JUAN HERRERA HERBERT

Introducción a la Minería. (Vol. IV) Las funciones de la ingeniería minera.

Madrid - 2017

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

**Escuela Técnica Superior
de Ingenieros de Minas y Energía**

www.minas.upm.es

ADVERTENCIA

El presente documento ha sido preparado con una finalidad exclusivamente divulgativa y docente. Las referencias a productos, marcas, fabricantes y estándares que pueden aparecer en el texto, se enmarcan en esa finalidad y no tienen ningún propósito comercial.

Todas las ideas que aquí se desarrollan tienen un carácter general y formativo y el ámbito de utilización se circunscribe exclusivamente a la formación de los estudiantes de la UPM. La respuesta ante un caso particular requerirá siempre de un análisis específico para poder dictaminar la idoneidad de la solución y los riesgos afrontados en cada caso, además de las incidencias en los costes de explotación. Consulte siempre a su ingeniería, consultor, distribuidor y fabricante de confianza en cada caso.

Foto de portada: <http://peopleforthefuture.com.au>

DOI: 10.20868/UPM.book.63399

Archivo Digital de UPM: <http://oa.upm.es/63399/>

Copyright © 2017. Todos los derechos reservados

Juan Herrera Herbert
juan.herrera@upm.es

Universidad Politécnica de Madrid (Technical University of Madrid)
E.T.S. de Ingenieros de Minas y Energía (H.T. School of Mines and Energy)
Laboratorio de Innovación en Tecnologías Mineras (Mining Technologies Innovation Lab)

Calle Rios Rosas 21
28003 Madrid (España)

Este documento ha sido formateado para su visualización y uso en dispositivos electrónicos y permitir ahorrar en el consumo de papel y tóner. Antes de imprimirlo, piense si es necesario hacerlo.

Contenido

1. INTRODUCCIÓN Y KEY CONCEPTS	1
1.1. INTRODUCCIÓN Y KEY CONCEPTS	1
2. IMPORTANCIA DE LAS ACTIVIDADES DE INGENIERÍA	3
2.1. LA INGENIERÍA EN EL ÁMBITO MINERO	3
2.2. IMPORTANCIA DE LA INGENIERÍA EN LA DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO ECONÓMICO DE LOS PROYECTOS	4
2.3. IMPORTANCIA DE LA INGENIERÍA EN EL DESARROLLO CORPORATIVO E INCREMENTO DE LAS VENTAJAS COMPETITIVAS.....	6
2.4. IMPORTANCIA DE LA INGENIERÍA EN LA OPTIMIZACIÓN TÉCNICA Y TECNOLÓGICA DE LAS INVERSIONES.....	10
2.5. IMPORTANCIA DE LA TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA Y DE LAS MEJORES PRÁCTICAS EN LA INDUSTRIA	11
2.6. IMPORTANCIA DE LA INGENIERÍA EN LAS PRESTACIONES DE LOS PROCESOS CLAVE	13
3. FACTORES QUE ABARCA LA INGENIERÍA DE UN PROYECTO MINERO	15
3.1. ASPECTOS CLAVE QUE ABARCA LA INGENIERÍA EN EL ÁMBITO MINERO.....	15
3.2. PROCEDIMIENTO GENERAL DE EVALUACIÓN DE UN PROYECTO MINERO	16
3.2.1.ETAPA DE DESCUBRIMIENTO	17
3.2.2.ETAPA DE ESTUDIO CONCEPTUAL (SCOPING STUDIES)	17
3.2.3.ETAPA DE ESTUDIO DE PREVIABILIDAD	17
3.2.4.ETAPA DE ESTUDIO DE VIABILIDAD	18
3.3. NECESIDADES DE INFORMACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DE UN PROYECTO	18
3.4. CAPÍTULOS ANALIZADOS EN LA INGENIERÍA DE UN PROYECTO	21
3.5. CONSIDERACIONES AL DISEÑO GEOMÉTRICO	22
3.6. CONSIDERACIONES A LA MECÁNICA DE ROCAS	23
3.7. CONSIDERACIONES CON RESPECTO A LOS DEPÓSITOS DE ESTÉRILES	24
3.8. CONSIDERACIONES RESPECTO AL DRENAJE Y DESAGÜE.....	25
3.9. CONSIDERACIONES RESPECTO A LA RESTAURACIÓN AMBIENTAL.....	26
3.10. CONSIDERACIONES RESPECTO A LA SELECCIÓN DE LA MAQUINARIA.....	28
3.11. CONSIDERACIONES RESPECTO A LA SELECCIÓN DEL PERSONAL	30
4. DEFINICIÓN DE UN PROYECTO MINERO.....	31
5. SERVICIOS TÍPICOS DE INGENIERÍA	35
5.1. SERVICIOS TÍPICOS DE INGENIERÍA	35
5.2. ESTUDIOS DE CONSULTORÍA Y VIABILIDAD	35
5.3. INGENIERÍA DE DETALLE Y SERVICIOS DE DISEÑO	36
5.4. SERVICIOS DE APOYO A LA CONSTRUCCIÓN	36
5.5. PROYECTOS MÁS FRECUENTEMENTE CONTRATADOS	37
5.5.1.DESARROLLO DE ACCESOS DE INTERIOR	37
5.5.2.SISTEMAS DE TRANSPORTE DE MATERIALES	39
5.5.3.SISTEMAS DE EXTRACCIÓN	40
5.5.4.INFRAESTRUCTURA DE MINA	41
5.5.5.INTEGRACIÓN DE MODELOS Y SIMULACIÓN	41
5.5.6.PRODUCTOS ESPECIALES DE INGENIERÍA	42
5.5.7.AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL	42
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

1. INTRODUCCIÓN Y KEY CONCEPTS

1.1. INTRODUCCIÓN Y KEY CONCEPTS

El objetivo fundamental de toda empresa, es conseguir maximizar el conjunto de las rentas obtenidas por los accionistas de esa empresa. En el caso particular de una empresa minera, se trata de conseguir ese objetivo operando de una forma responsable y sostenible, encontrando, explorando y procesando minerales.

Para ello, la empresa debe conseguir ventajas competitivas basadas en su experiencia, conocimiento y tecnología y dotarse de un fuerte potencial en aspectos muy diversos que abarcan áreas como las tecnologías

de la información, servicios tecnológicos, investigación y desarrollo tecnológico, gestión de proyectos, seguridad y protección, salud laboral, regeneración y remediación de espacios afectados, protección medioambiental, evaluación técnica y económica, etc.

La ingeniería es la clave más importante para todo este desarrollo.

2. IMPORTANCIA DE LAS ACTIVIDADES DE INGENIERÍA

2.1. LA INGENIERÍA EN EL ÁMBITO MINERO

Desde el punto de vista del Laboreo de Minas, la Ingeniería se define como el conjunto de conceptos científicos y técnicos, así como todos los estudios de alternativas, cálculos y planos, etc., necesarios para determinar y definir el diseño, la maquinaria y el personal necesarios para realizar un proyecto, así como llevar a cabo los estudios económicos correspondientes.

Los conceptos de Minería e Ingeniería Minera son similares pero en ningún caso son términos sinónimos:

- La Minería, como se ha visto anteriormente, consiste en la agrupación de los procesos, el trabajo, la ocupación y la industria relacionados con la extracción de minerales y su procesamiento.
- La Ingeniería Minera es el arte, la ciencia y la técnica aplicada a los procesos y a la operación de la Mina.
- El Ingeniero de Minas es el profesional formado y entrenado para relacionar esos dos conceptos. Es responsable de ayudar a la localización (prospección y exploración) y demostración de la existencia de reservas, del diseño y puesta en marcha (desarrollo) de la mina, de la explotación y la gestión de la mina, la gestión y desarrollo de todos los procesos, la asistencia a la comercialización de productos y, finalmente, del correcto cierre, abandono y reintegración al medio.

Por tanto, las etapas de la Ingeniería en un proyecto minero generalmente abarcarán desde las etapas de prospección y exploración y se continuará posteriormente con las de diseño y construcción de la mina y sus

instalaciones y las inmediatamente posteriores de proceso mineralúrgico, fabricación de productos comerciales (concentrados), diseño de la estructura de comercialización y, finalmente la restauración y cierre de la operación minera.

No obstante, por centrar el capítulo en lo referente al Laboreo de Minas, nos referiremos en la segunda parte exclusivamente a aquellas etapas de la Ingeniería Minera que corresponden a la propia explotación de la mina y que incluye las fases de evaluación y análisis minero de las reservas, el desarrollo de la apertura de la mina y las operaciones de producción.

2.2. IMPORTANCIA DE LA INGENIERÍA EN LA DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO ECONÓMICO DE LOS PROYECTOS

La decisión de abordar un proyecto minero no puede tomarse sin un profundo estudio ya que, en términos económicos, requiere la dedicación de unos bienes económicos y unos recursos que podrían usarse para otro uso alternativo también beneficioso para el inversor. Estos bienes económicos y recursos que se mencionan responden, fundamentalmente, a dos conceptos:

- **Inversión** que es necesario acometer, por las actividades que se han de realizar previamente a la entrada en un régimen normal de explotación, o cuando se modifiquen sustancialmente las condiciones de una instalación ya existente para dedicarla a otras actividades, mejorar el rendimiento, prolongar su vida útil, etc.
- **Costes de operación y mantenimiento** durante la vida útil de la instalación y motivados por la propia actividad para la que han sido diseñados o para conservar su capacidad productiva.

La medida del esfuerzo y sacrificio para llevar a cabo un proyecto permite determinar el coste, en unidades monetarias, de los recursos que deben dedicarse y es esta íntima unión entre factores económicos y técnicos la que debe abordar la Ingeniería.

La gran mayoría de las inversiones que se realicen producirán unos rendimientos aceptables e incluso excelentes, pero otras muchas significarán un fracaso que incluso podría arrastrar a la empresa que en su momento las acometió a la desaparición.

Resulta obvio que, por su cuantía y trascendencia, el proceso inversor es tratado por los responsables de las decisiones empresariales con el mayor rigor y seriedad y el pleno apoyo de la Ingeniería, huyendo de aquellas situaciones o decisiones que respondan a meras intuiciones sin la menor oportunidad de contrastarlas, en otras simples extrapolaciones de pasadas experiencia o de aquellas que aparenten estar avaladas por “estudios de factibilidad” pero que en realidad responden a planteamientos voluntaristas que buscan su justificación por medio de unos cálculos económicos adaptados al caso.

La Ingeniería debe aportar toda la información posible para que la posterior decisión de inversión sea realizada con la imparcialidad, frialdad y el rigor científico que en cada caso se deba exigir.

La decisión de abordar un proyecto requiere:

- ❖ Un profundo estudio
- ❖ La dedicación de bienes económicos y unos recursos que podrían usarse para un uso alternativo:
 - La Inversión
 - Los costes de operación y mantenimiento.

Por su cuantía y trascendencia, el proceso inversor requiere:

- ❖ Máximo rigor y seriedad
- ❖ El pleno apoyo de la Ingeniería
- ❖ Huir de aquellas decisiones que respondan a:
 - Meras intuiciones sin contrastar
 - Simples extrapolaciones de pasadas experiencias
 - Planteamientos voluntaristas mal justificados por cálculos económicos adaptados al caso.

2.3. IMPORTANCIA DE LA INGENIERÍA EN EL DESARROLLO CORPORATIVO E INCREMENTO DE LAS VENTAJAS COMPETITIVAS.

La ingeniería contribuye a la creación de valor para los accionistas de la siguiente forma:

- Entrando de lleno en las unidades operativas para asegurar la optimización técnica y tecnológica de los procesos
- Estableciendo y transfiriendo las mejores prácticas.
- Desarrollando estrategias para alcanzar avances y mejoras en el funcionamiento y rendimiento
- Asegurando la innovación tecnológica que aporte una fuente de ventajas competitivas a largo plazo.

Fuente: Knowledge Systems

La asistencia técnica y tecnológica que presta la ingeniería suele enmarcarse en los siguientes grupos de actuación:

- Servicios de Ingeniería y Asistencia Técnica
- Innovación tecnológica.
- Seguridad, salud y protección medioambiental
- Gestión de proyectos
- Proyectos de utilización de activos
- Evaluación técnica

**MORE KNOWLEDGE.
FEWER SURPRISES.**

Avoiding pore pressure problems means improving your pre-drill pore pressure plan – well-to-well and foot-by-foot. Basin-scale modeling with *Drillworks' Presage* software refines your planning and lets you make real-time pressure predictions a thousand feet ahead of the bit. Knowledge Systems helps you drill deeper, faster and safer with fewer surprises. Find out more at www.knowsys.com.

Knowledge Systems
www.knowsys.com
 Select 151 at www.WorldOil.com/RS.html
 One Sugar Creek Center Blvd., Suite 1100
 Sugar Land, Texas 77478 281-243-4300
©2008 Knowledge Systems, Inc.

Fuente: Knowledge Systems

La Ingeniería debe trabajar estrechamente con los responsables del proyecto para asegurar:

1. La optimización técnica de las oportunidades de inversión.
2. El establecimiento y transferencia de tecnología, procedimientos y prácticas el liderazgo industrial en ámbitos tan variados como seguridad, salud laboral, protección medioambiental productividad, calidad y eficiencia y contención de costes.
3. El desarrollo y la implementación de estrategias que conduzcan y soporten procesos de mejora y evolución en áreas clave para el desarrollo del proyecto y el desarrollo empresarial, así como en la utilización de activos.

En el actual contexto de creciente globalización de las actividades productivas, es evidente que, dentro de un grupo multinacional, las unidades de negocio locales son las mejor situadas para gestionar y dirigir sus operaciones, si bien es cierto que a través del apoyo tecnológico existen innumerables oportunidades de beneficio derivadas de esa expansión global y regional.

**MORE KNOWLEDGE.
FEWER SURPRISES.**

Using what you know about pore pressure, logs and seismic data is half the battle. Finding the right data is the other half. Storing and managing pore pressure and geomechanical information with the *Pressure*™ relational database improves access, quality assurance and security. Find out more at wo.fewersurprises.com.

Knowledge Systems
www.fewersurprises.com
 Select 551 at www.WorldOil.com/RS.html
 One Sugar Creek Center Blvd., Suite 1100
 Sugar Land, Texas 77478 281-243-4300

**MORE KNOWLEDGE.
FEWER SURPRISES.**

Fuente: Knowledge Systems

Dentro de un grupo empresarial productivo global, la Ingeniería, como proveedor interno de servicios tecnológicos, puede contribuir más eficientemente y económicamente (es decir de una forma mucho más costo-efectiva) a las necesidades de crecimiento y desarrollo. Pero esto solamente es posible un grupo de personas y medios con capacidad para responder de forma rápida, de priorizar las cargas de trabajo, de realizar seguimientos y controles posteriores, de transferir el conocimiento en forma de buenas prácticas y, en definitiva, de mostrar solvencia y capacidad para el asesoramiento independiente y objetivo sobre la aplicación tecnológica y el uso.

En la actualidad, el desarrollo del trabajo de la Ingeniería debe necesariamente enlazar con los correspondientes análisis económicos y financieros, apoyarse en las tecnologías de la información y estar apoyado en la necesaria infraestructura y conocimiento de los procedimientos de negocio. De esta forma, permitiendo una íntima colaboración entre todas las fuentes de conocimiento, se contribuye a incrementar el valor y el tamaño del grupo.

2.4. IMPORTANCIA DE LA INGENIERÍA EN LA OPTIMIZACIÓN TÉCNICA Y TECNOLÓGICA DE LAS INVERSIONES

La optimización de las inversiones es el factor más importante para garantizar su éxito en una industria de capital tan intensivo como es la minería. Aparte de involucrarse en la expansión de un proyecto existente, de desarrollar los descubrimientos de los proyectos de exploración o en las nuevas adquisiciones, la Ingeniería debe involucrarse en todas las etapas del proceso de inversión.

Los equipos humanos de los servicios técnicos y de ingeniería, de gestión de proyecto y de evaluación técnica entre otros, deben aportar y aunar la necesaria experiencia para trabajar con los equipos de producción en la evaluación y revisión de las propuestas de inversión de cualquier índole.

Además, deben desarrollar las necesarias funciones de asesoramiento mediante la aportación de un criterio técnico, independiente y objetivo de cualquier propuesta sometida a su consideración.

El término de “Asistencia Técnica” cubre, en consecuencia, toda clase de aspectos que abarcan desde temas medioambientales hasta aspectos sociales, pasando por todo tipo de asuntos de seguridad y salud, de gestión y evaluación de recursos geológicos, de diseño de explotaciones y unidades operativas, infraestructura de proceso, etc.

La ingeniería encargada de asegurar y desarrollar la gestión de proyecto (“project management”), además de apoyar a la Propiedad en la ejecución y puesta en marcha de los proyectos de gran envergadura, tanto por su volumen de inversión como por el tiempo que puedan requerir, debe aportar un conocimiento del estado del arte tecnológico mediante un seguimiento y análisis del desarrollo de otros proyectos que se estén llevando a cabo actualmente en la industria. Con ello, se consigue aportar prácticas y operativas suficientemente actualizadas al momento de desarrollar la fase de implementación. Además, la responsabilidad de este tipo de ingeniería debe extenderse a la realización de auditorías post-término del proyecto y permitir un feed-back de datos e informaciones que redunden en las mejoras correspondientes.

La denominada evaluación técnica es una función ingenieril independiente y es la que tiene la responsabilidad de aportar el necesario asesoramiento técnico a los proyectos de inversión. Debe abarcar el estudio más allá de la etapa del estudio de viabilidad así como abordar las recomendaciones que se estimen oportunas a la hora de ejecutar la inversión. Debe formar también parte de la investigación necesaria para la “due diligence” en los procesos de compra.

Por tanto, los servicios de ingeniería deben ser los responsables de aportar todo el soporte técnico y la asistencia de proyecto necesaria. A través de las funciones de consultoría, debe asesorar sobre cualquier aspecto relacionado con:

- Modelización de recursos mineros
- Geoestadística
- Diseño de mina y optimización de explotación
- Evaluación del proceso metalúrgico
- Supervisión de pruebas y ensayos
- Selección de equipos
- Evaluaciones de infraestructura
- Auditorías ambientales

La ingeniería debe abarcar desde la etapa conceptual y de previabilidad y avanzar a través de las etapas de planificación detallada de proyecto, compras y aprovisionamiento (“project commissioning”), puesta en marcha y, a través del desarrollo de la etapa operacional, llegar hasta la fase de cierre de mina.

2.5. IMPORTANCIA DE LA TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA Y DE LAS MEJORES PRÁCTICAS EN LA INDUSTRIA

La aplicación de las mejores prácticas significa operar en el entorno de los estándares más altos posibles para asegurar la calidad operacional y eficiencia económica, que serán los objetivos a alcanzar en el funcionamiento y operación.

A través de la asistencia técnica a múltiples proyectos, la ingeniería debe ser capaz de compartir experiencias anteriores en beneficio de los nuevos proyectos y aprender de estos con el fin de implementar los cambios oportunos.

La atención a la planificación minera, incluyendo la optimización de la definición de actividades a largo y a corto plazo, el “product blending” o mezclas de producto por medio de herramientas de análisis, simulación y desarrollo, permiten alcanzar sustanciales mejoras en otras áreas afines como puertos, transporte, definición del esquema de plantilla o la planificación del mantenimiento.

En particular, una de las áreas donde es habitual el pretender alcanzar los más altos estándares de protección y funcionamiento, es la de la seguridad de los trabajadores, su salud y la protección medioambiental, que se engloban bajo las siglas anglosajonas de Health, Safety and Environment (HSE).

El control y la mejora en estas áreas, no solo por su clara incidencia en los informes anuales de las sociedades, es fundamental. Aparte de los diferentes requerimientos legales a cumplir en virtud de las diferentes normativas, la adopción de los estándares de protección y operación más altos, refleja siempre una imagen de solvencia, de liderazgo y de responsabilidad de la empresa.

Estos estándares de funcionamiento se promueven a través del desarrollo de guías metodológicas y de estrategias para las operaciones en curso y para nuevos proyectos, así como en la revisión de políticas existentes y de evaluaciones de funcionamiento actual.

Otra de las áreas donde las mejoras han sido y siguen siendo continuadas, es en las prácticas y operaciones de mantenimiento, donde cualquier avance repercute de forma inmediata en una reducción del coste y en un incremento en los ahorros conseguidos. En este campo, la ingeniería puede influir de una forma muy significativa incidiendo en una reducción de los ciclos de mantenimiento, en la reestructuración organizativa y en el aseguramiento de la calidad, que se traducen inmediatamente, en una mayor operatividad y rendimiento de la producción, ya que los objetivos del mantenimiento deben ser compatibles con los objetivos del negocio de optimizar la productividad de los activos en lo posible.

Es necesario señalar finalmente que las mejoras en la utilización de los elementos productivos crearán un valor adicional en la compañía por medio de la obtención de mayores prestaciones a partir de los actuales (y los nuevos) activos para un mismo estándar de seguridad y una misma producción de planta requeridos por los planes de negocio.

2.6. IMPORTANCIA DE LA INGENIERÍA EN LAS PRESTACIONES DE LOS PROCESOS CLAVE

Es importante señalar que **nuevos proyectos suponen siempre la aparición de nuevos problemas y que estos demandan nuevas soluciones.**

Además de asegurar la transferencia tecnológica y de buenas prácticas, la Ingeniería debe enfocarse también a la investigación, la selección de tecnologías, su desarrollo y su aplicación en aquellas áreas que sean consideradas como clave en el negocio o generadoras de mayores beneficios.

Fuente: Emerson

A modo de ejemplo, baste ver cómo actualmente las ciencias medioambientales avanzan a pasos agigantados en el desarrollo e implementación práctica de tecnologías que minimizan e incluso mitigan la generación de impactos medioambientales adversos o bien minimizan la exposición a los mismos a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto, con lo que se incrementan los niveles de seguridad. Son ejemplos habituales los avances habidos en desaguado de lodos de proceso, o los avances habidos en las respuestas a problemas como el drenaje ácido de roca. Tampoco pueden olvidarse los avances conseguidos en el desarrollo de técnicas de restauración pasiva o “in-situ”, etc.

La consideración de la eficiencia y efectividad económica conjuntamente con la viabilidad técnica, llevan al desarrollo de nuevos diagramas de proceso para la extracción mineralúrgica y metalúrgica. Estos forma, a su vez, la base para la evaluación técnica y económica para nuevos proyectos, o bien a la optimización de procesos en el caso de operaciones existentes.

El desarrollo y operación de procesos a escala de planta piloto para nuevos proyectos no solamente demuestra la viabilidad de un diagrama de proceso propuesto, sino que también proporciona muestras de

productos y residuos que pueden ser sometidos a nuevos ensayos de proceso o estudio de procedimientos de gestión. Por su parte, la ingeniería de instrumentación y control es la responsable de los avances habidos en procesos de automatización de minas y procesos, así como de la implantación de operaciones a control remoto, telegestión, etc.

Por último, no puede concluirse este apartado sin indicar que la colaboración con otras instituciones y organizaciones es fundamental en la investigación operativa.

Fuente: Seadrill

3. FACTORES QUE ABARCA LA INGENIERÍA DE UN PROYECTO MINERO

3.1. ASPECTOS CLAVE QUE ABARCA LA INGENIERÍA EN EL ÁMBITO MINERO

Los estudios de viabilidad, diseño y planificación de las explotaciones mineras tienen, necesariamente, un carácter interactivo debido a las relaciones que existen entre los distintos parámetros: geológicos, técnicos y económicos. Hay un notable orden jerárquico en los problemas, de acuerdo con el estado o nivel de desarrollo, así como las relaciones estrechas entre los mismos.

Los factores que diferencian básicamente un negocio minero de cualquier otra actividad industrial son:

- La no renovabilidad de los recursos que albergan los yacimientos.
- La heterogeneidad de las leyes en su distribución espacial dentro de estos.
- Las fuertes inversiones de capital inicial que se requieren y los largos periodos de retorno.
- La incertidumbre de los parámetros geológicos y técnicos.
- Las fluctuaciones de los precios a lo largo del período operativo de las minas.
- La dispersión geográfica.
- La demanda del producto.

La respuesta a todos los interrogantes la proporciona la Ingeniería a través de:

- La sostenibilidad medioambiental de la actividad.
- La tecnología minera utilizada.
- El ritmo de producción.
- La Ley de Corte.
- La unidad mínima de producción.
- La producción limpia.

En definitiva, la ingeniería responde a los desafíos que permanentemente se presentan, aportando **innovación y rigor técnico**.

Dos son los parámetros que tienen una gran influencia sobre la rentabilidad económica de un proyecto minero, **el ritmo de producción y la ley de corte**, cuyos valores teóricos pueden ser calculados en la etapa de viabilidad con diversos modelos de optimización a partir de datos como son la inversión total de capital, los costes de explotación, los beneficios unitarios, etc.

En la determinación del tamaño del proyecto juega también un papel muy importante la demanda del producto prevista en el Estudio de Mercado. Esta demanda puede tener su origen en una demanda insatisfecha (precios altos o intervenidos) o en una demanda por sustitución (innovación técnica o sustitución de importaciones). Otro condicionante del tamaño del proyecto, es lo que se conoce como unidad mínima de producción rentable, a su vez íntimamente ligada a la tecnología minera utilizada.

Esta interpretación debe ser moderada por las limitaciones geológicas del depósito. Unas reservas explotables limitadas restringirán la cantidad de capital a invertir y, por lo tanto, el tamaño de la operación. Otros factores como son los de tipo financiero, político o fiscal, son también importantes.

La respuesta a todos los interrogantes que se plantean a la hora de abordar un proyecto minero solo puede obtenerse desde el campo de la Ingeniería.

3.2. PROCEDIMIENTO GENERAL DE EVALUACIÓN DE UN PROYECTO MINERO

El procedimiento general de evaluación de un proyecto minero viene a ajustarse a un conjunto de etapas sucesivas donde aquellos casos en los que sucesivamente van pasando de una etapa a la siguiente se caracterizan por un grado de desarrollo y un grado de conocimiento cada vez mayor que permite, al mismo tiempo, reducir cada vez más significativamente el riesgo que cada proyecto puede tener:

Procedimiento general de evaluación de un proyecto minero
(Fuente: Juan Herrera Herbert "Ingeniería y fases de un proyecto minero" (2016).

3.2.1. ETAPA DE DESCUBRIMIENTO

Es una fase en la que los resultados de la prospección y exploración llevadas a cabo en el emplazamiento (incluyendo las campañas de sondeos) deben soportar la evidencia de un depósito mineral potencialmente económico. Consecuentemente, debe constituirse en el punto de partida para las evaluaciones preliminares. A la conclusión de ésta etapa debe poder haber una propuesta solvente para desarrollar un Estudio Conceptual, definiendo y nombrando para ello un equipo de proyecto que será el encargado de realizar dicho estudio.

3.2.2. ETAPA DE ESTUDIO CONCEPTUAL (SCOPING STUDIES)

Los trabajos desarrollados permiten empezar a definir el potencial del depósito:

- Tamaño: leyes y tonelajes.
- Explotabilidad minera (Mineability).
- Posibilidades de proceso mineralúrgico (Processability).
- Infraestructura necesaria
- Potenciales riesgos existentes

Las estimaciones realizadas son preliminares ya que todavía se asumen muchos aspectos. Sin embargo, son la base para la toma de decisiones acerca de tres ámbitos muy definidos:

- Gastos adicionales, financiación de la exploración, etc.
- Necesidades de información adicional.
- Propuesta para la continuación / abandono / venta

En lo referente a la precisión del estudio en ésta etapa cabe señalar que el margen de error máximo será de un 30 - 35 %

3.2.3. ETAPA DE ESTUDIO DE PREVIABILIDAD

Es la etapa destinada a dar un indicio de la viabilidad del proyecto en conjunto. Por tanto, debe desarrollar todas las actividades que permitan que el estudio sea la base para la toma de decisiones sobre:

- Gastos e inversiones adicionales (p.e. un programa de exploración más ambicioso, etc.).
- Necesidades de informaciones adicionales (Accesos subterráneos / planta piloto etc.).
- Propuesta para continuar en etapa de Estudio de Viabilidad.

Es condición necesaria que sea actual, realista y detallado en la medida de lo posible. Puede ser suficiente para indicar la viabilidad, pero difícilmente será suficientemente adecuado para los diseños y presupuestos finales del proyecto, para lo cual se requerirá todavía avanzar más.

En lo referente a la precisión del estudio en ésta etapa cabe señalar que el margen de error máximo será de un 20 - 25 %

3.2.4. ETAPA DE ESTUDIO DE VIABILIDAD

Es la etapa en la que los estudios y trabajos realizados han avanzado lo suficiente como para justificar la construcción y cuantificar de manera fiable las necesidades de financiación. Por tanto, el Estudio de Viabilidad debe ser detallado y completo ya que es la base para la toma de decisiones en:

- Proceder a la Aprobación del proyecto.
- Continuación del trabajo en etapa de Ingeniería de Detalle.
- Definir los trabajos de desarrollo y construcción.

En lo referente a la precisión del estudio en ésta etapa cabe señalar que el margen de error máximo será de un 10 - 20 %.

Es fundamental destacar que en ésta etapa es cuando se desarrolla el ESTUDIO DE VIABILIDAD BANCABLE (BANKABLE FEASIBILITY STUDY), que consiste en una ampliación del Estudio de Viabilidad, habitualmente preparado para las entidades de financiación e inversores.

3.3. NECESIDADES DE INFORMACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DE UN PROYECTO

- Información general del proyecto
 - Localización
 - Aspectos políticos y sociales
 - Propiedad de la tierra
 - Aspectos legales
 - Etc.
- Características ambientales y sociales
 - Desarrollo económico y social
 - Proximidad a espacios protegidos
 - Especies naturales
 - Características propias
- Condiciones del emplazamiento e infraestructura general:
 - Clima, geografía, sismología, condiciones hidrológicas, etc.
 - Accesos, facilidades para el transporte, etc.
 - Suministros de energía, agua, materiales y equipos.
- Geología
 - Descripción geológica, mineralización, muestreos, etc.
 - Estimación de los recursos, potencial a futuro y riesgos.
- Minería
 - Planificación minera, método, servicios mina, etc.
 - Reservas de mineral explotables
- Procesamiento
 - Mineralogía, muestras
 - Cadena / Línea de proceso
 - Especificaciones de productos comercializables.
- Salud ocupacional y servicios.

- Recursos de personal
 - Local / Personal expatriado
 - Relaciones laborales generales y condiciones
- Políticas gubernamentales y leyes
 - Gobierno local
 - Normativas
 - Situación política
 - Estabilidad,
 - Etc.
- Medio Ambiente
 - Aspectos ambientales de la operación minera y del beneficio mineralúrgico
 - Impactos de los residuos al agua, atmósfera y suelo.
 - Normativas
- Comercialización:
 - Tamaño del mercado, estructura, demanda, tendencias (para los distintos productos), etc.
 - Factores políticos y gubernamentales.
- Evaluación financiera:
 - Costes de capital y de operación, datos de producción, tasas e impuestos, royalties, patentes, etc.
 - Información sobre mercados y retornos de la inversión, márgenes y beneficios.
 - Financiación, alternativas, posibilidades reales.
 - Análisis de riesgos.
 - Criterios de Evaluación.
- Plan de implementación del proyecto
 - Ingeniería de detalle, otras actividades preliminares
 - Plan y proyectos de construcción, gestión de construcción, instalaciones provisionales y auxiliares de construcción.
 - Gestión de compras, relaciones industriales.
 - Contratos
- Planificación del proyecto

Mina “Grasberg” en Irian Jaya (Indonesia).
Representación de modelos digitales de ingeniería con localización de yacimientos e infraestructura.
 (Fuente: Freeport Mc Moran, plc.)

3.4. CAPÍTULOS ANALIZADOS EN LA INGENIERÍA DE UN PROYECTO

3.5. CONSIDERACIONES AL DISEÑO GEOMÉTRICO

Para el diseño del hueco, la forma de proceder es:

- a. Simular el hueco o huecos finales mediante unos modelos troncocónicos invertidos que permiten comparar las alternativas, eligiendo aquella que mejor cumple los objetivos perseguidos (cono flotante o Algoritmos de Lochman).
- b. Elegida la mejor alternativa, proceder a incorporarle las rampas y los bancos, accesos e infraestructura para hacerla operativa.
- c. Optimizar la solución elegida para mejorarla y obtener alguno de los objetivos siguientes:
 - Máximo beneficio actualizado
 - Máximo tonelaje con menor ratio
 - Máxima vida de explotación
 - Mínima inversión y muy rápida recuperación de la inversión

La manera habitual de llevarlo a cabo es a través de los siguientes índices: obtener el mejor TIR, PVR o PAY BACK de la alternativa o solución final jugando con algunos de los siguientes parámetros:

Parámetros no discrecionales

- Ley del mineral o producto.
- Precio y mercado.
- Costes del personal, de la maquinaria y el dinero.
- Rentabilidad mínima exigida por los inversores.

Parámetros discrecionales

- Método y Sistema.
- Tamaño y Ritmo
- Secuencia de la explotación
- Periodo de construcción
- Propiedad y financiación

3.6. CONSIDERACIONES A LA MECÁNICA DE ROCAS

Además de mejorar el conocimiento de los materiales a minar, su principal objetivo minero es conseguir la mejor estabilidad dinámica de las estructuras de Muro, Techo, Laterales y Vertederos, mediante los estudios y cálculos aplicados y el posterior control y seguimiento “in situ” para introducir las oportunas correcciones.

Asimismo, la Mecánica de Rocas debe ayudar en el conocimiento de las características de las rocas para seleccionar adecuadamente la maquinaria y los principales útiles de desgaste y de consumo.

3.7. CONSIDERACIONES CON RESPECTO A LOS DEPÓSITOS DE ESTÉRILES

El criterio principal para diseñar los vertederos es que *“el mejor vertedero es el que no existe y, después, el propio hueco de la explotación, que debe ser aprovechado para tal fin”*. Además, la moderna ingeniería debe tender, en cualquier caso, a reducir los residuos.

A estos planteamientos se unen los condicionantes derivados de la sostenibilidad de los proyectos, que exige reconocer la posibilidad de aprovechamiento de muchas de las sustancias almacenadas en las escombreras y que pueden permitir un aprovechamiento secundario. Son muchos los casos en los que una correcta gestión de los residuos mineros ha permitido generar fácilmente una actividad económica secundaria altamente interesante.

Los tipos de vertederos considerados usualmente son:

- Interior
- Exterior
- Mixto (el más frecuente)
- Presas de residuos

Los criterios para elegir el emplazamiento del vertedero son:

Geotécnicos	Estabilidad y Seguridad
Económicos	Distancia y precio de los terrenos
Ecológicos	Integración en el medio ambiente
Topográficos	Volumen y vida
Mineros	Sin futuras mineralizaciones

3.8. CONSIDERACIONES RESPECTO AL DRENAJE Y DESAGÜE

Los objetivos principales de la infraestructura de drenaje y desagüe son:

- Proteger los recursos hídricos que rodean a la explotación minera.
- Trabajar en seco, para lo cual se debe tener el agua por debajo de la cota de explotación.
- Desviar los caudales públicos, sin contaminarlos.
- Utilizar eficientemente el agua de la mina.

Para los grandes proyectos mineros a cielo abierto, el proceso o política lógica que debe seguirse es la siguiente:

1. **Estudio hidrológico**, para determinar la cantidad, calidad y situación del agua, así como la realización de perfiles piezométricos.
2. **Estudio geomecánico**, de los efectos del agua sobre la altura y taludes críticos, midiendo la influencia del agua en la estabilidad del hueco a crear.
3. **Aprovechamiento del agua**, mediante el diseño y cálculo de represas, espesadores, canales, tratamiento de las aguas residuales, etc.
4. **Recuperación y uso del agua** en la mina y las plantas de tratamiento, explotando la posibilidad del reciclaje y de la recuperación de los subproductos que pueda llevar el agua.
5. **Desagüe exterior**, a partir del diseño del canal de guarda perimetral y del control de los vertidos inevitables.
6. **Drenaje subalveo**, mediante la programación de los sondeos, pozos y galerías para drenar el hueco programado
7. **Desagüe interior**, estableciendo las conducciones, regatas y decantadores para, desde ellos, bombear al exterior. Determinación de las bombas y tuberías, establecimiento de su número y de la calidad de los materiales a emplear en el desagüe.

(Fuente: <http://outletminero.org>)

3.9. CONSIDERACIONES RESPECTO A LA RESTAURACIÓN AMBIENTAL

El criterio principal a considerar cuando se afronta la restauración medioambiental es el de ***“dejar el espacio afectado mejor que estaba, dado que nunca será posible dejarlo igual que estaba pues falta el mineral”***

Existe un segundo criterio en virtud del cual la restauración medioambiental ***“puede ser un negocio más que un reto tecnológico”***.

Los objetivos básicos de la restauración son:

1. Crear una geometría de huecos y escombreras que sean estables estructuralmente, para lo cual se prestará especial atención a:
 - Diseños geotécnicos
 - Formas de vertido y construcción (arriba – abajo o bien abajo – arriba)
2. Integración en el paisaje del entorno mediante el correcto diseño de formas geométricas adaptadas al terreno:
 - Relleno de huecos total o parcialmente.
 - Descabezamiento o suavizado de taludes.
 - Implantación de la vegetación.
3. Uso y aprovechamiento de los terrenos recuperados:
 - Usos agrícolas y forestales
 - Usos recreativos y educativos

- Usos industriales y urbanísticos
- Reconstrucción de medios naturales
- Vertederos controlados de estériles y residuos urbanos
- Depósitos de agua
- Etc.

4. Viabilidad económica de la recuperación de los terrenos afectados. Estudio de la rentabilidad de la solución.

3.10. CONSIDERACIONES RESPECTO A LA SELECCIÓN DE LA MAQUINARIA

La principal regla para el diseño en la moderna ingeniería minera será;

La maquinaria definirá el sistema y la geometría del diseño de la explotación.

Todo proceso de selección de maquinaria analiza un conjunto de criterios denominados básicos o generales, así como otro grupo definido como criterios específicos.

A. CRITERIOS BÁSICOS

- Condiciones del entorno en las que se van a desarrollar las operaciones, como son altitud, temperatura, precipitaciones, vientos, tipo de terreno, accesibilidad, infraestructura eléctrica, disponibilidad de mano de obra, talleres o bases de los distribuidores de la maquinaria, proximidad a áreas habitadas, limitaciones ambientales, etc.
- Características del depósito mineral:

- Estériles interiores a la mineralización y de recubrimiento (potencias, naturaleza y grado de consolidación, propiedades geomecánicas, estabilidad de los taludes, ángulo de reposo de los estériles sueltos, etc.).
- Mineralización (tipo y forma, espesores, inclinación, propiedades geomecánicas, alterabilidad).
- Hidrología e hidrogeología
- Otras propiedades de los materiales (densidades, factores de esponjamiento, abrasividad, pegajosidad).
- Parámetros de la explotación que definen la geometría de las misma y la organización que se aplicará para llevar a cabo los trabajos (límites de propiedad, dimensiones dela excavación, alturas de banco, anchuras de pista, bermas, organización del trabajo, ritmos de producción, selectividad minera, vida del proyecto, disponibilidad de capital, etc).

B. CRITERIOS ESPECÍFICOS

- Criterios de rendimiento (capacidad de producción, fuerzas de excavación o arranque, tiempos de ciclo, alturas, velocidades, etc.).
- Criterios de diseño (potencia total, vida en servicio, robustez, configuración, facilidad de mantenimiento y reparaciones, niveles de ruido, fuentes de energía, etc).
- Criterios de servicio (maquinaria auxiliar requerida, frecuencia de servicio, repuestos necesarios, herramientas requeridas, adiestramiento del personal, etc.).
- Criterios económicos (costes de propiedad, operación, amortizaciones, etc).

3.11. CONSIDERACIONES RESPECTO A LA SELECCIÓN DEL PERSONAL

La importancia de la correcta selección del personal radica en que toda actividad humana organizada plantea dos requisitos que son, a la vez, fundamentales y opuestos: la división del trabajo en las distintas tareas que deben desempeñarse y la coordinación de las mismas.

La estructura de la organización es, consecuentemente, el conjunto de todas las formas en que se divide el trabajo en tareas distintas, consiguiendo luego la efectiva coordinación de las mismas.

En una explotación minera, esta estructura debe ser aquella que permita alcanzar los objetivos de producción con un coste aceptable y manteniendo siempre un alto grado de profesionalidad y seguridad, asegurando siempre el correcto funcionamiento de todos los departamentos.

No se trata, por tanto, de definir estructuras copiadas de otras, sino de conseguir que la estructura funcione de forma armónica y al ritmo que se ha fijado, donde cada miembro conoce perfectamente su papel y lo desempeña en el momento en que debe hacerlo, evitándose así distorsiones que se reflejen en el normal funcionamiento diario.

4. DEFINICIÓN DE UN PROYECTO MINERO

Admitida la posibilidad de que un indicio minero pudiera llegar a ser explotable, deberán ser aplicadas las siguientes secuencias o fases de trabajo y en el orden señalado para lograr una correcta puesta en explotación del criadero, transformando, paso a paso, el yacimiento en mina, pues tan sólo merecerá este nombre aquella operación, que estando proyectada, produzca el objetivo de explotar el máximo de las reservas con el mejor beneficio en cada momento. Las fases de ejecución del proyecto minero deberán ser:

I.- Planificación

- 1.2.- Exploración y geología del depósito. Establecer el Modelo geológico del yacimiento
- 1.3.- Evaluación de las reservas. Definición de mineral y de los tipos de rocas.
- 1.3.- Estudio geomecánico de rocas, estabilidad de los taludes y de los pilares.
- 1.4.- Relaciones de escombros a mineral. Preparaciones
- 1.5.- Vida y ritmo de la explotación. Etapas
- 1.6.- Camino o secuencias de la explotación
- 1.7.- Medida del impacto ambiental
- 1.8.- Infraestructura general. Energía, agua, comunicaciones e implantación

II.- Diseño del método de explotación

- 2.1.- Definición de los métodos posibles. Selección previa.
- 2.2.- Ingeniería de sistemas. Infraestructura minera.
- 2.3.- Diseño previo de la geometría de bancos, niveles, cámaras, accesos, pozos, rampas, caminos y vertederos.
- 2.4.- Optimización de la explotación
- 2.5.- Plan de restauración ambiental. Limitaciones

III.- Operación minera

- 3.1.- Preparaciones, desmonte previo o infraestructura.
- 3.2.- Arranque:
 - Mecánico o directo.
 - Perforación, voladura y explosivos.
- 3.3.- Carga y transporte:
 - Maquinaria de carga
 - Sistemas de transporte, interior y exterior
- 3.4.- Servicios para la mina.

Desagüe,
Ventilación,
Mantenimiento de la mina y maquinaria, Entibación,
Iluminación,
Etc.

IV.- Servicios generales

- 4.1.- Plantas y talleres auxiliares
- 4.2.- Mantenimiento de la maquinaria
- 4.3.- Control del proceso. Topografía e Informática.

V.- Estudio económico

- 5.1.- Estudio de mercado y precios de venta del mineral en bocamina
- 5.2.- Inversiones de capital
 - Conceptos de capital: terrenos, proyecto, maquinaria, instalaciones, plantas, infraestructura, preparaciones e investigación complementaria.
- 5.3.- Costes de la operación
 - Costes de procesos: preparaciones, arranque, carga y transporte, servicios mina y generales.
 - Costes de conceptos: personal obrero y técnico, energía, consumos y repuestos de mantenimiento
 - Costes de capital: amortizaciones, financieros y seguros
- 5.4.- Estudios de viabilidad, de rentabilidad y sensibilidad del proyecto con determinación de los índices de rentabilidad, recuperación del capital y competitividad de los costos con los precios de venta.

VI.- Planos

- 6.1.- Planos geológicos
- 6.2.- Planos mineros de implantación y labores
 - a corto plazo y pequeña escala
 - a medio plazo y escala normal
 - a largo plazo y escala normal
- 6.3.- Planos de instalaciones, plantas y preparaciones
- 6.4.- Planos de talleres y almacenes
- 6.5.- Planos de vestuarios y oficinas
- 6.6.- Planos de vertederos y restauración de terrenos

VII.- Anexos

- 7.1.- Documentación y cálculo de las fases del proyecto
- 7.2.- Características de la maquinaria
- 7.3.- Formación de personal y selección de técnicos
- 7.4.- Manuales de operación de máquinas y plantas
- 7.5.- Planes de seguridad e higiene

VIII.- Pliego de condiciones

- 8.1.- Condiciones de contratación y de compra de las máquinas y de las plantas. Limitaciones
- 8.2.- Reglamentación y policía minera

- 8.3.- Responsabilidades. Contratistas
- 8.4.- Otras condiciones técnicas y administrativas.

Evidentemente el grado de desarrollo y tecnificación de cada una de las fases operativas del proyecto dependerá del tamaño de la explotación, ya que en algunas pequeñas operaciones podría no ser tan necesaria la realización de algunos aspectos, aunque no sería siempre conveniente despreciarla.

Una clasificación del tamaño de las operaciones mineras, que en la minería a cielo abierto deberán ser medidas en toneladas de estéril más mineral movidas por año, y en las explotaciones subterráneas tan sólo medidas en las toneladas de mineral extraído anualmente podría ser, de acuerdo con la establecida por el Mining Magazine, puede ser la siguiente:

TAMAÑO DE EXPLOTACIÓN	MINERÍA A CIELO ABIERTO	MINERÍA SUBTERRÁNEA
NIVEL	T/año (estéril + mineral)	T/año (mineral)
PEQUEÑO	<1.000.000	<100.000
MEDIANO	<5.000.000 >1.000.000	<500.000 >100.000
NORMAL	<25.000.000 >5.000.000	<2.500.000 >500.000
GRANDE	<100.000.000 >25.000.000	<10.000.000 >2.500.000
GIGANTE	>100.000.000	>10.000.000

5. SERVICIOS TÍPICOS DE INGENIERÍA

5.1. SERVICIOS TÍPICOS DE INGENIERÍA

Entre los servicios típicos de Ingeniería requerido en el ámbito de un proyecto minero, cabe destacar los que se relacionan a continuación, aunque existen otros muchos igualmente necesarios:

- Consulting
- Estudios de viabilidad
- Ingeniería de Detalle y Diseño
- Servicios de Gestión de Construcción y Apoyo
- Project Management

La asistencia técnica y tecnológica suele enmarcarse en los siguientes grupos de actuación:

- Servicios de Ingeniería y Asistencia Técnica
- Innovación tecnológica.
- Seguridad, salud y protección medioambiental
- Gestión de proyectos
- Utilización de activos
- Evaluación técnica

5.2. ESTUDIOS DE CONSULTORÍA Y VIABILIDAD

Se incluyen entre éste tipo de estudios:

- Estudios conceptuales
- Modelización de sistemas
- Estudios de viabilidad
- Evaluación de derechos y propiedades
- Due Diligence
- Estimación de costes y planificación
- Estudios de viabilidad bancables

5.3. INGENIERÍA DE DETALLE Y SERVICIOS DE DISEÑO

Se incluyen entre éste tipo de estudios:

- Diseño conceptual y final del proyecto.
- Definición espacial y geométrica
- Métodos de construcción
- Planificación de construcción
- Selección de equipos
- Edición de planos
- Establecimiento de especificaciones
- Presupuestos
- Documentación de ofertas y contratos
- Abastecimiento
- Documentación QA/QC
- EPC Management

5.4. SERVICIOS DE APOYO A LA CONSTRUCCIÓN

Se incluyen entre éste tipo de estudios:

- Servicios de inspección en campo, fábrica y almacén
- Presupuestos de construcción
- Control de costes y planificación
- Asistencia técnica a la contratación y aprovisionamiento
- Servicios de apoyo a la construcción
- Vigilancia y control de calidad
- Vigilancia medioambiental
- Aseguramiento y certificación

5.5. PROYECTOS MÁS FRECUENTEMENTE CONTRATADOS

Se incluyen entre éste tipo de estudios:

- Selección del método de explotación
- Selección del sistema
- Diseño de la explotación y optimización
- Planificación y desarrollo de mina
- Accesos en interior
- Sistemas de extracción y pozos
- Gestión y acarreo de material
- Infraestructura de mina
- Selección del parque de maquinaria
- Ampliaciones y expansiones
- Reducción del impacto ambiental
- Control de huecos y taludes

5.5.1. DESARROLLO DE ACCESOS DE INTERIOR

- Pozos
- Planos inclinados
- Túneles y galerías
- Rampas
- Sistemas de extracción y elevación
- Excavación y profundización
- Infraestructura de interior
- Otros

(Fuente: Redpath Engineering)

5.5.2. SISTEMAS DE TRANSPORTE DE MATERIALES

- Selección y dimensionamiento de los sistemas de extracción:
 - Roca
 - Personal y materiales
 - Trituración y silos
- Bandas transportadoras
- Transporte por ferrocarril
- “Trackless Haulage”
- Logística del transporte
- Automatización y control remoto

5.5.3. SISTEMAS DE EXTRACCIÓN

- Sistemas de extracción por pozo
 - Verticales e inclinados
 - Producción y servicios
 - Ventilación y escape
- Maquinaria de extracción
- Dimensionamiento y sistema de excavación
- Revestimiento del pozo
- Guionajes
- Sistemas de control
- Sistemas de carga
- Ingeniería de profundización de pozos
- Estaciones y embarques de personal
- Planificación operativa del sistema
- Tipos de extracción
 - Roca
 - Personal y materiales
 - Profundización de pozos
- Maquinaria de extracción
 - Tambor simple
 - Doble tambor
 - Fricción
 - Etc.

5.5.4. INFRAESTRUCTURA DE MINA

- Desagüe y drenaje
- Aire comprimido
- Ventilación
- Calefacción y refrigeración
- Mine Backfill Systems (Sistemas de relleno)
- Infraestructura y servicios de mantenimiento
- Infraestructura soporte en superficie
- Distribución de energía y potencia
- Instrumentación y control
- Automatización
- Comunicaciones
- Interfaces gráficas

5.5.5. INTEGRACIÓN DE MODELOS Y SIMULACIÓN

- Visualizar futuras operaciones de producción
- Evaluar escenarios “que pasaría si ...” (“What if” Scenarios)
- Optimización de la selección / producción de los equipos

Objetivo: REDUCCIÓN DE LOS COSTES MINEROS

Ejemplos:

- Silos y sistemas de almacenamiento subterráneo
- Tráfico de equipos móviles / tráfico en rampas
- Operación de sistemas Machacadora / Bandas transportadoras

- Operación de sistemas de extracción en pozo
- Block Cave Draw Analysis

5.5.6. PRODUCTOS ESPECIALES DE INGENIERÍA

- Sistemas de bombeo y drenaje
- Sistemas de suministro de aire comprimido
- Sistemas de generación de potencia transportables
- Plantas de relleno hidráulico o cementado
- Sistemas y productos específicos para pozos de extracción
- Productos de fabricación especial.

5.5.7. AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

- Programación de PLCs e interfaces gráficas:
 - Sistemas de bombeo
 - Sistemas de ventilación
 - Sistemas de abastecimiento de aire comprimido
 - Sistemas y maquinaria de extracción
 - Sistemas de trituración
 - Control de bandas transportadoras
 - Etc.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Darling, P. (2011) "SME Mining Engineering Handbook, Third Edition" : 1-2 (Inglés) Tapa dura – feb 2011. ISBN-10: 0873352645. ISBN-13: 978-0873352642

Herrera Herbert, Juan (2015) "La función de la ingeniería en el ámbito de un proyecto minero". Universidad Politécnica de Madrid. Laboratorio de Tecnologías Mineras.

Herrera Herbert, Juan (2015) "Ingeniería y fases de un proyecto minero". Universidad Politécnica de Madrid. Laboratorio de Tecnologías Mineras.

Pla Ortiz de Urbina, Fernando (1994). "Fundamentos de laboreo de minas". Universidad Politécnica de Madrid. ISBN 84-85616-05-7