas tecnologías específicas, con recursos determinados con el objetivo de mantener a disposición de los trabajadores toda la información, herramientas, datos, entre otros y que permitan la resolución de problemas, aplicar todo en ello a la organización, mantener las actividades requeridas a una gran velocidad y eficacia. Además, otro propósito de la intranet, es construir una red corporativa donde todos los miembros de la organización puedan mantener una interacción continua e intercambio de información que aporte a la colaboración y alcance de objetivos dentro de la empresa.

3 Metodología y resultados

El proyecto Minera de cobre Quebradona se ubica en el municipio de Jericó, que se localiza a 115 km de la ciudad de Medellín, en el departamento de Antioquia, y las instalaciones mineras del Proyecto se ubican a 34,5 km por carretera desde la cabecera municipal de Jericó, en la vereda Cauca, en la rivera del río con el mismo nombre. (AngloGold Ashanti, 2021)

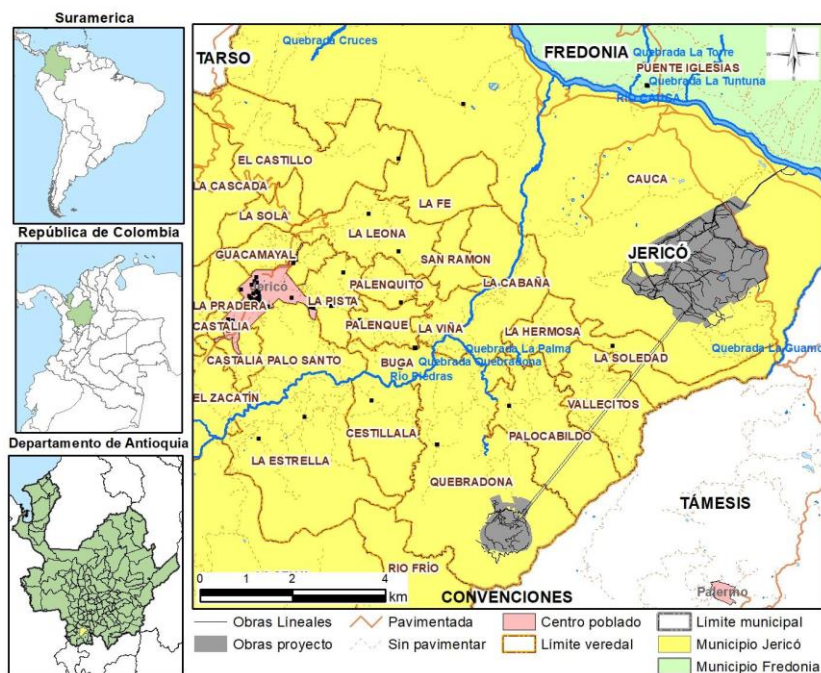


Figura 6. Localización general del proyecto. (AngloGold, 2021)

3.1 Plano de secuencia constructiva mensual para movimientos de tierras:

Al momento de la realización de este documento (Segundo semestre de 2021) el proyecto se encuentra a la espera de la licencia ambiental la cual está en trámite con la agencia nacional de licencias ambientales (ANLA). Hasta que la compañía no tenga una respuesta positiva sobre esta licencia no se podrán adelantar obras de impacto en la zona del proyecto, como lo son, movimientos de tierra, instalación de tubería o construcción de estructuras que afecten cauces de agua o flora y fauna de la zona.

A finales de 2021 la empresa adelanto trabajos de ingeniería para el desarrollo futuro de la mina, algunos de ellos los describiré en este escrito, iniciando con la labor de ingeniería de detalle de las facilidades críticas y las obras tempranas del proyecto, conocidas como “Early Works 1” y que se plasman en la Tabla 1, organizados según la temporalidad de la construcción.

| Ítem | EARTHWORKS PLAN |
|------|---|
| 0 | SECURITY FENCING |
| 1 | Pioneer Camp Platform and Access Road (Temporary) |
| 2 | Raw Water Intake Access Road |
| 3 | Construction Road N°1 La Mancha (Temporary) |
| 4 | Waste temporary platform and acces road |
| 5 | Construction Road N°4 San Antonio (Temporary) |
| 6 | Pipe lines crossing pacifico 2 route |
| 7 | Diversion Channels (Temporary) |
| 8 | Construction Road N°7 (Temporary) |
| 9 | Contractors Platforms Areas 1 and Access Road (Temporary) |
| 10 | Sediment Ponds 2 |
| 11 | Explosive Magazine Platform |
| 12 | Diversion Channels (South) |
| 13 | Top soil stockpile |
| 14 | Top soil dump drain system |
| 15 | Top soil stockpile runoff water management |
| 16 | Comminutation platform (stage 1) |
| 17 | Main acces road (stage 1) |
| 18 | Construction Road N°5 (Temporary) |
| 19 | Construction Road N°3 (Temporary) |
| 20 | R-02 / Portal Underground Mine Access Road |

| | |
|----|--|
| 21 | Construction Road N°6 (Temporary) |
| 22 | Waste dump drain system |
| 23 | Waste dump B |
| 24 | Waste dump A |
| 25 | Waste rock stockpile runoff water management |
| 26 | Mine portal tunnel access road |
| 27 | Raw water intake platform (permanent) |
| 28 | Mine electrical room and fuel station |
| 29 | Sewage treatment plant platform |
| 30 | Fill Material stockpile, boulders y excavation material crushing plant platforms |
| 31 | Sediment Ponds 5 |
| 32 | Sediment Ponds 5- Emergency spillway discharge channel |
| 33 | Sediment Ponds 3 |
| 34 | Sediment Ponds 3- Emergency spillway discharge channel |
| 35 | Miscellaneous Platform (Temporary) |
| 36 | Miscellaneous Platform Access Road (Temporary) |
| 37 | Sediment Ponds 2- Emergency spillway discharge channel |
| 38 | R-01 / Camp Platform Access Road |
| 39 | R-03 / Potable Water Plant and Raw Water Storage Access Road |
| 40 | Ore Crushing Platform (Temporary) |
| 41 | Raw Water Storage Platform and Potable Water Plant Platform |
| 42 | Platform in the pond |

Tabla 1. Cronograma de movimientos de tierra para la construcción. Nota. Fuente (Hatch, 2021)

El cronograma de la tabla es revisado y actualizado por parte del contratista experto, el cual MCQ ha contratado para el desarrollo de la ingeniería de detalle, y el mismo equipo interno de Quebradona. Para este fin se desarrolla un plano nombrado como “EARTHWORKS CONSTRUCTION SCHEDULE” el cual de forma interna es conocido como el “mapa de colores” (

) y expresa de forma gráfica la secuencialidad de las obras en diferentes etapas, siendo las azules las correspondientes a los “early Works 1”.

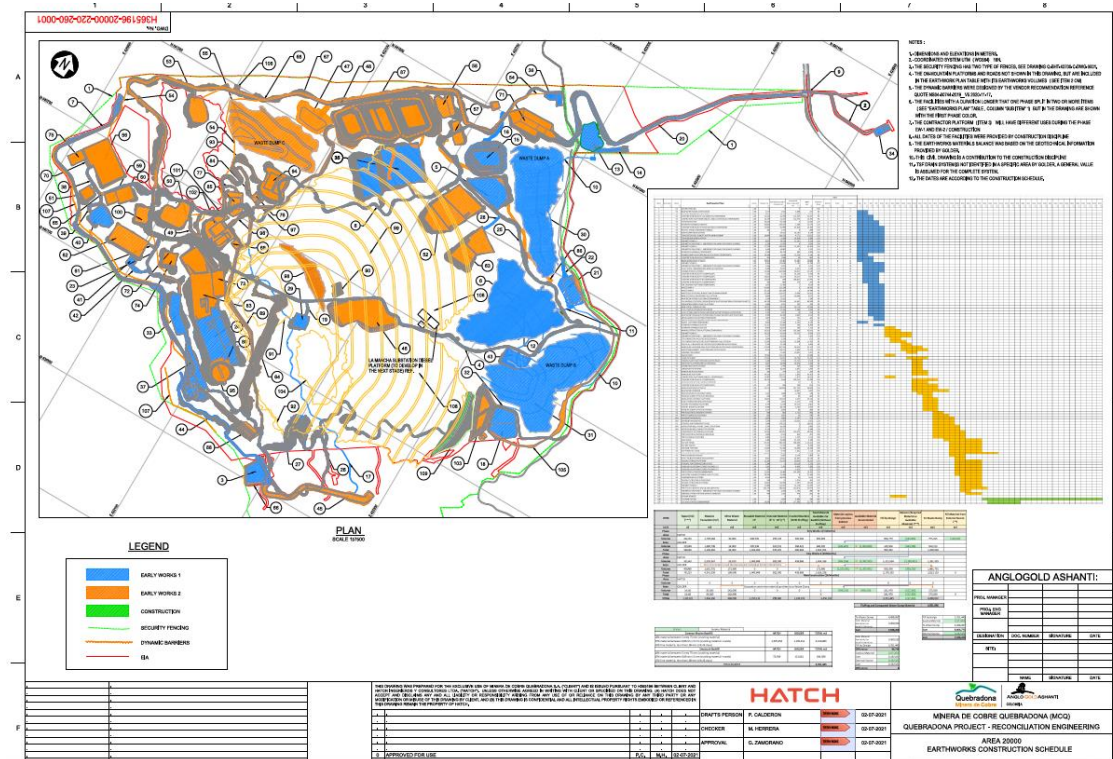


Figura 7. Distribución espacial y cronograma de las obras de ingeniería en MCQ. (Hatch, 2021)

Este cronograma esquematizado de la

ayuda a la revisión visual de las obras, siendo menester la revisión exhaustiva del mismo para encontrar incongruencias o falencias en el proceso de planificación, para que sean comunicadas, analizadas y se tomen decisiones de ingeniería.

El siguiente plano (Figura 8) es el resultado del trabajo que se llevó a cabo al desglosar la información de la

en planos mensuales que muestren de forma secuencial el avance de las obras en los primeros 6 meses correspondientes a los llamados “early works 1”. Para este fin se contactó un contratista externo (LyL consultores) encargado del dibujo de estos planos. La gestión entre el contratista y MCQ se da a través de la mediación del practicante, el cual ha sido encargado de sacar adelante junto a el consultor estos planos de secuencias constructivas. En la siguiente imagen se aprecia el avance de estos planos para el mes número 4 de la construcción.

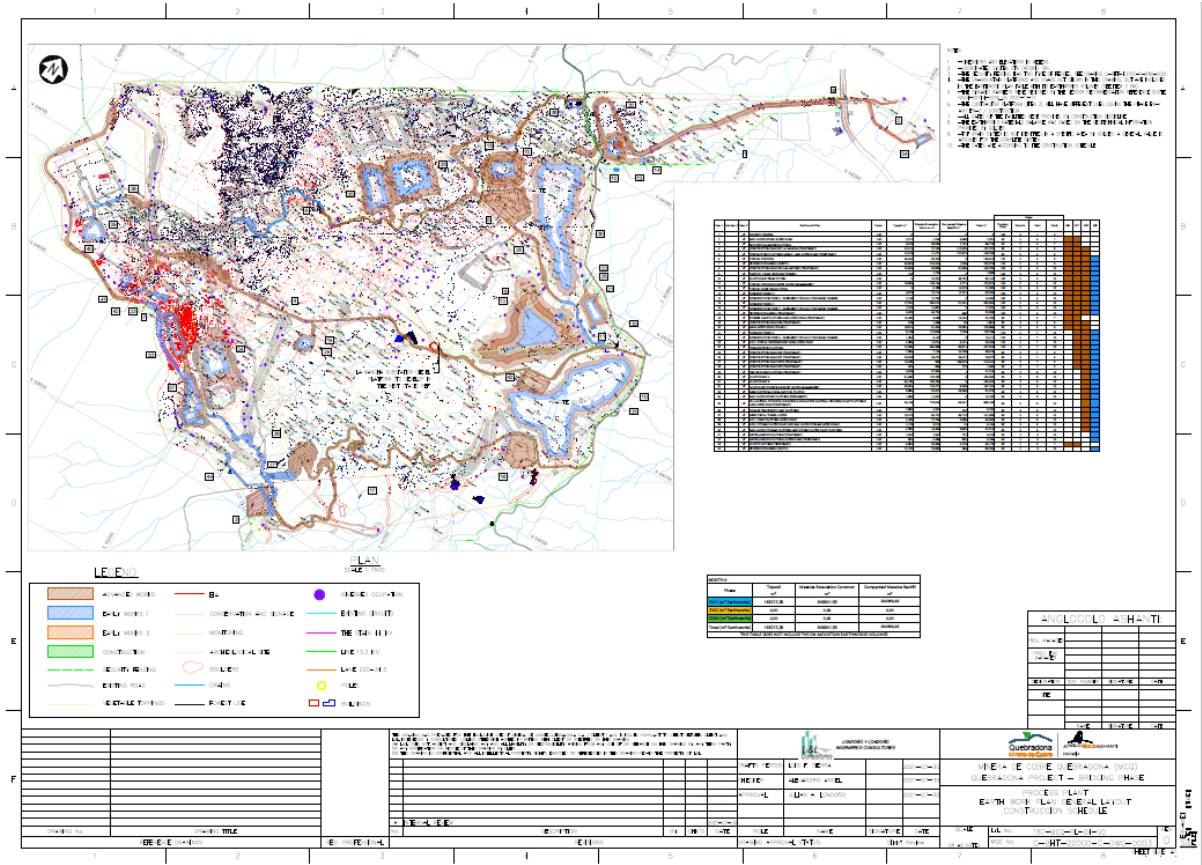


Figura 8. Plano de avance de construcción para el mes 4 de los early Works 1. (L y L consultores, 2021)

En la Figura 8 se puede apreciar con claridad como estarían avanzadas las obras al mes 4 desde el inicio de estas, en color azul encontramos el avance en dicho mes, mientras que en color marrón se van dejando los avances correspondientes a los 3 meses anteriores. En este plano se plasman las 35 primeras actividades que se exponen en la **Tabla 1**.

Con la elaboración de dichos planos mensuales se busca verificar que el contratista encargado del cronograma este analizando de forma correcta la secuencialidad de las obras y que estas tengan lógica dentro de lo que es actualmente el área del proyecto y que, por ejemplo, no se esté pensando en la construcción de una plataforma sin tener aun un acceso hacia esta o que dos obras se superpongan en etapas similares de la construcción, ya que hay algunas obras temporales que se ubican en el emplazamiento de una obra definitiva.

3.2 Reconocimiento topográfico de la zona del proyecto:

3.2.1 Replanteo de la ubicación de los postes para cables de medio voltaje:

Como complemento a las actividades que viene desarrollando el equipo de ingeniería de MCQ se debe adelantar una topografía, también de detalle, que sirva como insumo tanto para los contratistas como para las labores internas de la compañía. Una de las primeras actividades topográficas a realizar es la del replanteo de las coordenadas de los postes que alimentaran de energía eléctrica las instalaciones de la mina y sus alrededores. Este trabajo es desarrollado por un contratista experto, el cual tiene como alcance la instalación de la red eléctrica de medio voltaje (13.2 KV). Para cumplir con este fin se realiza por parte del contratista y acompañado por el equipo de MCQ en cabeza del jefe de topografía, el ingeniero senior eléctrico y el practicante de ingeniería civil, un trabajo de georreferenciación de los puntos para los postes, adelantado con equipo GPS doble frecuencia Geomax Zith 20 mediante el método de trabajo RTK (Ver). En las siguientes imágenes se aprecia el trabajo realizado en la zona del proyecto, un lugar boscoso, con presencia de bolones de roca de hasta 4 metros de altura y una vegetación tupida, riveroño al río Cauca y con altas temperaturas.



Figura 9. *Trabajos topográficos en área del proyecto*

El equipo de topografía fue manejado por los expertos enviados por el contratista CONCITEL, desde MCQ se realizó el acompañamiento, guía y verificación de las labores de estos. La labor del practicante en este proceso ha sido de apoyar al jefe de topografía en sus labores y compartir con él la responsabilidad de guiar al contratista en su trabajo.

Las labores consistieron en recorrer el terreno perteneciente a la minera (Unas 590 hectáreas) con el equipo de GPS, cargado a hombro por el auxiliar acompañante del topógrafo, localizar los puntos según el plano preliminar desarrollado en oficina para posteriormente ubicar el instrumento y tomar el punto con la precisión requerida por MCQ o replantear el punto en caso de encontrarse en una situación de peligro o dificultades constructivas (como un acantilado, una pendiente excesiva o un gran bolón de roca). En la Figura 10. se puede apreciar el equipo y la forma en la que el topógrafo tomaba la coordenada en su GPS.



Figura 10. *Replanteo topográfico de postes para cables de media tensión.*

3.2.2 Red geodésica de primer orden:

Los trabajos de topografía continuaron con la planeación y materialización de los monumentos de concreto para la red geodésica de primer orden, la cual funcionaría como base para las coordenadas finales de las estructuras en la etapa de construcción, esta red consistiría en puntos físicos marcados con gran precisión mediante el uso de radares GPS por la compañía Intopco, experta en el tema.

En fases anteriores del proyecto se habían especificado algunos puntos preliminares para la ubicación de estos monumentos de concreto, la primera tarea a llevar a cabo fue la de verificar la viabilidad de estos puntos junto a la empresa especialista y replantearlos en la forma más óptima que exigiera el proyecto y las condiciones del terreno, en la Figura 11 se aprecia el trabajo realizado en la exploración de campo.



Figura 11. *Replanteo topográfico de red geodésica de primer orden en la zona del proyecto.*

La construcción de estos monumentos fue responsabilidad del equipo de ingeniería de MCQ, y el practicante fue el encargado de desarrollar la logística para poder sacar esto adelante. Luego de haber ubicado con criterios técnicos las mejores alternativas para la ubicación de los monumentos se debió conversar con las demás áreas de la compañía y verificar su viabilidad en aspectos legales, ambientales o sociales, depurando las alternativas y finalizando con 8 puntos distribuidos en los predios de la compañía y que contaron con el aval de todas las partes involucradas.

Estos puntos de primer orden deben perdurar en el tiempo, no deben sufrir daños relevantes ni desplazamientos durante su vida útil, por esto fue necesario ubicarlo lejos de zonas que presentaran importantes movimientos de tierras o que posiblemente fueran intervenidos con infraestructura futura, por otra parte, estos deben estar en zonas despejadas de vegetación espesa o de líneas eléctricas que interfieran con la lectura de GPS.

El monumento de concreto consta de un dado de concreto de aristas de 1.2 metros de la cual sobresale un tubo de concreto que formara un obelisco que funcionara como base para la ubicación del radar GPS que realizara las lecturas de las coordenadas de alta precisión necesarias para el proyecta.

En la Figura 12,

Figura 13, Figura 14 y Figura 15 se muestran los detalles de aceros elaborado por el practicante de ingeniería, se realizó tomando como base un plano ilustrativo compartido por

Intopco con las dimensiones que deben tener las estructuras, las barras de acero y malla electrosoldada fueron definidas teniendo en cuenta el manual de procedimientos para estas estructuras realizado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

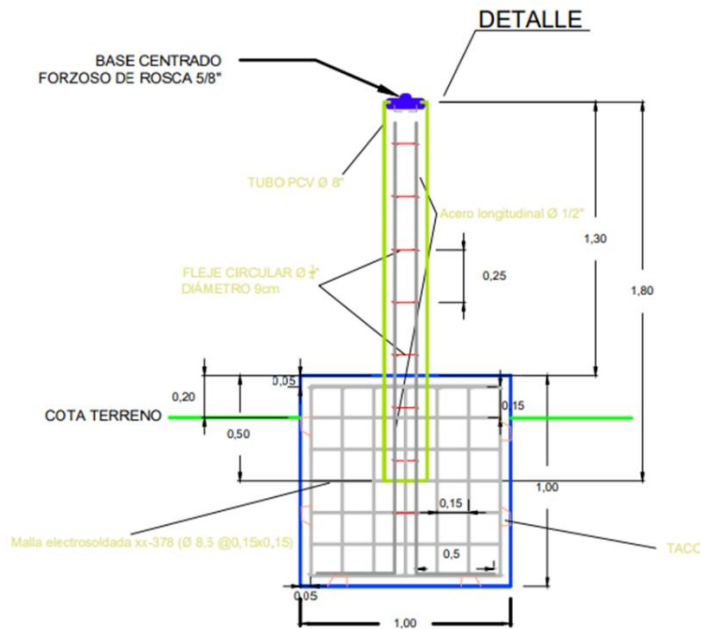


Figura 12. Vista lateral de detalles de acero para monumentos de primer orden para topografía.

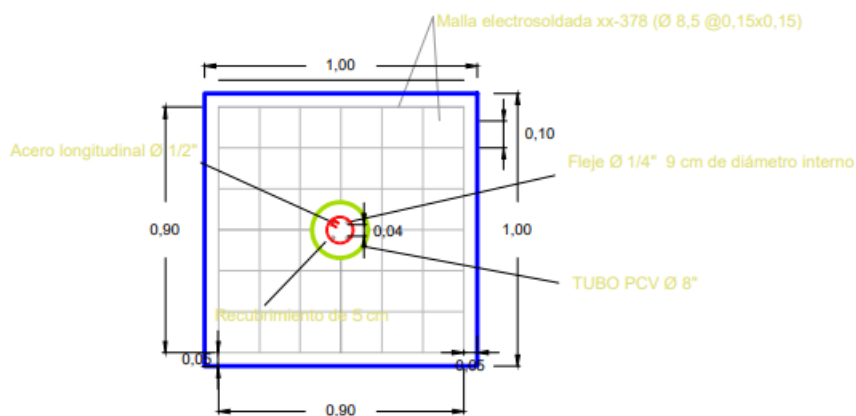


Figura 13. Vista superior de detalles de acero para monumentos de primer orden para topografía.

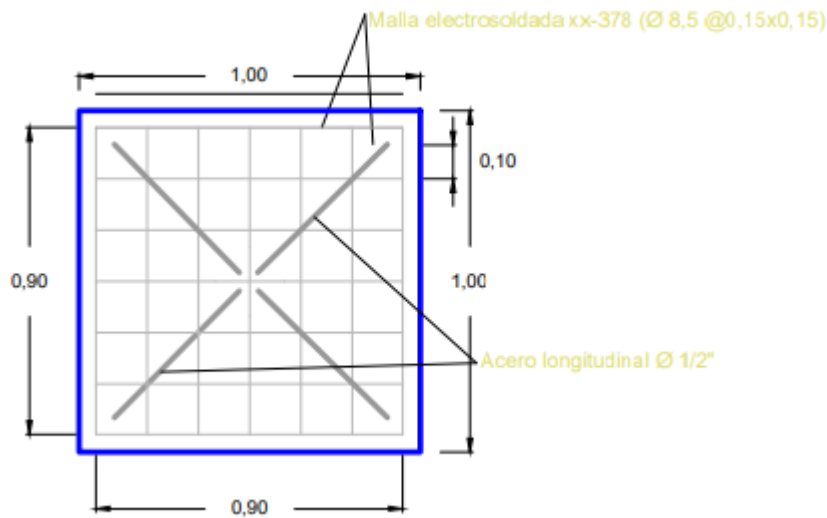


Figura 14. Vista inferior de detalles de acero para monumentos de primer orden para topografía.

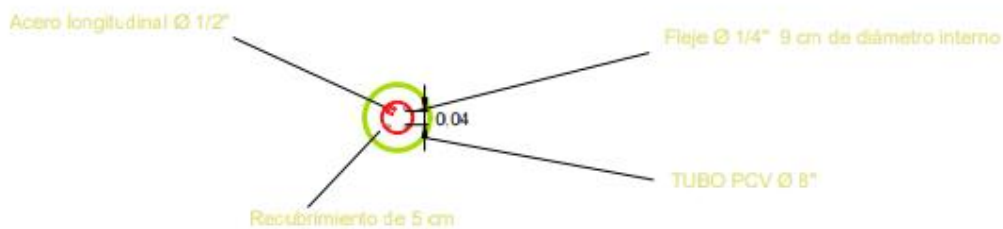


Figura 15. Vista del armado de tubo para monumentos de primer orden para topografía.

El último paso antes de poder iniciar las obras de monumentación en el proyecto fue elaborar una lista de cantidades y precios para que el equipo de MCQ compras pudiera gestionar los materiales necesarios para empezar labores, en la **Tabla 2.** se evidencia el resultado de esta actividad para 8 monumentos, teniendo en cuenta el despiece de acero de las figuras 12, 13, 14 y 15 y las especificaciones de concreto que se tienen en el manual de procedimientos del IGAC.


| ID | Cantidades de obra para monumentación en concreto para topografía | | | |  | |
|-----|---|--------------------|----------|------------------------------------|---|--|
| | | Unidad | Cantidad | Valor unitario (pesos colombianos) | Valor total (Pesos colombianos) | |
| 1 | Concreto | Unidad | Cantidad | Valor unitario (pesos colombianos) | Valor total (Pesos colombianos) | |
| 1.1 | Cemento Portland | Bulto | 56 | \$ 25,000.00 | \$ 1,400,000.00 | |
| 1.2 | Arena gruesa | m3 | 4.48 | \$ 60,000.00 | \$ 268,800.00 | |
| 1.3 | Gravilla de ½ | m3 | 6.72 | \$ 50,000.00 | \$ 336,000.00 | |
| 1.4 | Agua | Litros | 1440 | \$ 56.00 | \$ 80,640.00 | |
| 1.5 | Alambre Negro Para Amarre | Kg | 10 | \$ 4,607.00 | \$ 46,070.00 | |
| 1.6 | Antisol | Balde por 16 kg | 1 | \$ 296,900.00 | \$ 296,900.00 | |
| 1.7 | aditivo para fraguado rápido | Balde por 5 kg | 1 | \$ 100,000.00 | \$ 100,000.00 | |
| 2 | Barras de acero corrugado | Unidad | Cantidad | Valor unitario (pesos colombianos) | Valor total (Pesos colombianos) | |
| 2.1 | Diámetro 1/4" | 6 metros | 4 | \$ 8,000.00 | \$ 32,000.00 | |
| 2.2 | Diámetro 1/2" | 6 metros | 16 | \$ 25,000.00 | \$ 400,000.00 | |
| 2.3 | Malla electrosoldada xx-378 (phi 8.5 @0.15x0.15) | Panel 6,00 x 2,35m | 4 | \$ 250,000.00 | \$ 1,000,000.00 | |
| 3 | Tuberías | Unidad | Cantidad | Valor unitario (pesos colombianos) | Valor total (Pesos colombianos) | |
| 3.1 | Tuvo de PVC 8" | Metros | 16 | \$ 42,317.00 | \$ 677,072.00 | |
| 3.2 | Tapón de PVC 8" | Unidad | 8 | \$ 10,000.00 | \$ 80,000.00 | |
| 4 | Encofrado | Unidad | Cantidad | Valor unitario (pesos colombianos) | Valor total (Pesos colombianos) | |
| 4.1 | Placas RH 2.44x1.22x0.02 | Unidad | 10 | \$ 44,323.00 | \$ 443,230.00 | |
| 4.2 | Larguero común de 3 metros | Unidad | 8 | \$ 30,000.00 | \$ 240,000.00 | |
| 5 | Plástico para el suelo | m2 | 36 | \$ 1,607.00 | \$ 57,852.00 | |
| 6 | Total | | | | \$ 5,458,564.00 | |

Tabla 2. Cantidades y precios para monumentos de primer orden de topografía.

El contrato de practicante termino antes de iniciar las labores de campo y de construcción de los monumentos de primer orden, pero con los ejercicios realizados por el practicante y descritos en los párrafos anteriores el equipo de ingeniería de MCQ logro sacar adelante estas estructuras como se puede apreciar en la Figura 16.



Figura 16. *monumento de primer orden para topografía. (jefe de topografía MCQ)*

3.3 Registro de seguimiento a las reuniones de ingeniería con contratistas expertos y personal interno de la compañía.

La coordinación de las diferentes actividades de la compañía exige que los equipos y contratistas estén muy coordinados, para esto se utiliza el software Microsoft teams para reuniones diarias. Como practicante se debe tener una actitud activa en estas reuniones, escuchar, participar en lo que considere pertinente y dentro del alcance de los conocimientos adquiridos.

Es deber del practicante tomar apuntes y presentar actas y documentos de las principales tareas e iniciativas surgidas durante las reuniones, este trabajo se realiza en herramientas de Microsoft office como Word o Excel, estos archivos deben almacenarse en el intranet (sharepoint) de Anglo Gold Ashanti, en carpetas cuyas modificaciones y actualizaciones son responsabilidad del practicante, una vez estos documentos estén cargados, como se muestra en la Figura 17, se

deben compartir con los miembros de la compañía o los contratistas a los que les sea pertinente la información.

| Nombre | Modificado | Modificado por |
|--|--------------------|-------------------|
| MCQ Engineering Action Items_010721.xlsm | 7 de julio | Posada, Sergio |
| MCQ Engineering Action Items_040821.xlsm | Hace unos segundos | Posada, Sergio |
| MCQ Engineering Action Items_070721.xlsm | 9 de julio | Navarro, Fernando |
| MCQ Engineering Action Items_140721.xlsm | 26 de julio | Posada, Sergio |
| MCQ Engineering Action Items_160621.xlsm | 23 de junio | Navarro, Fernando |
| MCQ Engineering Action Items_210721.xlsm | 26 de julio | Posada, Sergio |

Figura 17. Documentos de reuniones cargados y modificados en Intranet. (Intranet Anglo Gold Ashanti)

3.4 Rendimientos y comparación de ofertas técnicas enviadas por proponentes para movimientos de tierras masivos:

En cumplimiento de los objetivos planteados está el realizar análisis de rendimiento y comparación de propuestas de oferentes. Uno de los trabajos más relevantes en la etapa de los early Works 1 es el que llevará a cabo el contratista de movimientos de tierra masivo (earthworks) el cual será el encargado de la adecuación de vías y las facilidades de plataformas para las estructuras durante estos primeros 6 meses y extensivo al resto de las etapas del proyecto (early works 2 y construction).

Este proceso de contratación se encuentra en licitación, y el practicante de ingeniería apoya en el seguimiento de las propuestas de los oferentes, en específico se revisan las propuestas de rendimientos y precios unitarios que cada uno de los proponentes ha enviado a MCQ, para analizar si los datos presentados son coherentes se consultan las bases de datos disponibles, en este caso

particular se tomó la referencia de Instituto Nacional de Vías (INVIAS) en los ítems de excavaciones y llenos de material para las plataformas y vías.

De los documentos públicos más actuales de esta entidad se extrajeron los rendimientos de estas actividades como referencia y de los documentos enviados por los contratistas se obtuvieron datos como el equipo crítico de la operación, su rendimiento, los horarios y los turnos de trabajo, los frentes de trabajo y la duración estimada de labores del contratista. Toda la información se organizó en la siguiente **Tabla 3.** de la cual se pueden extraer por parte del equipo de ingeniería diversas inquietudes que consultar a los oferentes, para aclarar como planean cumplir sus metas.

| Excavation | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|------------|----------------|--------------------------------------|-----------------|----------------|------------------------------|------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------|----|
| *Benchmark performance (INVIAS) | Contractor | Equipment Type | Performance m3/hour per front | Hours per-Shift | Shifts per day | Performance m3/day per front | # working fronts | Total performance m3/day | Total performance m3/month | Total duration months | |
| 528 | m3/day | Contratista 1 | Excavadora tipo DOOSAN DX340LCA-K | 75 | 8 | 1 | 600 | 11 | 6,600 | 198,000 | 61 |
| | | Contratista 2 | Excavadora tipo Cat 336D2L | 160 | 8 | 1 | 1,280 | 4 | 5,120 | 153,600 | 61 |
| | | Contratista 3 | Excavador 336 | 100 | 13 | 1 | 1,250 | 9 | 11,250 | 337,500 | 61 |
| | | Contratista 4 | Excavadora tipo oruga 380 hp cat 349 | 199 | 12 | 2 | 4,771 | 2 | 9,543 | 286,282 | 44 |
| | | Contratista 5 | EXCAVATOR 330 | 100 | 10 | 1 | 1000 | 5 | 5,000 | 150,000 | 46 |

Tabla 3. Comparativo de propuestas de proponentes de movimientos de tierra masivos.

4. Discusión de resultados

La práctica académica realizada en Minera de Cobre Quebradona esta basada principalmente en la gerencia de las obras civiles del proyecto minero y en el apoyo a el conocido

como “Equipo del dueño” en los negocios de tales magnitudes, los cuales velan por el cumplimiento de los objetivos empresariales de los inversores manteniendo un criterio técnico basado en la normativa local e internacional.

El trabajo de oficina que más tiempo y labores demandó fue el de la elaboración de los planos mensuales de movimientos de tierra mes a mes con el contratista LyL. Ellos en su condición de expertos en temas de diseño y dibujo fueron los encargados de materializar el plano, el practicante se encargó de los trabajos de gerenciamiento y logística al proveer los materiales e información necesaria y ser el puente entre los miembros del equipo de ingeniería y el contratista, logrando completar estos planos con la información de ingeniería más reciente con la que contaba Quebradona y dejando este material valioso de consulta y toma de decisiones para la empresa.

El plano de colores expuesto en la figura 7 era junto con la tabla 1 la base para el correcto desarrollo de esta actividad de planos secuenciales de movimientos de tierras, el reto estuvo en plasmar de forma precisa lo expuesto en estos dos insumos para desarrollar la herramienta que necesitaba el equipo de ingeniería para los primeros 6 meses de construcción. Durante la elaboración de estos documentos iban surgiendo inquietudes del contratista, como el tema de las capas que se necesitaban actualizar, cuales, y en que prioridad debían resaltarse dichas capas para una buena visibilidad de lo que se necesitaba con los planos, tipo de texto, tipo de leyenda, escalas, colores y demás detalles que permitieran obtener un resultado acorde a lo que MCQ estaba necesitando como insumo.

Aunque el contratista HATCH era el responsable de incluir todas las obras en el conocido mapa de colores o plano de movimiento de tierras de la figura 7, no eran responsables de cada una de las obras que en este plano se expresaban, ya que Golder era el encargado de proveer lo concerniente a los depósitos de materiales inertes y los relaves secos del proceso minero. Estos diseños que Golder debía entregar sufrieron severos atrasos debido a problemas de cálculos y un estimación incorrecta de los volúmenes de depósitos, la solución de estos inconvenientes era responsabilidad del contratista junto con el grupo de geotecnia de MCQ, pero afectó el trabajo de los planos mensuales, dado que no se contaba con la información final de estas obras y no se llegó a una solución hasta bien avanzado el tiempo de elaboración de los planos, por lo cual estos se entregaron

sin las últimas actualizaciones de las obras de Golder, quedando pendiente una futura actualización de los planos con estos espacios y obras rediseñadas por el contratista.

A la par en que avanzaba con los diseños de detalles para el movimiento de tierras masivo, el equipo de ingeniería adelantaba el proceso licitatorio para adjudicar este contrato a la empresa que representara de forma más clara los intereses de la empresa y que contara con los criterios técnicos más acertados. Así que se inició la evolución de cada una de las propuestas de estos, buscando datos de jornadas, rendimientos, horarios, tiempos de ejecución y cantidades de obras, todos estos datos fueron extraídos de las ofertas enviadas por las compañías en unos documentos estándar que Quebradona les había proporcionado. Las propuestas eran muy variadas unas con otras, lo que denota que no hubo una claridad en estándares y labores que debían cumplir los oferentes, siendo algunos muy optimistas con los rendimientos o los plazos. El practicante organizó esta información y junto al equipo de ingenieros se logró realizar un balance de que fue lo que entregaron en estos documentos los oferentes y dejando claro cuáles eran los que habían comprendido de una forma más concreta que era lo que buscaba Quebradona y dejando claro con cuales se podía contar y con cuales no para futuras etapas del proceso, debido a las dificultades con la licencia ambiental este proceso de adjudicación de contrato no ha avanzado más y se esperaba que cuando la empresa tenga una hoja de ruta más clara a futuro se pueda contar con esta información para continuar con los mejores proponentes.

En los trabajos de campo en la zona de Jericó se adelantaron varias labores, como el acompañamiento a proponentes a conocer las instalaciones y el terreno de trabajo y el seguimiento en el reconocimiento y toma de información topográfica del terreno. Esta última labor fue la que más destacó en lo que a trabajo en campo se refiere, guiando a los equipos de trabajo en campo en la realización de sus labores sirviendo como apoyo logístico al jefe de topografía, organizando desplazamientos y reuniones. Las caminatas en la zona siempre fueron muy complejas por las condiciones ambientales, un lugar muy caluroso que en el día siempre está sobre los 30 grados centígrados debido a su altitud que ronda entre los 500 y 1000 msnm en un terreno montañoso con presencia de animales silvestres y de una vegetación compuesta por maleza que supera los 2 metros de altura en muchos lugares.

A pesar de las dificultades, el equipo pudo avanzar día a día con las labores encomendadas de toma de puntos para georreferenciación de alta precisión, tanto en el caso de el replanteo de puntos para los postes eléctricos como en el replanteo de los puntos de la red geodésica de primer orden, aspecto muy importante para que al momento de materializar la infraestructura no se encontraran sorpresas en el terreno o se pudieran evaluar dificultades que se debían analizar con tiempo para encontrar soluciones. La actividad del replanteo para la red geodésica de primer orden y su posterior puesta en marcha fue la que más demandó trabajo en campo, ya que se tuvieron que realizar extensas jornadas de caminata y búsqueda de puntos que cumplieran con lo estipulado en el manual de procedimientos del IGAC, esto se debía hacer tanto con los expertos técnicos como con las áreas de MCQ que debían aprobar las labores cumpliendo con normativa ambiental y los compromisos sociales de la empresa.

El método de trabajo desarrollado mediante GPS y levantamiento RTK permite una alta precisión a la hora de la toma de datos, siendo este un sistema que resuelve la ubicación de coordenadas en tiempo real y se utiliza para levantamientos topográficos de alta precisión y sin el esfuerzo que demandan otros aparatos de topografía como la estación total, además de ser mucho más eficiente en tiempos al lograr posicionar los aparatos en un punto fijo y esperar a tomar muestras de los satélites y no tener que arrastrar una coordenada conocida desde algún punto lejano como sucede con otros sistemas de toma de información. Igualmente hay que tener muchos cuidados con el muestreo ya que también tiene sus desventajas claras como el hecho de la interferencia que puede causar la vegetación circundante, las montañas o las líneas eléctricas cercanas ya que todo esto interfiere con la calidad de información que se recibe de los satélites.

Tal vez el problema más relevante del levantamiento topográfico mediante GPS es que la información que proporciona sobre elevación del terreno, por ejemplo, en metros sobre el nivel del mar, es muy poco precisa o inexistente, por lo que este dato si se debe exportar desde una coordenada conocida y llevarse hasta el sitio del proyecto mediante métodos convencionales de topografía como la estación total. En el caso del proyecto de Quebradona esto se debió hacer desde un punto de control del instituto colombiano Agustín Codazzi ubicado en el municipio de la Pintada y trasladado por la autopista pacífico 2 hasta la zona del proyecto, en un trayecto de algo más de 20 km con el uso de estación total en una poligonal cerrada, trabajo llevado a cabo por el contratista

experto intopco y garantizando una calidad de datos suficiente para que el dato de elevación fuera preciso y complementara la información que se tomaría con los GPS de alta precisión.

Al final del proceso de apoyo para la red geodésica se logró dejar para Quebradona los planos detallados para la elaboración de los monumentos y su ubicación en el área del proyecto, dichos planos se elaboraron siguiendo las recomendaciones del contratistas y lo estipulado en el manual de procedimientos del IGAC para dichos elementos de concreto, lastimosamente el tiempo de practica no fue suficiente para lograr participar en la materialización de las estructuras en campo, pero los recursos dejados por el practicante fueron utilizados en la construcción realizada en el mes de diciembre por el equipo de MCQ.

Esta red geodésica de primer orden es un elemento muy importante para la construcción de la futura mina, como hemos leído en este documento Quebradona está a la espera de la aprobación de su licencia ambiental y en esta se especifican lugares muy precisos de aprovechamiento forestal y ocupaciones de cauces, los cuales en caso de no ser cumplidos con precisión podrían acarrear severas sanciones, esta red ayudara a que las estructuras planificadas estén en los lugares que deben estar y que se declararon ante las autoridades. En los aspectos técnico es obviamente relevante contar con puntos de control precisos, en especial para las obras de los túneles y la planta de procesos que darán entrada, salida y procesarán el material que la minera busca explotar.

Abordando lo concerniente a cómo va la licencia ambiental de Quebradona, la cual ha estado muy presente en este texto, se sabe que fue archivada en el mes octubre del 2021 por parte de la ANLA, esta decisión no implica que la mina haya sido descartada como proyecto, lo que quiere decir es que el equipo de MCQ debió presentar recursos de reposición ante las autoridades para objetar la decisión de la ANLA dando razones técnicas que defiendan lo que se expuso en la licencia, en caso de ser rechazado este recurso la empresa ya empezó a preparar una nuevo propuesta de licencia, que se debe realizar basado en lo que la ANLA no objetó y siguiendo los nuevos lineamientos que la autoridad expone y que según su criterio Quebradora no cumplió.

Al no contar con esta aprobación de licencia MCQ no podrá iniciar labores de movimientos de tierras o aprovechamiento forestal, impactando de forma importante los cronogramas y diseños que

venía trabajando la empresa. En el caso de la ingeniería, se planteaba iniciar con los detalles para las demás fases del proyecto, hablando de lo concerniente a los “early works 2” y la fase de “construction” que serían las que deben desarrollarse una vez terminado lo referente a las obras tempranas de los primeros 6 meses, estas labores serán aplazadas mientras la compañía define los lineamientos a seguir para una futura presentación de licencia, lo cual incluso puede afectar lo que ya se había desarrollado en los early works 1, ya que una nueva presentación para este permiso podría contemplar nuevos espacios, nuevas obras o eliminar o alterar alguna que ya tenga una ingeniería de detalle avanzada. Este proceso de licenciamiento es crítico y pasa a formar la primera línea de prioridades para MCQ, ya que al haber sido aprobado en septiembre de 2021 el PTO (plan de trabajo y obras) por parte de la secretaría de minas de Antioquia, la decisión de la ANLA es lo único que evita que se pueda llevar a cabo el proyecto de extracción mineral.

Finalmente, algo que MCQ necesitaba del practicante era la organización de documentos en el intranet de la compañía, con la finalidad de que los documentos que se realizaban como soporte de las diferentes reuniones con los contratistas y con los demás miembros de la empresa, esto para consulta y toma de decisiones sobre las actividades que quedan pendientes en dichos encuentros. El intranet de Quebradona es muy extenso y la parte correspondiente al equipo de ingeniería está llena de documentos técnicos de las diferentes áreas, inicialmente se contemplaba que el practicante pudiera tomar un tiempo para revisar las distintas carpetas y junto a los responsables de cada área ir organizando la documentación para que en el futuro se pudieran tener consultas más ágiles y precisas de los documentos, a final de las practicas los documentos que se revisaron en el intranet eran demasiados y la tarea quedo iniciada esperando a que sea retomada por otro miembro del equipo.

5 Conclusiones

- El plano de movimiento de tierras desglosado mensualmente es y será una herramienta muy útil para que el equipo de ingeniería y demás áreas de MCQ puedan consultar y tomar decisiones sobre espacios y secuencias constructivas

- Los mapas de movimiento de tierras mes a mes no se terminaron completamente, quedando pendiente la actualización de algunas actividades concernientes a los depósitos de material y al depósito de relaves secos del proceso minero. Los datos de estas obras no fueron compartidos a tiempo por el contratista experto y el grupo de geotecnia de MCQ.
- Los trabajos de topografía para un proyecto de grandes dimensiones como lo es Quebradona, en el que tanto las autoridades gubernamentales como los inversionistas demandan un detalle de gran calidad, deben ser muy precisos, por esto Minera de Cobre Quebradona optó por métodos de toma de coordenadas con GPS de alta precisión, que permitirán que los monumentos de concreto para la red geodésica tengan coordenadas suficientemente precisas para amarrar de estos el resto de las coordenadas que el proyecto vaya a necesitar.
- La comparación de propuestas de movimientos de tierras servirá para tener una visión general de que estaba planteando cada oferente y así tener claro cuáles fueron las empresas que tenían una idea más aterrizada de lo que busca MCQ para este contrato, la licitación aún no ha sido cerrada y se espera que el equipo de ingeniería tome la información recolectada para tomar las decisiones más asertivas sobre con que proponentes debe continuar.
- La ingeniería de detalle de las siguientes etapas del proyecto Quebradona ha quedado suspendida mientras se avanza en una nueva ruta para conseguir la licencia ambiental, incluso las obras de detalle de los early works 1, las cuales ya habían finalizado en su diseño podrían sufrir modificaciones importantes debido a los nuevos lineamientos que la ANLA va a exigir y que Quebradona debe incorporar y solucionar en su diseño.
- La organización del intranet de la compañía se avanzó, se organizaron documentos de reuniones en los que se plasmaban tareas, plazos y responsables. La organización de los demás documentos de ingeniería quedó pendiente a ser finalizada por cada responsable.

Referencias

AngloGold Ashanti. (2019). Estudio de impacto ambiental (EIA), Generalidades.

AngloGold Ashanti. (2021). Estudio de impacto ambiental (EIA), Descripción del proyecto. Minera de Cobre Quebradona.

-
- Acosta Hermoso, S. S., & Ortiz Baron, A. (2017). Georreferenciación de dos vértices de primer orden en la laguna de Suesca.
- Aportela Rodríguez, I. M. (2007). Intranets: las tecnologías de información y comunicación en función de la organización. *Acimed*, 16(4), 0-0.
- Autorización N° 00294. (23 de enero de 2020). Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
- Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. Estudio de Impacto Ambiental. MinAmbiente
- Hatch. (2021). Earthworks construction schedule.
- LyL consultores. (2021). Earth work plan general layout construccion schedule.
- Bravo-Lorenzo, F. (2018). Importancia de la topografía minera y la generalización de su información. *Minería y Geología*, 3(1), 78-80.
- Bonilla, N., Rivera, J., Díaz, R., Cobaleda Zapata, D., Bolívar, O., & Escobar, M. (1991). Excavaciones.
- Coria, I. D. (2008). El estudio de impacto ambiental: características y metodologías. *Invenio*, 11(20), 125-135.
- Cuentas, D. (2020). Métodos de perforación para obtención de muestras. Universidad tecnológica del Perú.
- Douglas, R. (2016). Contrato EPC o EPCM ¿Cual puede conducir hacia mejores resultados a los propietarios de grandes proyectos? Ausenco.
- Figueroa, P. G., & Hidalgo, J. M. (2011). Proceso y equipo utilizado en la construcción de carreteras. *Ingeniería Civil*, 48-63.
- Fuentes, O. (2014). Topografía. La Habana, Cuba. Editorial Félix Varela
- Gómez y Herbert. (2012). Utilización de técnicas de sondeos en estudios geotécnicos. Madrid, España. Atlas Copco. Universidad Politécnica de Madrid.
- Herrera, J., & Gómez, J. (2007). Diseño de explotaciones e infraestructuras mineras subterráneas. *Universidad Politecnica de Madrid*.

Alvarez, L. (1987). La excavación mecánica de rocas. *Revista de Obras públicas*. 649-664

Instituto de Desarrollo Urbano, (2005). Cortes, excavaciones, llenos y filtros. Bogotá.

Rastrero Seijas, J. F. (2014). Metodología de implantación y mantenimiento de una red geodésica local.

Rivera Esteban, V. M. (2015). *Programación, planificación y control de obras de infraestructura civil, en la República de Guatemala* (Doctoral dissertation, Universidad de San Carlos de Guatemala).

Pachas, R. (2009). El levantamiento topográfico: Uso del GPS y estación total.

Martínez, A., Delgado, M., López, E., & Uribe, E. (2021). Proyecto minero Quebradona. Aspectos económicos, government take y observaciones sobre el estudio de impacto ambiental.

Peñafiel, J., & Zayas, J. (2001). Fundamentos del sistema GPS y aplicaciones en la topografía. *Colegio Oficial de Ingenieros Tecnicos en Topografía*, 1-135.

Valencia Huacotto, A. J. (2020). Ore control y QA/QC en la explotación del cuerpo esperanza por el método sub LEVEL CAVING, Unidad Minera Yauricocha.

Zapata Moreno, J. A., & Forero Montoya, B. P. (2015). Diseño de vía del km 0.00 al km 2.240 de la vía localizada en el municipio de Cajamarca–Tolima Período 01, año 2015.

Comunicaciones AGA (2020), Recuperado de <https://www.anglogoldashantocolombia.com/minera-de-cobre-quebradona-informa-2/3556/>