



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**ANÁLISIS DE UN PROYECTO DE INGENIERÍA, PROCURACIÓN Y
ADMINISTRACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN PARA UNA PLANTA
PRODUCTORA DE COBRE**

**INFORME DE LA PRÁCTICA PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO**

PRESENTA

MIGUEL ALEJANDRO CASTELLANOS RUIZ



**EXÁMENES PROFESIONALES
FACULTAD DE QUÍMICA**

MÉXICO, CDMX.

AÑO 2018





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

- PRESIDENTE:** Profesor: José Antonio Ortiz Ramírez
VOCAL: Profesor: Modesto Javier Cruz Gómez
SECRETARIO: Profesor: Sergio Adrián García González
1er. SUPLENTE: Profesor: Alberto Rosas Alburto
2° SUPLENTE: Profesor: Luis Ángel Moreno Avendaño

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

EDIFICIO E, FACULTAD DE QUÍMICA, UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ASESOR DEL TEMA:



Dr. Modesto Javier Cruz Gómez

SUSTENTANTE:



MIGUEL ALEJANDRO CASTELLANOS RUIZ

Agradecimientos

Mi Ka EL

¿Quién como Dios?

- Nadie, sólo Dios.

Gracias a la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Química, quienes me han brindado, no sólo conocimiento, sino también calidez humana.

Dr. Javier Cruz, gracias por su apoyo, ánimo y todos sus consejos a lo largo de la realización del presente informe.

Agradezco a José Antonio Ortiz, Sergio García y a los demás miembros del jurado, por su tiempo, aportaciones y comentarios al presente trabajo.

Doy gracias a ingenieros que han influenciado mi formación profesional durante el tiempo en que he trabajado en ICA Fluor. En primer lugar, a Enrique Gutiérrez, gerente de proceso al inicio de mi trayecto por ICAF, sobre todo por la confianza en mi asignación a sitio en el proyecto El Boleo.

A Juan Arredondo, actual gerente de proceso en ICA Fluor, por apoyar mi continuidad como ingeniero de proceso para desempeñarme en los proyectos posteriores a Boleo, DUBA Madero y ATC de Tula, de importancia para la empresa y para mi carrera.

A Claudia Ortiz, Víctor Rodríguez, Fania Guerrero, Rosa Bautista y Evelio Juárez del proyecto El Boleo, durante la ingeniería de detalle en oficina matriz de ICAF, por ser mis primeros mentores al inicio de mi vida laboral.

A compañeros de trabajo que se volvieron amigos, Mario Herrera, Concepción Álvarez, Héctor Bravo, Uriel Gómez, Gonzalo Cervantes, Miguel Nicasio, Lucía Atristain, Gloria Rodríguez, Angélica Villalobos y Francisco Carbajal.

Agradecimiento y admiración a Gabriela Morelos por mostrarme compromiso, responsabilidad y profesionalismo durante mi etapa en sitio, jefa de precomisionamiento en Boleo.

A Elsa García por compartir sus conocimientos en diferentes etapas en ICAF y por ser buena amiga.

Al ingeniero Marco Antonio Lucio, por compartir su visión de la ingeniería y la pasión con la que se entregaba, en paz descanse.

Al ingeniero Angel Chona por su apoyo y guía durante el proyecto DUBA Madero.

A José Pérez Sandi y Pedro Arista por su liderazgo y confianza durante el proyecto ATC de Tula. Igualmente, a Edith Zarco por su entrega, paciencia y ganas de superar los obstáculos.

A Esaúl Juan, Vladimir López, Jesús Soto, amigos IQ's y al grupo de "Los Bitch" de la FQ.

A Carito, Karla, Rosy y Roberto con quienes he compartido momentos que aprecio mucho.

Gracias a Luis Armando mi brock mayor, por influir tanto en mi vida, te quiero Güicho.

A todos mis brocks, Gaby, Miri, Ro, Carlos, Diter, Diego, Pau, Roberto, Bere, Disan, Daniel, Gabo, Alma, Emi, y a todos los Castellanos que siempre están en mis pensamientos y oraciones.

A mi tío Nacho y mi tía Diana, que siempre han estado al pendiente de nosotros.

A mis primos Pato, Ale, Xime, Guy, Aline, Julio, Pablo y familia Ruiz.

A mi hermano Erik Ricardo, por la alegría que le pone a la vida, por su dedicación y buen corazón.

A mi hermano Pedro Iñaki, por el sabor con que emprende su camino, por su sonrisa y entusiasmo.

Gracias a mi madre, Cari, mujer de gran Fé, Procteriana de formación, ciudadana ejemplar, gracias por tus cuidados y amor incondicional, te amo mamá.

Gracias a mi padre, Alejandro, por hacerme siempre tan feliz, por tus consejos y apoyo, por toda tu entereza y tu bondad, te admiro y te amo papito.

Gracias Ariana Berenice, por tu cariño, por acompañarme y ser mi confidente, musa, guerrera maya; por ser sol en mis días y luna en mis noches, por tu brisa y por tus risas. TE AMO.

Dedicatoria

*Un maestro, una causa, un efecto.
¿Quién sabrá el valor de tus deseos?
En remolinos
G. Cerati*

A mis padres:

Alejandro y Carolina, por todo el esfuerzo, por todo el cariño y por el amor a Dios que nos han inculcado.

A mi abuelita:

Trini, abuela de mis amores, que ocupa un lugar especial en mi corazón.

A los ángeles que me cuidan desde el cielo:

Al abuelo, Dr. Alejandro Ruiz, que me ha dejado tanto en vida y continúa conmigo desde arriba.

A mi abuelita Carito, que me ha dado las más grandes muestras de Fé y devoción.

A María, mi tía Uca querida.

Asunción, mi abuelito Chon y su forma simple de disfrutar la vida,

A mis hermanos:

Erik e Iñaki, que me han dado alegría y fuerza desde el primer día en que llegaron a mi vida, es una dicha haber crecido juntos y que Dios nos conserve unidos.

IGNIS AETERNAM

Índice

Lista de Figuras	VIII
Lista de Tablas	IX
Introducción	1
Objetivo	2
Glosario	3
1. Antecedentes	7
1.1 Situación de la Minería Durante y Después de la Ejecución del Proyecto	7
1.2 La Minería Mexicana.....	9
1.3 Panorama del Cobre al inicio de operaciones del proyecto	11
1.4 La Firma de Ingeniería.....	14
1.4.1 El Ciclo de un Proyecto.....	14
1.4.2 Fases de un Proyecto	18
1.4.3 Procesos de ejecución dentro de un Proyecto	21
1.5 Mega Proyectos	24
1.5.1 Fracaso de un Proyecto.....	27
1.5.2 Contrato por Servicios Profesionales en el Sector Minero.....	34
2. La Planta productora de Cobre.....	37
2.1 Descripción del Proyecto El Boleo	37
2.1.1 Propiedad	37
2.1.2 Localización	37
2.1.3 Historia.....	40
2.1.4 Permisos	42
2.1.5 Consultores del Proyecto.....	42
2.1.6 Plan de Operaciones Mineras.....	43
2.2 Estimación de Costos del Proyecto	48
2.3 Proceso.....	51
2.3.1 General.....	51
2.3.2 Áreas de Proceso.....	55
2.3.3 Áreas de Servicios Auxiliares.....	65
2.3.4 Instalaciones	70

3. Ejecución del Proyecto	71
3.1 Arranque de la Construcción	72
3.1.1 Actualización al Precio Objetivo del Proyecto	76
3.1.2 Organización del Proyecto	77
3.1.3 Contratista IPCM	79
3.1.4 Alcance	81
3.1.5 Servicios de la Administración de la Construcción	82
3.1.6 Responsabilidades del Cliente	85
3.1.7 Comunicaciones	86
3.1.8 Acciones Principales al Arranque de Construcción	87
3.2 Suspensión	87
3.3 Reactivación	90
3.4 Terminación del Proyecto	91
3.5 Desenlace Proyecto El Boleo	93
3.5.1 Principales Operaciones en 2016	93
3.5.2 Retos durante 2017	94
3.5.3 Responsabilidad Social del Proyecto	94
3.6 Informe de Actividades	96
4. Retos de Proyectos Industriales del sector minero	98
4.1 Minería Responsable	98
4.2 Ley Federal de Derechos	99
4.3 Reforma fiscal	100
4.4 Medio Ambiente	101
4.5 Sector de la Construcción en México	102
4.5.1 Inversión Minera en México	103
5. Conclusiones	105
Anexos:	109
Bibliografía	116

Lista de Figuras

Fig. 1 Precio Histórico Cobre	13
Fig. 2 Modelo de Proyecto por etapas para un Cliente.....	15
Fig. 3 Habilidad para influir en el costo del proyecto	17
Fig. 4 Fases de un proyecto.....	18
Fig. 5 Procesos de Ejecución dentro de un Proyecto	21
Fig. 6 Proceso de ejecución Front-end Loading (FEL) y entregables	22
Fig. 7 Mega proyectos presentes en una variedad de sectores industriales.....	24
Fig. 8 Retos en Mega proyectos	25
Fig. 9 Localización del Proyecto.....	38
Fig. 10 Área del sitio y poblado de Santa Rosalía.....	39
Fig. 11 Alimentación de mineral a la planta.....	46
Fig. 12 Proceso Producción de Cobre.....	52
Fig. 13 Diagrama de Bloques de Proceso.....	53
Fig. 14 Circuito de Decantación Contra Corriente	59
Fig. 15 Molécula de Extractante.....	61
Fig. 16 Área de remoción de Hierro	62
Fig. 17 Gráfica % Extracción vs pH.....	64
Fig. 18 Pronóstico del Progreso de la Construcción.....	74
Fig. 19 Proyección de personal para el proyecto	75
Fig. 20 Diagrama organizacional del proyecto	78
Fig. 21 Jerarquía de documentos.....	81
Fig. 22 Minera El Boleo, planta de proceso, santa rosalia Baja California sur.....	109
Fig. 23 Cobre mineral malaquita	110
Fig. 24 Autorretrato en planta de proceso	110
Fig. 25 Espesadores del Circuito de Decantación Contracorriente.....	111
Fig. 26 Vista desde la chimenea en la planta de ácido.....	111

Lista de Tablas

Tabla 1. Línea del Tiempo del Boleo	41
Tabla 2. Consultores Costo Capital del Proyecto	43
Tabla 3. Consultores Costos Operativos del Proyecto	43
Tabla 4. Capacidad de la Planta y Disponibilidad.....	44
Tabla 5. Alimentación de mineral a la planta.....	45
Tabla 6. Programa Operativo y Capacidad	47
Tabla 7. Tasa de producción de mineral	47
Tabla 8. Estudio Económico Inicio del Proyecto.....	48
Tabla 9. Estimación de Capital.....	49
Tabla 10. Financiamiento requerido para el Inicio del Proyecto (Millones US\$)	50
Tabla 11. Áreas de Proceso.....	54
Tabla 12. Desenlace Línea del Tiempo del Boleo	71
Tabla 13. Programa Ingeniería de Detalle Estimado de Costo	72
Tabla 14. Programa Construcción (Nov 2010)	73
Tabla 15. Precio Objetivo del Proyecto	76
Tabla 16. Proyección de Cobre.....	112
Tabla 17. Muestra - Control de pruebas hidrostáticas	113
Tabla 18. Muestra - Control de pruebas de motores	113
Tabla 19. Muestra - Control y seguimiento de pendientes (Punch List).....	114

Introducción

El Boleo es un depósito de cobre-cobalto-zinc-manganeso localizado junto al poblado de Santa Rosalía, Baja California Sur, en México.

El proyecto "El Boleo" es un proyecto minero autosuficiente en agua y energía, ya que el diseño incluye su propia agua de enfriamiento, generada a través de plantas desalinizadoras y en el tema energético produce su propia energía a través de generadores de diésel y una turbina de vapor, por lo que no afectan los recursos designados a la población.

La capacidad de producción anual es de 51,000 toneladas de cátodo de cobre con un 99.99% de pureza, la estimación de cobalto metálico está en 1,700 toneladas por año y la de sulfato de zinc en 25,000 toneladas por año.

Debido a los volúmenes de producción el proyecto "El Boleo" vuelve a colocar al poblado de Santa Rosalía como un pueblo de tradición minera y una vez alcanzada la producción estimada, ubicará al Estado de Baja California Sur como el segundo productor de cobre a nivel nacional y primer productor de cobalto metálico en México. La duración de vida mínima de la mina está estimada en 22 años.

La construcción del proyecto comenzó en 2010 con la movilización del contratista de Ingeniería, Procuración y Administración de la Construcción a sitio, y estaba estimada su primera producción de cátodo de cobre para principios del año 2013, lo cual no se dio sino hasta principios del año 2015.

El proyecto atravesó una crisis de financiamiento por la identificación de sobrecostos del proyecto que lo llevaron a una suspensión temporal, provocando mayores retos para la ejecución del proyecto y una prolongación en el tiempo estimado de terminación.

Objetivo

En el presente informe de práctica profesional, dirigido a estudiantes, aspirantes a la carrera de ingeniería química y a todo aquel interesado de la industria química; tiene como objetivo analizar un megaproyecto de ingeniería, mediante un contrato de ingeniería, procuración y administración de la construcción para una planta productora de cobre, por una firma de ingeniería, donde el sustentante participó durante el desarrollo de la ingeniería y posteriormente en la fase de precomisionamiento.

Analizar la situación del sector minero del país a lo largo de la vida del proyecto, el funcionamiento dentro de la firma de ingeniería en la ejecución de proyectos y el tipo de contrato para la ejecución y administración del proyecto.

Descripción del proyecto y la localidad en la que se desarrolla, así como, las áreas que integran la planta, de acuerdo con el proceso principal de lixiviación, extracción por solvente y deposición electroquímica, las áreas de servicios auxiliares y demás complejos de la planta, así como el alcance de trabajo que un ingeniero químico desempeña, con un enfoque desde la disciplina de proceso.

Descripción del desarrollo de la ingeniería, la construcción y el precomisionamiento de la planta, etapa donde el sustentante participa activamente. Se mencionan algunas complicaciones presentadas durante las diferentes etapas del proyecto hasta la terminación mecánica y la entrega al cliente para el arranque.

Por último, se abordan las principales amenazas y retos a vencer de un proyecto industrial de gran magnitud, como algunos del sector minero en la actualidad para una ejecución exitosa.

Glosario

Alcance de Proyecto. - El trabajo que debe realizarse para entregar un producto, servicio o resultado con las funciones y características específicas.

Análisis Costo Beneficio. - Tipo de evaluación económica de proyectos integrales de inversión, que consiste en calcular el rendimiento del proyecto con base en los ingresos o ahorros y costos que genere el proyecto, mediante el cálculo de los indicadores *VPN* y *TIR* entre otros.

Comisionamiento. - Etapa dentro de un proyecto *IPC* o *IPCM* que se desarrolla después de la terminación mecánica de la planta y antes de la operación comercial, cuyo objeto es verificar que toda la construcción y equipos de la planta operen de acuerdo con las especificaciones y diseño del proyecto.

Commodities. - Término que proviene del idioma inglés, más precisamente corresponde al plural del término *commodity*, se utiliza para denominar todo bien que tiene valor o utilidad, y un muy bajo nivel de diferenciación o especialización.

Contratista. - Persona física o moral que celebra contratos de obras y servicios relacionados con las mismas.

Contrato. - Acuerdo de voluntades entre dos o más personas físicas o morales, en el cual establecen obligaciones y derechos recíprocos entre las partes firmantes, con relación a la realización y/o entrega de un bien o servicio determinado, por un monto y una duración determinados.

Costo Directo. - Son aquellos costos de los recursos que se incorporan físicamente al producto final y a su empaque. Ambos se comercializan conjuntamente. El costo directo también contempla las labores necesarias para la manipulación y transformación de dichos recursos. Los costos directos se transfieren directamente al producto final y están constituidos por los siguientes rubros. Si el costo por producción se ubica en el terreno negativo, quiere decir que prácticamente las empresas no desembolsan nada por sus producciones.

DFP (Diagrama de Flujo de Proceso). - Representación gráfica de los pasos de los procesos involucrados en la producción industrial.

Diagrama de Tuberías e Instrumentación (DTI). - También conocido en inglés como Piping and Instrument Diagram (P&ID), es un documento en la industria de proceso que muestra el flujo de proceso en las tuberías, así como los equipos y los instrumentos instalados. La simbología estándar en las industrias química, petroquímica, metalúrgica, generación de energía entre muchas otras están basados en la Norma ISA S.5.1 (Instrument Society of America), Símbolos e Identificación de Instrumentos.

Deposición Electrolítica o electrodeposición. - Es un proceso que emplea una corriente eléctrica para reducir los cationes de un material deseado de una solución y recubrir ese material como una capa delgada en una superficie conductora.

Entregable. - Es la documentación de los resultados del desarrollo de las actividades de ingeniería del proyecto y establecidos para la aprobación del Cliente.

Estimado de Costo. - Cálculo total de una actividad con base en los tipos y cantidades de recursos obtenidos para dicha actividad, con base en la cantidad y calidad de la información disponible.

Extractante. - Sustancia o compuesto que produce químicamente la liberación de otras sustancias que se encuentran en una mezcla compleja. Por ejemplo, la solución proveniente de la etapa de lixiviación, muchas veces se caracteriza por su baja concentración de cobre y bajo pH. El extractante a usar debe cumplir con la condición de ser selectivo por el cobre y de ser capaz de actuar en las condiciones que impone la solución a tratar. Además, debería poseer otras características principalmente de carácter económico.

FEL (Front End Loading). - Metodología de gestión de proyectos basada en el concepto de compuertas de acreditación, que tienen como objetivo permitir contar con el grado de definición necesario para comenzar el desarrollo de la fase de ejecución.

Filosofía de Operación. - Premisas que rigen cómo trabaja una industria o empresa, a nivel proceso.

Industria Minera Ampliada. - Es el conjunto de actividades directamente relacionadas a la minería de minerales metálicos y no metálicos, éstas se caracterizan por pasar a distintos procesos productivos que comprenden desde la extracción, concentración, fundición y afinación hasta la elaboración de productos de demanda intermedia o final que pueden ser

aprovechados por otras industrias manufactureras, por la industria de la construcción, o bien, ser consumidos en los hogares.

Jales (también colas). – Residuos generados por actividad de extracción minera.

Ley del mineral (también grado del mineral). – Medida que describe el grado de concentración de recursos naturales valiosos (como los metales o minerales) presentes en un yacimiento mineral.

Lixiviación. - Proceso de extraer desde un mineral una especie de interés por medio de reactivos que la disuelven o transforman en sales solubles. La elección del agente químico de lixiviación va a depender de su costo, disponibilidad, estabilidad química, selectividad y grado de generación de soluciones ricas en mineral, de tal forma que sea lo más económico y fácil de trabajar.

Malaquita. - Mineral de cobre, Dihidróxido de carbonato de cobre II, fórmula $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$. Su coloración puede variar entre el verde azulado hasta un verde esmeralda.

Orden de Cambio. - Documento formal que representa una desviación actual del alcance contratado de trabajo. Debe ser autorizada por el Cliente y por el gerente del proyecto, antes de hacer un cambio en el contrato.

Orden de Compra (PO). - Cualquier tipo de arreglo para la adquisición de materiales, equipos o servicios de construcción.

PLS, Solución Preñada de Lixiviación. - Se refiere a la solución que ha resultado del proceso de lixiviación, y ha sido enriquecida por la disolución de cobre desde el mineral.

Precomisionamiento. - Término empleado para el conjunto de actividades realizadas después de completar la construcción de la planta, como son pruebas estáticas y de energización, limpieza, carga de catalizador, corridas en seco y revisión dentro de los sistemas para que constituyen la verificación de que el equipo o componente es fabricado, instalado, limpiado y probado de acuerdo con el diseño y listo para la etapa de *comisionamiento y arranque*.

Refinado. - Producto líquido remanente resultado de la extracción de un soluto luego de un proceso de extracción por solvente.

Slurry. - Mezcla acuosa de material mineral insoluble, lodos.

TIC, Costo Total Instalado. - Suma de todos los costos requeridos para la instalación de un equipo, incluye costos de subcontrato, costos asociados al trabajo, material requerido para la instalación.

TIR Tasa interna de retorno. - Tasa de interés a la cual el valor presente de los flujos de efectivo positivos (ingresos) es igual a los flujos de efectivo negativos (egresos) de un proyecto de inversión, es decir, la tasa a la cual el valor presente neto del proyecto es igual a cero.

VPN Valor presente neto. - Método tradicional de valuación de un proyecto de inversión que resulta de la suma de los flujos de efectivo (ingresos menos egresos que se producirán durante la vida del proyecto), descontados a una tasa de interés estipulada. Esta metodología asume volatilidades de cero en los flujos de efectivo libres proyectados.

WBS (Work Breakdown Structure), Estructura de Desglose de Trabajo (EDT). - Descomposición jerárquica, con orientación hacia el producto entregable, relativa al trabajo que será ejecutado por el equipo del proyecto para lograr los objetivos del proyecto y crear los productos entregables requeridos. Organiza y presenta el alcance total del proyecto. Cada nivel descendente representa una definición cada vez más detallada del trabajo del proyecto. El WBS se descompone en paquetes de trabajo. La orientación hacia el producto entregable de la jerarquía incluye los productos entregables internos y externos.

1. Antecedentes

En algún momento en la historia de nuestra especie, alguien logró consciente o inconscientemente, estrellar la orilla de un pedernal en contra de pirita ferrosa. A partir de entonces y hasta la fecha, la humanidad ha podido satisfacer un gran número de necesidades mediante la exploración minera.

Actualmente, dependemos de los minerales extraídos para hacer funcionar nuestras telecomunicaciones, vehículos, computadoras, aparatos biomédicos, instrumentos quirúrgicos, entre otros.

La minería y la metalurgia han sido parte fundamental de nuestro desarrollo, ya que nuestro andar por el planeta se puede clasificar de acuerdo con las eras: de piedra, de cobre, de bronce, de hierro, de acero y de sílice, por ello, es reconocida como una de las actividades productivas determinantes en la evolución de la historia mundial. Se le considera a la par que las telecomunicaciones, el transporte y las manufacturas, como uno de los sectores que tienden a generar transformaciones económicas y sociales muy marcadas.¹

1.1 Situación de la Minería Durante y Después de la Ejecución del Proyecto

Durante 2007 y 2009, años previos al arranque del proyecto El Boleo, la minería internacional enfrentó serios obstáculos que impidieron su crecimiento. El descenso de los precios en términos reales de los metales y los minerales y la contracción del mercado en función del uso de novedosos materiales y productos, ya sean nuevos o reciclados, como sustitutos de los metales y los minerales en la industria, derivaron en que la inversión minera resultara poco atractiva.²

¹ Narchi N., Búrzquez A., Wilder B., *Supeditada a la codicia más depredadora. La nueva minería en México*, La Jornada Ecológica, N° 200, agosto septiembre 2015.

² Góngora, J. : Evolución Reciente de la Minería en México, Comercio Exterior, Vol. 63, Núm. 4, Julio y Agosto de 2013. Recuperado de:

<http://revistas.bancomext.ecib.mx/ce/magazines/157/1/evolucion.pdf>

Es importante tomar en cuenta que este sector requiere generar altos rendimientos en virtud de los grandes montos de inversión requeridos, por lo que los factores negativos menguaron el crecimiento y la producción del sector. Esta situación se vio agravada por el precario desempeño que prevalecía en la economía mundial.

De 2009 a 2010 los precios experimentaron una franca recuperación, con un crecimiento de 64% y 32% respectivamente, lo que alentó de manera favorable la mejoría del sector. Esta situación fue un aliciente para dar inicio a los trabajos de construcción y alcanzar la terminación mecánica para arrancar operaciones a finales de 2012, como se tenía previsto originalmente.

El año 2015 (año de inicio de operaciones del Boleo), ha sido considerado por los analistas como uno de los años más difíciles a los que se ha enfrentado la industria minera, comparando la situación a la de la crisis financiera mundial de 2008, a la crisis financiera asiática de 1997 e incluso a la que se produjo tras el derrumbe de la Unión Soviética en 1991.

De acuerdo con el *Fondo Monetario Internacional*, el crecimiento económico mundial en 2015, al igual que en los últimos años; fue inferior a lo previsto inicialmente; registrando un incremento de 3.1%, el más bajo desde 2010, y sólo similar al reportado en 2008; contrastando el avance de las economías avanzadas de 1.9%, con el 4.0% de las economías emergentes y en desarrollo. Aún entre las grandes economías, las tendencias son divergentes; desde 0.55 en Japón hasta 2.4% en Estados Unidos.

Las proyecciones de crecimiento mundial han sufrido una revisión a la baja en 2016 y 2017, con respecto a proyecciones de mediados de 2015, ubicándose en 3.2 % y 3.5% respectivamente. Las economías emergentes y en desarrollo crecerían en forma gradual en 4.1% en 2016 y 4.6% en 2017; mientras las avanzadas lo harían en 1.9% en 2016 y 2.0% en 2017.³

No obstante, la actividad global conserva el vigor en Estados Unidos, gracias a condiciones financieras que aún son favorables y al fortalecimiento del mercado de la vivienda y del empleo; sin embargo, la fortaleza del dólar afectó negativamente la actividad manufacturera; asimismo, el retroceso en los precios de las materias primas, especialmente del petróleo frenó la inversión

³ Informe Anual 2016, Cámara Minera de México; LXXIX Asamblea General Ordinaria. Recuperado de: <https://www.comimex.org.mx/files/611476892/9455/Info2016.pdf>

en ese sector. Las proyecciones de crecimiento para Estados Unidos, también se ajustaron a la baja, esperando tasas de 2.4% en 2016 y 2.5% en 2017.

Las perspectivas para los mercados emergentes y en desarrollo, que son exportadores de *commodities*, se han debilitado; debido al impacto que tendrán en sus ingresos y términos de intercambio; la caída de los precios del petróleo y de otras materias primas; así como a un comercio mundial deprimido y tensiones geopolíticas.

Las características o síntomas de la recesión económica que se presenta en todo el mundo también se manifestaron en México, a pesar de que los analistas señalan que fue uno de los países menos golpeado por la crisis económica de toda América Latina.

El aumento de la incertidumbre financiera mundial en 2016 está obligando a México a consolidar su crecimiento a través de la correcta implementación de las reformas estructurales. El FMI ha señalado que estas reformas ofrecen al país la posibilidad de alcanzar tasas de mayor crecimiento, siempre y cuando la implementación sea exitosa y se logre atraer capital a los sectores reformados.

1.2 La Minería Mexicana

El sector durante 2010, caracterizado por el alza de los precios de los metales, hace que México se convierta en uno de los países con mayor atractivo para invertir. Es en este año cuando da inicio la ejecución del proyecto El Boleo, con el pronóstico de inicio de operaciones para inicios del año 2013.

La actividad económica del país durante 2011 presentó una trayectoria positiva, si bien la situación económica internacional propició un entorno menos favorable para el crecimiento económico en México. En este año, el valor de la producción a precios corrientes de la *minería mexicana ampliada* alcanzó un monto total de 259.8 mil millones de pesos, monto que representó un incremento de 38.6% con relación al año anterior. Las principales entidades productoras del sector fueron, Sonora con participación del 27.5%, Zacatecas con 24.9%, Chihuahua con 11.6% y Coahuila con 9.0%. Estas cuatro entidades aportaron en conjunto el 73% del valor total de la producción minera.

En 2015, año de inicio de operaciones del proyecto El Boleo, el sector minero en México enfrentó uno de los peores años de su historia, la caída en los precios de los metales, la carga de nuevos derechos, la imposibilidad de deducir los gastos preoperativos de exploración el mismo año en que se efectúan y la desaceleración económica de China provocaron que los indicadores de esta actividad industrial se ajustaran a la baja, así como sus expectativas de crecimiento.

La industria minera mexicana es un sector productivo centenario que, a través de su aportación económica, histórica y cultural, ha sido y seguirá siendo una de las palancas estratégicas que apoyen el desarrollo y crecimiento de México. En 2015 representó el 8.8% del PIB Industrial y 3.0% del PIB Nacional de acuerdo con datos de INEGI (3.99% del PIB Nacional considerando la minería ampliada). Con un crecimiento en la producción de este sector en apenas 1.7%, la balanza comercial minero-metalúrgica resultó aun positiva, pero afectada por tercer año al descender 23.8%, este sector disminuyó nuevamente la generación de divisas respecto a 2014, tras alcanzar 14 mil 579 millones de dólares, ahora por debajo del sector automotriz, el electrónico, las remesas, el petróleo y el turismo, y por arriba de la actividad agroindustrial.

En 2015 cuatro metales aportaron el 78.8% del valor total nacional, el oro alcanzó una participación notable con 34.1%, seguido por el cobre con 19.7%, la plata con 18.5% y zinc con 6.5%.

El sector minero logró mayor eficiencia en sus operaciones y en su mano de obra, mediante la reducción de costos, promoviendo una mayor innovación que originó nuevos procesos de operación, mayor capacitación y formación de profesionales técnicos.³

La industria minera confía en mantener las fuentes de empleo actuales aún en tiempos difíciles, se espera que en el menor plazo y conforme los precios de los metales respondan, comenzarán a reactivarse proyectos que se han detenido, motivando la contratación y nuevas oportunidades laborales.

De acuerdo con las encuestas del Índice Potencial Minero bajo prácticas actuales que evalúa el atractivo geológico en una jurisdicción. Por representar un obstáculo para la inversión en el país, se encuentra, la deficiente gestión en las concesiones mineras, la falta de cronogramas al procesar los permisos que generan serios retrasos en la exploración; las dificultades para

desarrollar proyectos en tierras comunales y el incremento en los derechos para la industria minera, con la reforma fiscal implementada en 2014, retrocedió a México cuatro lugares al ubicarse en el sitio 35, como segundo lugar en América Latina.

Respecto al marco tributario, con condiciones favorables para invertir, en Latinoamérica, Chile retrocedió 13 lugares pasando del 29 al sitio 42, Perú permaneció sin cambio con respecto a 2014 en la posición 55 y México sorpresivamente se ubicó en el lugar 58, cuando en 2014 se ubicaba en la posición 103. Este cambio en la percepción del país se explica porque la carga tributaria aún es menor a la de muchos países, pero evaluados en el ámbito internacional. Sin duda los nuevos derechos han contribuido a la caída rentable de varios proyectos, al ser una carga adicional sobre todo en momento de bajos precios; sin embargo, las empresas han continuado operando. Los impuestos son un factor decisivo al comparar un proyecto con otro, si bien es cierto que México se alineó con otros países, convirtiéndose en un lugar caro para invertir, no es el más caro.

En cuanto al Índice de Seguridad, Chile se ubicó en el lugar 46, mientras México respecto a 2014, sólo pudo avanzar del 104 al 95 en 2015. Por ello, el tema de inseguridad sigue siendo una dura prueba para atraer inversiones cuando se le compara con otros países. La percepción en la estabilidad del marco jurídico, ambiental y laboral en México se mantiene neutral y en la medida que se logre una percepción positiva, favorecerá para que el país se mantenga como destino de inversión en donde el riesgo de nacionalización de los recursos minerales no es una preocupación.

En 2015 un número reducido de proyectos comenzó su etapa de producción, entre ellos El Boleo en Baja California Sur.

1.3 Panorama del Cobre al inicio de operaciones del proyecto

En 2015, el Panorama Internacional, por quinto año consecutivo produjo un superávit de 438 mil toneladas de cobre, ya que la producción del metal rojo fue mayor que el consumo del metal refinado y los precios se mantuvieron a la baja. El precio promedio fue de 249.55 centavos de dólar por libra, representando una reducción de 19.8% respecto a 2014.

En 2015, la producción minera mundial de cobre fue de 18 mil 735 millones de toneladas, incrementando arriba de 1.3% con respecto a 2014. Chile fue el principal proveedor de cobre en el mundo con 30% del total mundial, seguido de China con 9.3% y Perú con 8.5%. México ocupó el décimo lugar con el 2.9%.

En el panorama nacional la producción minera de cobre fue de 595 mil 451 toneladas, un incremento anual del 15.4%, debido a la consolidación de las operaciones de la planta Concentradora II y a la ESDE III de "Buenavista del Cobre" en Sonora, pertenecientes a Grupo México, al inicio de operaciones de "El Boleo" en Baja California Sur y a una mayor producción en "Bolivar" en Chihuahua.

El desarrollo del proyecto "El Boleo" a cargo de Korea Resources /Hyundai/Hysco/Baja Mining Corp. en Baja California Sur, inició operaciones a mediados de 2015. En 2016, se esperaba una producción equivalente a 23 mil toneladas de cobre contenido, y en 2017, se estimaba 50 mil toneladas, lo que la convertiría, detrás de las operaciones de Grupo México en uno de los mayores productores.



Fig. 1 Precio Histórico Cobre

El precio del cobre mostraba una tendencia al alza a inicios del proyecto en el año 2010, luego de un máximo a finales de año, ver figura 1, la tendencia fue cayendo paulatinamente hasta un mínimo a finales de 2015.

Para El Boleo, la situación actual, ha sido un reto más para alcanzar la estabilización de la planta y producir a la máxima capacidad mejorando así sus flujos de efectivo y situación financiera de la empresa.

1.4 La Firma de Ingeniería

Una firma de ingeniería (FI) se define como una asociación o empresa formada para llevar a cabo negocios relacionados con el campo de la ingeniería. Una firma de ingeniería, enfocada en la ejecución de proyectos industriales, es encargada de dar soluciones en Ingeniería, procuración, construcción (IPC), fabricación, mantenimiento o proyectos de Administración de la Construcción. Estas empresas trabajan con el gobierno o clientes privados en diversas industrias para diseñar, construir y mantener proyectos complejos y de gran capital.

1.4.1 El Ciclo de un Proyecto

Un proyecto es un compromiso adquirido de manera organizada para alcanzar una meta establecida o resultado.

Desde el punto de vista del cliente, en las industrias de proceso como, refinación de petróleo, petroquímicos y procesamiento de gas, energía o *minería*, la meta o el resultado esperado es típicamente la construcción o modificación de una planta de proceso, equipos de proceso o unidades de proceso.

Desde el punto de vista de la empresa, el ejecutar un proyecto de manera exitosa quiere decir generar una utilidad económica.

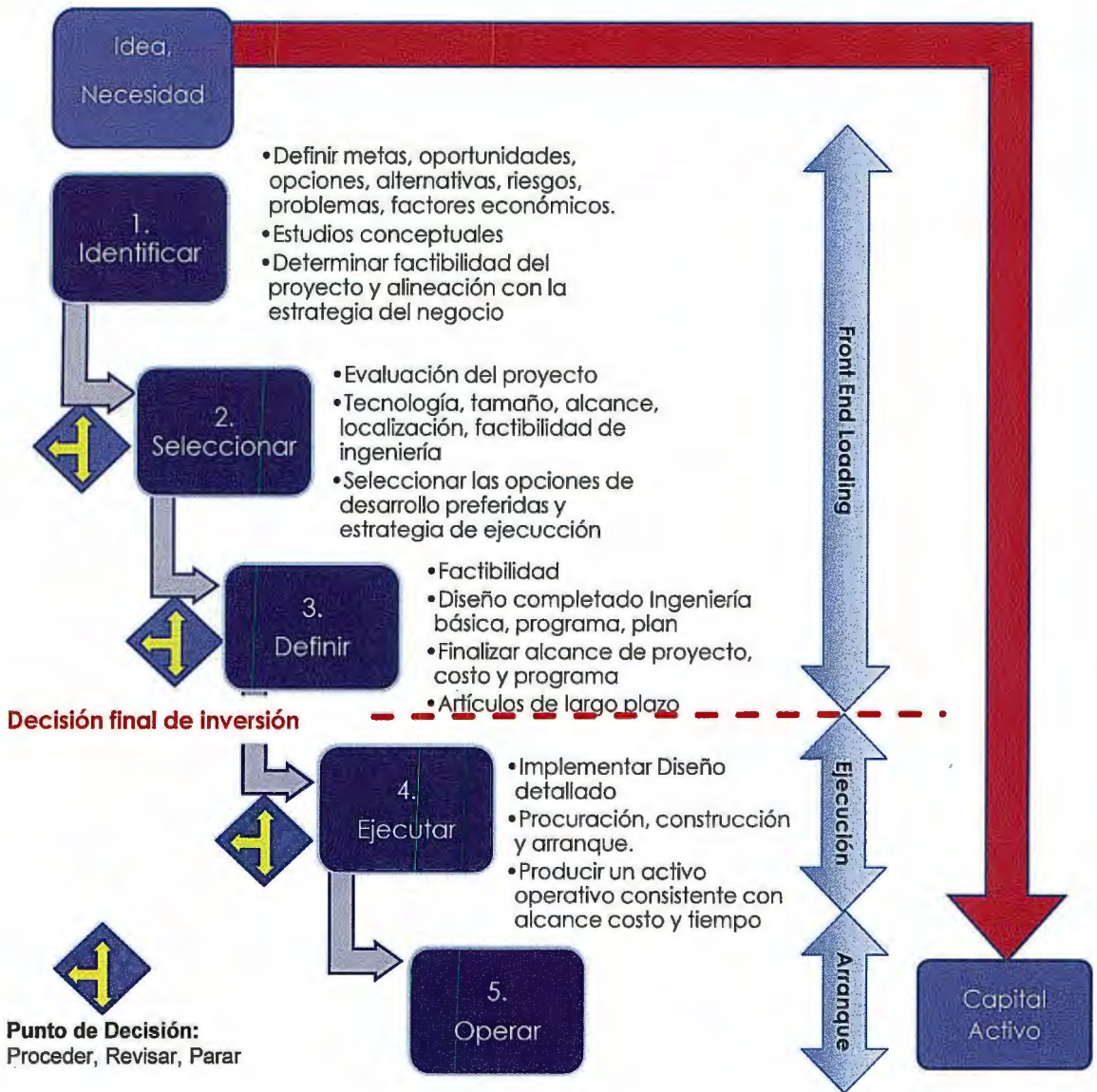


Fig. 2 Modelo de Proyecto por etapas para un Cliente⁴

⁴ Adaptado de: <http://www.moreforsk.no/publikasjoner/artikler/logistikk/front-end-loading-as-an-integral-part-of-the-project-execution-model-in-lean-shipbuilding/1107/2755/>.

El acercamiento sistemático significa que no se aprobará ningún proyecto para seguir adelante sin la información mínima y la confianza mínima requerida, haciendo más fácil la administración de fases futuras. Este acercamiento ayuda a evitar rupturas en transiciones, aligera el cierre, y obliga a que la documentación se lleve a cabo para permitir el uso de lecciones aprendidas.

Similar a un mapa de ruta, esta metodología muestra el camino que se debe seguir y los entregables que se deben desarrollar en cada etapa del proyecto. También cuenta con los modelos y estructuras que ayudan a guiar y estandarizar el proceso.

Cuando comienza una etapa, el equipo del proyecto empieza a desarrollar y consolidar los entregables necesarios para pasar al siguiente punto o puerta de decisión. Para ello, el arranque, planeación, ejecución y finalización del ciclo se desarrolla en cada fase. Una vez que todo se ha completado, se puede hacer una revisión para asegurar que no falten puntos, y que los problemas menores puedan ser resueltos antes de ser auditados de manera formal. Después de esto se puede auditar el proceso para determinar si el proyecto puede continuar a la siguiente fase, dando una recomendación a quien toma la decisión.

Asumiendo que se realice exitosamente, el proyecto llega a los inversionistas para aprobación. En este punto se puede pedir un trabajo más detallado antes de tomar la decisión de seguir adelante, retrasar la inversión o cancelar el proyecto. Por naturaleza de fase del método se obliga al respaldo explícito a la cancelación del proyecto. La decisión final depende en lo atractivo del proyecto para el negocio y está basado en información que satisface los estándares de la compañía.

El acercamiento de puntos de decisión actúa desde el principio, cuando se puede alcanzar la mayor influencia para el proyecto con el mínimo esfuerzo, ligando al proyecto con las metas de negocio y dando certeza de que lo que será creado estará alineado con las expectativas de los inversionistas.⁵

⁵ Muiño, A. & Akselrad, F.(2009). Gates to success, ensuring the quality of the planning. Paper presented at PMI Global Congress 2009. Recuperado de: <https://www.pmi.org/learning/library/gates-to-success-follow-the-methodology-6842>.

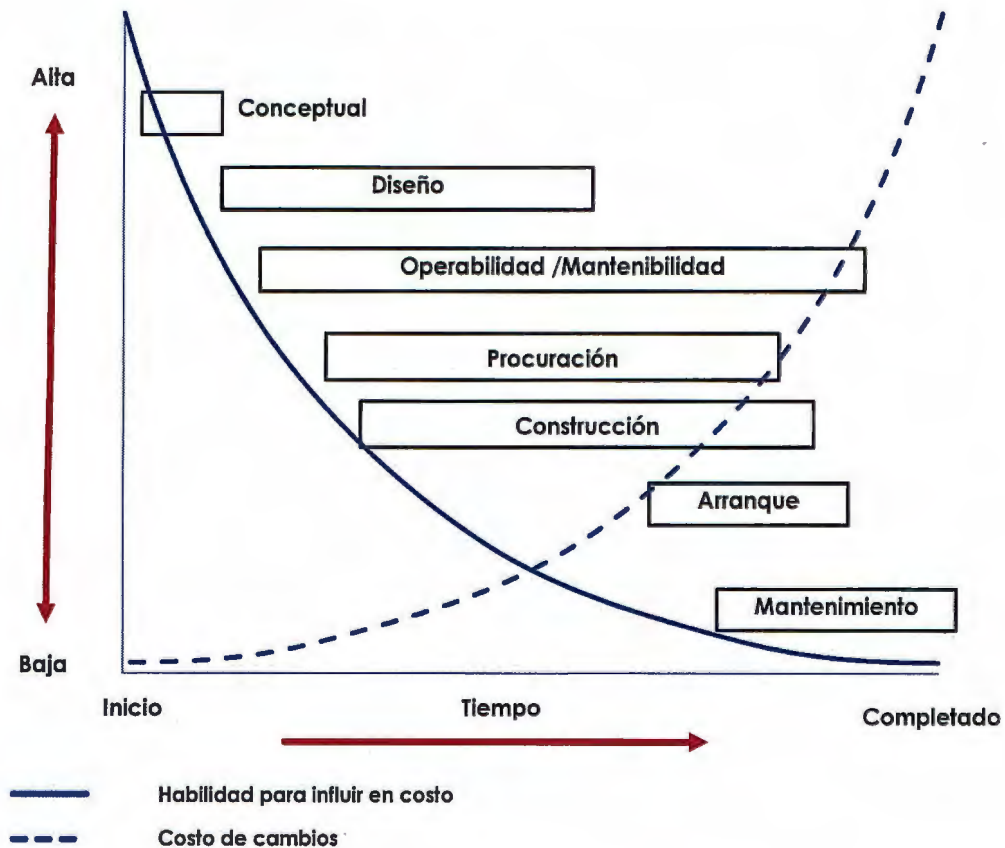


Fig. 3 Habilidad para influir en el costo del proyecto⁶

En la figura 3 se representa habilidad de factores para influenciar en el costo de la construcción a través del curso del proyecto, contra el costo de los cambios en las diferentes etapas del proyecto.

Estudios realizados por diferentes organizaciones líderes en el análisis y evaluación de la administración de proyectos, han demostrado mediante comparaciones referenciales de distintos proyectos, que las decisiones tomadas en las etapas de conceptualización y diseño

⁶ Recuperado de: <https://theconstructor.org/construction/strategic-construction-project-planning-programming/16044/>

se basan en trabajos de un costo relativamente menor, pero tienen una influencia determinante sobre la ejecución del proyecto. Durante la ejecución, las erogaciones relacionadas con el proyecto son de un orden de magnitud significativamente mayor; por lo que, una vez iniciada esta fase, el tomar decisiones tardías sobre la definición del proyecto puede resultar en modificaciones cuya realización implique costos muy altos.

Durante la fase de ejecución y con el fin de minimizar las desviaciones, es necesario mantener una estricta disciplina durante toda la fase, es decir, deberá ser desarrollada con base en los objetivos, estrategias, elementos técnicos y directrices que fueron establecidos durante la fase de diseño y acreditación; el seguimiento y las modificaciones a dichos elementos deberán ser llevadas a cabo mediante los mecanismos de control que también fueron definidos en la planeación.

1.4.2 Fases de un Proyecto

Las fases de un proyecto pueden involucrar las siguientes etapas:



Fig. 4 Fases de un proyecto
Elaboración propia

La duración total de un proyecto puede ser muy variable, de 2 a 5 años. Aunque cada vez es más común que sean más cortos. Notar también que las fases de un proyecto pueden traslaparse debido a las presiones económicas para terminar el programa más pronto.

Estudios / Ingeniería conceptual

Los requerimientos en un proyecto son desarrollados proponiendo y optimizando soluciones, y evaluando la parte económica de un proyecto.

El trabajo en la ingeniería conceptual involucra el desarrollo de balances de materia y diagramas de flujo de proceso.

*Ingeniería preliminar, Paquetes FEED (Front-End **Engineering Design**)*

Consiste en completar las primeras actividades en el diseño de ingeniería de proceso, sistemas de control y mecánica.

Entre los documentos típicos que involucran a la disciplina de proceso para la etapa del FEED se encuentran:

- Diagramas de Flujo de Proceso (DFP's)
- Diagramas de Selección de Materiales
- Plot Plan
- Diagramas de Tuberías e Instrumentación (DTI's)
- Hojas de Datos de Equipo
- Hojas de Datos de Instrumentación

Ingeniería de Detalle

Entre las actividades principales a ejecutar durante esta fase del proyecto se encuentran:

- Completar el diseño del proceso, sistemas de control, estructural y diseño eléctrico.
- Incorporar la información de proveedor al diseño
- Procuración del equipo mecánico y artículos en volumen

Entre los documentos adicionales, preparados típicamente durante la ingeniería de detalle están.

- Isométricos (diseño de tuberías)
- Planos estructurales
- Planos eléctricos

Construcción

Entre las principales actividades en la fase de construcción se encuentran:

- Construcción y Pruebas

Responsabilidades de ingeniería durante la etapa de construcción:

- Soporte a los cambios y preguntas por parte de construcción
- Completar la revisión en campo y desarrollo de listas de pendientes.
- Apoyo en las pruebas de equipo y sistemas.

Arranque

Las principales actividades durante esta fase:

- Comisionamiento y arranque

Responsabilidades de ingeniería durante la etapa de arranque:

- Entrenamiento a operadores
- Apoyo en operación durante el arranque.
- Monitoreo de la operación de la unidad durante el arranque
- Apoyo durante las pruebas de comportamiento.

El costo de tener capital improductivo durante la construcción, así como el costo por retrasar la producción de un producto valioso, pueden ser bastante significativos.

Cuando en un proyecto el programa es corto y las fases se traslapan, puede llevar a tener cambios potenciales durante el trabajo de diseño lo que da lugar a retrabajos. Se debe esperar que surjan cambios y si estos son válidos y necesarios deberán ser aceptados.

La figura 5 nos muestra los procesos de ejecución dentro de un proyecto, dentro de una firma de ingeniería, así como los procesos de soporte necesarios para coordinar todas las actividades para completar un mega proyecto de ingeniería.

1.4.3 Procesos de ejecución dentro de un Proyecto

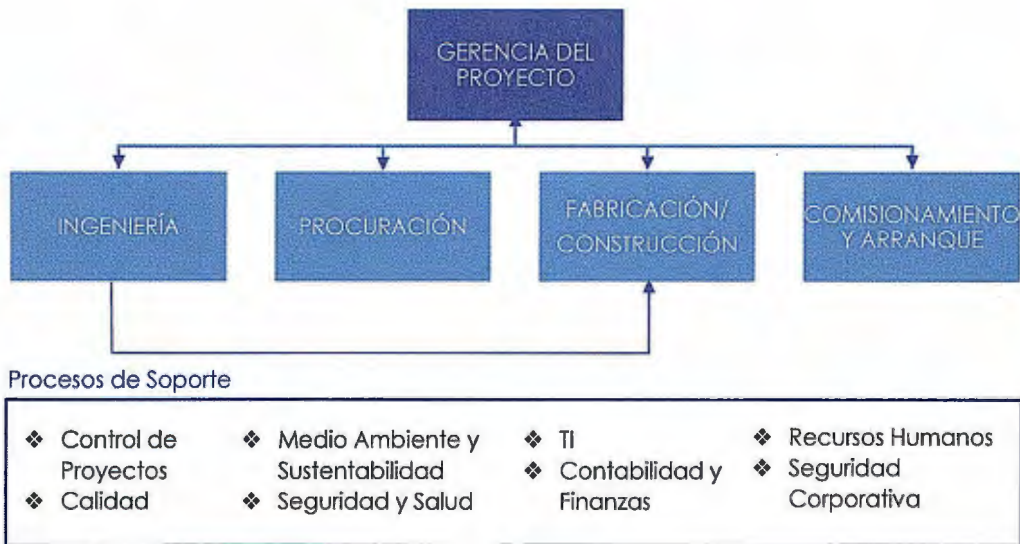


Fig. 5 Procesos de Ejecución dentro de un Proyecto

El proyecto se diseña a través de etapas secuenciales, lógicamente establecidas para garantizar una adecuada definición de objetivos, alcance, responsabilidades, plazo y costo de proyecto.

La figura 6 ejemplifica cómo cada etapa de la fase de diseño y acreditación se caracteriza por entregables tangibles que sirven de base para sustentar el correcto grado de definición del proyecto, así como para tomar decisiones respecto a su continuidad, cancelación o reevaluación, y poder contar con el grado de definición necesario para comenzar el desarrollo de la fase de ejecución.

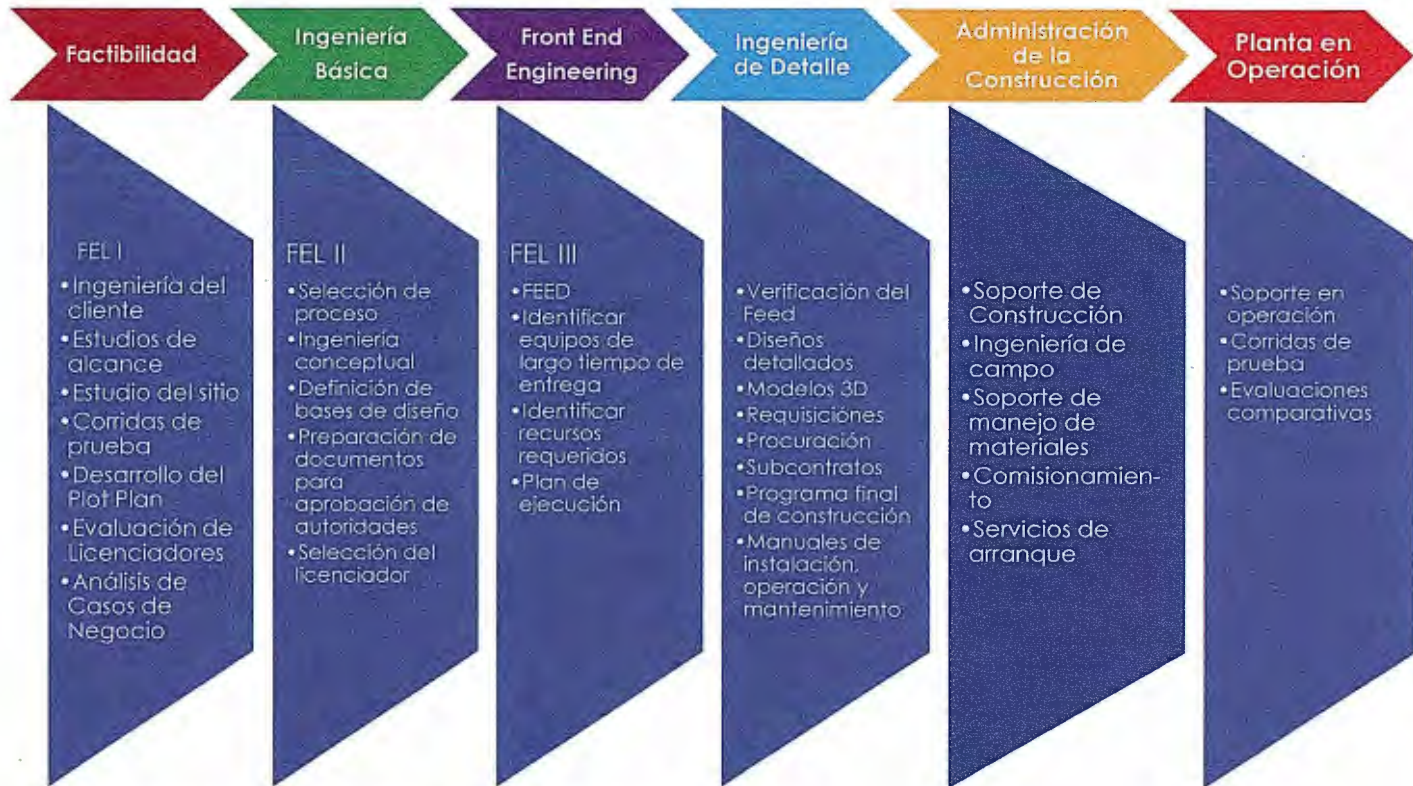


Fig. 6 Proceso de ejecución Front-end Loading (FEL) y entregables ⁷

⁷ Adaptado de: <http://www.esol-x.com/epc/>

Aunque la realización de cada proyecto puede plantear características propias y circunstancias particulares, un esquema general para el cumplimiento de las etapas mediante los siguientes elementos.

- El Proceso, como una serie de actividades a realizarse en cada etapa, identificando los roles a los que corresponde la responsabilidad de ejecutarlas y la organización.
- Los entregables, producto de cada etapa, suficientes para definir por sí mismos el alcance de trabajos que debe realizarse.

Los objetivos de este proceso se encuentran principalmente en:

- Cumplir con las metas de terminación en tiempo y costos durante la ejecución, entrada en operación, así como la operabilidad esperada del proyecto.
- La minimización de cambios de alcance operativos y presupuestales sobre proyectos en fase de ejecución.
- Alcanzar los mejores niveles de desempeño en la administración de proyectos.
- Asegurar que los proyectos se desarrollen bajo criterios de sustentabilidad y responsabilidad corporativa.

1.5 Mega Proyectos

Un mega proyecto es un proyecto de gran escala con una inversión de gran envergadura, típicamente definido de un costo mayor a \$ mil millones de dólares. Los mega proyectos suelen atraer la atención del público por el impacto substancial en comunidades, medio ambiente y presupuesto.⁸



Fig. 7 Mega proyectos presentes en una variedad de sectores industriales

La figura 7 muestra algunos sectores en donde se suelen desarrollar proyectos de gran magnitud incluyendo, petróleo y gas, petroquímica, minería, aeroespacial, aeropuertos, canales, medio ambiente, tecnología de la información, presas e hidroeléctricas,

⁸ Merrow E., *Industrial Megaprojects: Concepts, Strategies and Practices for Success*; 2011.

farmacéuticas, industria alimenticia, generación de energía e infraestructura para ciudades. Entre los mayores retos que afrontan este tipo de proyectos, encontramos:

- Inestabilidad política e inseguridad
- Inestabilidad financiera
- Incertidumbre económica (devaluación, recesión)
- Permisos gubernamentales y restricciones
- Dificultades en transportación y logística
- Condiciones climáticas extremas y comunicaciones
- Reclutamiento de mano de obra, retención y malestar laboral
- Campamentos e instalaciones de abastecimiento
- Preparación para emergencias y evacuación
- Servicios de salud
- Protección y preservación del medio ambiente



Fig. 8 Retos en Mega proyectos⁹

⁹ Rey M. Managing Mega Projects. ARPEL Presentation, Module 4, 30 Sept. 2014, Cartagena, Spain. Recuperado de: media.arpel2011.clk.com.uy/cartagena/D1MariaRey.pdf

Entre los principales factores a consideración para una buena conducción y ejecución exitosa de un mega proyecto, ilustrado en la figura 8, encontramos:

Prioridad del negocio: Incluye el aspecto financiero, inversión, modelo económico, tiempo para salir al mercado, oportunidades comerciales, objetivos de negocio.

Definición del diseño: proceso de licenciamiento, ingeniería, estrategia de contratación, procuración, construcción, entregables claves de ingeniería.

Capacidad de la organización: Organización del cliente, equipo dedicado del cliente para manejo de la ingeniería y construcción y la administración de las interfaces entre las partes.

Control de proyecto: Nivel de control requerido, administración de cambios, administración de riesgos, progreso físico alcanzado antes de avanzar a la siguiente fase.

Programa de ejecución del proyecto: identificación de riesgos y oportunidades

- Modelo de proyecto integrado por etapas: Aprobación de inversionistas internos, externos y socios.
- Interfaces de ingeniería y construcción: maduración de la ingeniería antes del inicio de la construcción, evaluar traslape de fases y administración efectiva de interfaces.
- Costos de construcción
 - ✓ Productividad: alcance, administración de la construcción, contratos y administración de materiales, logística, clima, regulaciones ambientales, geográficas y locales.
 - ✓ Incentivos: En materia de seguridad y cumplimiento del programa.
- Restricciones de flujo de efectivo: Revisión del plan de ejecución, requerimientos de recursos, lógica del programa, prioridades y fechas de terminación.
- Procuración
 - ✓ Iniciar antes de sanción para equipos de largo tiempo de entrega.
 - ✓ Términos de cancelación.
 - ✓ Artículos al por mayor (descuentos, rebajas).

- Estrategia de contratación: (Por costo reembolsable, precio unitario, llave en mano, contrato mixto).
 - ✓ Nivel de definición de proyecto.
 - ✓ Restricciones del programa.
 - ✓ Condiciones del mercado.
 - ✓ Recursos.
- División de la responsabilidad.
 - ✓ Definir el alcance entre ingeniería, construcción, proveedores, licenciador y equipo del cliente.
 - ✓ En alineación con los estimados y el programa base.

1.5.1 Fracaso de un Proyecto

Existen tres componentes básicos en un proyecto; alcance, presupuesto y tiempo. El fracaso de un proyecto muchas veces se relaciona con estos componentes y el análisis de ellos se vuelve crítico.

- Alcance

El alcance de un proyecto, esto es, lo que se quiere proveer con el proyecto, puede ser la causa principal de fracaso en un proyecto cuando no está claro. Debe definirse por escrito y especificar lo que se está incluyendo en el proyecto. Si el alcance del proyecto llega a ser pobre y no es claro puede haber sorpresas que impacten en tiempo y costo llevando al fracaso total o parcial del proyecto.¹⁰ Algunas veces, los ingenieros de proceso pueden tener ideas para mejorar el proceso, sin embargo, aunque parezca algo bueno, el cambio puede llegar a perjudicar. Otras veces, llegan a darse cambios en el proceso, por ejemplo, cambiar una bomba de tipo horizontal a una de tipo vertical, implican cambios como nuevas especificaciones de equipo que deben de hacerse, puede requerirse modificación en el arreglo del tanque o fosa de donde iba a succionar la bomba y hasta cambio en los soportes o fundiciones.

¹⁰ Harding J.S., *Avoiding Project Failures*, Chemical Engineering, December 2012.

Dependiendo de la etapa de ingeniería en la que ocurra el cambio es el impacto que puede tener, si bien en una etapa de diseño sólo implicaría algo de retrabajo con el correspondiente impacto en el programa del proyecto, a diferencia de la etapa de construcción donde se puede llegar a tener un fuerte impacto en el costo del proyecto y un atraso considerable en el programa.

Una forma de disminuir el impacto ocasionado por cambios en un proyecto es mediante un procedimiento para hacer algún cambio, diseñado para identificarlos de manera precisa dentro de las disciplinas de ingeniería involucradas que debe consistir en la continua comunicación entre las disciplinas, informando de los cambios mayores que se dan y su justificación.

- Presupuesto

El presupuesto, es decir, ¿cuánto se supone que debe costar el proyecto?, es otra causa de fracaso que va de la mano del alcance del proyecto. Muchas veces el presupuesto debe ajustarse a lo que se tiene y aquí el alcance es el que generalmente se ve reducido con respecto a la idea inicial del proyecto. Si el costo del proyecto se compone típicamente en el costo de los equipos, tanto equipos de proceso como equipos eléctricos, instrumentos, sistemas de control; más el costo por materiales "bulk" o al por mayor, por ejemplo, tubería, cables, concreto, acero, y por costos en los servicios de ingeniería y tareas de construcción; cuando se reduce el presupuesto la única forma de reducir los costos es reduciendo el alcance.

- Tiempo

¿Cuándo se quiere que esté listo el proyecto?

La planeación y programación es otro aspecto relacionado con el fracaso de un proyecto. La ruta crítica de un proyecto debe asignar tiempo, de manera escalonada, a las diferentes tareas a desarrollar, incluyendo, revisiones de seguridad (HazOp), diseño de detalle, interconexiones, tiempo para el ciclo de cotizaciones, entrega de equipos, duración de la construcción, entre otros. Además, la importancia en la secuencia de estas tareas reside en asegurar que se haya terminado una tarea antes de llegar con la siguiente y evitar a toda costa los retrabajos.

Los costos por retrabajos, incluyendo materiales, equipo, labores y subcontratistas puede ir del 2% al 20% del precio total del contrato de un proyecto. De acuerdo con el CII (Construction

Industry Institute) el costo directo de retrabajos promedia 2.4% del total del valor del contrato para un proyecto industrial estándar y 12.4% para proyectos industriales pesados.¹¹

Algunas causas comunes de retrabajos incluyen, diseño defectuoso, mala planeación, proceso ineficiente, mala calidad de materiales, defecto de fabricación y mucho trabajo precipitado al final de un proyecto. Un estudio llamado "A Guide to Construction Rework Reduction" revela que el factor que más afecta al retrabajo es el programa del proyecto con 25.4%, seguido por problemas relacionados con materiales y equipos 19%, diseño e ingeniería con 14.6% e instrucciones y monitoreo con (14.5%). Recortar costos también puede traer consigo retrabajo.

- Nuevas tecnologías

Cuando en un proceso se va a desarrollar por vez primera una tecnología, ciertas consideraciones deben de hacerse para evitar el riesgo de fracaso del proyecto, como considerar tiempo y presupuesto extra para cualquier tipo de inconveniente que pueda surgir. Muchas veces las nuevas tecnologías vienen del laboratorio y son escalonadas a pruebas en planta piloto, lo cual, puede llegar a ser engañoso pues muchas veces las cosas no se comportan de la misma manera a gran escala. Incluso por las condiciones de competencia que existen en un mercado globalizado, las pruebas piloto para una planta se pueden dejar de lado, pasando del laboratorio directamente a la producción a gran escala, asumiendo con ello un enorme riesgo.

- Gerente de proyecto y personal

Un elemento clave en la ejecución y éxito de un proyecto es el gerente de proyecto. El gerente de proyecto no debe saber absolutamente todo, pero debe tener la experiencia suficiente para saber lo que otros no; de igual manera si no tuviera gran experiencia, sí debiera de rodearse de un buen grupo de ingenieros (por ejemplo, ingenieros de proceso) y expertos en los que pueda apoyarse. Otra cualidad que debe tener el gerente de proyecto es compatibilidad para trabajar en equipo, ya que, si hubiera problemas de comunicación, personalidad y

¹¹ Moore P., *Growing Cost of Rework Creates Multiple Problems*, ENR Contractor Business Quarterly CBQ9, December 2012

compatibilidad entre miembros del equipo, internos o externos, implicaría un mayor riesgo para la ejecución del proyecto.

La falta de apoyo en un proyecto puede llevarlo al fracaso. Un proyecto necesita recursos, la mayoría de ellos humanos y suele ser un grave error no asignar gente de experiencia como ingenieros de proceso, gente de procuración, control de proyectos u otra disciplina de ingeniería.

- Elegir la Firma de Ingeniería (FI) y Contratistas

Para las FI es un compromiso asignar los recursos necesarios para la realización de un proyecto, desde la ingeniería de detalle, incluyendo dibujos y especificaciones para la adquisición de equipos y hacer que el proyecto se lleve a cabo. Una FI debe tener capacidad técnica, cantidad suficiente de ingenieros con experiencia para la ejecución de los proyectos que maneje. También debe ser competitiva, tener buenas referencias de los proyectos que ha realizado. Compromiso, en asignar a la gente idónea y la cantidad de gente necesaria. Voluntad, para superar cualquier obstáculo que se presente en el desarrollo de un proyecto. Compatibilidad con el cliente, lograr una buena experiencia y trato con el cliente durante el desarrollo del proyecto.

A su vez, así como es en la elección de una FI, cualidades similares se busca evaluar en los contratistas de construcción de un proyecto. Para ambos habrá que decir que el concursante más barato puede que no sea la mejor elección.

Finalmente, las FI en general, cuentan con procesos y procedimientos para prevenir fallas y fracasos en un proyecto, y si una firma no contara con la suficiente experiencia siempre tiene la opción de contratar un consultor externo para que lo asista con el proyecto.

- Administración de la Información

Maximizar calidad, minimizar costos y cumplir con los tiempos son los retos que se presentan en los grandes proyectos. Avances y mejoras importantes se han conseguido en áreas como la construcción y la ingeniería, sin embargo, el manejo y la administración de la información es un área que requiere de cuidado.

Muchas veces la información que reciben los operadores suele ser incompleta e imprecisa. La falta de información se debe entre otras cosas a un pobre alcance, ingeniería básica incompleta, información compleja en grandes cantidades, falta de expertos y un empuje hacia la realización de proyectos cada vez en menor tiempo.

Esta falta de información puede elevar los riesgos del proyecto, incluyendo: la seguridad del proyecto, la toma de malas decisiones, ineficiencia en el proyecto e incumplimiento en las regulaciones.

Hoy en día la administración de la información incluye parte del control tradicional de documentos, dibujos diseñados en CAD y control de datos de coordinación e ingeniería. Un punto importante que señalar es que frecuentemente los documentos e información en el proyecto no están considerados como entregables en el alcance, lo que ocasiona conflicto más adelante.

La cantidad de documentos e información que un ingeniero de proyecto debe entregar ha venido en aumento. En el trabajo de ingeniería cada vez se tiene disponible mayor cantidad de información gracias al uso de programas especiales de software y herramientas de diseño que contienen volúmenes masivos de información. Los requerimientos de administración de calidad como los estándares ISO 9000 y 14000 también contribuyen al aumento de la información.¹²

Los tiempos de vida en los proyectos, cada vez más cortos, implican que el tiempo para desarrollar y/o conseguir la información sea limitado, ya sea para la compra de equipo, fabricación, construcción u operación. Este apuro ocasiona que la información solicitada sea aceptada aún con imperfecciones o incompleta. Esto incluye gran cantidad de información compleja que ahora es necesaria para operar o dar mantenimiento a una planta de manera efectiva.

Otra área de particular importancia es la de planos e información "as built", pues es ahí en donde se asegura que la última información que se tienen esté al corriente. Los documentos

¹² Corsar G., Improving Information Management, Chemical Engineering, March 2011

“as built” son la última oportunidad de generar un impacto positivo en el costo y en la calidad de la información para el proyecto.

Para reducir costos de forma efectiva, mejorar la calidad y reducir riesgos, se tiene que desechar la documentación en papel. Todos los documentos entregables, creados y firmados con herramientas electrónicas, también deben ser manejados electrónicamente por el cliente.

- Recursos de información

El manejo de información de igual forma ha sufrido mejoras tecnológicas importantes. La forma en la que se procesa la información es cada vez más eficiente. Nuevas herramientas y sistemas ofrecen la oportunidad de interactuar con la información disponible de manera más efectiva. Entre las herramientas más usadas está la de búsqueda refinada de información.

Las empresas hoy en día manejan sistemas de información para darle al usuario una mejor experiencia en la búsqueda de información. Algunas de ellas, tienen toda una plataforma relacionada a compartir la información, donde se han adoptado tendencias para madurar esos sistemas al estilo de redes sociales del conocimiento como comunidades o foros que incluso tienen alcance hasta en teléfonos móviles.¹³

Por la naturaleza global y el tiempo reducido para la ejecución de muchos proyectos, caracterizados por equipos de trabajo menos especializados y, muchas veces separados geográficamente, los recursos de información, la capacitación y la transferencia de conocimiento se vuelven elementos críticos para el éxito.

Para proyectos donde el tiempo es una constante presión, obtener información rápidamente es fundamental. Otro punto importante es la calidad de la información y las bases de datos actualizadas para cualquier proyecto, para atacar la situación algunos recursos y herramientas como, Elsevier's Engineering Village, Knovel, Chemical Abstracts Service, entre otros, se encuentran disponibles y cada vez se aplican con mayor facilidad para la resolución de problemas y búsqueda de información.

¹³ Jenkins S., *Information Gets Dynamic*, Chemical Engineering, June 2011

- Nuevas Oportunidades

Las FI deben buscar la tecnología, disponibilidad de materia prima y las condiciones económicas locales adecuadas para hacer que un proyecto sea viable. Aquí muchas FI concuerdan en que el ambiente económico actual es de los mayores retos a vencer para que se puedan hacer realidad los proyectos.¹⁴

En países del Medio Oriente, China, Europa y los Estados Unidos se empieza a ver cada vez más interés en estos proyectos, pero muchas de las compañías están buscando financiamiento y esperando que nuevas regulaciones se establezcan por parte de los gobiernos. Existen desarrolladores en el mercado con tecnologías escala laboratorio que quisieran arrancar este tipo de proyectos, pero el aspecto económico sigue siendo difícil y para que las FI empiecen con la ingeniería de detalle y a especificar y comprar equipo, se requiere que el cliente tenga el capital para continuar con el proyecto. Otro punto es que muchas tecnologías disponibles en escala laboratorio o en planta piloto son prometedoras, pero a la hora de pasar a nivel industrial empiezan con grandes retos. Se necesita determinar que tecnología es la más viable, que satisfaga los requerimientos del cliente, minimice costos, problemas de operación, insuficiente materia prima o falta de energía.

- Globalización

La globalización es otro de los problemas a los que se enfrentan estos nuevos proyectos, pues en el pasado se diseñaba un proyecto de acuerdo con el mercado y a las regulaciones del país, ahora, el cliente quiere que se diseñe para que cierto producto pueda estar en cumplimiento con otros órganos regulatorios alrededor del mundo.

- Formación de Recursos Humanos

En la actualidad, con la nueva Reforma Energética aprobada en nuestro país, el sector energético prevé que se generen hasta 135 mil puestos de trabajo directos y 365 mil indirectos en los próximos cuatro años. Varios de estos puestos estarán designados para ingenieros químicos y es necesario cerrar la brecha entre la oferta y la demanda de especialistas capaces de desempeñarse en el sector. El problema estará en responder a una mayor complejidad

¹⁴ Lepree J., *The Road to Recovery*, Chemical Engineering, April 2010

tecnológica en la producción, transformación de hidrocarburos, a la demanda de desarrollar y utilizar energías limpias y renovables, así como al recambio generacional.¹⁵

1.5.2 Contrato por Servicios Profesionales en el Sector Minero

Históricamente, el modelo de Ingeniería, Procuración y Administración (Manejo) de la Construcción (IPCM) se ha mostrado como tendencia en el sector minero para la ejecución de proyectos ya que puede ofrecer algunas ventajas, aunque en los últimos años, en vista de la desaceleración de este tipo de proyectos mineros, la caída de los precios de *commodities* y las presiones por los costos, han puesto en revisión este tipo de contrato.

La manera en que las compañías mineras se encuentran construyendo sus nuevas operaciones está cambiando para bien. El contrato para el desarrollo de la IPCM está evolucionando.

Este tipo de contrato es en esencia una designación de servicios profesionales en el que los servicios del contratista IPCM usualmente estarán limitados a la producción de la ingeniería de detalle, la procuración, administración de los trabajos de construcción necesarios para entregar el proyecto.¹⁶

Una diferencia importante en comparación con el contrato de Ingeniería, Procuración, Construcción (IPC), es que el contratista IPCM no aceptará el riesgo por el costo o tiempo de entrega del proyecto, este riesgo queda asociado al cliente. Por lo tanto, el cliente deberá manejar estos riesgos con asistencia profesional y soporte del contratista IPCM durante la construcción y la cadena de suministro de equipo.

Un estimado inicial de capital para la terminación de trabajos puede ser significativamente menor bajo el esquema de solución por contrato IPCM cuando se compara con un modelo IPC a precio alzado "llave en mano". Esto debido a que las soluciones llave en mano, tienden a incluir márgenes significativos en los precios por contingencia, relacionados a la administración

¹⁵ Periódico MURAL, Negocios, Inicia alianza para capacitar en energía, Staff, (octubre 2014).

¹⁶ Clarke B., O'Brien S., et al; *Ticking all the right boxes. How mining companies procure for projects is changing*, Turner & Townsend says; Mining Journal September 2015

del riesgo general de entrega del proyecto. La solución por contrato IPCM apoya a la economía del proyecto, ayudando de esta manera a atraer financiamiento de deuda y capital.

La solución por contrato IPCM permite al cliente tener el control final sobre el desarrollo del diseño en toda la construcción. Esto permite al cliente tener flexibilidad y adaptar el diseño, las necesidades (a veces cambiando el alcance) y la optimización e ingeniería de valor, cuando sea pertinente, para controlar los costos de capital.

El contrato por IPCM permite flexibilidad en el proceso de procura. Esto es importante donde se tiene un extenso período de construcción con un programa de construcción de fases múltiples con distintos paquetes por separado para la entrega total de la infraestructura.

Pero la ventaja de menores costos y una mayor flexibilidad bajo el esquema de contrato IPCM siempre deberá ser equilibrado contra los riesgos adicionales importantes retenidos por el cliente en la entrega del proyecto. El cliente bajo el esquema IPCM no quedará excluido del riesgo por sobrecostos de la misma manera que estarían bajo un esquema de contrato IPC a precio fijo.

Para la implementación exitosa del proyecto, el esquema IPCM requiere un buen equipo de experiencia para movilizarse y poner manos en el asunto con un papel intrusivo en la gestión y administración de las obras.

El contratista IPCM actúa como agente del cliente y crea a nombre del cliente relaciones contractuales directas entre el cliente y los otros proveedores y contratistas de construcción.

El contratista IPCM es responsable de toda la administración y actividades de supervisión de la construcción que incluyen gestar, supervisar y administrar los contratos de construcción.

Los servicios de administración de la construcción suelen incluir la administración de las políticas de salud y seguridad en el sitio, gestión de conflictos entre el cliente, el trabajo de contratistas y proveedores, el establecimiento de sistemas de aseguración de la calidad y gestión de la reparación en trabajos defectuosos y otros servicios proporcionados por terceros.

En todos los casos, es importante que la naturaleza y alcance de los servicios proporcionados sean bien definidos y que los niveles apropiados de flexibilidad sean creados para permitir que el alcance de los servicios sea adaptable a lo largo de la ejecución del proyecto de tal manera

que no exponga al cliente a penalización por disminución de alcance o precios inflados por tales servicios.

La asignación de responsabilidad antes mencionada no es la única solución. Soluciones híbridas se han vuelto más comunes, en principio donde los clientes retienen la función de administración a través de un equipo del cliente para crear una división entre la ingeniería y procura con la administración de la construcción. La estructura apropiada deberá ser considerada por el cliente de acuerdo con sus asesores técnicos, comerciales y legales según sea el caso.

Mientras que un contratista IPCM puede aceptar algún riesgo limitado en la ejecución de un proyecto en tiempo y costos, el contrato IPCM no ofrece una solución a precio alzado.

El control de costos deberá ser alcanzado a través de la implementación de una estrategia robusta de procuración, típicamente desarrollado y administrado por el contratista IPCM en consulta con el cliente.

La clave de esto será la separación de las obras en trabajos adecuados y paquetes de suministro que deberán ser comprados cada uno bajo un esquema robusto que busque excluir al cliente de riesgos por tiempo y sobrecostos. La estrategia de procuración deberá evitar donde sea posible la interferencia de trabajos, diseño y tiempo. Donde la creación de tales interfaces sea inevitable, el contratista IPCM deberá establecer una estrategia clara para la administración de cada una de estas.

El papel del equipo del cliente en la supervisión, apoyo y suministro de servicios del contratista IPCM es de gran importancia para lograr una ejecución y entrega del proyecto exitoso dentro del límite del presupuesto del proyecto.¹⁷

¹⁷ Norton Rose Fulbright, A guide to EPCM contracts. Recuperado de: [NRF15994_A_guide_to_EPCM_contracts_V4.indd](#)

2. La Planta productora de Cobre

2.1 Descripción del Proyecto El Boleo

2.1.1 Propiedad

La propiedad del Boleo consiste en un total de 25 concesiones mineras cubriendo 20,490.9 ha, de las cuales 24 están continuas, la concesión de San Bruno se encuentra separada y se localiza a 30 km al sur de Santa Rosalía.

La mayoría de las concesiones comenzaron desde el año 2000 y la fecha de expiración es en el año 2050.

El total de impuestos anuales a pagar, reportado en septiembre de 2009 fueron \$631,724 pesos por las concesiones del mineral y \$50,691 pesos por el arrendamiento de superficies, de acuerdo con las guías de impuestos publicadas por el gobierno en esa fecha.

Las concesiones mineras que cubren los depósitos de cobre-cobalto-zinc-manganeso del Boleo son 100% propiedad de Minera Metalúrgica del Boleo (MMB), una compañía mexicana involucrada en la exploración y desarrollo del mineral.

En 2010 MMB pertenecía 70% al Corporativo Baja Mining con sede en Vancouver (ahora Camrova Resources Inc.) y 30% a Korea Resources Corporation (KORES), un consorcio coreano integrado por Korea Resources /Hyundai/Hysco.

En 2012 el proyecto pasó por una fase de suspensión luego de la identificación de importantes sobrecostos, donde el consorcio coreano pasaría a ser el propietario mayoritario; para 2017 la participación canadiense se habría diluido hasta un 7.4%.

2.1.2 Localización

El Proyecto "El Boleo" se localiza dentro del antiguo distrito minero de Santa Rosalía, en los alrededores de la ciudad del mismo nombre, en el municipio de Mulegé, en la costa este del estado de Baja California Sur, a la vista del Mar de Cortés, como se aprecia en la figura 9.

Santa Rosalía es un poblado con 12,000 habitantes, está conectado por la Carretera Transpeninsular que recorre la península de Baja California. Antes del inicio de este proyecto, la actividad económica del lugar se basaba en la pesca local y turismo.

Sin embargo, la actividad minera extractiva, históricamente se desarrolla desde el siglo pasado en el Distrito Minero de Santa Rosalía, el cual fue explotado desde su descubrimiento en el año de 1868 hasta 1988, en dicho período hubo desde pequeños empresarios (1868-1884), hasta empresas de origen extranjero (1885- 1954) y paraestatal (1954-1985) alcanzando una producción de 11,000 toneladas anuales de cobre entre 1900 y 1940. Decayó en 1985 cuando la Compañía Minera de Santa Rosalía cerró sus operaciones.¹⁸

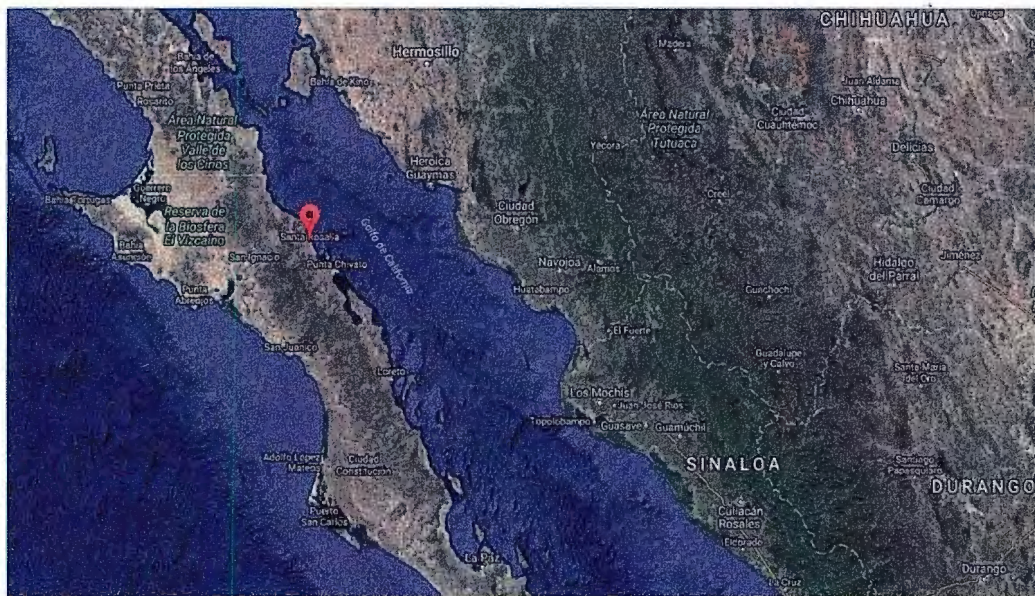


Fig. 9 Localización del Proyecto

¹⁸ Corporación Ambiental de México, S.A. de C.V., Manifestación de Impacto Ambiental Modalidad Particular, Proyecto de Exploración Minera El Boleo Municipio de Mulegé , B.C.S., Proyecto 04030, México D.F., 12 de Julio 2004, págs.8, 20.



Fig. 10 Área del sitio y poblado de Santa Rosalía

El área es desértica con la mayoría de las precipitaciones asociadas con la actividad de huracanes que se llegan a formar al final del verano.

Características de la Localidad

Acceso

La propiedad del Boleo se localiza a la orilla del mar en la costa este del estado de Baja California Sur, Municipio de Mulegé a un lado del poblado de Santa Rosalía, como se muestra en la figura 10. El acceso para material de construcción se consideró principalmente el traslado por la carretera transpeninsular, a 850 km al sur de la frontera con EUA. Esta carretera pasa por Santa Rosalía y conlleva tráfico pesado a lo largo del año. Para el equipo pesado de construcción y los suministros del proyecto se consideró el traslado por el puerto de Santa Rosalía y las instalaciones de la marina de la Costa del Pacífico en Guerrero Negro. El servicio aéreo desde los Estados Unidos y México por Loreto, que se encuentra a dos horas al sur manejando y a seis horas de La Paz. El aeropuerto privado más cercano es Palo Verde a media hora de distancia manejando.

Clima

El área del proyecto se encuentra a un lado del golfo californiano, con un clima típico de la región del desierto de Sonora con temperaturas cálidas a calientes y precipitación estacional mínima. La caída de lluvia se atribuye principalmente a ráfagas de nubes pesadas a intervalos de varios años durante ciclones tropicales. Las operaciones en la mina son programadas para 365 días por año, salvo raros eventos de lluvia, que ocurren cada 10 años en promedio.

Recursos Locales

Santa Rosalía cuenta con una población de 12,000 personas y sirven en largas flotas pesqueras, instalaciones procesadoras de pescado y dos minas a cielo abierto de yeso. Un estudio económico preparado en 1997 mostraba que la mayoría de las posiciones, no pertenecientes a funcionarios, podían ser cubiertas por la población local.

De acuerdo con un censo, 40,000 personas habitan en el municipio de Mulegé, que es poco más del 10% de la población de Baja California Sur. Las concentraciones de población dentro del municipio incluyen a Sana Rosalía, Santa Agueda, pueblo de Mulegé, Guerrero Negro, San Ignacio y Gustavo Díaz Ordaz, donde Santa Rosalía es el poblado más grande del municipio.

La estancia en hotel, gasolina, alimentos y equipo de cómputo se suministra directamente del poblado de Santa Rosalía. Otros artículos que incluyen maquinaria y personal capacitado se encuentran disponible desde México por ferry proveniente de Guaymas o por avión desde Loreto o La Paz. Otros suministros y servicios se obtienen desde California, en Estados Unidos.

2.1.3 Historia

La propiedad del Boleo fue descubierta por la década de 1860 por rancheros locales. La producción limitada dio lugar a la adquisición por parte de empresa francesa Compagnie du Boleo que operó en la mina hasta mediados del siglo XX. Existieron intentos de operaciones esporádicas por corporaciones paraestatales en México hasta la década de 1980 cuando entró como Reserva Nacional Minera.¹⁹

¹⁹ Romero Gil, Juan Manuel (1991). *El Boleo Un Pueblo que se negó a morir*. Hermosillo, Sonora, México: Unísono. p. 51

Tabla 1. Línea del Tiempo del Boleo ^{20 21}

Año	Línea del Tiempo del Boleo
1868	Descubierto por rancheros locales
1872	Fundación de la Antigua Compañía "El Boleo"
1879	Quiebre de la compañía por fluctuaciones en el precio del cobre y las técnicas rudimentarias de explotación.
1885	Fundación de "Compagnie du Boleo" a concesión francesa otorgada por Porfirio Díaz.
1885 -1934	La compañía francesa explota y funde 14 millones de toneladas de cobre de grado 5%
1938	Declinación de la producción de cobre
1954	Clausura de la compañía francesa al considerar agotados los yacimientos.
1954	La comisión Nacional de Fomento Minero apoya la formación "Compañía Minera Santa Rosalía" para reiniciar la explotación minera.
1974	Disminuye la fuerza de trabajo en la actividad minera por disminución en los yacimientos de cobre.
1985	Suspensión de la actividad minera y metalúrgica, se declara Reserva Nacional Minera.
1992	Establecimiento de "Minera y Metalúrgica El Boleo", comienzan estudios de exploración.
1997	Estudios de Factibilidad por parte de Fluor
2004-2007	Pruebas y Estudio de Factibilidad Definitivo por Bateman
2007-2008	Ingeniería Básica por Amec, Vancouver
2008	Interrupción del Proyecto
2009	Actualización de Estimado de Costo del Proyecto y otorgado a Fluor

Luego de ser liberada de la Reserva Nacional Minera es adquirida en 1991 por medio de una huelga, en Julio de 1992 por Minera Terra Gaia, compañía mexicana propiedad de Terratech Environmental Corporation, compañía de Barbados. Luego de una serie de adquisiciones, la mexicana Minera Curator se haría del 100% de interés de la propiedad del Boleo, cambiando de nombre a Minera Metalúrgica del Boleo.

²⁰ Gil, Romero; Manuel, Juan. El Boleo: Santa Rosalía, Baja California Sur, 1885-1954: Un pueblo que se negó a morir. Nueva edición [en línea]. México: Centro de estudios mexicanos y centroamericanos, 1989

²¹ Ceja García G, Breve historia de los pueblos mineros de Baja California Sur; (2013), Recuperado de: <http://edicionesespecialesdelpaulboaspo.com/2013/03/breve-historia-de-los-pueblos-mineros.html>

2.1.4 Permisos

Durante 2006, MMB completó un estudio completo de Impacto Ambiental que engloba las fases de construcción, operación y clausura del proyecto El Boleo. Dada la complejidad del proyecto en sí mismo y de la sensibilidad ambiental que rodea la localización del proyecto, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) solicitó la presentación del Manifiesto de Impacto Ambiental con un alcance regional.

Luego de la solicitud de SEMARNAT tuvo a lugar trabajo de campo adicional para caracterizar completamente la influencia del proyecto en la región. La evaluación del proceso incluyó una solicitud de SEMARNAT para presentar información adicional relacionada al proyecto para aclarar la identidad del impacto ambiental.

Finalmente, después de incorporar las observaciones y recomendaciones de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas: la Secretaría de Planeación Urbana, Infraestructura, y Ecología del Gobierno del estado de Baja California Sur y la Presidencia del Municipio de Mulegé de Baja California Sur, se dio la resolución del impacto ambiental, autorizando la construcción operación y clausura del proyecto El Boleo. Con esta autorización se pudo continuar con los procedimientos para la obtención de otros permisos específicos del proyecto.²²

2.1.5 Consultores del Proyecto

Para la definición asesoría y estudio de factibilidad del proyecto contribuyeron varias organizaciones especializadas, diferentes expertos y consultores.

El costo de capital para la ejecución del proyecto El Boleo fue desarrollado por varias organizaciones especializadas en la materia. Algunas de estas se enlistan a continuación:

²² Manifestación de Impacto Ambiental Modalidad Regional (2006): Proyecto de Explotación Minera El Boleo Municipio de Mulegé, B.C.S.; Corporación Ambiental de México SA. De C.V. Proyecto 05025; Recuperado de sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/bcs/estudios/.../03BS2006M0007.pdf

Tabla 2. Consultores Costo Capital del Proyecto

Área principal de costos	Consultor	Localización
Minería a Cielo Abierto	Agapito Associates Inc	Grand Junction, Colorado
Minería subterránea	Agapito Associates Inc	Golden, Colorado
Infraestructura de Minería superficial	Wardrop Engineering, AMEC Earth & Environmental	Vancouver, Canadá Denver, Colorado
Presa de Jales	Arcadis Geotecnica, Klohn Crippen Berger Inc Amec Earth & Environmental.	Santiago, Chile Vancouver, Canadá Denver, Colorado
Planta de Ácido	SNC Lavalin	Toronto, Canadá
Planta Productora de SO ₂	Noram Engineering & Constructors Ltd	Vancouver, Canadá
Terminal de operación	Westmar	Vancouver, Canadá
Infraestructura de Azúfre	ICEC Canada Ltd	Calgary, Canadá

Los costos operativos fueron desarrollados en conjunto con proveedores de servicios, consumibles, materiales y equipo. Algunas de las compañías que participaron en la estimación de costos de operación en su particular área de experiencia:

Tabla 3. Consultores Costos Operativos del Proyecto

Área principal de costos	Consultor	Localización
Costos de operación Minería	Agapito Associates Inc	Grand Junction, Colorado
Costo de consumibles de Proceso	Emmett Consulting FLSmith Bateman Litwin Bateman Engineering	Tucson, Arizona Bethlehem, Pennsylvania Amsterdam, Netherlands Perth, Australia
Costo de operaciones Laboratorio	GMAR Development	Nevada, USA

2.1.6 Plan de Operaciones Mineras

El plan de operaciones de la mina está enfocado en desarrollar mineral de alta ley (% Cu) durante los primeros años (< 2%) seguido de un programa con cobre equivalente que irá disminuyendo con el paso del tiempo, como se muestra en las tablas 5 y 7. Aproximadamente el 90% de todo el mineral procesado durante la vida de la mina (de 22 años) proviene de la producción subterránea y el 10% restante proviene de producción minera en superficie, resumido en la tabla 4.

Tabla 4. Capacidad de la Planta y Disponibilidad

	Unidades	Valor
Mineral nominal	Toneladas secas/año	3,100,000
Mineral Subsuelo	Toneladas secas/año	2,500,000
Mineral Superficie	Toneladas secas/año	600,000
Carbonato de calcio máx.	Toneladas secas/año	1,000,000

Se utiliza el método de producción minera de cámaras y pilares con la utilización de minadores continuas (un método convencional de producción minera subterránea de “roca blanda” utilizado en la producción minera de carbón, potasa o sal), para la producción minera.

Las pruebas de producción de minería subterránea para poner a prueba los equipos, métodos de trabajo y respuestas geotécnicas del suelo (llevadas a cabo durante 7 meses en 2005 y 2006) confirmaron la capacidad del método propuesto y suministraron valiosos datos de campo e información sobre el comportamiento del suelo durante la producción minera y métodos de soporte del suelo.²³

²³ Boleo, *El Proyecto*; Recuperado de: <http://www.miniboleo.com/Proyecto-el-boleo.aspx>.

Tabla 5. Alimentación de mineral a la planta.

Año	Toneladas secas Procesadas	Alimentación de la planta (%) ley promedio en peso			
		Cobre	Cobalto	Zinc	Manganeso
2012	958169	2.130	0.0842	0.427	2.76
2013	2868774	1.980	0.0673	0.359	2.07
2014	3100000	2.170	0.0666	0.407	2.08
2015	3100000	2.030	0.0695	0.471	2.36
2016	3100000	2.040	0.0763	0.544	3.06
2017	3100000	2.080	0.0743	0.487	2.86
2018	3100000	1.880	0.0681	0.459	2.51
2019	3100000	1.810	0.0723	0.531	2.99
2020	3100000	1.730	0.0538	0.468	2.42
2021	3100000	1.750	0.0564	0.556	2.35
2022	3100000	1.690	0.0711	0.537	2.96
2023	3100000	1.470	0.0595	0.434	2.19
2024	3100000	1.310	0.0702	0.628	3.22
2025	3100000	1.110	0.087	0.837	3.82
2026	3100000	1.140	0.0924	0.667	3.41
2027	3100000	0.792	0.0878	0.722	3.79
2028	3100000	0.775	0.0735	0.662	4.24
2029	3100000	0.893	0.0801	0.558	2.28
2030	3100000	0.920	0.0606	0.488	1.94
2031	3100000	0.895	0.0541	0.508	2.42
2032	3100000	0.860	0.0496	0.649	3.17
2033	3100000	0.635	0.0589	0.781	4.71
2034	3100000	0.495	0.0622	0.899	5.7
2035	1312560	0.528	0.0612	0.842	5.86
Promedio	3053891	1.38	0.0690	0.580	3.132
Total	70239503				

Un total de 31 minas subterráneas y 27 minas a cielo abierto están identificadas para la inclusión en el plan de operaciones de la mina. El plan de la mina pronostica alimentar la planta aproximadamente 70 millones de toneladas secas de mineral por los 23 años de vida de la planta (25 años de vida de la mina), como se muestra en la tabla 5.

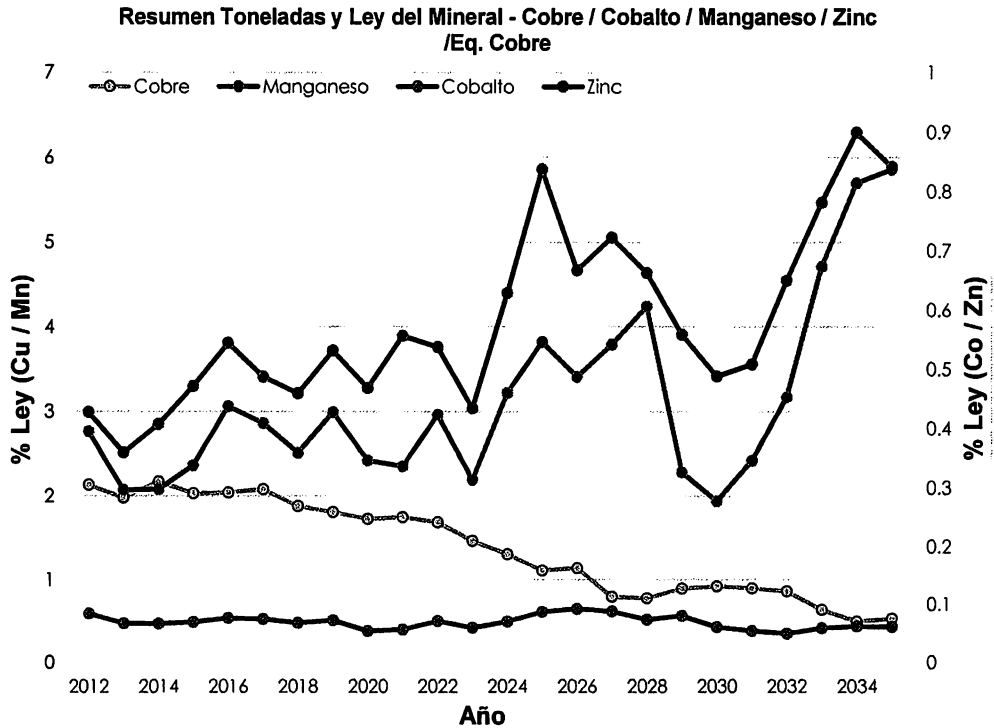


Fig. 11 Alimentación de mineral a la planta

Los resultados para la ley del mineral del plan de la mina se indican en la tabla 5 y figura 11 anteriores. Estos muestran los promedios anuales proyectados para los cuatro metales de principal ley y el porcentaje de cobre equivalente con el factor de recuperación de la planta.

La tabla 6 que se muestra a continuación resume el programa operativo y la disponibilidad de procesamiento de las áreas de proceso.

Tabla 6. Programa Operativo y Capacidad

Programa Operativo	Unidades	Valor
Días Operativos Programados por año	d	350
Horas operativas por día	h	24
Horas disponibles por día	h	7845
Disponibilidad	%	
Global		93.4
Trituración		94
Depuración y Molienda		94
Lixiviación, Neutralización y CCD		94
Extracción por solvente (completo)		100
Electro deposición (completo)		98
Producción de ZnSO ₄ · H ₂ O		94

Tabla 7. Tasa de producción de mineral

Año	Objetivo Planta ton seca/año	Producción Mineral ton seca/año	Entrada /Salida Reservas ton seca/año	Inventario Reservas ton
-2	0	986,332	986,332	986,332
-1	103,333	347,387	244,054	1,230,386
1	2,173,610	1,894,959	-278,650	951,736
2	3,100,000	2,550,232	-549,768	401,968
3	3,100,000	3,354,104	254,104	656,072
4	3,100,000	3,504,066	404,066	1,060,138
5	3,100,000	2,931,660	-168,340	891,798
6	3,100,000	3,676,125	576,125	1,467,923
7	3,100,000	3,738,317	638,317	2,106,241
8	3,100,000	3,113,493	13,493	2,119,733
9	3,100,000	3,679,212	579,212	2,698,945
10	3,100,000	3,848,762	748,762	3,447,708
11	3,100,000	3,208,239	108,239	3,555,947
12	3,100,000	1,938,326	-1,161,674	2,394,272
13	3,100,000	1,904,577	-1,195,423	1,198,850
14	3,100,000	2,494,295	-605,705	593,145
15	3,100,000	2,972,481	-127,519	465,626
16	3,100,000	2,749,233	-350,767	114,859
17	3,100,000	3,207,647	107,647	222,506
18	3,100,000	3,619,668	519,668	742,175
19	3,100,000	3,191,763	91,763	833,938
20	3,100,000	2,662,553	-437,447	396,491
21	3,100,000	2,946,822	-153,178	243,313
22	3,100,000	3,424,207	324,207	567,521
23	2,862,560	2,295,039	-567,521	0

2.2 Estimación de Costos del Proyecto

El modelo financiero utilizó el programa de producción de la mina, actualizado en 2010, mostrando una vida de la mina de 23 años, la dilución asociada al grado de metal basados en los recursos y planes del desarrollo de las minas, el capital actualizado incluyendo los costos operativos de la Compañía y las proyecciones a los precios de los metales (de acuerdo con los lineamientos de Security Exchange Commission) a diciembre de 2009. De \$2.91/lb de cobre, \$26.85/lb de cobalto y \$0.35/lb de zinc a lo largo de la vida del proyecto.

El análisis financiero indicaba que el proyecto tendría una recuperación del capital de inversión de aproximadamente 40 meses desde el arranque de la producción comercial (luego del pago de impuestos). El valor potencial del VPN del proyecto a 5% de tasa de interés es de US\$1,922 millones o a una tasa de interés de 8% de US\$1,306 millones con un retorno de inversión del 25.6% después de impuestos.

Tabla 8. Estudio Económico Inicio del Proyecto

Vida de la Mina (LOM)	23 años
LOM costos de caja (neto de subproductos)	(-) \$ 0.29/lb Cu
VPN después de impuestos (8%)	US \$1,300 Millones
TIR después de impuestos	26%
Del Año 1 al Año 6	
Ley Cobre	Arriba 2%
Producción Anual Promedio	Cu 125 Mlb, Co 3.7 Mlb, Zn 25.4 Kt
Flujo de efectivo Anual Promedio después de impuestos	US\$302 millones
Durante la Vida de la Mina	
Ley Cobre	1.33%
Producción Anual Promedio	Cu 84 Mlb, Co 3.6 Mlb, Zn 28.4 Kt
Distribución de Ingresos	Cu 66%, Co 25%, Zn 9%

Precio de metales (marzo 2010): Cu US\$ 2.91/lb, Co US\$ 26.85/lb, Zn US\$ 0.35/lb

El Estudio de factibilidad del proyecto EL Boleo se realizó en Julio de 2007. Dentro de este estudio se incluyó el estimado de costos de capital. En enero de 2010 se realizó una

actualización. La siguiente actualización incorporó el estimado de capital de la planta, costos operativos y por parte del cliente. La compañía utilizó los estimados para preparar las proyecciones financieras del proyecto. En ese momento los costos de capital y operativos se ajustaron para reflejar el arrendamiento de ciertos equipos y para capturar costos reflejados en 2009.

Al 31 de diciembre de 2009, el costo total del proyecto faltante, incluyendo los costos IPCM y del cliente, junto con 11.6% por Contingencias, pero excluyendo el arrendamiento de equipo, era de US\$889 millones.

Tabla 9. Estimación de Capital

Área del Proyecto	Estimado Costo Capital
Minería y Jales	68,914
Planta de Proceso	321,033
Servicios e Infraestructura	84,022
Edificios	9,072
Total Costos Directos	483,041
Costos Indirectos de Construcción	70,029
IPCM	52,391
Contingencia	92,297
Total Costos Construcción	697,758
Costos del Cliente y de Desarrollo Previo	141,101
Costos Totales antes de Capital de Trabajo y Financiamiento	838,859
Primer relleno, Reactivos, Partes de Repuesto y Capital de trabajo	50,616
Total Estimado de Costo Capital a completar	889,474

Los Costos de Capital en la tabla anterior excluyen:

- Costos de activos que se espera sean arrendados
- Costos de rehabilitación de minas
- Costos de remediación y cierre de la mina
- Fondos gastados en el proyecto a diciembre 2009

Tabla 10. Financiamiento requerido para el Inicio del Proyecto (Millones US\$)

Capex *	889.5
Sobrecosto	100
Costos: Financiero, Recuperación y Arrendamiento	154.1
Financiamiento Total Requerido	1,143.64

* Incluye US\$ 92.3 M de contingencias

El financiamiento requerido para el proyecto el Boleo de US\$1,143 millones en 2010, con los incrementos de costo proyectados a US\$254 millones, representaron un aumento del 21.5% a los requerimientos adicionales de financiamiento, ver tabla 10.

2.3 Proceso

2.3.1 General ²⁴

El proyecto Boleo ha identificado reservas probadas y probables por 277 millones de toneladas a 1.77% cobre, suficiente para soportar 23 años de vida de la mina. El promedio aproximado de producción anual para los primeros 4 años proyectados de operación completa es:

- Cátodo de cobre: 58,000 toneladas
- Cátodo de cobalto: 1,700 toneladas
- Sulfato de Zinc con contenido metálico de Zn: 9,000 toneladas

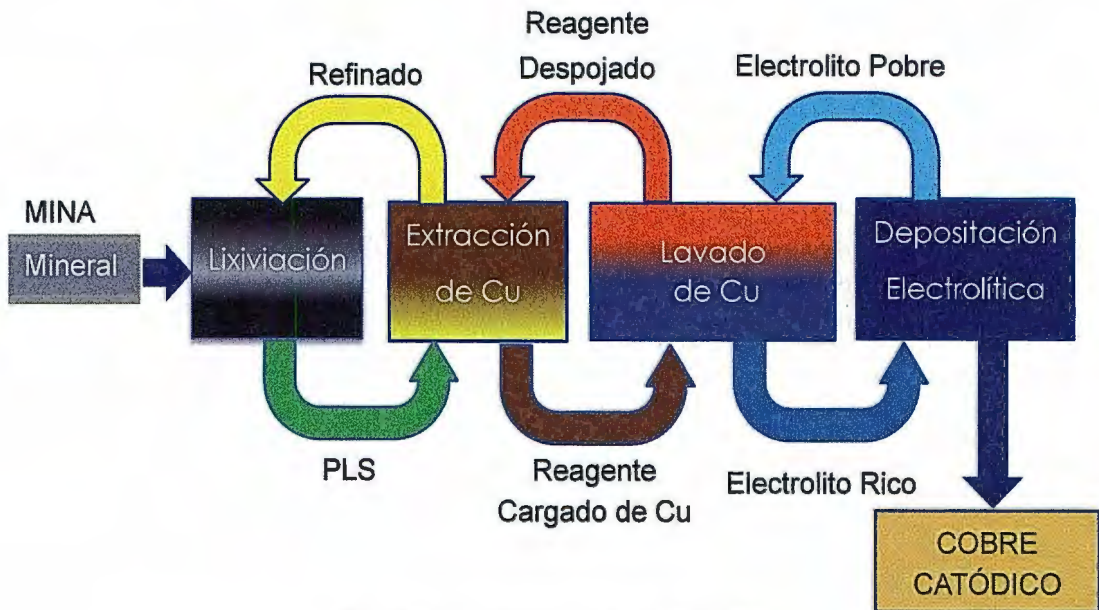
Por medio de un trabajo extensivo se desarrolló el proceso de recuperación hidrometalúrgico para tratar una mezcla de mineral base (óxido – sulfurado). Después de la molienda, el mineral será sujeto a una temperatura elevada de lixiviación oxidativa seguido de lixiviación reductiva con dióxido de azufre para recuperar también el cobalto que está asociado predominantemente con dióxido de manganeso. Las extracciones por lixiviación se proyectan a:

- 92% Cu
- 85.3% Co
- 70% Zn
- 96.6% Mn.

Luego del proceso de lixiviación se incluye un sistema de seis etapas de decantación contra corriente (CCD) para separar los valores del metal extraído del residuo del proceso.

En la figura 12 se ilustra la secuencia de los principales procesos para la producción de cobre catódico, a partir del mineral, mediante lixiviación, extracción por solvente y depositación electroquímica.

²⁴ Baja Mining Corp; El Boleo (Boleo) Project Technical Report Update Baja California South, Mexico. Recuperado de: http://www.bajamining.com/content/pdfs/other/BAJ_2010-03_Technical_Report.pdf

Fig. 12 Proceso Producción de Cobre²⁵

La recuperación de los valores del metal de la solución se consigue de acuerdo con las siguientes operaciones:

- Recuperación de cobre por extracción por solvente (SX) y deposición electrolítica (DE)
- Separación conjunta de cobalto y zinc separado del refinado de la extracción por solvente de cobre por una tecnología de extracción directa por solvente (DSX®)
- Recuperación de zinc del líquido despojados del DSX® mediante extracción por solvente seguido por la precipitación del sulfato de zinc monohidratado.
- Recuperación de cobalto del refinado de la extracción por solvente de zinc empleando nuevamente extracción por solvente seguido por electro deposición.

Adicionalmente se incluye una planta de ácido sulfúrico con capacidad para la quema de 2,400 t/día de azufre, un quemador de azufre para 300 t/día de generación de SO₂, una planta de desalinización térmica de 100 m³/h y una planta de ósmosis inversa de 100 m³/h.

²⁵ Zhengzhou Deyuan Fine Chemicals Co., Ltd. Focus on Copper Leaching Solvent & Nickel Cobalt Extraction Reagent. Adaptado de: <http://www.copperleachingsolvent.com>

Diagrama de Bloques de Proceso

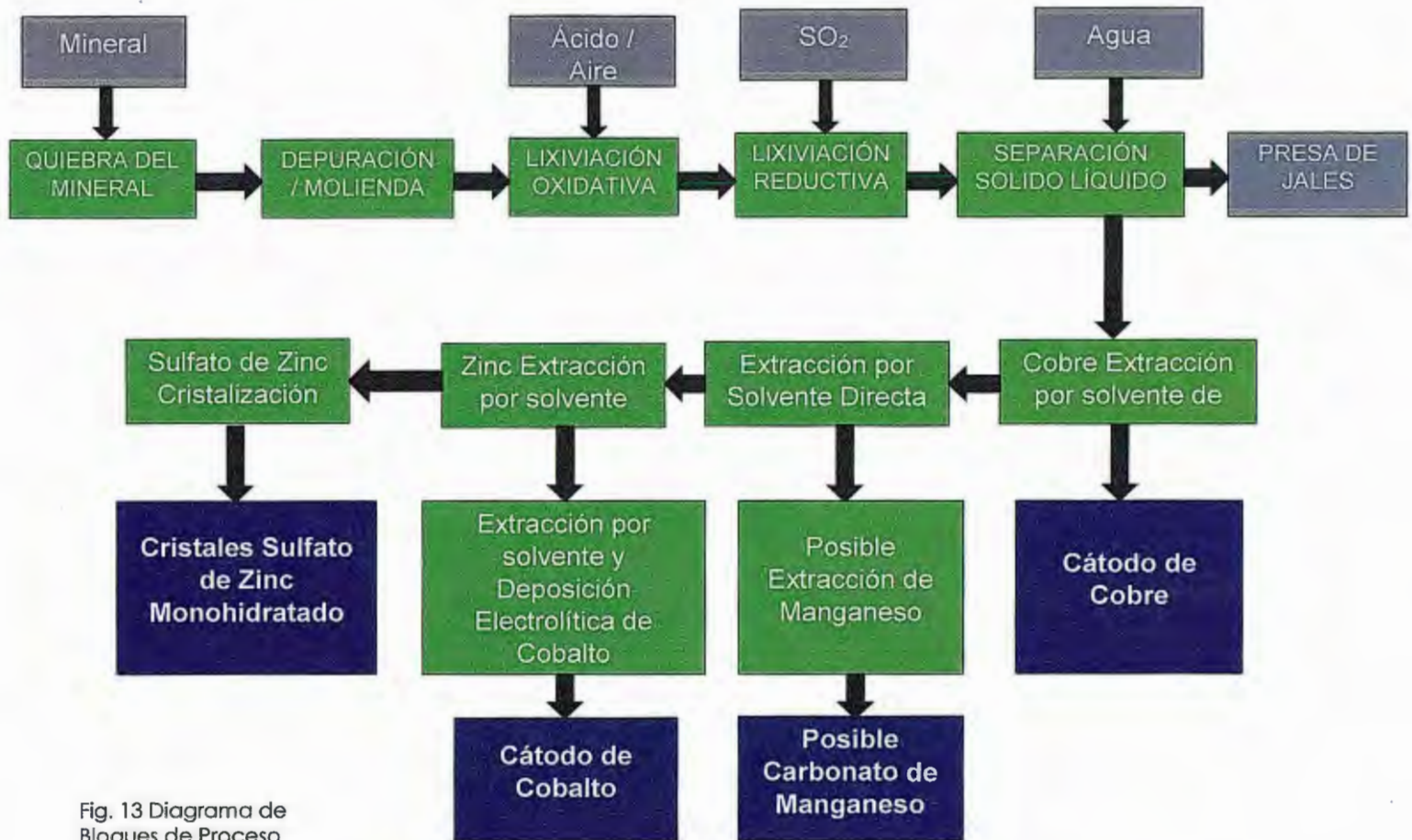


Fig. 13 Diagrama de Bloques de Proceso

Tabla 11. Áreas de Proceso

Área	Descripción
Área 03	Manejo del Mineral
Área 12	Trituración, Almacenamiento y Mezclado del Mineral Bruto
Área 14	Segunda Trituración, Depuración
Área 15	Molienda
Área 17	Lixiviación
Área 18	Recuperación de Calor del lixiviado
Área 19	Neutralización Parcial y Clarificación
Área 20	Espesadores del Circuito de Decantación Contracorriente (CCD)
Área 21	Neutralización y bombeo de colas
Área 25	Extracción de Cobre por Solvente (CuSX)
Área 26	Deposición electrolítica de Cobre
Área 27	Remoción de Hierro
Área 28	Extracción directa por solvente (DSX)
Área 29	Extracción de Zn por Solvente (ZnSX)
Área 30	Extracción de Cobalto por Solvente (CoSX)
Área 31	Deposición Electrolítica de Cobalto
Área 32	Producción de Sulfato de Zinc
Área 34	Carbonato de Sodio
Área 35	Suministro y Almacenamiento de Azufre
Área 46	Molienda y Distribución de Carbonato de Calcio
Área 47	Planta de Ácido y Distribución de Ácido
Área 48	Planta de Cogeneración
Área 49	Planta de SO ₂
Área 51	Recuperación de Cadmio
Área 52	Generadores de Diésel y Distribución de Energía
Área 53	Aire de Planta y de Instrumentos
Área 58	Agua Desalinizada
Área 59	Generación de Vapor
Área 60	Suministro, Almacenamiento y Distribución de Agua
Área 77	Estanques de captación
Área 78	Terminal Marina
Área 79	Almacenamiento y Distribución de Combustible
Área 80	Complejo administrativo
Área 81	Cuarto de Control
Área 82	Taller, almacén y almacenamiento de aceites
Área 83	Laboratorio
Área 84	Puerta de entrada y seguridad
Área 86	Recolección y Tratamiento de Drenaje
Área 87	Campamentos
Área 88	Depósito de residuos

El diseño del proceso, ilustrado en la figura 13, se realizó por medio de una colaboración entre varias partes, entre las cuales se encuentra MMB, Bateman Engineering, CSIRO y especialistas técnicos de SGS Lakefield. El diseño de la planta está basado en datos generados por una variedad de pruebas en plantas piloto y trabajos por lotes.

2.3.2 Áreas de Proceso

Área 03. Manejo del Mineral

El mineral proveniente de la mina subterránea se apila cerca de los portales subterráneos. Con camiones de carga de 85 ton se transporta el mineral apilado de los portales al área de Trituración, Almacenamiento y Mezclado, disponible para iniciar en la Tolva de Procesamiento del Mineral o hacia pilas de mineral intermedias o pilas del área de Manejo del Mineral.

Área 12. Trituración, Almacenamiento y Mezclado del Mineral Bruto

En esta área, el almacenamiento del mineral protege el proceso de la planta de fluctuaciones o problemas en la extracción del mineral. Adicionalmente, se permite el mezclado del mineral proveniente de diferentes fuentes y diferentes características para realizar una homogenización de la alimentación a proceso.

La cantidad de mineral que pasa por la Tolva de Procesamiento del Mineral se mide desde la tolva mediante un alimentador de velocidad variable que descarga hacia una Quebradora Primaria reduciendo el tamaño del mineral y continuando a una Banda Apiladora. Luego, el mineral llega a una pila de mineral de 245,000 t de capacidad donde se realiza el mezclado del mineral. Una mitad de la pila se mezcla con la ayuda de un apilador que viaja de atrás hacia adelante 377 m para crear el mezclado del mineral. La otra mitad es tratada por cargadores frontales que descargan a tres tolvas desde donde el mineral es alimentado hacia una transportadora colectora a 395 t/h que envía el mineral 1.1 km hasta el Área 14 y 15 de Trituración Secundaria y Molienda.

Área 14 – 15. Segunda Quebra. Depuración y Molienda

El objetivo en estas áreas es reducir el tamaño y depurar la mezcla del mineral fino del rocoso para luego separar y triturar el material más grueso y finalmente, formar el slurry de proceso para la siguiente área.

La banda transportadora colectora alimenta la mezcla del mineral hacia la trituradora secundaria para una nueva reducción que descarga en una tolva hacia el Depurador. Ahí la parte fina se disuelve en agua para separarse del material grueso a través de una malla. El material de mayor tamaño se transporta hacia la Quebradora de rocas que a su vez se transporta en banda hasta el Molino de bolas (Área 15). La salida del molino se junta con los finos formando el slurry que se envía hacia un Separador hidrociclónico para su clasificación. El desborde, aproximadamente 15% de sólidos, se envía a un espesador, donde incrementa el porcentaje de sólidos a 35%. Los fondos del espesador son bombeados al Área 17.

Área 17. Lixiviación

El objetivo en esta área es procesar el mineral molido en tanques de lixiviación con ácido sulfúrico, aire y refinado de cobre reciclado de la etapa de extracción por solvente para disolver el cobre, manganeso y zinc contenido en el slurry para producir una solución rica en cobre y zinc. El slurry luego entra en otra etapa de lixiviación reductiva utilizando SO₂ para facilitar la disolución del remanente de cobalto en el mineral. Al final de la etapa reductiva 90% del cobre y más 80% del cobalto estarán recuperados en la solución.

Química de la lixiviación oxidativa

❖ Lixiviación de sulfuros

- $\text{ZnS} + 4 \text{MnO}_2 (\text{s}) + 4 \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{ZnSO}_4(\text{a}) + 4 \text{MnSO}_4(\text{a}) + 4 \text{H}_2\text{O}$
- $\text{CoS} + 4 \text{MnO}_2 (\text{s}) + 4 \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{CoSO}_4(\text{a}) + 4 \text{MnSO}_4(\text{a}) + 4 \text{H}_2\text{O}$
- $\text{CdS} + 4 \text{MnO}_2 (\text{s}) + 4 \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{CdSO}_4(\text{a}) + 4 \text{MnSO}_4(\text{a}) + 4 \text{H}_2\text{O}$

- $\text{Cu}_2\text{S} + 2 \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3(\text{a}) \rightarrow 2 \text{CuSO}_4(\text{a}) + 4 \text{FeSO}_4(\text{a}) + \text{S}^\circ$
- $\text{ZnS} + \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3(\text{a}) \rightarrow \text{ZnSO}_4(\text{a}) + 2 \text{FeSO}_4(\text{a}) + \text{S}^\circ$
- $\text{FeS}_2 + 7 \text{MnO}_2(\text{s}) + 6 \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{FeSO}_4(\text{a}) + 7 \text{MnSO}_4(\text{a}) + 6 \text{H}_2\text{O}$
- $\text{Cu}_2\text{S} + 2 \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3(\text{a}) \rightarrow 2 \text{CuSO}_4(\text{a}) + 4 \text{FeSO}_4(\text{a}) + \text{S}^\circ$
- $2 \text{FeSO}_4 + 2 \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{MnO}_2 \rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 2 \text{H}_2\text{O} + \text{MnSO}_4$

❖ Lixiviación de óxidos

- $\text{MnO} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{MnSO}_4(\text{a}) + \text{H}_2\text{O}$
- $\text{CuO} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{CuSO}_4(\text{a}) + \text{H}_2\text{O}$
- $\text{CoO} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{CoSO}_4(\text{a}) + \text{H}_2\text{O}$
- $2\text{FeOOH} + 3 \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3(\text{a}) + 4\text{H}_2\text{O}$
- $\text{Al}_2\text{O}_3 + 3 \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{H}_2\text{O}$

❖ Lixiviación de carbonatos

- $\text{MnCO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{MnSO}_4(\text{a}) + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2(\text{g})$
- $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2(\text{g})$
- $\text{MgCO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{MgSO}_4(\text{a}) + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2(\text{g})$

❖ Lixiviación de silicatos

- $\text{CuSiO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{CuSO}_4(\text{a}) + \text{Si}(\text{OH})_4(\text{a})$
- $\text{Mg}_2\text{SiO}_4 + 2 \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2 \text{MgSO}_4 + \text{Si}(\text{OH})_4(\text{a})$
- $\text{Ca}_2\text{SiO}_4 + 2 \text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{Si}(\text{OH})_4(\text{a})$

❖ Reacciones en equilibrio

- $\text{Si}(\text{OH})_4 \rightleftharpoons \text{SiO}_2(\text{s}) + 2 \text{H}_2\text{O}$
- $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CaSO}_4(\text{a}) + 2\text{H}_2\text{O}$
- $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{a}) + 6 \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{Al}(\text{OH})_3(\text{s}) + 3 \text{H}_2\text{SO}_4$

Química de la lixiviación reductiva

- $\text{MnO}_2 (\text{s}) + \text{SO}_2(\text{g}) \rightarrow \text{MnSO}_4(\text{a})$
- $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3(\text{a}) + \text{SO}_2(\text{g}) + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{FeSO}_4(\text{a}) + 2 \text{H}_2\text{SO}_4$
- $\text{Co}_3\text{O}_4(\text{s}) + 2\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{SO}_2 (\text{g}) \rightarrow 3\text{CoSO}_4(\text{a}) + 2\text{H}_2\text{O}$

Área 18. Recuperación de Calor del lixivado

El objetivo es enfriar el slurry producto del Área 17 y calentar las corrientes entrantes de Refinado de cobre y agua de mar. El slurry producto caliente de la lixiviación reductiva se enfría en un sistema al vacío en 4 etapas de tanques flash donde los vapores generados se usan para calentar las corrientes entrantes de Refinado de cobre y agua de mar en condensadores multietapa para así recuperar la mayor cantidad de calor posible.

Área 19. Neutralización Parcial y Clarificación

En esta área se neutraliza el ácido remanente en la solución rica en cobre (PLS) y se separan los sólidos precipitados producto de la neutralización, luego de haber pasado por el proceso de Decantación por Contra Corriente (CCD) del Área 20, para producir una solución de alimentación hacia la extracción por solvente de cobre del Área 25. La neutralización parcial se logrará vía la reducción de los iones férrico a ferroso usando carbonato de calcio y la salida inferior del espesador del área 14/15.

Química de la neutralización parcial

- $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2(\text{g})$
- $\text{Cu}_2\text{S} + 2 \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3(\text{a}) \rightarrow 2 \text{CuSO}_4(\text{a}) + 4 \text{FeSO}_4(\text{a}) + \text{S}^\circ$

Área 20. Espesadores del Circuito de Decantación A Contracorriente

En los Espesadores del CCD se separa la solución rica en metales (PLS de Cu) de los sólidos en el slurry producto de lixiviación. El lixiviado enfriado en el Área 18 entra al Circuito de Decantación a Contracorriente (CCD) de 6 etapas para recuperar el cobre, zinc y cobalto disueltos y separar los sólidos o residuos de lixiviación. Los fondos de cada espesador se lavan a Flujo Contra Corriente con el Refinado Agotado en metales del Área 28 DSX, para recuperar la mayor cantidad de metales posibles del lixiviado del Área 17, para ser enviados a la cabeza del CCD 6, última etapa del circuito.

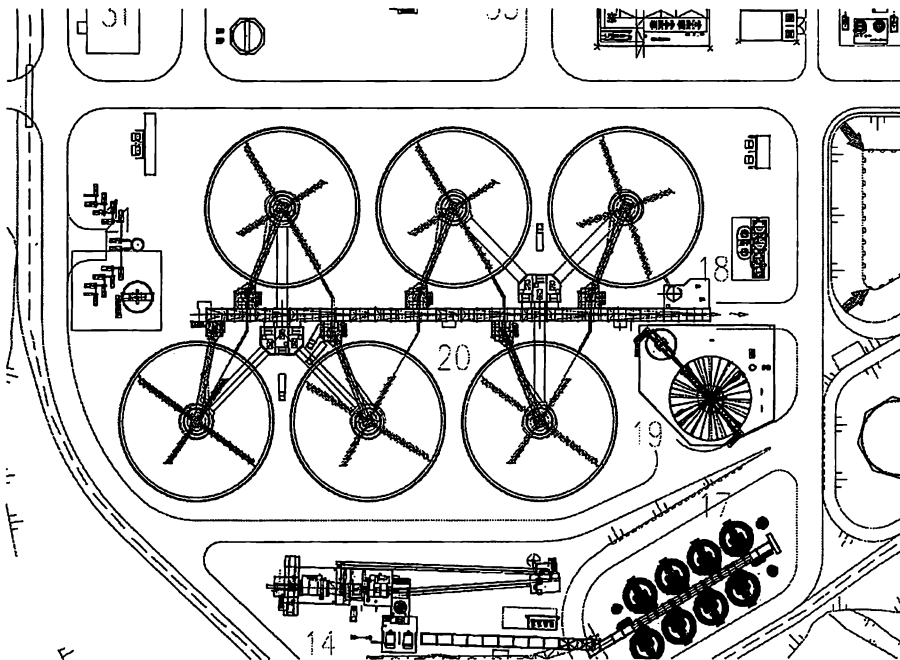


Fig. 14 Circuito de Decantación Contra Corriente

Área 21. Neutralización y bombeo de colas

Las colas ácidas producidas en el proceso de lixiviación y lavadas con Refinado en el Circuito CCD se neutralizan antes de ser enviadas para su confinamiento en las instalaciones de almacenamiento de colas (presa de jales).

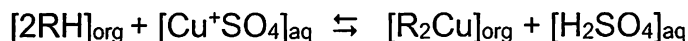
Química de la neutralización

- $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2(\text{g})$
- $2 \text{FeSO}_4 + \frac{1}{2} \text{O}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{H}_2\text{O}$
- $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 6 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{Fe}(\text{OH})_3 + 3 \text{H}_2\text{SO}_4$
- $4 \text{ZnSO}_4 + \text{Ca}(\text{OH})_2 + x\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{ZnSO}_4 \cdot 3 \text{Zn}(\text{OH})_2 \cdot x\text{H}_2\text{O} + \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- $2 \text{CuSO}_4 + \text{Ca}(\text{OH})_2 + 3 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CuSO}_4 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Área 25. Extracción de Cobre por Solvente (CuSX)

El sistema de CuSX tiene como objetivo purificar y concentrar la solución de Cu. La solución de PLS, producidas en el proceso de lixiviación y enviadas desde el Área 19, contiene cobre, cobalto, zinc y otras especies metálicas en menor cantidad. El circuito CuSX está diseñado para extraer cobre selectivamente de la solución lixiviada y producir una solución con alta concentración de cobre o electrolito rico, deseado para el siguiente proceso de electrodeposición en el Área 26.

Reacción de Extracción



El agente extractante selecciona al cobre por encima del Co, Zn y otros metales.

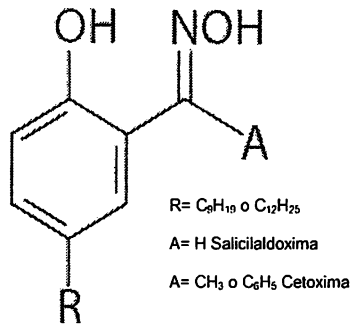
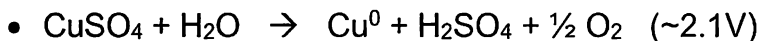


Fig. 15 Molécula de Extractante

Área 26. Deposición Electrolítica

En este proceso se forman placas de cátodos de Cu de alta pureza a partir de la solución rica en cobre proveniente del circuito CuSX. Antes de entrar al circuito de electrodeposición, el electrolito rico pasa por un paquete de filtración, seguido de un proceso de mezclado con electrolito gastado de reciclo, agua de reposición y agentes protectores (goma guar), para luego ser enviado a las celdas de electrodeposición. El metal será depositado en los cátodos de acero inoxidable en un ciclo de 5 a 7 días una vez que la celda completa ha quedado depositada una grúa viajera se encarga de remover los cátodos de la celda y llevarlos hasta la máquina deshojadora.

Reacción Electroquímica



Área 27. Remoción de Hierro

En esta área el hierro en el Refinado de cobre del proceso de extracción por solvente es removido, antes de entrar en el circuito DSX, para extraer zinc, cobalto y cadmio.

Adicionalmente, corrientes de rechazo de cobalto y zinc son devueltas de las Áreas 32 y 30, respectivamente, y suministrando recirculación para el contenido metálico aún sin recuperar y contribuyendo a las soluciones de lavado libre de hierro para el precipitado de sedimentos de hierro.

Química de la remoción del hierro

- $2 \text{FeSO}_4(a) + \frac{1}{2} \text{O}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{H}_2\text{O}$
- $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3(a) + 3 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Fe}(\text{OH})_3(s) + 3 \text{H}_2\text{SO}_4$
- $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(a) + 3 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Al}(\text{OH})_3(s) + 3 \text{H}_2\text{SO}_4$
- $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2(g)$

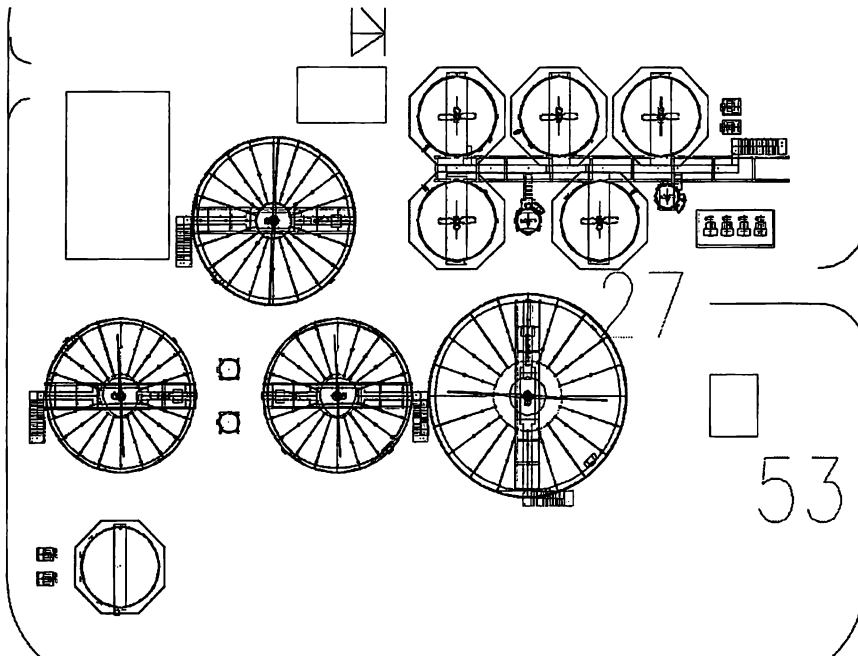


Fig. 16 Área de remoción de Hierro

Área 28. Extracción directa por solvente (DSX)

El Zn y Co contenidos en la solución de Refinado de cobre de la extracción por solvente proveniente de la remoción de Hierro, entran a un proceso de separación de Magnesio, Manganeso y Calcio por medio de un extractante orgánico de acuerdo al proceso DSX. El orgánico cargado, que contiene al cobalto y zinc es despojado y se concentra en una corriente ácida para su tratamiento posterior.

Química de la extracción con solvente

- $\text{CoSO}_4(\text{aq}) + \text{R-H}_2(\text{org}) \rightarrow \text{R-Co}(\text{org}) + \text{H}_2\text{SO}_4$
- $\text{ZnSO}_4(\text{aq}) + \text{R-H}_2(\text{org}) \rightarrow \text{R-Zn}(\text{org}) + \text{H}_2\text{SO}_4$
- $\text{MnSO}_4(\text{aq}) + \text{R-H}_2(\text{org}) \rightarrow \text{R-Mn}(\text{org}) + \text{H}_2\text{SO}_4$

Área 29. Extracción de Zn por Solvente (ZnSX)

En un primer paso se remueve el Cadmio de la solución proveniente del Área 28 para purificar la solución y concentrar el Zn para luego entrar al circuito ZnSX.

Área 30. Extracción de Cobalto por Solvente (CoSX)

En esta área se lleva a cabo el proceso de CoSX a partir del Refinado enviado de ZnSX así como la concentración de Co en la solución para el siguiente proceso.

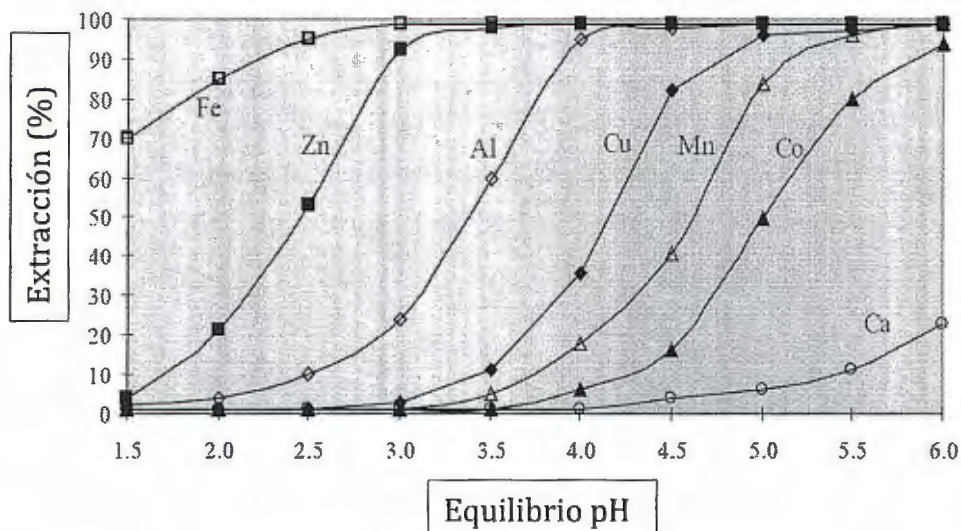


Fig. 17 Gráfica % Extracción vs pH

Área 31. Depositación Electrolítica de Cobalto

El sistema de deposición electrolítica de cobalto tiene como objetivo formar placas de cátodos de Co de alta pureza a partir de la solución rica en cobalto proveniente del circuito CoSX.

Área 32. Producción de Sulfato de Zinc

La solución rica en Zn proveniente del Área 29 será bombeada a un lecho granulado fluidizado donde se aplicará calor a la solución por medio de aire caliente para promover el proceso de cristalización.

2.3.3 Áreas de Servicios Auxiliares

Área 34. Carbonato de Sodio

En esta área el objetivo es preparar una solución de carbonato de sodio para control de pH. El carbonato de sodio (escamas) se reciben en un domo de 10,000 t de capacidad, proveniente desde el muelle del Área 78 mediante bandas transportadoras, alimentándose hacia dos tanques distintos de preparación, usando por separado agua desalinizada y agua de mar.

Área 35. Suministro y Almacenamiento de Azufre

Almacenamiento de granos de azufre y transferencia hacia el paquete de fundición de azufre. Donde se agrega una mezcla de agua y aglutinante para polvo para prevenir emisiones de polvo. Con capacidad de 50,000 t , se lleva a cabo el proceso de calentamiento para transformarlo a su estado líquido, luego de un filtrado es almacenado en fosas y posteriormente, bombeado hacia el área de producción de ácido sulfúrico y a la planta de SO₂.

Área 46. Molienda y Distribución de Carbonato de Calcio

En esta área se realiza la molienda de piedra caliza extraída de las cercanías del proyecto para preparar el slurry que se emplea para neutralización o ajuste de pH a través del proceso.

Área 47 Planta de Ácido

La planta de ácido compuesta de un tren, doble absorción, combustión de azufre con sistema de recuperación de calor (HRS), involucra tres etapas principales: Generación de SO₂, Conversión de SO₂ a SO₃ y Absorción de SO₃ en solución de agua para formar H₂SO₄. La planta produce el ácido sulfúrico para satisfacer las necesidades de la planta, en especial para

el Área 17 lixiviación oxidativa. El excedente de azufre producido se envía al área 47A para su almacenamiento y venta posterior.

Reacciones de Producción de Ácido Sulfúrico

- $S + O_2 \rightarrow SO_2$ (combustión)
- $SO_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow SO_3$ (conversión)
- $SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$ (absorción)

Área 47A Almacenamiento de Ácido Sulfúrico

El sistema de almacenamiento del ácido sulfúrico producto se emplea tanto para almacenaje como para exportación del ácido cuando es requerido; así como para distribución para el área de lixiviación y demás consumidores dentro de la planta conforme sea necesario, que consiste en tres tanques de almacenamiento, cada uno con una capacidad de 6000 m³.

Área 48. Planta de Cogeneración

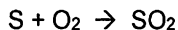
El vapor exportado de las plantas de ácido sulfúrico y gas SO₂ se recibe para generar electricidad con una turbina de vapor y un generador. La energía generada por el sistema de cogeneración produce 48 MW, cerca del 70% de energía requerida por toda la planta. El déficit de energía es producido por el Área 52 Generadores de diésel.

Área 49. Planta de SO₂

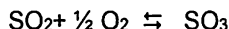
La planta de SO₂ está diseñada para producir 300 MTPD de gas SO₂. El gas producido se envía a lixiviación reductiva del Área 17. Como alternativa se envía a la planta de ácido Área 47.

Reacciones Químicas Producción SO₂

- Combustión de azufre líquido en presencia de aire para producir el gas de dióxido de azufre:



- Oxidación de SO₂ a SO₃



- Reacción de SO₃ absorbido con agua en ácido Sulfúrico para formar ácido sulfúrico



- Las 3 reacciones y la dilución de ácido son exotérmicas. La habilidad para recuperar el calor liberado en estas reacciones, en forma de producción de vapor, es una característica importante en la operación y diseño de la planta de SO₂ y tiene un impacto mayor en la economía de la planta.

Área 51. Recuperación de Cadmio

A la solución del área 28 le será removida el cadmio contenido, donde el polvo de zinc será usado para purificar la solución con exceso en cadmio a un pH de 3.3

El cadmio se elimina por filtración y es tratado como un desecho peligroso mientras que la parte filtrada se envía hacia extracción de zinc por solvente.

Generadores de Diésel y Distribución de Energía

Los generadores de diésel se utilizan durante el arranque de la planta y cuando existe un déficit de energía durante la operación normal de la planta. La capacidad total instalada es de 21 MW.

Área 53. Aire de Planta y de Instrumentos

En esta área se cuenta con un paquete de compresores y secadora de aire para suministrar aire de planta y aire de instrumentos a los consumidores de la planta.

Área 58. Agua Desalinizada

Para la producción de agua desalinizada proveniente de la toma de mar, se cuentan con dos procesos para la reducción del contenido salino, mediante una planta de ósmosis inversa y una planta desalinizadora térmica. La producción de agua desalinizada de ambas plantas se envía a un tanque común para luego ser enviado a un tanque de almacenamiento.

Área 59 Generación de Vapor

En esta área se recolecta el vapor producido en las Áreas 48, 52 y junto con las calderas auxiliares de generación de vapor se manda el vapor a los consumidores de la planta. Adicionalmente el condensado que se forma se recolecta en el cabezal de retorno para su almacenamiento en el tanque de condensado.

Área 60. Suministro, Almacenamiento y Distribución de Agua

El objetivo de esta área es el suministro de agua para la planta, ya sea agua de mar, agua desalinizada o agua potable para todos los consumidores de la planta. Los consumidores pueden ser servicios de enfriamiento, tanques de proceso, estaciones de servicio, tomas de muestra, anillo de agua contra incendio para caso de emergencia o agua potable para uso sanitario en campamentos, edificio de mantenimiento y cuartos de control dentro de la planta.

Almacenamiento y distribución de agua potable

Suministro de agua potable para necesidades humanas.

Almacenamiento y red de agua para regaderas de emergencia

Suministro de agua potable fresca a las regaderas de emergencia para el cuidado de la integridad humana en caso de emergencia.

Área 78. Terminal Marina

Las operaciones en la Terminal Marina permiten la carga, descarga y transporte de productos y materiales requeridos para el soporte de operaciones en la mina.

Área 79. Almacenamiento y Distribución de Combustible

Almacenar y distribuir diésel a las áreas de proceso.

Área 86. Recolección y Tratamiento de Drenaje

Colección de drenajes de cuartos de control, campamentos y edificios administrativos.

2.3.4 Instalaciones

Área 87. Campamentos

❖ **SERVICIOS:**

- Dormitorios (sanitario compartido en campamentos altos y con sanitario privado en campamentos bajos)
- Cocina, comedor (bajos y altos)
- Lavandería (bajos)
- Primeros auxilios (bajos)
- Edificio de bomberos o contraincendio (bajos)
- Centro recreativo (bajos)
- Capilla (bajos)
- Cancha de fútbol, basquetbol, y beisbol (bajos)
- Estacionamientos (bajos y altos)

3. Ejecución del Proyecto

Luego del arranque de la ingeniería de detalle en 2010 y la movilización a sitio por parte del equipo de construcción. El proyecto atravesaría diferentes etapas antes de alcanzar la terminación mecánica y la primera producción de cobre. Las etapas por las que atravesó el proyecto se describen a continuación.

Tabla 12. Desenlace Línea del Tiempo del Boleo

2010	Inicio de Ingeniería de detalle para la planta de proceso
	Preparación en sitio para la planta de proceso
	Inicio de construcción de la planta de ácido
	Movimiento de tierras y desarrollo de caminos
2011	Cierre de la ingeniería de detalle en oficina matriz
	Comienzan las actividades de desarrollo de minas
	Recepción de equipo de proceso de largo tiempo de entrega
2012	Suspensión del proyecto por falta de financiamiento
2013	Reactivación de la Construcción
	Movilización de un grupo de Ingeniería a sitio
2014	Finaliza Terminación Mecánica
2015	Primera producción de cátodo de cobre
2016	Estabilización de la planta de proceso

3.1 Arranque de la Construcción

El Proyecto de El Boleo comenzó con una participación del 70% bajo el Corporativo Baja Mining con sede en Vancouver (ahora Camrova Resources Inc.) a través de su subsidiaria mexicana Minera y Metalúrgica del Boleo S.A. de C.V. (MMB). El 30% restante de MMB pertenecía a Korea Resources Corporation (KORES), un consorcio coreano integrado por Korea Resources /Hyundai/Hysco.

La construcción del proyecto El Boleo comenzó en noviembre de 2010, cuando la contratista de Ingeniería, Procuración y Administración de la Construcción se movilizó a sitio.

Tabla 13. Programa Ingeniería de Detalle Estimado de Costo

Metas del Proyecto	Programado	Real
Adjudicación del Contrato	28-mar-09	28-mar-09
Revisión Balance de Materia	07-may-09	04-jun-09
Transferencia de información de Amec	12-may-09	01-jun-09
Junta de Arranque	27-may-09	26-may-09
Lista de Equipo actualizada	24-jun-09	07-jul-09
Estimado de Costos Operativos	24-jun-09	22-jul-09
Revisión y Actualización de DTI's	01-jul-09	02-jul-09
Actualización Costo Paquetes Verticales	01-jul-09	07-ago-09
Programa IPCM	23-jul-09	27-jul-09
Reporte preliminar a MMB	19-ago-09	08-sep-09
Estimado preliminar a MMB	31-ago-09	08-sep-09
Estimado completo con alcance original	08-oct-09	12-oct-09
Reporte completo con alcance original	25-sep-09	22-oct-09
Estimado completo con ingeniería de valor	02-dic-09	17-dic-09
Reporte completo con ingeniería de valor	11-dic-09	17-ene-10

Inicialmente la puesta en marcha del circuito de cobre de Boleo estaba prevista para finales de 2012 y la producción de cobre para principios del 2013. Esto se refleja en el programa de construcción, ver tabla 14, con las fechas pronosticadas para la terminación del proyecto, junto a la curva de avance de la construcción esperada, mostrada en la figura 18. De ahí, el pico de mano de trabajo de construcción y mano de obra, reflejado en la figura 19, requerida para cumplir con dicho programa.

Tabla 14. Programa Construcción (Nov 2010)

Metas del Proyecto	Programa inicial	Real / *Pronóstico
Inicio Ingeniería	01-dic-09	01-dic-09
Inversión Disponible	01-mar-10	15-nov-10
DTI's completados	01-mar-10	*01-mar-11
Inicio Construcción	01-mar-10	01-sep-10
Clasificación del mineral	02-may-10	18-nov-10
Inicio de Presa de Jales	22-ago-10	*10-jun-11
Primera minería de superficie	29-sep-10	*11-abr-11
Primer Concreto Mayor	10-dic-10	*24-feb-11
Caminos completados	27-dic-10	*28-abr-11
Primera minería subterránea	30-dic-10	*12-oct-11
Muelle completado	27-ene-11	*15-nov-12
Terminación Mecánica (Circuito de Cobre)	04-abr-12	*17-dic-12
Primera introducción de mineral	31-may-12	*07-ene-13
Primera cosecha de cobre	01-jul-12	*15-mar-13
Primera cosecha de cobalto	03-nov-12	*04-jun-13
Producción Completa	01-jul-13	*15-mar-14

PRONÓSTICO DEL PROGRESO DE CONSTRUCCIÓN

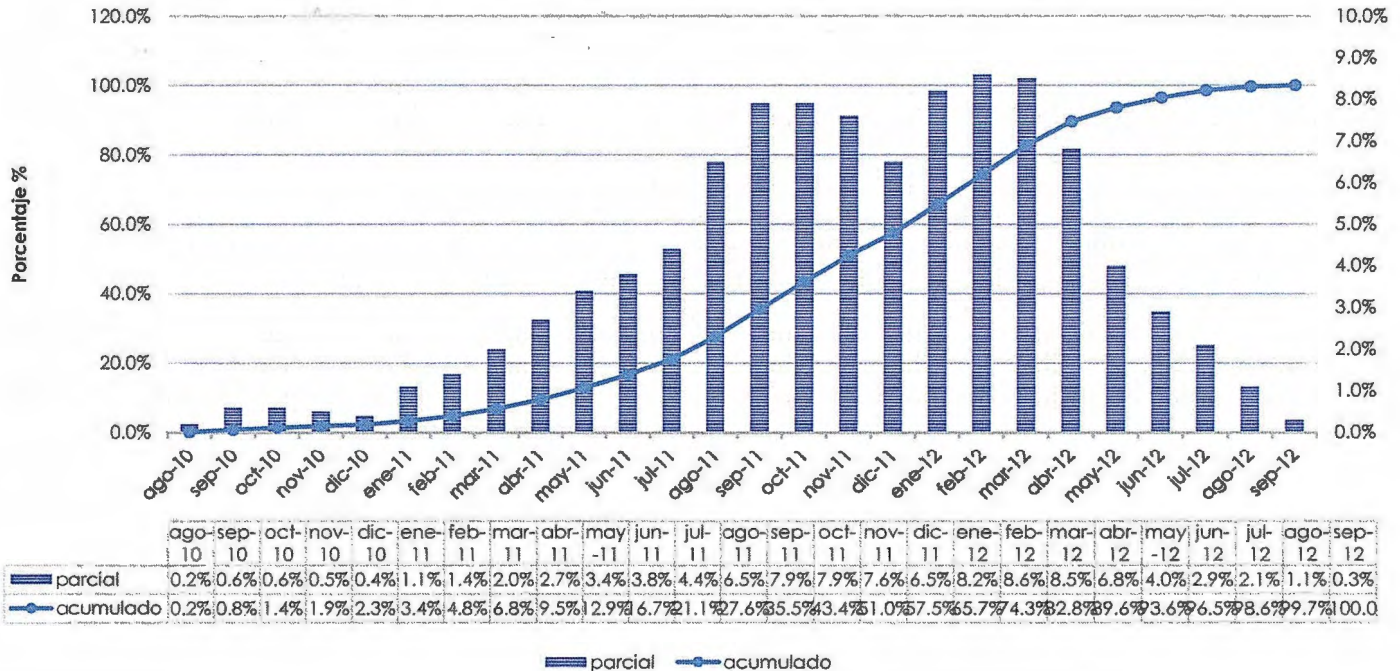


Fig. 18 Pronóstico del Progreso de la Construcción

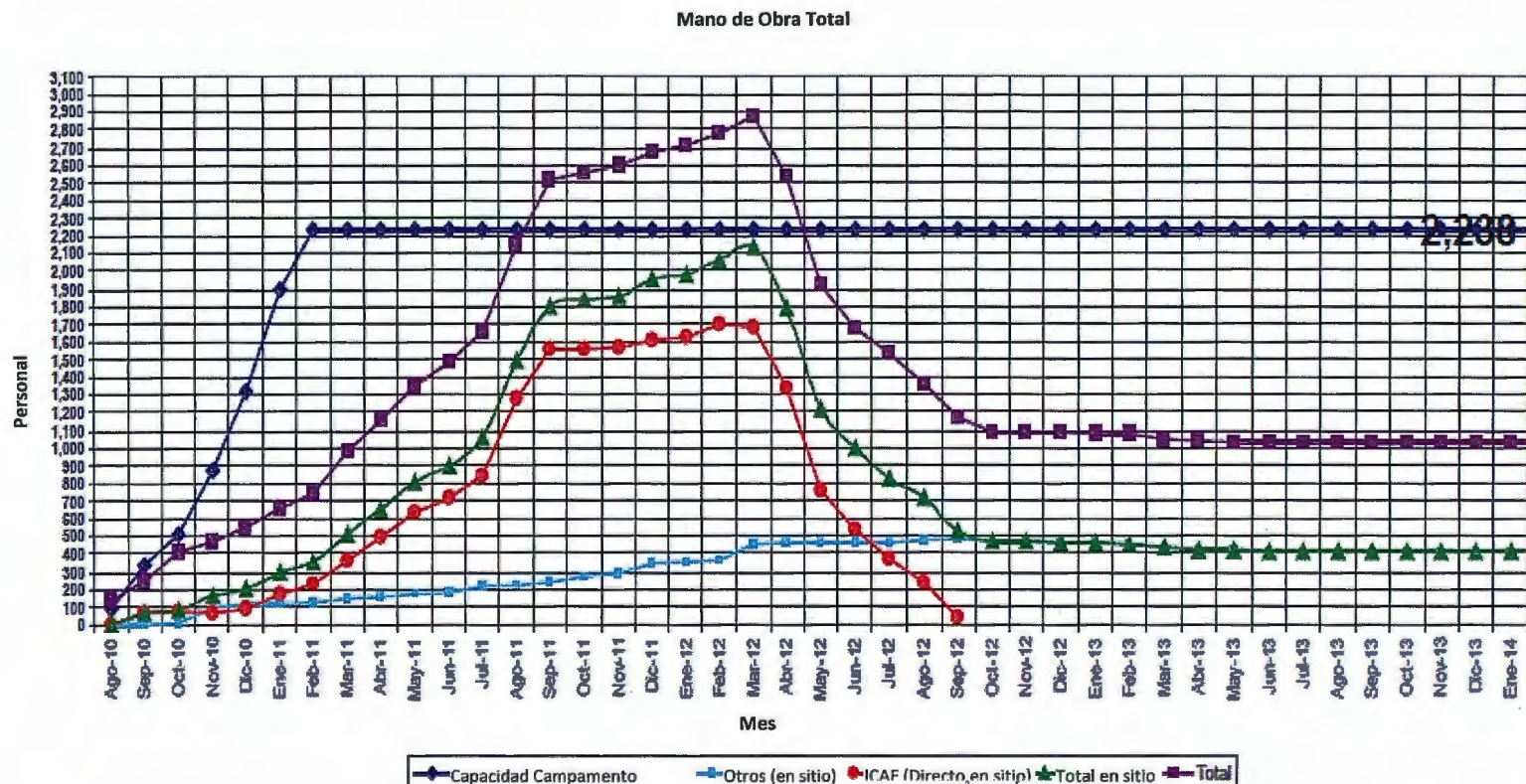


Fig. 19 Proyección de personal para el proyecto

3.1.1 Actualización al Precio Objetivo del Proyecto

La actualización al precio objetivo del proyecto en 2010 se atribuye a una variedad de presiones al proyecto incluido cambios en el alcance, mejoras al diseño e incremento de consumibles claves como combustible y acero. En esta etapa del proyecto se proponen sistemas más robustos para el pronóstico y control del proyecto, aun así, el incremento presentado es consistente con el incremento en otros desarrollos mineros.

Tabla 15. Precio Objetivo del Proyecto

Precio Objetivo Inicial (19Nov2010)	Costo total	Gastado a la fecha	Remanente	ICAF TIC	Costo MMB
Costos Directos					
Mina	72,901		72,901		72,901
Movimiento de tierras	51,803		51,803	51,803	
Concreto	55,458		55,458	55,458	
Acero Estructural	31,926		31,926	31,926	
Arquitectura	13,717		13,717	13,717	
Mecánico	239,629		239,629	239,629	
Tuberías	61,465	25,576	35,889	35,889	
Eléctrico	65,015		65,015	65,015	
Instrumentación	20,508		20,508	20,508	
Aislamiento y recubrimientos	650		650	650	
Costos Directos Totales	613,072	25,576	587,496	514,595	72,901
Costos Indirectos					
EPCM	55,597	2,151	53,446	39,946	13,500
Construcción Campamentos	20,009	7,400	12,609	12,610	
Flete y Derechos	34,692	2,100	32,592		32,592
Ingeniería de terceros	37,951	18,660	19,291	19,291	
Partes de repuesto	16,273		16,273	16,273	
Primer llenado	27,242		27,242		27,242
Representantes de proveedores	5,496		5,496	5,496	
Asistencia en Comisionamiento	530		530		530
Costos Indirectos Totales	197,790	30,311	167,479	93,616	73,864
Total Directos e Indirectos	810,862	55,887	754,975	608,211	146,765
Contingencias	92,297		92,297	74,355	17,942
Costos MMB	180,993	83,458	97,535		97,535
Total del Proyecto	1,084,152	139,345	944,807	682,566	262,242

§ Cifras en miles de dólares

El proyecto buscó opciones para reducir o diferir costos en ese entonces, en abril de 2012 los inversionistas canadienses y coreanos buscaban las opciones para financiar el 70% y 30% de su participación, respectivamente, para minimizar la dilución de su participación dentro del proyecto.

La compañía Baja Mining con el mayor porcentaje de participación del proyecto estaba consciente de que traer mayor financiamiento por parte de sus prestamistas pondría al proyecto en estrategias de administración del riesgo requerido para sus inversionistas, pero sin limitar costos adicionales al proyecto arriba de los US\$100 millones ya financiados y aplicados al incremento de costo del proyecto.²⁶

Todas las actividades IPCM se fueron centralizando en el sitio del proyecto desde la ciudad de México, incluyendo el control de costos del personal. Una revisión crítica de las prácticas y sistemas de administración del proyecto fueron realizadas por un tercero. El proyecto estaba consciente que mientras continuaran los cambios se irían reflejando costos adicionales que serían informados a los inversionistas.²⁷

3.1.2 Organización del Proyecto

El grupo de trabajo del proyecto con el contratista de construcción ICA Fluor, se alineó con:

- Experiencia en minería y metales de la oficina de Fluor, Dublin, California.
- Experiencia en ingeniería de detalle y construcción de ICA Fluor en ciudad de México.

²⁶ Noticia en internet. Recuperado de: <http://www.camroveresources.com/assets/nr19-2012-04-23final.pdf>

²⁷ Noticia en internet. Recuperado de: <http://www.camroveresources.com/assets/nr20-2012-04-25final2.pdf>

Diagrama Organizacional del Proyecto

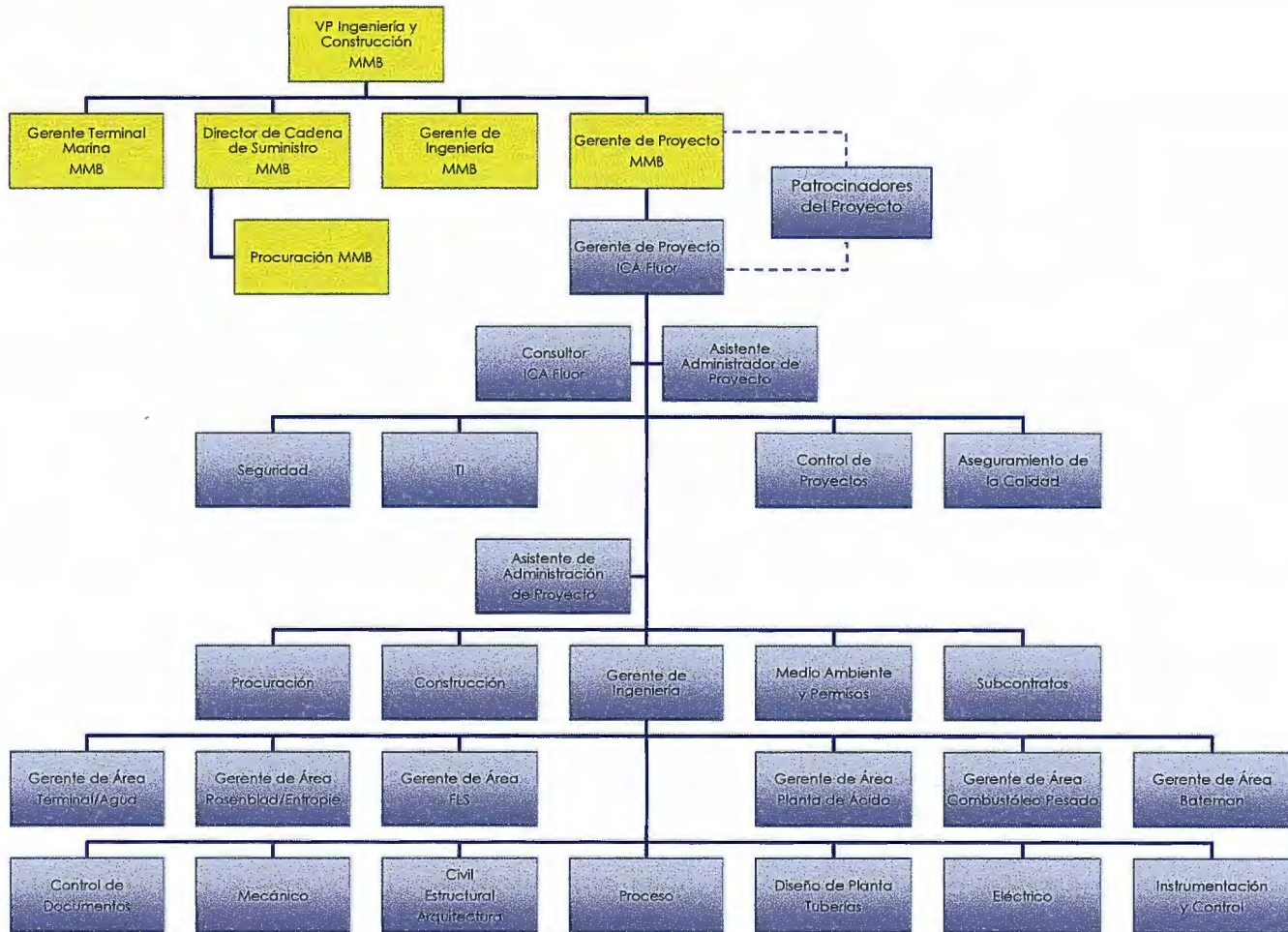


Fig. 20 Diagrama organizacional del proyecto

3.1.3 Contratista IPCM

Minera Metalúrgica del Boleo (MMB) seleccionó a ICA Fluor (ICAF) como el contratista IPCM para ejecutar el proyecto, en un contrato por costos reembolsables, donde, ICAF prestó sus servicios como "Agente de parte de" MMB en las cotizaciones, negociaciones, asignaciones y administración de órdenes de compra y contratos. De esta manera, ICAF facturaría sus horas hombre de acuerdo con un programa de tarifas todo incluido, previamente establecido.

En este proceso los gastos serían facturados al costo, incluyendo los viajes. Las facturas de los proveedores y de los contratos serían procesados por ICAF y enviadas a MMB para el pago. Así, ICAF se encargaría de monitorear los costos, a excepción de los costos del cliente.

Adicionalmente, el proyecto contaría con un Bono de Seguridad de US\$100,000 para cada millón de horas hombre sin pérdida de tiempo, sin penalización contractual en materia de seguridad.

Con respecto al programa del proyecto, se acordaron incentivos para una terminación temprana o tardía. La bonificación para la terminación temprana sería de US\$20,000 por cada día antes de la fecha establecida, hasta por 30 días de terminación temprana, luego de 15 días de actividad nula empezaría la penalización por US\$20,000 topado a un máximo del 50% del pago.

El cliente tendría garantías con respecto a trabajo defectuoso y rendimiento. Donde, la solución para el trabajo defectuoso detectado sería volver a realizar la ingeniería y servicios requeridos con un límite de pago más bonificación. También se fijaría una garantía por rendimiento, basado en el flujo que circula por la planta. MMB sería el responsable del desarrollo del proceso, y no habría una garantía por desempeño del mismo, sin embargo, en los paquetes de proveedores verticales se tendrían garantías de rendimiento y desempeño.

La responsabilidad terminaría con la Terminación Mecánica, que incluiría las pruebas de presión, corridas de equipo en seco, prueba de vibración y temperatura en motores.

Uno de los mayores conceptos empleados en el acuerdo para limitar la responsabilidad de ICAF fue el hecho de que ICAF actuaría como agente de MMB en la emisión de los contratos del proyecto. Esto protegería a ICAF, ya que las reclamaciones de los Contratistas del proyecto

serían en contra de MMB y no de ICAF. MMB podría tomar acción en contra de ICAF sólo si ICAF excediera su autoridad en actuar como agente. Si los contratistas realizaran alguna secuencia de trabajo o algún método diferente y este no fuera aprobado por MMB, entonces ICAF podría quedar expuesto.

El trabajo quedaría de acuerdo con el contrato, leyes, estándares y el Plan de acción Ambiental Social.

También, se establecerían los cambios de alcance como eventos de ajuste. Un evento de ajuste sería cualquier cambio, omisión, adición, o interrupción por MMB o sus agentes y contratistas, cualquier acción por alguna agencia del gobierno, o por una Fuerza Mayor (eventos fuera de control). Los cambios a partir de US\$10000, 500 horas hombre, o de 5 días justificarían el ajuste del Precio Objetivo. Los cambios en la ingeniería de valor para salvar tiempo o dinero no serían considerados como Eventos de Ajuste. La suspensión para el proyecto quedaría definida como una orden de cambio tanto para el Programa como para el Costo.

El diagrama organizacional del proyecto, ilustrado en la figura 20, muestra la relación entre las diferentes partes del proyecto, donde a los ingenieros líderes se les daría la encomienda de identificar cualquier aspecto que afecte costo, programa, ya sea positiva o negativamente, sin importar la fuente, para ser procesados rápidamente. Sin embargo, ningún cambio debería realizarse hasta no ser aprobado, manteniendo la jerarquía de documentos, mostrada en la figura 21.

Al ser detectado y señalado un cambio en la jerarquía de documentos, se obtendría la información para todos los documentos relacionados, esto se haría para ayudar a mantener la consistencia en el diseño además de facilitar la revisión para el cliente.

Los tipos de cambios se clasificarían a su vez en, eventos de ajuste (cambios en alcance), transferencia de presupuesto, tendencia o cobro retroactivo.

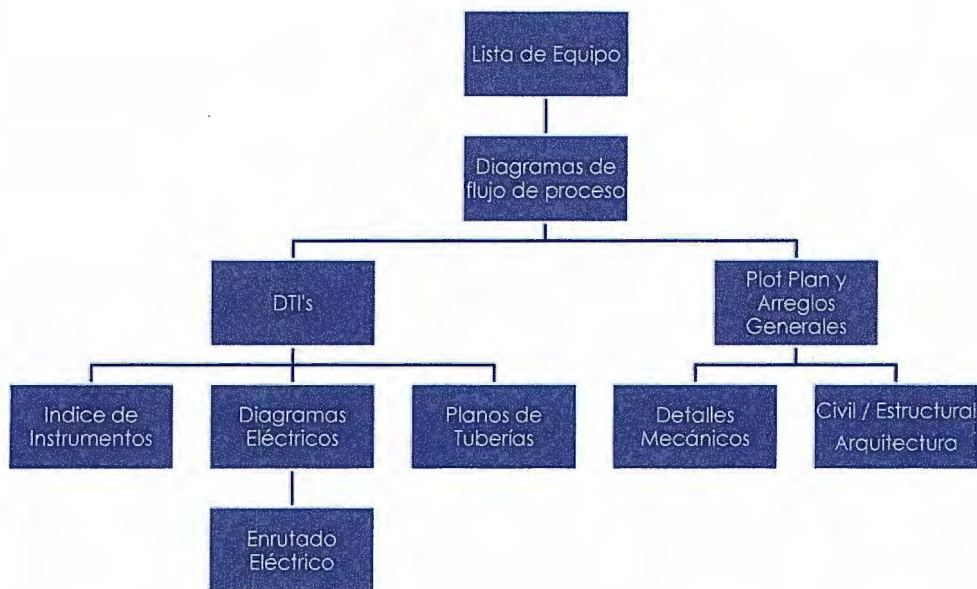


Fig. 21 Jerarquía de documentos

3.1.4 Alcance

Para el desarrollo de las minas, la empresa Agapito Associates, Inc. sería la encargada del alcance, mientras el alcance de varias áreas de la planta se desarrollaría con vendedores verticales, siendo ICA Fluor el integrador de la ingeniería entre los diferentes paquetes, entre los cuales se encontraron:

- Molienda (Área 14, 15) y CCD (Área 20) por FLSmidth
- Planta de Ácido Sulfúrico por SNC-Lavalin (Fenco)
- Planta de SO₂ por Noram
- Recuperación de Calor del Lixiviado (Área 18) por Rosenblad
- Extracción por solvente y depositación electrolítica de Cu/Co/Zn por Bateman
- Planta Térmica Productora de Agua Desalinizada por Entropie
- Planta de Ósmosis Inversa y Planta de Agua Desmineralizada por Aquatec
- Terminal Marina por Worley Parsons

- Almacenamiento de Combustible por Corsan
- Generadores de Diésel por Man Diesel & Turbo

Así, el contratista IPCM tendría dentro de su alcance, entre otras cosas:

- Ingeniería en etapa de detalle y procuración de todas las áreas, exceptuando los paquetes verticales
- Ingeniería en algunos de las áreas de paquetes verticales
- Administración de la construcción para toda la planta
- Órdenes de Compra y Administración de Contratos “como agente para el cliente”
- Administración del material
- Ingeniería de campo y Control de Documentos en Sitio
- Precomisionamiento
- Personal de comisionamiento para asistir en el arranque de la planta
- Dibujos As-Built para tuberías, eléctrico e instrumentos

Adicionalmente, dentro del Alcance de Servicios por el Contratista se contaría con aquellos servicios requeridos para la terminación del Proyecto.

3.1.5 Servicios de la Administración de la Construcción

El contratista tiene bajo su alcance los siguientes servicios relacionados:

Relación con la Comunidad

Los servicios de Administración de la Construcción respecto a la Relación con la Comunidad como:

- Desarrollo de actividades que cumplan las políticas del Cliente, acuerdos y obligaciones más actuales.
- Aseguramiento de que todos los Contratistas, Subcontratistas y Proveedores tengan conocimiento de las obligaciones y políticas del cliente.
- Aseguramiento de que en todas las inducciones al personal se vea el tema de Relación con la Comunidad.

- Atender los asuntos presentados por el Cliente con respecto a la Relación con la Comunidad.

Servicios de Administración de la Construcción

- Desarrollo de un plan general para la construcción en conjunto con el Plan de Ejecución del Proyecto y plan de contratación del Cliente.
- Optimización de la división de trabajo entre Subcontratistas y Proveedores.
- Análisis y demostración del costo y tiempo efectivo de trabajo propuesto por el Contratista para que sea llevado a cabo por los Contratistas del Proyecto, subcontratistas y proveedores contra el control del presupuesto.
- Revisión de diseños y dibujos para la constructibilidad y recomendación de cambios.
- Infraestructura de construcción, acceso y áreas de descarga para el Sitio.
- Control y monitoreo de la calidad de las actividades de construcción.
- Administración y coordinación de las actividades de Contratistas del Proyecto, Subcontratistas y Proveedores en Sitio asegurando la terminación dentro de lo programado.
- Recepción, evaluación, negociación y resolución de reclamos en contratos y cambios.
- Reporte del progreso de la construcción.
- Establecimiento y administración de programas de aseguramiento de la calidad para control de calidad en el alcance de Contratistas.

Relaciones Industriales en Sitio

En donde el Contratista debe llevar a cabo los servicios de relación industrial respecto al alcance en la Administración de la Construcción, como:

- Preparación e implementación de una Política de Relaciones Industriales en Sitio por la duración de los servicios de la Administración de la Construcción.
- Aseguramiento de que los Contratistas del Proyecto, Subcontratistas y Proveedores cumplan con toda la ley aplicable relevante en relación con sus empleados.

- Asegurar que los Contratistas del Proyecto, Subcontratistas y Proveedores no hagan ningún acuerdo con alguno de sus empleados en donde se acuerden pagar o hacer algo no requerido por alguna ley aplicable sin obtener el permiso previo del Cliente.
- Participación en la negociación de acuerdos laborales cubriendo el suministro de personal de construcción.
- Conducir la Política de Relaciones Industriales y administrarla junto con los recursos de Relaciones Industriales seleccionados por el Cliente.
- Revisión de la competencia de personal de Contratistas del Proyecto, Subcontratistas y Proveedores antes de su movilización a Sitio.
- Implementar un sistema de identificación de personal en Sitio y administrar en tiempo real el registro para todo el personal en Sitio diariamente.
- Monitoreo del desempeño de las relaciones industriales de todos los Contratistas del Proyecto, Subcontratistas y Proveedores durante el período de los servicios de la Administración de la Construcción.
- Consejo al Cliente sobre cualquier disputa de relación industrial que afecte al Proyecto.
- Asistencia en la resolución de conflictos de relación industrial en conjunto con los consejeros seleccionados del Proyecto de Relación Industrial que afecten el desarrollo de la construcción en sitio o contratos, mientras no estén relacionados con personal del Cliente.
- Asegurarse de que Contratistas del Proyecto, Subcontratistas y Proveedores empleen personal competente, apropiadamente calificado y gente de experiencia y que cuenten con toda licencia, permiso o certificación requerida por cualquier ley aplicable.
- Asegurarse de que Contratistas del Proyecto, Subcontratistas y Proveedores sean responsables de la seguridad en su propia área de trabajo. La seguridad del Sitio es por el Cliente.
- Reconocer que el Proyecto se lleva a cabo bajo un arrendamiento minero y que el Cliente, en su papel como operador del Proyecto tiene ciertas responsabilidades con la conducta de las personas en Sitio, en virtud de lo cual, ha promulgado ciertas normas y reglamentos.

Coordinación con Vendedores Verticales

Como parte de la integración del proyecto, se establecería al Contratista como coordinador de la información y tareas por otros.

Estos son los paquetes de vendedores verticales otorgados, que incluyen el suministro de equipo, y cierta cantidad de ingeniería básica y de detalle, procuración y administración de servicios, además de supervisión en campo, destacando:

- La ingeniería básica de FLS incluidos diagramas de flujo y DTI's, y comentarios en planos para Trituración, Depuración, Molienda y Remoción de Hierro.
- Ingeniería básica y de detalle de FLS en el área de CCD, exceptuando la parte eléctrica. FLS sería responsable de la ruta de cableado.
- Ingeniería básica y de detalle de Bateman-Litwin para los circuitos de Cobre, Cobalto. Donde el Contratista sería responsable del concreto, la parte eléctrica, tubería menor a 6 pulgadas y los edificios de electrodeposición.
- Ingeniería básica y de detalle de Rosenblad para el área de recuperación de calor del lixiviado, excepto eléctrico y concreto.
- Ingeniería básica y de detalle por SNC-Fenco para la planta de ácido y área de azufre, incluyendo el área de cogeneración.
- Ingeniería básica y de detalle por Noram para la planta de SO₂
- Ingeniería básica y de detalle por Westmar para el puerto. El Contratista sería responsable de la tubería, bombas y bandas transportadoras.

3.1.6 Responsabilidades del Cliente

General

El cliente sería responsable, entre otras cosas, de:

- El diseño del proceso
- Abastecimiento y operación de los campamentos, incluyendo comedor, lavandería y mantenimiento.

- Seguridad en Sitio
- Servicios de limpieza
- Equipamiento automotriz de la planta
- Programación y verificación del DCS (Diagrama de Control Distribuido)
- Energía eléctrica para campamentos y oficinas, suministrada por el cliente desde la red de CFE. El Contratista coordina la instalación y conexión con CFE.
- Trasplante y cuidado de Flora y Fauna en sitio
- Factura de pago a vendedores y contratistas de manera oportuna. El contratista es el encargado de procesar y aprobar las facturas. El Cliente suministra contabilidad de factura de pagos y reportes.
- Almacenamiento de combustible, que es contratado con un tercero, y que no tiene cargo para el Contratista.
- El diseño de las instalaciones para almacenamiento de colas
- Diseño de la mina y equipamiento
- Equipo automotriz
- Diseño de los canales de desviación
- Manuales de operación y entrenamiento, distintos a los manuales de proveedores
- Permisos y relaciones con la comunidad

3.1.7 Comunicaciones

Por ser considerado un megaproyecto, con múltiples actores involucrados en los procesos IPCM del proyecto, las vías de comunicaciones establecidas para el proyecto serían de vital importancia para el desarrollo exitoso del mismo.

De manera general los lineamientos establecidos para el manejo de la comunicación dentro del proyecto incluirían.

- Paquete de orientación, para personal que se incorpora al proyecto y juntas
- Organización de Fuerza de trabajo por áreas
- Junta semanal del staff, incluyendo al cliente
- Levantamientos a pie

- Reportes semanales de 1 página
- Reporte de estatus mensual y junta mensual
- Correos efectivos: un solo tema, descriptivo, con copia a los líderes del proyecto, evitar responder a todos.
- Juntas en tiempo y forma, con reglas como: llegar a tiempo, sin distracción de celulares, contar con escriba, tener una agenda, ser cortés, hacer preguntas, una conversación a la vez, terminar a tiempo, publicar la minuta y permitir comentarios.
- Listas de necesidades y acciones; revisar cada junta semanal, una semana para completar y ser borrada de la lista.
- Uso de administrador de documentos en línea
- Comunicación con vendedores verticales a través de procuración

3.1.8 Acciones Principales al Arranque de Construcción

- Movilización del contratista de Ingeniería, Procuración y Administración de la Construcción.
- Recepción de equipo principal
- Inicio de movimiento de tierras (1 millón m³)
- Primera colada de concreto (Espesadores)
- Inicio de actividades de desarrollo en la mina
- Se completa la construcción de campamentos
- Se inicia estudio de factibilidad de producción de Manganeseo (más tarde sería rechazado).

3.2 Suspensión

En abril de 2012, fueron identificados incrementos en el costo del proyecto, lo que elevó el gasto de capital total, nuevamente, a US\$1,670 millones. El incremento en el costo del proyecto se atribuyó a una variedad de presiones incluyendo cambio de alcance, mejoras en

el diseño, aumento en costo de minería, aumento de mano de obra (precio y tiempo) y un aumento en el precio de consumibles como azufre, acero y combustible.

3.2.1 Acciones Principales Etapa de Suspensión

- Renuncia de varios miembros de la mesa de directores de Baja Minning
- Revisión de proyección de costos actualizados y búsqueda de opciones para reducir costos
- Desarrollo y ejecución de plan de recaudación de fondos.
- Elección de nuevos directores de Baja Minning por los accionistas

3.2.2 Identificación de sobrecostos:

Estimado total de sobrecostos en US\$400 millones, compuesto de US\$246 millones de costos adicionales, US\$100 millones costo adicional cubierto por sobrecostos de instalaciones y US\$ 53.5 millones por contingencias adicionales.

De los US\$400 millones del estimado total de sobrecostos, los costos adicionales totales directos e indirectos llegan a US\$288 millones y son consecuencia de:

- Cambios de alcance (44%)
- Cambios de diseño (11%)
- Errores de estimación (11%)
- Costos de IPCM (27%).

Incluido en los US\$400 millones del estimado total de sobrecostos se encuentran los costos adicionales del cliente estimados en US\$151 millones, que están impulsados por cambios en:

- Gastos de capital (27%)
- Cambios en costos por salarios y beneficios (16%)
- Incremento en costo del departamento de negocios (22%)
- Incremento en el costo del departamento de minería (21%)
- Otros (14%).

Estimado de administración: Costos capitales

El estimado total de sobrecostos de US\$400 millones no toma en cuenta los costos adicionales por el retraso del proyecto, capital de trabajo adicional, costos de financiamiento y contingencia de cobalto y zinc. La administración estima costos adicionales en el rango de US\$50 millones a US\$150 millones llevando el estimado actualizado de costos de capital al rango de entre US\$1,617 millones a US\$1,717 millones.²⁸

Estimado de administración: Costos Operativos

La consultoría SRK analiza los gastos operativos proyectados de Baja Mining.

Los estudios muestran que los gastos operativos proyectados han aumentado significativamente impulsado por costos de:

- Minería
- Azufre
- Diésel
- Mayor gasto de mano de obra

3.2.3 Circuitos de Cobalto y Zinc Diferidos

Para mitigar riesgos de construcción y operación, permitir al equipo de construcción enfocarse en la terminación y comisionamiento del circuito de cobre, así como, permitir al equipo de operación de MMB enfocarse en el incremento paulatino de producción de cobre, se difieren en el programa los circuitos de cobalto y zinc, dando prioridad al circuito de cobre.

²⁸ Noticia en internet, Recuperado de: http://www.camrovaresources.com/assets/m33_2012-06-21_fincl.pdf

3.3 Reactivación

El 5 de octubre de 2012 Baja Mining Corp, anunciaba que el Consorcio Coreano había dado US\$6.7 millones a MMB. Esta inyección de dinero adicional permitió a MMB, continuar con la construcción del proyecto El Boleo.²⁹

A partir del 17 de octubre de 2012, el Consorcio Coreano obtuvo el control de MMB y de las operaciones del proyecto, que después de contribuir con US\$90 millones en MMB, en la primera fase de financiamiento, ahora indirectamente era propietario del 51% de la participación total de MMB. Luego de concluir la segunda fase de financiamiento, en agosto de 2013, el interés de Baja Mining se reduciría a 10% mientras que el Consorcio Coreano (KORES) mantendría el 90% de participación.³⁰

3.3.1 Acciones Principales Etapa de Reactivación

- Movilización de un grupo de ingeniería a sitio en mayo del 2013
- Actualización del programa de terminación, donde:³¹
 - La terminación del circuito de cobre se propone para febrero 2014.
 - El plan de comisionamiento de la planta para el circuito de cobre a tres meses de la terminación mecánica y la primera producción de cobre hacia junio de 2014.
 - La terminación mecánica del circuito de cobalto y zinc programado para mediados de mayo 2014 con la primera producción hacia julio de 2014.
- Optimización de recursos para apoyo a construcción
- Definición de sistemas por prioridades para liberación al cliente

²⁹ Recuperado de: http://www.camrovarresources.com/assets/nr46_2012-10-05_final.pdf

³⁰ Recuperado de: http://www.camrovarresources.com/assets/nr13-2013-08-08_10_final.pdf

³¹ Recuperado de: http://www.camrovarresources.com/assets/nr18-2013-12-23_updatefinal.pdf

3.4 Terminación del Proyecto

En mayo de 2014, la mesa directiva de MMB aprobó condicionalmente una adición al costo de capital de construcción hacia finales de 2014 de US\$1,878 millones, sujetos al compromiso de la administración de MMB en identificar eficiencias en la operación y/o crecimiento en las ganancias en la fase de arranque de la planta.

En mayo, las fechas del proyecto se esperaban de la siguiente manera.

- La fecha de terminación mecánica para el circuito de cobre presentaba incertidumbres a la fecha, de acuerdo con los programas de construcción eléctrica y de tuberías.
- El comisionamiento de la planta se esperaba dos meses después de la fecha de terminación mecánica y la primera producción de cobre para julio 2014.
- La terminación mecánica para el circuito de cobalto y zinc se programaba para junio de 2014, con la primera producción hacia septiembre 2014.³²

Sin embargo, el proyecto se vería retrasado nuevamente, avanzando con dificultad, principalmente por problemas de financiamiento. En agosto de 2014 KORES inyectaría a MMB US\$20 millones para continuar con los trabajos mientras se conseguía financiamiento de US\$200 millones requeridos para completar la construcción y para capital de trabajo hasta alcanzar los niveles normales de producción.³³

3.4.1 Precomisionamiento y Arranque

Durante la etapa de terminación del proyecto, los esfuerzos se concentraron en la administración de los recursos, en conjunto ICAF, MMB y subcontratistas, para la terminación mecánica del circuito de cobre (circuito prioritario).

³² Recuperado de: http://www.camrovaresources.com/assets/nr08_2014-05-05_corporate_update_final.pdf

³³ Recuperado de: http://www.camrovaresources.com/assets/nr12_2014-08-15_kores_extends_bridge_loan_to_mmb.pdf

La liberación de áreas al cliente, por parte de ICAF, para el arranque de la planta, se llevó a cabo por paquetes de entrega por sistemas, definidos dentro de la planta por el área de precomisionamiento de ICAF y aprobados por el cliente.

Los paquetes de entrega por sistemas fueron definidos de acuerdo con la prioridad del sistema en el arranque de la planta, en conjunto con el cliente.

En noviembre de 2014, MMB reportaba el estado de las actividades en la planta.

- Actividades de minería con suficiente mineral apilado para alimentar la planta de proceso por más de 1 año.
- El comisionamiento de la planta de los principales circuitos de cobre cercanos a terminar y la mayoría operables.
- El mineral alimentado en los circuitos de preparación de slurry y el circuito de CCD también comisionado para producción.
- El circuito de electrodeposición a ser completado y empezar con la producción.
- La construcción del circuito de cobalto y zinc avanza esperando terminar a finales de año.³⁴

3.4.2 Primera Producción de Cobre

El 17 de enero de 2015 MMB obtuvo su primera producción de cobre en su proceso de molienda, lixiviación, extracción y electrodeposición dentro de su proyecto minero-metalúrgico.³⁵ El estimado de producción de MMB para el primer año 2015, consideró la producción de 24,000 toneladas de cátodo de cobre, 8,000 toneladas de sulfato de zinc monohidratado y 600 toneladas de cobalto metálico.

³⁴ Noticia en internet. Recuperado de: http://www.comoxresources.com/assets/nr18_2014-11-04_project_bolea_update_final.pdf

³⁵ Noticia en internet. Recuperado de: http://www.comoxresources.com/assets/nr01_2015-01-20_first_copper_final.pdf

El 12 de julio de 2015 MMB realizó su primera embarcación de 1,919 toneladas de cátodo de cobre electrolítico a través del barco M/V Carleone desde su terminal marítima llamada "El Boleo".³⁶

Un dato que resaltar del proyecto es la inversión, a ese momento, de alrededor de US\$2,000 millones; inversión nunca vista por alguna empresa unitaria, para la creación de una nueva operación minera en el estado de Baja California Sur.³⁷

3.5 Desenlace Proyecto El Boleo

3.5.1 Principales Operaciones en 2016

Durante la administración de 2016, empleados y contratistas continuaron trabajando para consolidar la empresa y alcanzar una producción normal, destacando los siguientes avances.

- La producción de 14,284 ton de cobre fue del doble con respecto a 2015, pero menor al objetivo de 22,574 ton debido a un paro no programado por mantenimiento, problemas con el sindicato, el Huracán Newton y una menor ley en el mineral de alimentación a la planta y tasas de recuperación que las estimadas; el objetivo para 2017 para una producción total superior al doble de la obtenida en 2016.
- Las ventas de 14,415 ton de cátodos generaron ganancias netas de US\$72 millones.
- El volumen de alimentación de mineral de 1,978 MT, se aproximaron al objetivo y la disponibilidad de la planta mejora a un 75%
- Se realizaron una serie de modificaciones a la planta para mejorar el desempeño, con recuperación promedio de cobre del 75%.
- Terminación del comisionamiento al circuito de cobalto y sulfato de zinc, alcanzando una producción comercial de 419 ton y 1,444 ton, respectivamente.

³⁶ Noticia en internet. Recuperado de: http://www.cobrecvresources.com/assets/nr04_2015-07-20_copper_shipment_final.pdf

³⁷ Recuperado de: https://www.efe.com/efe/latam/energia/comunicados/minera-y-metalurgica-del-boleo-obtiene-su-primer-a-produccion-de-cobre/2004810-111101_20344240

- Producción de mineral de 1.4 millones ton, menor al objetivo debido a las pruebas continuas en métodos subterráneos, incrementando la producción en la superficie para compensar la baja producción subterránea.
- En noviembre 2016 mejoraría la producción subterránea luego de probar con equipo de soporte de techo, junto a personal de experiencia.

3.5.2 Retos durante 2017

De acuerdo con el plan de negocio y presupuesto de MMB, los retos del proyecto se enfocarían principalmente en:

- Alcanzar una producción estable de mineral de producción, mejorar la disponibilidad de la planta y recuperación de mineral y alcanzar la normalización en las operaciones de la planta.
- El objetivo de producir 30,000 ton de cátodo de cobre con una producción mensual por arriba de 2,500 ton.
- El rendimiento de la planta objetivo de 2.8 millones ton a un promedio de alimentación de 1.24% de ley de cobre, y la recuperación objetivo del 84%.
- La reducción de costos de operación y mantenimiento a lo largo del 2017.
- Producción mensual objetivo de cobalto y sulfato de zinc por arriba de las 50 ton y 770 ton, respectivamente.
- El presupuesto de 2017 proyectó un déficit de US\$160 millones antes de financiamiento. Del financiamiento, US\$30 millones del déficit fue aprobado previamente por KORES, sin embargo, el presupuesto para 2017 y el balance de los US\$130 millones restantes se mantienen sujetos a aprobación.³⁸

3.5.3 Responsabilidad Social del Proyecto

El 2 de julio de 2016 a invitación expresa de MMB, autoridades federales y legisladores locales visitaron la empresa a fin de conocer las operaciones de su planta, sus proyectos de inversión

³⁸ Noticia de Internet. Recuperado de: http://www.camirovaresources.com/assets/mi01_2017-01-13_boleo_update_ifincil.pdf

claves para el desarrollo y crecimiento de Baja California Sur, así como sus acciones de responsabilidad social en beneficio principalmente de Santa Rosalía.

Encabezados por su director general, Sang Bum Lee, directivos de Minera y Metalúrgica del Boleo dieron a conocer aspectos generales del proyecto El Boleo, el cual representa una inversión de 2.2 mil millones de dólares, generando 1,304 empleos, la mayoría de los cuales pertenecen a habitantes de Santa Rosalía y de Baja California Sur.

Durante el recorrido por la planta, los directivos explicaron que todas las operaciones de la empresa se llevan a cabo con apego a las leyes y normatividad vigentes. Señalaron que la empresa cuenta con los permisos ambientales necesarios para realizar operaciones mineras, tales como permisos de licencia ambiental única, resolutive de impacto ambiental, descarga de aguas, cambio de uso de suelo y de generación de residuos peligrosos, entre otros. Asimismo, precisaron que la planta opera bajo estrictos estándares de seguridad, y en este sentido, cuenta con protocolos de seguridad aprobados y/o certificados por instancias nacionales e internacionales.

Durante la visita se pudieron apreciar las actividades de monitoreo ambiental, áreas reforestadas y rehabilitadas, manejo de residuos, protección de flora y fauna silvestre y trabajos de control de erosión.

Los directivos expusieron que Minera y Metalúrgica del Boleo es una empresa sustentable, con una alta conciencia en la preservación de su entorno y reducción de su huella ambiental. Minera y Metalúrgica del Boleo mantiene un estricto control y seguimiento a los lineamientos ambientales marcados por la ley, para el cuidado y protección de la zona en donde opera.

Finalmente, los directivos destacaron los diversos proyectos de responsabilidad social, enfocados principalmente en el desarrollo comunitario de Santa Rosalía. Destacan los proyectos desarrollados por la Oficina de Enlace Comunitario, así como el programa "Educar para la Vida", que ya cuenta con la participación de 1,100 estudiantes, bajo la coordinación de la Fundación "Hagamos Más por Santa Rosalía".³⁹

³⁹ El Boleo, Noticias. Recuperado de: <http://www.mmboleo.com/noticias.aspx>

3.6 Informe de Actividades

El sustentante de este informe de práctica profesional participó activamente con ICA Fluor en la disciplina de proceso, durante el desarrollo de la ingeniería de detalle de marzo de 2011 a mayo de 2012, posteriormente, durante la reactivación del proyecto, como apoyo de proceso a precomisionamiento en sitio, de julio de 2013 a septiembre de 2014. A continuación, se mencionan las principales actividades desarrolladas en las diferentes etapas del proyecto.

Ingeniería de detalle

- ❖ Diseño y dibujo de DTI's en el software Smart Plant P&ID (SPPID), de las diferentes áreas del proyecto, principalmente aplicación de comentarios a los DTI's por parte del cliente y vendedores verticales, para ser emitidos "Aprobados para diseño".
- ❖ Aplicación de comentarios de HazOp y emisión de DTI's "Aprobados para construcción".
- ❖ Captura de datos de proceso a la base de datos de los DTI's dentro de SPPID.
- ❖ Generación de Listas de Líneas desde la base de datos del SPPID y corroboración de datos de proceso para la disciplina de tuberías.
- ❖ Revisión del modelo 3D Smart Plant Review para extraer información de trayectoria de tuberías.
- ❖ Cálculos hidráulicos y elaboración de memorias de cálculo.

Apoyo de proceso a precomisionamiento en sitio

- ❖ Apoyo en la preparación de nodos para Estudio HazOp para las plantas de H_2SO_4 , SO_2 y área de almacenamiento de Diesel.
- ❖ Escriba en el Estudio HazOp para las áreas mencionadas con los vendedores verticales.
- ❖ Revisión de recomendaciones del HazOp, para todas las áreas del proyecto, comprobando que hayan sido aplicadas.
- ❖ Elaboración de Reporte de Cierre del HazOp.
- ❖ Definición de paquetes de entrega por prioridades para definir los sistemas de entrega al cliente.
- ❖ Definición y control de pruebas hidráulicas y limpieza de tuberías para los diferentes servicios dentro del proyecto, revisión de paquetes de prueba y coordinación con

subcontratistas para atestiguar pruebas en conjunto con el cliente, ver tabla 17 en anexos.

- ❖ Levantamiento de pendientes (punch list) por sistemas y clasificación en tipos de pendiente A, B y C, dando seguimiento junto con personal de construcción y comisionamiento del cliente, ver tabla 19 en anexos.
- ❖ Coordinación entre vendedores verticales y subcontratistas para dar seguimiento a los pendientes del punch list, necesarios para el comisionamiento de las áreas, incluyendo, limpieza de tuberías, flusheo con agua o soplado con aire seco, normalizado de líneas luego de pruebas hidrostáticas, neumáticas o soplados con vapor.
- ❖ Apoyo en pruebas de corridas de motores en seco, verificación de sentido de rotación, pruebas de vibraciones y temperatura para atestiguamiento con el cliente, ver tabla 18 en anexos.
- ❖ Apoyo en prueba de circuitos de lazos y válvulas de control.
- ❖ Apoyo a vendedores verticales para comisionamiento y arranque de las áreas.
- ❖ Apoyo al comisionamiento de la planta por parte del cliente, verificando que los sistemas se encuentren liberados.
- ❖ Participación en las juntas en materia de seguridad del proyecto, junto con las disciplinas de construcción y subcontratistas de la obra.

4. Retos de Proyectos Industriales del sector minero

La minería requiere de importantes inversiones, sujetas a la volatilidad de precios de los metales y minerales, con altos riesgos geológicos y técnicos. Una política minera de Estado debe dar seguridad jurídica de largo plazo a los inversionistas mediante reglas claras y correctamente articuladas en todas sus leyes, reglamentos y normas que promuevan la competitividad de la industria para estar a la par con otros países mineros. Es claro que no es suficiente tener un potencial geológico minero atractivo, si no existe atrás una política minera de Estado que garantice y estimule el desarrollo de la industria.⁴⁰

Una mala planeación o una estructura laboral deficiente pueden dar lugar a demandas numerosas y costosas, multas, sanciones y restricciones operativas, auditorías fiscales, regulaciones adicionales, huelgas, entre otras cosas, que en combinación pueden ser perjudiciales para cualquier compañía o proyecto.

Además, el entorno económico y comercial actual marcado por una renegociación del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) coloca a la minería mexicana en una posición difícil.⁴¹

4.1 Minería Responsable

La minería es esencial en el ámbito económico y social de los pueblos y, desarrollada de manera responsable, contribuye significativamente a la disminución de la pobreza. Este sector trabaja comprometido para lograr un desarrollo sustentable en todas sus operaciones, respetando el medio ambiente y la integridad de las comunidades.

Esta industria cree firmemente que la minería logra la transformación de la tierra a partir de su conocimiento, lo que se traduce en oportunidades de trabajo que modifican positivamente las

⁴⁰ Informe Anual 2015, Cámara Minera de México; LXXVIII Asamblea General Ordinaria. Recuperado de: <https://www.comimex.org.mx/files/3614/6852/9151/02-Situacion2016.pdf>

⁴¹ Artículo de Internet. Recuperado de: <https://www.pwc.com/mx/es/industrias/mineria.html>

condiciones de vida. México es un país minero e impulsa con determinación la adopción de buenas prácticas que se traducen en el ejercicio de una minería responsable.

En la edición 2015, 42 grupos mineros fueron reconocidos con la entrega del distintivo Empresa Socialmente Responsable. Así mismo, 91 empresas participan en el programa de Industria Limpia que impulsa la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente y tres grupos mineros forman parte del Índice Verde de la Bolsa Mexicana de Valores. Para el sector, el cuidado del medio ambiente y el desarrollo de las comunidades aledañas a las operaciones son fundamentales.

Por ello, en estos tiempos neoliberales, el conflicto con las sociedades y las personas no se limita al mal manejo de los residuos mineros, ni al tamaño de los terrenos minados. La debilidad de marcos legales normativos y el fuerte arraigo de las prácticas y pactos informales dentro del sistema legal, político y económico es un foco de atención para conducir hacia una minería responsable en años venideros.

4.2 Ley Federal de Derechos

Con la entrada en vigor de las reformas a la Ley Federal del Derechos, en 2014, que incluyó el cobro de nuevos derechos a la minería, fue creado el Fondo para el Desarrollo Regional Sustentable de Estados y Municipios Mineros, el cual recibe el 80% (20% se queda en la Federación) de los recursos recaudado por la aplicación del 7.5% sobre la utilidad neta por la extracción de mineral, más el 0.5% de los ingresos derivados de la venta de oro, plata y platino. De ese 80%, el 62.5% es para los municipios donde se llevó a cabo la extracción del mineral y el 37.5% restante para la entidad federativa correspondiente.

Los recursos del fondo minero son operados por la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano, destinados a inversiones en obras de infraestructura en temas ambientales, sociales y educativos, para impulsar el desarrollo sustentable en los municipios y estados en los que se realiza esta actividad, lo que beneficia a las comunidades de los lugares aledaños de donde se extrae el mineral.

4.3 Reforma fiscal

En los últimos tres años, la minería mexicana ha venido reduciendo su participación en los principales indicadores económicos del país, debido a la baja en los precios internacionales de los metales y por la imposición, en 2014, de nuevos derechos. Como resultado, el sector enfrenta una carga tributaria total del 48% de su utilidad fiscal, considerando el Impuesto Sobre la Renta y otros gravámenes.

Antes de la aprobación de los nuevos derechos mineros, el sector estimó para los próximos seis años una inversión de 30 mil millones de dólares, y la generación de 100 mil nuevos empleados, lamentablemente la entrada en vigor de los nuevos derechos y los bajos precios de los metales, propiciaron que las inversiones se contrajeran y el empleo redujera su ritmo de crecimiento.

La Ley de Ingresos del Paquete Económico 2016 incluyó los siguientes estímulos:

Estímulo fiscal para contribuyentes titulares de concesiones o asignaciones mineras, cuyos ingresos brutos totales anuales por venta o enajenación de minerales o sustancias de la Ley Minera, sean menores a 50 millones de pesos.

Estímulo del Impuesto Especial sobre Producción y Servicios (IEPS) por adquisición de diésel como combustible para maquinaria general (incluye los vehículos de baja velocidad o de bajo perfil).

En este sector, una correcta planeación e implementación de estructuras y prácticas corporativas, así como el cumplimiento a las obligaciones fiscales que cambian día con día es vital para la consolidación de pequeñas y medianas empresas, así como para el desarrollo de nuevos proyectos de las grandes empresas.

4.4 Medio Ambiente

Para el sector minero, la gestión ambiental destinada a mitigar los impactos de las operaciones y a mejorar el entorno, es fundamental de la responsabilidad social empresarial.

Después de 10 años de crecimiento sostenido, el sector minero de México, desde 2013 enfrenta significativos retrocesos en todos sus indicadores causados por la baja internacional del precio de los metales y por la aplicación de nuevas medidas impositivas, afectando negativamente la exploración y que repercute en una menor inversión y una marcada desaceleración en la creación de empleos por falta de nuevos proyectos mineros en nuestro país.

El monto de las exportaciones en la rama minera también descendió y el sector ahora está por debajo de los sectores automotriz, electrónico, el petróleo, las remesas y el turismo.

Pese a que el sector minero se mantuvo como una de las ramas productivas que más inversión realizó en el país, durante 2015 se invirtieron 4 mil 630 millones de dólares. Esta cifra se ubicó por debajo del monto previamente estimado de 5 mil 458 millones de dólares y que compara desfavorablemente con los 8 mil 43 millones invertidos en 2012.

La industria minera requiere seguridad jurídica en inversiones con reglas claras para lograr estar a la par de sus competidores latinoamericanos.

En México, pocos proyectos fueron puestos en operación en 2015, año en que Boleo inicia operaciones, donde al menos 25 proyectos mineros fueron postergados en el año. El sector necesita de permisos y trámites más expeditos que motiven la inversión. Es claro que no es suficiente tener un potencial geológico minero atractivo, si no existe una política minera de estado que garantice y estimule el desarrollo de la industria.

Cabe recordar que la minería ocupa el sexto lugar en consumo de energéticos, por lo que la Reforma Energética permitirá a las empresas mineras ser más competitivas y aprovechar nuevos negocios y campos de oportunidad que surjan para el sector, como la generación de electricidad.⁴²

⁴² Recuperado de: https://www.comimex.org.mx/files/3614/e85279181/2.../Sitio_electronico_2016.pdf

4.5 Sector de la Construcción en México

La industria de la construcción en México estimó un rango de crecimiento en 2017 de entre -1% a 0.5%, debido a factores básicos como los recortes de 25% al presupuesto contra 2016 y los aumentos de las tasas de interés, previendo una reducción de 40,000 puestos de trabajo en caso de contracción o la creación de hasta 20,000 empleos si se registra crecimiento, de acuerdo con un reporte del Centro de Estudios del Sector de la Construcción (Ceesco), publicado los primeros días de enero.

De enero a noviembre de 2016, esta industria mostró un crecimiento de 1.9% comparado con el mismo período de 2015 y esperaba una expansión de 1.5 a 2.0% al cierre del año.

La estimación para 2017 se encontraba muy alejada del potencial de la industria que es entre 4 a 5% anual y generación de empleos arriba de 200,000 anuales, de acuerdo con el estudio.⁴³

Las perspectivas en el sector de la construcción para el año 2017 estuvieron relacionadas al escenario externo complejo y volátil que comenzó desde 2016 debido a:

- Reducción de la demanda global por una desaceleración de la economía mundial y una disminución de los flujos de comercio internacional.
- Volatilidad en los mercados internacionales por la salida de capitales de los países emergentes y políticas monetarias divergentes, además de la persistencia de los precios bajos de materias primas como petróleo, metales industriales y alimentos.
- La apreciación del dólar y la inestabilidad en los mercados cambiarios, presentando mayores fluctuaciones.
- Menor crecimiento de las economías emergentes, en especial China, así como por una lenta recuperación en Japón durante 2016 y un menor dinamismo que el esperado por parte de la economía estadounidense.
- Moderado crecimiento en la Economía mexicana basado en el fortalecimiento del consumo e inversión privada, así como medidas integrales y coordinadas de política monetaria, cambiaria y fiscal.

⁴³ Recuperado de: <http://www.obrasweb.mx/construccion/2017/01/23/industria-de-la-construccion-estima-incluso-contraccion-en-2017>

- Finanzas públicas con menores ingresos presupuestarios, donde el primer recorte el 17 de febrero de 2016 fue por 132 millones de los cuales al Gobierno Federal y CFE correspondieron 32.3 miles de millones de pesos y a Pemex un ajuste a su presupuesto por 100 mil millones de pesos (88 mil 500 millones en gasto de inversión).

La Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción espera que las reformas estructurales recientemente implementadas, deberán impulsar el crecimiento económico de México sustentado en fundamentos sólidos que flexibilizan y dan certeza jurídica a los agentes económicos de la industrial de la construcción, sobre todo la industria energética, pues se abren esquemas de participación privada principalmente en proyectos de exploración, producción y conducción, distribución de petróleo y gas, así como la generación de electricidad en todas sus modalidades.

Por tanto, espera que las reformas y adecuaciones al marco jurídico permitirán fortalecer el mercado interno en un corto plazo, haciéndolo más atractivo para la inversión privada nacional y extranjera generadora de fuentes de trabajo en diversas regiones del país, fomentando la competencia, así como pluralidad, con mejores productos, servicios y precios para los usuarios finales.⁴⁴

4.5.1 Inversión Minera en México

La producción minero-metalúrgica del país presentó su mayor caída en 14 años durante 2016, al disminuir en 6.3%, como consecuencia de los efectos negativos que ha generado en el sector el retroceso en los precios de varios metales ante la desaceleración de la economía de China, aunado a la menor inversión en la industria.

De acuerdo con el INEGI, de los 17 minerales más importantes que produce el país, 14 registraron descensos, siendo el cobre un caso que sí presentó un alza de 2 por ciento.

De acuerdo con la Caminmex, el menor dinamismo de la economía china afectó fuertemente las cotizaciones internacionales de los metales en los últimos cinco años, lo

⁴⁴ Informe Anual 2015, Cámara Minera de México: LXXVIII Asamblea General Ordinaria. Recuperado de: <http://www.cmic.org.mx/cmic/ceesco/2016/InformeAnual20152017.pdf>

que ha tenido como resultado un acelerado reacomodo del sector, fusiones, adquisiciones y desinversiones.

En México se han continuado postergando proyectos mineros, algunos retrasaron su fase de construcción y sólo tres se pusieron en operación. La imposición de nuevos derechos y la falta de certeza jurídica han sido los principales elementos disuasivos para invertir en el país.⁴⁵

⁴⁵ Avitúa D, Garza D; *Menor Inversión Frena Producción Minera* (marzo 2017).
Recuperado de: <http://www.elhorizonte.mx/finanzas/menor-inversion-frena-produccion-minera/1808409>

5. Conclusiones

El desarrollo exitoso de grandes proyectos industriales de costo intensivo, como el que se ha analizado del sector minero, están ligados a una gran cantidad de retos, donde el desarrollo eficiente de un proyecto puede hacer la diferencia entre que una compañía vaya a la quiebra, o cómo mínimo, experimente serios flujos financieros negativos debido a retrasos del programa que lleven a grandes reclamos e incremento de costos.

El sector minero debe enfocarse principalmente en que los proyectos promuevan el desarrollo económico a base de inversiones y competitividad en el sector, con inclusión de la sociedad, impulsando la economía local, buscando sostenibilidad y responsabilidad ambiental.

Para la ejecución exitosa de este tipo de mega proyectos industriales, como algunos del sector minero en la actualidad, es importante que el contratista que realice la construcción del proyecto ya sea en un esquema IPC o IPCM, tenga la capacidad técnica, con experiencia probada, y una situación financiera sólida para darle viabilidad al proyecto, y con ello mayor seguridad al cliente. Además, el liderazgo en materia de Seguridad y Calidad en la ejecución de proyectos, sistemas probados de administración de contratos, centralización de la información para control integral, así como experiencia probada en el arranque de plantas, ofrecen un mayor respaldo a clientes e inversionistas que ven disminuido el alto riesgo que un tipo de proyecto de estas magnitudes puede llegar a tener.

En el análisis del proyecto el Boleo, la amenaza principal, que conllevó a grandes problemáticas, fue la suspensión temporal del proyecto por falta de fondos para concluir el proyecto, luego de la detección de importantes sobrecostos que fueron señalados.

Entre los principales retos que enfrentó el proyecto, debido a esto, destacan:

- La participación de los accionistas pasó de una empresa canadiense a un conglomerado coreano.
- Las órdenes de compra interrumpidas y la necesidad de realizar algunos retrabajos, debido tanto a deficiencias en la integración de la ingeniería con los diferentes vendedores verticales, como a la tardanza de pago a proveedores y subcontratistas.

- Lo movilización de ingeniería a sitio para dar mejor soporte y mejorar tiempos de respuesta para construcción.
- La necesidad de establecer prioridades y retrasar el circuito de extracción de cobalto y zinc para optimización de recursos.
- Retraso en el arranque y plan de producción de cobre.
- Producción mineral por debajo de lo estimado (46% fuera de objetivo) para la alimentación a la planta, resultado de incidentes por condiciones inestables en las minas subterráneas.
- Mineral de mina a cielo abierto de menor valor al proyectado, presentando retos importantes en las minas subterráneas para llegar a las fuentes de mayor ley de mineral.
- Menor valor en el precio del cobre al estimado inicialmente en los diferentes escenarios estudiados del proyecto.

Así mismo, la conclusión del proyecto con el arranque de la planta fue materializado gracias a un gran número de aportaciones por parte del contratista IPCM, entre los aspectos a destacar encontramos:

- La administración del conocimiento, por medio de la plataforma para organizar y controlar la documentación e información del proyecto, entre cliente, contratista, vendedores verticales, proveedores y subcontratistas, con facilidad de uso, accesibilidad desde internet y seguridad de permisos definidos por el administrador, favorecieron la productividad del proyecto y la interacción entre las diferentes partes.
- La capacidad y esfuerzos de la ingeniería entre las partes, desde la conceptualización hasta la ingeniería de detalle, con ayuda de hardware y software de última generación, otorgando capacidad de diseño, como el manejo y revisiones al modelo electrónico 3D de la planta. El personal clave en coordinación con el cliente extranjero y vendedores verticales.
- La tarea de procuración, con un alcance mundial y control de materiales, procedimientos probados de tráfico y logística, experiencia con tratados aplicables de libre comercio y otros convenios.

- La relación probada con proveedores y subcontratistas dentro del mercado nacional e internacional, así como la relación establecida con capacidades locales y un dominio de aspectos fiscales, legales y regulatorios.
- Acuerdos con proveedores clave para la reducción del ciclo de procura, el histórico de proyectos para la evaluación de proveedores, expeditar para la entrega oportuna de equipo.
- La experiencia en inspección de materiales y equipo en cumplimiento con las especificaciones y el conocimiento en trámites de importación para reducción de tiempo y costos.
- La administración del contrato para administrar el crecimiento del mismo, así como la productividad individual de contratistas, situación de facturación del contratista, como una herramienta proactiva para realizar pronósticos del contrato oportunos y confiables.
- La gestión de la construcción integrada con la ingeniería y la procuración, la cultura de constructibilidad y estrategias de movilización.
- El Sistema de Seguridad, Salud y Protección Ambiental (SSPA) y la calidad total, incluyendo subcontratistas.
- La capacidad financiera para soportar la inestabilidad económica del cliente en tiempos de insolvencia para afrontar todas sus obligaciones, sin dejar de cumplir con su parte de responsabilidad.

El análisis del proyecto El Boleo, ejecutado por medio de un contrato IPCM, nos muestra la complejidad de un proyecto de gran escala, bajo un entorno económico mundial complejo y volátil, donde la inestabilidad de los mercados y la persistencia a la baja en el precio de materias primas como metales o petróleo, hacen que la inversión en estos sectores tienda a disminuir considerablemente, debido al grado de riesgo implícito que presentan en su ejecución; donde la proyección de escenarios futuros, la experiencia del contratista de construcción y el entorno global, se convierten en piezas clave para la disminución de amenazas y la ejecución exitosa de proyectos futuros.

En este tipo de proyectos del sector minero, la particularidad en cuanto a la ejecución por medio de un contrato IPCM, de administración de la construcción, con costos reembolsables, es el modelo típico empleado en el ramo, transfiriendo el riesgo por el costo o tiempo de

entrega del proyecto al cliente, siendo ésta una diferencia con respecto a proyectos llave en mano, de la industria de refinación del petróleo, petroquímica o procesamiento de gas, a precio alzado, donde el importe por la ejecución del proyecto queda definido por parte del contratista.

Con respecto a la participación del sustentante en el proyecto el Boleo, se destaca la oportunidad que representa estar involucrado en un proyecto de magnitud e importancia mencionadas, en conjunto con la posibilidad de ver realizada la terminación de un proyecto desde sitio, habiendo participado durante la fase de ingeniería de detalle, análisis HazOp en sitio, y apoyo de la disciplina de Proceso en el precomisionamiento de la planta, convirtiéndose en una experiencia de gran valor, sobre todo desde la perspectiva de un ingeniero químico.

En mi caso, comprender más sobre el diseño, como el dimensionamiento de tanques, bombas, motores y válvulas, además de la función en los cuartos de motores y cuartos de control, luego de presenciar la instalación, pruebas y operación de equipos, junto con la configuración en cuartos de control, de acuerdo con la filosofía de operación, del proceso principal de lixiviación, extracción por solvente, depositación electroquímica y servicios auxiliares. Así, el apoyo durante la terminación mecánica y el precomisionamiento de la planta fue el cierre de un ciclo, pudiendo ver realizado con esto, el impacto del ingeniero químico, desempeñándose en el área de proceso.

Esta participación ha marcado en gran medida el inicio de una serie de aprendizajes en el campo de la ingeniería de proyectos, enriqueciendo muchos de los conceptos estudiados a lo largo de la carrera de ingeniería química, dando gracias a la Universidad por enseñarme el camino e inspirar el deseo de seguir creciendo como ingeniero y como persona, afrontando retos que contribuyan al beneficio de México.

Anexos:

► Fotografías



FIG. 22 MINERA EL BOLEO, PLANTA DE PROCESO, SANTA ROSALÍA BAJA CALIFORNIA SUR.



Fig. 23 Cobre mineral malaquita



Fig. 24 Autorretrato en planta de proceso

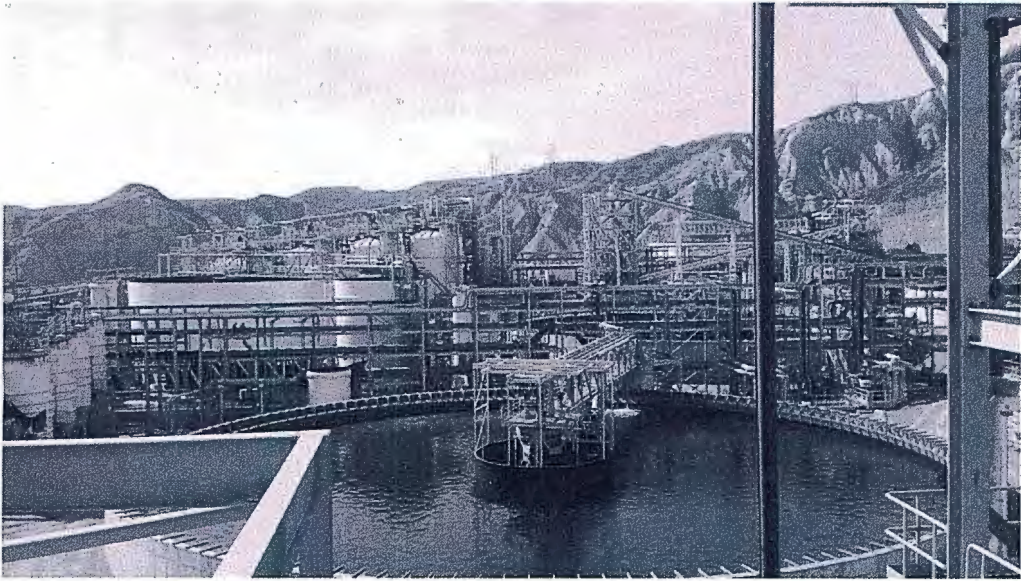


Fig. 25 Espesadores del Circuito de Decantación Contracorriente

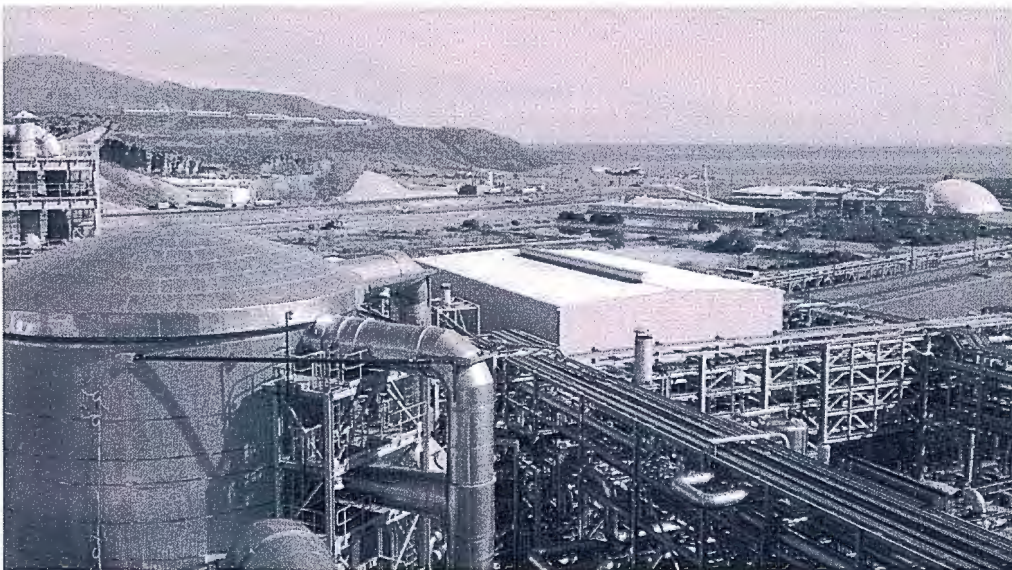


Fig. 26 Vista desde la chimenea en la planta de ácido

➤ Datos

Tabla 16. Proyección de Cobre⁴⁶

Fecha	Precio USD /lb	Change %
mar-17	2.676	-1.04%
feb-17	2.704	-0.62%
ene-17	2.721	8.93%
dic-16	2.498	-4.73%
nov-16	2.622	19.18%
oct-16	2.2	-0.09%
sep-16	2.202	6.38%
ago-16	2.07	-6.76%
jul-16	2.22	1.14%
jun-16	2.195	4.62%
may-16	2.098	-7.94%
abr-16	2.279	4.45%
mar-16	2.182	2.54%
feb-16	2.128	3.10%
ene-16	2.064	-2.92%
dic-15	2.126	3.96%
nov-15	2.045	-11.59%
oct-15	2.313	-1.36%
sep-15	2.345	0.30%
ago-15	2.338	-1.27%
jul-15	2.368	-9.72%
jun-15	2.623	-4.96%
may-15	2.76	-4.37%
abr-15	2.886	5.06%
mar-15	2.747	1.14%
feb-15	2.716	7.44%
ene-15	2.528	-10.92%
dic-14	2.838	-0.77%
nov-14	2.86	-6.57%
oct-14	3.061	1.83%
sep-14	3.006	-4.11%
ago-14	3.135	-2.73%

Fecha	Precio USD /lb	Change %
jul-14	3.223	1.10%
jun-14	3.188	1.66%
may-14	3.136	3.50%
abr-14	3.03	-0.53%
mar-14	3.046	-5.96%
feb-14	3.239	0.59%
ene-14	3.22	-6.45%
dic-13	3.442	6.53%
nov-13	3.231	-1.94%
oct-13	3.295	-0.78%
sep-13	3.321	2.98%
ago-13	3.225	3.40%
jul-13	3.119	2.26%
jun-13	3.05	-7.27%
may-13	3.289	3.17%
abr-13	3.188	-6.10%
mar-13	3.395	-3.74%
feb-13	3.527	-5.29%
ene-13	3.724	2.28%
dic-12	3.641	0.30%
nov-12	3.63	2.92%
oct-12	3.527	-6.52%
sep-12	3.773	9.24%
ago-12	3.454	0.99%
jul-12	3.42	-2.01%
jun-12	3.49	3.81%
may-12	3.362	-12.29%
abr-12	3.833	0.24%
mar-12	3.824	-1.19%
feb-12	3.87	2.16%
ene-12	3.788	10.37%
dic-11	3.432	-3.68%

Fecha	Precio USD /lb	Change %
nov-11	3.563	-1.82%
oct-11	3.629	15.39%
sep-11	3.145	-24.89%
ago-11	4.187	-6.41%
jul-11	4.474	4.73%
jun-11	4.272	2.37%
may-11	4.173	0.19%
abr-11	4.165	-3.14%
mar-11	4.3	-3.97%
feb-11	4.478	0.61%
ene-11	4.451	0.27%
dic-10	4.439	16.11%
nov-10	3.823	2.44%
oct-10	3.732	2.36%
sep-10	3.646	8.48%
ago-10	3.361	1.63%
jul-10	3.307	12.64%
jun-10	2.936	-5.20%
may-10	3.097	-7.19%
abr-10	3.337	-5.89%
mar-10	3.546	8.51%
feb-10	3.268	7.29%
ene-10	3.046	-8.47%
dic-09	3.328	5.72%
nov-09	3.148	6.82%
oct-09	2.947	4.91%
sep-09	2.809	0.04%
ago-09	2.808	7.34%
jul-09	2.616	15.85%
jun-09	2.258	2.78%
may-09	2.197	7.01%
abr-09	2.053	11.64%

⁴⁶ Base de Datos. Recuperado de: <https://www.investing.com/commodities/copper-historical-data>

Tabla 17. Muestra - Control de pruebas hidrostáticas

Priority	Area	Total number of packages	Comm	Completed	Remaining for turnover	Remaining for Competition	% Progress HT for turnover	% Progress HT for completion	HTs this Week
4	28	49	0	4	45	45	8%	8%	0
5	27	65	1	2	62	63	5%	3%	1
5	29	90	1	64	25	26	72%	71%	7
5	30	64	2	6	56	58	13%	9%	6
5	31	85	8	2	75	83	12%	2%	2
5	34	11	4	11	0	0	100%	100%	0
	06	3	3	3	0	0	100%	100%	0
TOTAL		367	19	92	263	275	30%	25%	16

Tabla 18. Muestra - Control de pruebas de motores

Priority	Area	Nr. of motors to test	Only Rotation	Std Test	Remaining	Progress %	Progress this week	Remarks
1	8	2	0	0	2	0%	0	Two pump motors to be tested by operators once energy is available.
1	48	17	0	0	0	100%	0	Seventeen motors to be tested on commissioning, Siemens to provide power
1	52	0	0	0	0	100%	0	Motors tested by Vertical Vendor
1	53	0	0	0	0	100%	0	Motors tested by Vendor
1	58	41	21	20	0	100%	0	
1	59	8	0	8	0	100%	0	Four motors not tested Packaged Equipment
1	60	9	0	9	0	100%	0	
1	78	21	0	21	0	100%	0	
1	79	2	0	2	0	100%	0	
2	35	21	5	16	0	100%	0	Four additional motors direct coupling, not to be tested dry
2	47	31	0	31	0	100%	0	Three motors direct coupling, not to be tested dry and other one by vendor
2	47A	8	0	8	0	100%	0	
2	49	10	0	10	0	100%	0	
3	12	12	5	7	0	100%	0	Five additional motors to be tested by Comm Team with FLS specialist on Site
3	14	9	0	9	0	100%	0	Notes 1, 2, 3, 4 & 5
3	15	29	14	15	0	100%	0	Notes 2, 4, 6, 7 & 8
3	17	33	0	33	0	100%	0	
3	18	15	0	15	0	100%	0	
3	19	7	0	7	0	100%	0	Two additional motors to be tested by Comm Team with FLS specialist on Site
3	20	94	43	51	0	100%	0	One additional motor can't be tested w/o fluid
3	21	5	0	5	0	100%	0	
3	46	26	1	25	0	100%	0	Notes 1, 2, 4 & 9
4	25	37	0	37	0	100%	0	
4	26	16	0	16	0	100%	0	
4	28	36	0	36	0	100%	2	
5	27	92	31	37	24	74%	8	
5	29	58	0	0	58	0%	0	
5	30	28	0	0	28	0%	0	
5	31	55	0	0	55	0%	0	
5	32					0%	0	
5	34	16	3	13	0	100%	0	
	6	14	0	14	0	100%	0	
	87	2	0	2	0	100%	0	
TOTAL		754	123	447	167	78%	10	

Tabla 19. Muestra - Control y seguimiento de pendientes (Punch List)

Area	System	List No.	Subárea	Identification (Tag / Line / Cable)	Survey by	Cat	Punch List Item Description	Action by groups	Due Date	Released date	Person in charge by ICA F	Contractor	Status (review by ICAF)	Status (review by MMB)	Remark
48	2	1	Commissioning			B	The valves are placed bad because are placed reverse	Others			E.V.R.	CON	Open	Open	
48	2	2	Commissioning			B	The valves are placed bad because are placed reverse	Others		07-ago-14	E.V.R.	CON	cancel	cancel	
48	2	4	MAA10STEAM TURBINE	0700-PIT-3909	ICAF	A	CONCLUIR LA INSTALACIÓN, FALTA CONEXIÓN A PROCESO	E&I		02-jul-14	O.J.M.	CAMARGO	CLOSED	CLOSED	
48	2	11	MAA10STEAM TURBINE	0700-PCV-3909	ICAF	A	PENDIENTE INSTALACIÓN DE TUBING SUMINISTRO DE AIRE	E&I		02-jul-14	O.J.M.	CAMARGO	CLOSED	CLOSED	
48	2	13	MAA10STEAM TURBINE	0700-PCV-3908	ICAF	A	PENDIENTE INSTALACIÓN DE TUBING SUMINISTRO DE AIRE	E&I		02-jul-14	O.J.M.	CAMARGO	CLOSED	CLOSED	Retirado por Precommissioning
48	2	14	MAA10STEAM TURBINE	0700-PCV-3906	ICAF	A	PENDIENTE INSTALACIÓN DE TUBING SUMINISTRO DE AIRE	E&I		02-jul-14	O.J.M.	CAMARGO	CLOSED	CLOSED	
48	2	39	MAA10STEAM TURBINE	0700-PIT-5813	ICAF	A	EN ESPERA DE APROBACIÓN DE TÍPICO	E&I		07-ago-14	O.J.M.	ING	closed	closed	Typical detail 18 Jun 2014 material or P.O. ETA, JULY 11TH, 2014
48	2	40	MAA10STEAM TURBINE	0700-XV-5814	ICAF	A	PENDIENTE INSTALACIÓN DE TUBING SUMINISTRO DE AIRE	E&I		02-jul-14	O.J.M.	CAMARGO	closed	closed	
48	2	41	MAA10STEAM TURBINE	0700-FCV-5811	ICAF	A	PENDIENTE INSTALACIÓN DE TUBING SUMINISTRO DE AIRE	E&I		02-jul-14	O.J.M.	CAMARGO	CLOSED	CLOSED	
48	1	47	MAA10STEAM TURBINE	0700-TIT-5506	ICAF	A	REUBICACIÓN DEL INSTRUMENTO, MONTAJE TUBING HACIA TOMA DE PROCESO	E&I		02-jul-14	O.J.M.	CAMARGO	CLOSED	CLOSED	

Area	System	List No.	Subárea	Identification (Tag / Line / Cable)	Survey by	Cat	Punch List Item Description	Action by groups	Due Date	Released date	Person in charge by ICA F	Contractor	Status (review by ICAF)	Status (review by MMB)	Remark
48	1	56	MAA10STEAM TURBINE	0700-LV-5502	ICAF	A	PENDIENTE INSTALACIÓN DEL INSTRUMENTO	E&I		02-jul-14	O.J.M.	MOTREK	closed	closed	
48	2	64	MAA10STEAM TURBINE	0700-PT-5823,	ICAF	A	EN ESPERA DE APROBACIÓN DE TÍPICO	E&I			O.J.M.	ING	Open	Open	Typical detail 18 jun 2014 material or P.O. ETA, JULY 11TH, 2014
48	2	65	MAA10STEAM TURBINE	0700-PT-5825	ICAF	A	EN ESPERA DE APROBACIÓN DE TÍPICO	E&I		07-ago-14	O.J.M.	ING	closed	closed	Typical detail 18 jun 2014 material or P.O. ETA, JULY 11TH, 2014
48	2	66	MAA10STEAM TURBINE	0700-PCV-5815	ICAF	A	PENDIENTE INSTALACIÓN DE TUBING SUMINISTRO DE AIRE	E&I		02-jul-14	O.J.M.	Otros	closed	closed	
48	2	74	MAA10STEAM TURBINE	Calibraciones	ICAF	A	No han entregado la documentación con las calibraciones de los instrumentos del área.	E&I		07-ago-14	O.J.M.	CAMARGO	cancel	cancel	
48	2	75	MAA10STEAM TURBINE	Montajes	ICAF	A	No se han liberado ningún instrumento del área 48, por lo tanto no hay documentos.	E&I		07-ago-14	O.J.M.	CAMARGO / Motrek	cancel	cancel	
48	2	76	MAA10STEAM TURBINE	Lazos	ICAF	A	No hay lazos, por ende, no hay documentación	E&I		07-ago-14	O.J.M.	CAMARGO	cancel	cancel	
48	1	77	INDIRECT COOLERS (ÁREA 48)	48-P-PD-D-157	ICAF	A	Falta aplicar grout en el equipo paquete: 48-tk-003/004	Others	14-may-14	29-jul-14	A.D.G. / T.M.C	CAMARGO	CLOSED	CLOSED	closed at the field,
48	1	78	INDIRECT COOLERS (ÁREA 48)	48-P-PD-D-157	ICAF	A	Retirar cables de charolas que no se van a utilizar.	E&I	14-may-14	29-jul-14	A.D.G. / T.M.C	CAMARGO	CLOSED	CLOSED	
48	1	79	INDIRECT COOLERS (ÁREA 48)	48-P-PD-D-157	ICAF	A	Falta instalar Grout en soportes de tubería 6" y 8".	Others	14-may-14		A.D.G. / T.M.C	CAMARGO	closed at the field	closed at the field	
48	1	80	INDIRECT COOLERS (ÁREA 48)	48-P-PD-D-157	ICAF	A	Tubería de 8" Ø de inoxidable cambiar tornillos cortos.	Others	14-may-14		A.D.G. / T.M.C	CAMARGO	closed at the field	closed at the field	
48	1	81	INDIRECT COOLERS (ÁREA 48)	48-P-PD-D-157	ICAF	A	Falta instalar dren en el equipo 48-TK-003.	Others	14-may-14	29-jul-14	A.D.G. / T.M.C	CAMARGO	CLOSED	CLOSED	

Bibliografía

1. Narchi N., Búrquez A., Wilder B., Supeditada a la codicia más depredadora. La nueva minería en México, La Jornada Ecológica, N° 200, agosto septiembre 2015.
2. Góngora, J. ; Evolución Reciente de la Minería en México, Comercio Exterior, Vol. 63, Núm. 4, Julio y Agosto de 2013. Recuperado de:
<http://revistas.bancomext.gob.mx/rce/magazines/157/1/evolucion.pdf>
3. Informe Anual 2016, Cámara Minera de México; LXXIX Asamblea General Ordinaria. Recuperado de: <https://www.camimex.org.mx/files/6114/6852/9435/info2016.pdf>
4. Shlopak M., Emblemsvag J., Oterhals O., Front End Loading As An Integral Part Of The Project Execution Model In Lean Shipbuilding, Conference: IGLC 2014, Volume: 1. Recuperado de: <http://www.moreforsk.no/publikasjoner/artikler/logistikk/front-end-loading-as-an-integral-part-of-the-project-execution-model-in-lean-shipbuilding/1107/2755/>
5. Muiño, A. & Akselrad, F. (2009). Gates to success, ensuring the quality of the planning. Paper presented at PMI Global Congress 2009 EMEA, Amsterdam, North Holland, The Netherlands. Newtown Square, PA: Project Management Institute. Recuperado de: <https://www.pmi.org/learning/library/gates-success-tollgate-methodology-6842>.
6. Recuperado de: <https://theconstructor.org/construction/strategic-construction-project-planning-programming/16044/>
7. ESOL / EPC: Engineering, Procurement & Construction, Recuperado de: <http://www.esol-x.com/epc/>
8. Merrow E., *Industrial Megaprojects: Concepts, Strategies and Practices for Success*; 2011.
9. Rey M. Managing Mega Projects. ARPEL Presentation, Module 4, 30 Sept. 2014, Cartagena, Spain. Recuperado de:
<media.arpel2011.clk.com.uy/cartagena/D1MariaRey.pdf>
10. Harding J.S., *Avoiding Project Failures*, Chemical Engineering, December 2012.
11. Moore P., *Growing Cost of Rework Creates Multiple Problems*, ENR Contractor Business Quarterly CBQ9, December 2012
12. Corsar G., Improving Information Management, Chemical Engineering, March 2011

13. Jenkins S., *Information Gets Dynamic*, Chemical Engineering, June 2011
14. Lepree J., *The Road to Recovery*, Chemical Engineering, April 2010
15. Periódico MURAL, Negocios, Inicia alianza para capacitar en energía, Staff, (octubre 2014).
16. Clarke B., O' Brien S., et al; *Ticking all the right boxes. How mining companies procure for projects is changing*, Turner & Townsend says; Mining Journal September 2015
17. Norton Rose Fulbright, A guide to EPCM contracts. Recuperado de: [NRF15994_A guide to EPCM contracts V4.indd](#)
18. Corporación Ambiental de México, S.A. de C.V., *Manifestación de Impacto Ambiental Modalidad Particular*, Proyecto de Exploración Minera El Boleo Municipio de Mulegé , B.C.S., Proyecto 04030, México D.F., 12 de Julio 2004, págs.8, 20.
19. Romero Gil, Juan Manuel (1991). *El Boleo Un Pueblo que se negó a morir*. Hermosillo, Sonora, México: Unísono. p. 51
20. Gil, Romero; Manuel, Juan. *El Boleo: Santa Rosalía, Baja California Sur, 1885-1954: Un pueblo que se negó a morir*. Nueva edición [en línea]. México: Centro de estudios mexicanos y centroamericanos, 1989
21. Ceja García G, *Breve historia de los pueblos mineros de Baja California Sur*; (2013), Recuperado de: <http://edicionesespecialesdelbaul.blogspot.mx/2013/03/breve-historia-de-los-pueblos-mineros.html>
22. *Manifestación de Impacto Ambiental Modalidad Regional (2006)*; Proyecto de Explotación Minera El Boleo Municipio de Mulegé, B.C.S.; Corporación Ambiental de México SA. De C.V. Proyecto 05025; Recuperado de sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/bcs/estudios/.../03BS2006M0007.pdf
23. *Boleo, El Proyecto*; Recuperado de: <http://www.mmboleo.com/proyecto-el-boleo.aspx>.
24. Baja Mining Corp; *El Boleo (Boleo) Project Technical Report Update Baja California South, Mexico*. Recuperado de: http://www.bajamining.com/content/pdfs/other/BAJ_2010-03_Technical_Report.pdf
25. Noticia en internet. Recuperado de: <http://www.camrovaresources.com/assets/nr19-2012-04-23final.pdf>

26. Noticia en internet. Recuperado de: <http://www.camrovarsources.com/assets/nr20-2012-04-25final2.pdf>
27. Noticia en internet. Recuperado de: http://www.camrovarsources.com/assets/nr33_2012-06-21_final.pdf
28. Noticia en internet. Recuperado de: http://www.camrovarsources.com/assets/nr46_2012-10-05_final.pdf
29. Noticia en internet. Recuperado de: http://www.camrovarsources.com/assets/nr13-2013-08-08_10- final.pdf
30. Noticia en internet. Recuperado de: http://www.camrovarsources.com/assets/nr18-2013-12-23_updatefinal.pdf
31. Noticia en internet. Recuperado de: http://www.camrovarsources.com/assets/nr08_2014-05-05_corporate_update_final.pdf
32. Noticia en internet. Recuperado de: http://www.camrovarsources.com/assets/nr12_2014-08-15_kores_extends_bridge_loan_to_mmb.pdf
33. Noticia en internet. Recuperado de: http://www.camrovarsources.com/assets/nr18_2014-11-04_project_boleo_update_final.pdf
34. Noticia en internet. Recuperado de: http://www.camrovarsources.com/assets/nr01_2015-01-20_first_copper_final.pdf
35. Noticia en internet. Recuperado de: http://www.camrovarsources.com/assets/nr04_2015-07-20_copper_shipment_final.pdf
36. Recuperado de: https://www.efe.com/efe/america/comunicados/minera-y-metalurgica-del-boleo-obtiene-su-primera-produccion-de-cobre/20004010-TEXTOE_20344240
37. Noticia de Internet. Recuperado de: [http://www.camrovarsources.com/assets/nr01_2017-01-13_boleo_update_\(final\).pdf](http://www.camrovarsources.com/assets/nr01_2017-01-13_boleo_update_(final).pdf)
38. El Boleo, Noticias. Recuperado de: <http://www.mmboleo.com/noticias.aspx>

39. Informe Anual 2015, Cámara Minera de México; LXXVIII Asamblea General Ordinaria.
Recuperado de: <https://www.camimex.org.mx/files/3614/6852/9181/02-Situacion2016.pdf>
40. Artículo de Internet. Recuperado de:
<https://www.pwc.com/mx/es/industrias/mineria.html>
41. Recuperado de: <https://www.camimex.org.mx/files/3614/6852/9181/02-Situacion2016.pdf>
42. Recuperado de: <http://www.obrasweb.mx/construccion/2017/01/23/industria-de-la-construccion-estima-incluso-contraccion-en-2017>
43. Informe Anual 2015, Cámara Minera de México; LXXVIII Asamblea General Ordinaria.
Recuperado de: <http://www.cmic.org.mx/cmic/ceesco/2016/Perspectivas%202017.pdf>
44. Aitúa D, Garza D; *Menor Inversión Frena Producción Minera* (marzo 2017).
Recuperado de: <http://www.elhorizonte.mx/finanzas/menor-inversion-frena-produccion-minera/1808409>
45. Base de Datos. Recuperado de: <https://www.investing.com/commodities/copper-historical-data>