(10-014) - Control of a construction and assembly project of a copper concentrator plant in a mining company in Chile

Miñán Ubillús, Erick ¹; Relayza Ordinola, José Alexander ²; Fiestas Chévez, José Hugo

¹ Universidad de Piura, ² Particular

The objective of this work is to describe the methodology and tools used in the control of a construction project of a copper concentrator plant, with a processing capacity of 152 thousand tons of ore per day, in the Antofagasta region, in the north of Chile. The article focuses on the grinding area and describes the process of preparing the schedule baseline and the process of updating the schedule. To do this, the scope and WBS are defined, network analysis and schedule quality analysis are performed. The project had 378 activities, which involved more than 3,4 million hours of direct personnel and lasted for 36 months. The results of project control (schedule update) are presented after 24 months of execution. The software used organized the information by control accounts, considering the progress measurement bases and incorporating the data obtained from daily reports and other field measurements. Project control made it possible to identify trends in the execution of the project and take preventive or corrective measures, thus avoiding impacting the Project objectives.

Keywords: project control; mining; copper

Control de un proyecto de construcción y montaje de una planta concentradora de cobre en una empresa minera en Chile

El objetivo del presente trabajo es describir la metodología y herramientas utilizadas en el control de un proyecto de construcción de una planta concentradora de cobre, con capacidad de procesamiento de 152 mil toneladas de mineral por día, en la región de Antofagasta, en el norte de Chile. El artículo se centra en el área de molienda y describe el proceso de elaboración de la línea base del cronograma y el proceso de actualización del cronograma. Para ello se define el alcance y la EDT, se realiza el análisis de red y el análisis de la calidad del cronograma. El proyecto contó con 378 actividades, lo que implicó más de 3,4 millones de horas de personal directo y tuvo una duración de 36 meses. Se presentan los resultados del control del proyecto (actualización del cronograma) a los 24 meses de ejecución. El software utilizado organizó la información por cuentas de control, considerando las bases de medición de avance e incorporando los datos obtenidos de los reportes diarios y otras mediciones en terreno. El control del proyecto permitió identificar tendencias en la ejecución del proyecto y tomar medidas preventivas o correctivas, evitando así impactar los objetivos del Proyecto.

Palabras clave: control de proyectos; minería; cobre

Correspondencia: Erick Miñán Ubillús, erick.minan@udep.edu.pe



1. Introducción

La planificación es un pilar fundamental en el éxito de los Proyectos, de su buena gestión depende que los proyectos cumplan sus objetivos de plazo, de costo, de calidad y de satisfacción del Cliente (Guerrero, 2013). Las actividades de control de los costos son parte esencial de los procesos para completar el proyecto dentro del presupuesto aprobado (Sánchez Montoya & Cuadros Mejía, 2014).

La planificación y programación es una fase clave dentro del ciclo de vida de un proyecto, dado que una buena programación posibilita la realización del control necesario para ejecutar el proyecto dentro de un margen razonable de tiempo y costo. (Gomez & Orobio, 2015),

Todo proyecto se desarrolla en un medio de incertidumbre. Esto se hace especialmente evidente en proyectos de construcción de gran envergadura, donde se cuenta con factores como: prolongados tiempos de ejecución (años), riesgos intrínsecos (geología, hidrología, clima, etc), y la gran cantidad de actividades multidisciplinares a desarrollarse de manera paralela (Urgilés Buestan, et al., 2018)

El presente trabajo aporta la implementación de una metodología, para la planificación y control de un proyecto de construcción y montaje electromecánico de una planta concentradora de cobre. La elaboración de la propuesta está alineada con las buenas prácticas identificadas en la Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos – PMBOK sexta edición (Project Management Institute, 2017) y en la Process Group: A practice guide (Project Management Institute, 2023). Debido a la extensión del proyecto de construcción y montaje electromecánico de una planta concentradora de cobre, el presente trabajo está enfocado en el área de molienda, dado que es la principal instalación de este tipo de plantas industriales.

La programación del proyecto proporciona un plan detallado que representa el modo y el tiempo en que el Proyecto entregará los productos, servicios y resultados definidos en su alcance y sirve como herramienta para la comunicación, la gestión de expectativas de los interesados y como base para informar el desempeño del Proyecto (Project Management Institute, 2017).

Como se muestra en la Figura 1, y de acuerdo con el estándar para la programación de proyectos (PMI, 2019), la generación de un cronograma sigue los siguientes pasos generales:

- El equipo de dirección del proyecto selecciona un método de planificación, por ejemplo: método de la ruta crítica o un enfoque ágil.
- Se ingresan en una herramienta de planificación (por ejemplo: Primavera P6®, MS Project®, Tilos®), los datos específicos del Proyecto, como las actividades, fechas planificadas, duraciones, recursos, dependencias lógicas y restricciones que representan la información del Proyecto.
- El resultado de utilizar la herramienta de planificación establece un modelo de programación que a su vez genera el Cronograma del Proyecto.

Información de Proyecto

- Alcance

- EDT

- Definiciones Iniciales

- Actividades

- Dependencias

- Duraciones

Figura 1: Descripción general de la planificación

2. Objetivos

El objetivo del presente trabajo es mostrar el caso de una buena práctica para la planificación y control de un proyecto de construcción y montaje electromecánico de una planta concentradora de cobre en una empresa minera en Chile. Para ello se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Elaborar los diagramas de proceso de: desarrollo de la línea base del cronograma y desarrollo de la actualización del cronograma.
- Definir el alcance del Proyecto y la Estructura de Desglose del Trabajo (EDT), enfocada en el área de molienda de una planta concentradora de cobre.
- Elaborar la línea base del cronograma de trabajo.
- Elaborar una actualización del cronograma al 60% de avance físico del Proyecto.
- Presentar las conclusiones y recomendaciones.

3. Metodología

La ejecución de las tareas de seguimiento y de control, tienen como objetivo monitorizar el desempeño del proyecto, así como de obtener las proyecciones y las medidas que permitan anticipar posibles desviaciones en la planificación (Fernández, et al., 2017). Para la planificación y control del proyecto es necesario desarrollar dos grandes procesos:

- a. Elaboración de la Línea Base del Cronograma.
- b. Actualización del Cronograma.

La elaboración de la Línea Base del Cronograma se muestra en la Figura 2. En este proceso se siguen los siguientes pasos:

- Planificar la gestión del cronograma,
- Definir las actividades,
- Secuenciar las actividades.
- Estimar la duración de las actividades,
- Estimar los recursos de las actividades, y
- Desarrollar el cronograma.

Estructura de Desglose de Trabajo (EDT)

Bases de Planificación Definiciones Iniciales

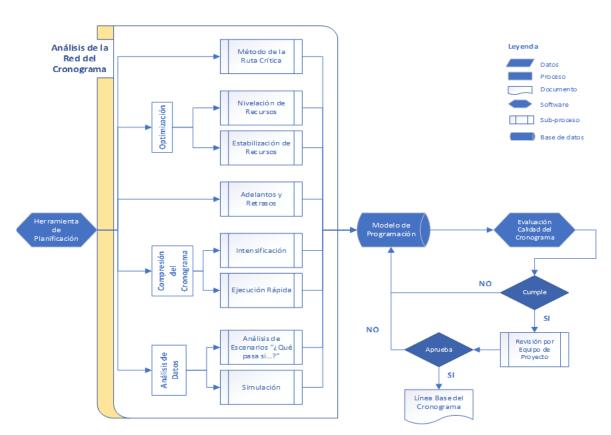
Definir las Actividades

Secuenciar las Actividades

Estimar la duración de las Actividades

Estimar los recursos de las Actividades

Figura 2: Diagrama de proceso: Elaboración de la Línea Base del Cronograma



Nota. Elaboración propia basado en Process Group: a practice guide PMI® (2023)

El desarrollo del cronograma es un proceso iterativo y consiste en el análisis de la red lógica de actividades (llamada red del cronograma). Es una técnica global que se utiliza para generar el modelo de programación del proyecto. El análisis de red del cronograma emplea a su vez, varias otras técnicas, tales como:

- Método de Diagramación por Precedencia ó PDM (Precedence Diagram Method),
- Método de la ruta crítica ó CPM (Critical Path Method),
- Optimización, que tiene dos técnicas: nivelación y estabilización de recursos,
- Adelantos y retrasos,
- Compresión del cronograma, que tiene dos técnicas: ejecución rápida e intensificación,
- Análisis de datos, cuyas técnicas son: análisis de escenarios "¿Qué pasa si.....?" y simulación.

Obtenido el modelo de programación, después de sucesivas iteraciones; se realiza la evaluación de calidad de la línea base del cronograma. Una vez que el modelo de programación cumple con las métricas de la evaluación de calidad, el cronograma es sometido a la revisión por parte del equipo de proyecto. Finalizada la revisión por parte del equipo de proyecto e incorporados los comentarios si los hubiera, se procede a la emisión de la línea base del cronograma.

Para controlar el cronograma del proyecto se sigue el proceso de "Actualización del Cronograma" mostrado en la Figura 3. El cronograma se actualiza con los datos del monitoreo del estado del proyecto (control de avance), a una determinada fecha, para gestionar las posibles desviaciones (adelantos o retrasos) respecto a la línea base. La frecuencia de actualización del cronograma está definida en el documento Bases de Planificación.

El proceso de actualización del cronograma requiere información de:

- Los datos de desempeño del trabajo
- Las solicitudes de cambio aprobadas.

Los documentos donde se obtienen los datos de desempeño del trabajo son los siguientes:

- Reportes diarios,
- Plan del día,
- Programa trisemanal de obra, y
- Control de avance físico

Una solicitud de cambio es una propuesta formal presentada por cualquier interesado del proyecto, para modificar cualquier documento, entregable o línea base.

Para el análisis de la red del cronograma, se emplearán técnicas adicionales a las utilizadas en la elaboración de la línea base, entre las que se cuentan:

- Análisis del valor ganado: esta técnica compara la línea base para la medición del desempeño con respecto al desempeño real del cronograma y del costo del Proyecto (Urgilés Buestan, et.al. 2018)
- Análisis de variación: es una técnica mediante la cual se revisan las variaciones entre las fechas de inicio y término planificadas versus las fechas reales de las actividades,
- Revisiones de desempeño: permiten medir, comparar y analizar el desempeño del cronograma con relación a su línea base,
- Análisis de tendencias: es una herramienta que evalúa el desempeño del proyecto durante su ejecución, dando cuenta si el desempeño se está manteniendo, incrementando o decreciendo, y
- Análisis del cronograma ganado: es un complemento al análisis de valor ganado y considerado como una práctica emergente en el PMBOK® Sexta Edición.

Planificación Análisis de la Método de la Leyenda Red del Ruta Critica Cronograma Nivelación de Optimización Recursos Estabilización de Recursos Base de datos Adelantos y Retrasos Intensi fic ación del Cro nograma Compresión Pla ni ficación ál isis d el Val o Ganado NO Análi sis de Variación SI Datos NO Análisk Desempeño SI Análi sis de Tendencias Actualización d el Análi sis de Cronograma scenarios "¿Qu

Figura 3: Diagrama de proceso: Actualización del Cronograma

Nota. Elaboración propia basado en Process Group: a practice guide PMI® (2023)

Obtenido el modelo de programación, después de sucesivas iteraciones; se realiza la evaluación de calidad de la actualización del cronograma. Una vez que el modelo de programación cumple con las métricas de la evaluación de calidad, el cronograma es sometido a la revisión por parte del equipo de proyecto. Finalizada la revisión por parte del equipo de proyecto e incorporados los comentarios si los hubiera, se procede a la emisión del cronograma actualizado.

4. Aplicación de la metodología propuesta

4.1 Definición del alcance y EDT

El alcance del presente trabajo es el sistema de molienda, que es la principal instalación de una planta concentradora, considerando que los mayores equipos mecánicos y eléctricos se encuentran dentro de dicha área. Los límites de batería del área de molienda son los siguientes:

- Inicio: Descarga de correa transportadora de alimentación de mineral al molino SAG.
- Término: Descarga de las canaletas de rebose de los ciclones en el distribuidor de alimentación de las celdas de flotación.

La EDT se muestra en la Figura 4 y es desarrollada para proveer un marco de referencia general, para el control de todos los elementos del cronograma del Proyecto en varios niveles de detalle.

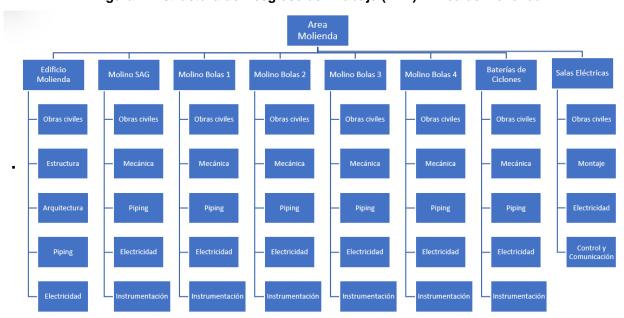


Figura 4: Estructura de Desglose del Trabajo (EDT) – Área de Molienda

La Estructura de Desglose del Trabajo (EDT) del área de molienda, se ha elaborado considerando tres niveles jerárquicos:

- Nivel I: Área Concentradora,
- Nivel II: Área Molienda,
- Nivel III: Sub-Áreas, a saber: edificio molienda, molino SAG, molinos de bolas, baterías de ciclones y salas eléctricas.

4.2 Elaboración de la línea base del cronograma

Los pasos para la elaboración de la línea base son:

- Planificar la gestión del cronograma, que se encuentra detallada en el documento denominado Bases de Planificación, las que a su vez forman parte del Plan de Ejecución del Proyecto (PEP).
- Definir las actividades, es una buena práctica definir las actividades basándose en el enunciado del alcance y en la Estructura de Desglose del Trabajo (EDT), de tal manera de poder fraccionar los paquetes de trabajo, en las actividades del cronograma.

- Secuenciar las actividades, la secuencia lógica será la siguiente:
 - Ejecución de los movimientos de tierra;
 - Ejecución de las obras civiles con la instalación de los hormigones y de la malla del sistema de puesta a tierra, además del montaje de piping y bancos de ductos eléctricos enterrados;
 - Montajes de estructura, montaje de equipos mecánicos y salas eléctricas prefabricadas; en paralelo a estas actividades puede iniciarse el montaje del piping de procesos y de servicios; así como también el montaje de las canalizaciones eléctricas: escalerillas y conduits;
 - Instaladas las canalizaciones eléctricas, se procede a ejecutar los trabajos de cableado de los equipos eléctricos e instrumentos;
 - A continuación, se procede con el montaje de equipos eléctricos y de los instrumentos, ya que estos componentes son sensibles a sufrir daños durante el proceso de construcción;
 - Finalmente se realizan los chequeos punto a punto de los conductores y se ejecuta el conexionado de los equipos eléctricos y de los instrumentos.
- Estimar la duración de las actividades: en base a tres tipos de estimaciones:
 - Estimación análoga, basada en datos históricos de proyectos similares (Benchmarking);
 - Estimación paramétrica, toma como referencia rendimientos promedio de la industria (horas de personal directo/unidad) y teniendo como información de entrada las cantidades a instalar, se calcula la duración de las actividades;
 - Estimación basada en tres valores, define la duración de una actividad utilizando el juicio experto de especialistas de construcción, quienes determinan tres tipos de duración de una actividad: pesimista, más probable y optimista.
- Estimar los recursos de las actividades: el objetivo de este proceso es identificar el tipo, cantidad y características de los recursos necesarios para completar las actividades del proyecto. Las horas de personal directo (hpd) y cantidades de obra asociadas a las actividades de nuestro cronograma, fueron extraídas del CAPEX del Proyecto. En la Tabla 1 se muestra las cantidades principales de obra y las horas de personal directo.

Tabla 1: Cantidades principales de obra y horas de personal directo

Descripción	Cantidad	Unidad	Horas Personal Directo (hpd)
Movimiento de Tierra	525.782	m^3	364.968
Fierro para hormigones	7.390	Т	333.475
Hormigones	63.642	m^3	655.395
Estructura	13.840	Т	626.622
Revestimientos y cubierta Edificio	36.683	m^2	127.928
Equipos mecánicos	267	Un	560.185
Equipos mecánicos – calderería	405	Т	43.378
Piping diferentes diámetros	24.606	M	185.471
Equipos eléctricos	1.061	Un	54.592
Canalizaciones eléctricas	52.083	M	187.515
Conductores eléctricos	358.048	М	177.381
Instrumentos	1.145	Un	38.452
Total Horas Personal Directo			3.355.362

- El objetivo principal de desarrollar el cronograma es poder contar con la línea base que nos permita controlar la ejecución de los trabajos del Proyecto. La información de la gestión del cronograma es la siguiente:
 - Listado de hitos; que se muestra en la Tabla 3
 - Supuestos y restricciones;
 - Calendario del proyecto;
 - Nivel de exactitud del cronograma;
 - Software;
 - Parámetros y codificación del Software: calendarios, códigos de actividades, fases del proyecto, disciplinas, recursos;
 - o Layouts del cronograma: Nivel I, Nivel II y Nivel III;
 - Histogramas de dotación y de instalación de cantidades.
 - Definición de ruta crítica;
 - o Riesgos y exclusiones;
 - o Periodicidad de la actualización del cronograma;
 - Bases para la medición del avance;
 - o Formatos y frecuencia de presentación de los informes del cronograma;
 - Umbrales de control;
 - Unidades de medida

Tabla 3: Listado de hitos

Item	Descripción	Fecha
01	Inicio de trabajos área molienda	02-ene-17
02	Inicio de hormigones área molienda	10-sep-17
03	Inicio de montaje de estructura en Edificio Concentradora	21-Nov-17
04	Inicio montaje de equipos mecánicos	03-Feb-18
05	Término de obras civiles área molienda	23-Oct-19
06	Término de trabajos de montaje	21-Dic-19

 Obtenido el modelo de programación, después de sucesivas iteraciones; se realiza la evaluación de calidad de la línea base del cronograma con el Software Acumen Fuse®.
 Una vez que el modelo de programación cumple con las métricas de la evaluación de calidad, el cronograma es sometido a la revisión por parte del equipo de proyecto. Finalizada la revisión por parte del equipo de proyecto e incorporados los comentarios si los hubiera, se procede a la emisión de la línea base del cronograma.

4.3 Control del cronograma (Actualización del Cronograma)

Este proceso iterativo se realiza a lo largo de la vida del Proyecto, siendo mensual la frecuencia de actualización del cronograma. La actualización del cronograma requiere la ejecución de los siguientes pasos:

- Recopilación de información, se extrae información de: reportes diarios, plan del día, cronogramas trisemanales, informes semanales y el control de avance físico.
- Actualización del modelo de programación: se deben actualizar los siguientes parámetros:
 - Actualización de las actividades.
 - o Actualización de los recursos de las actividades.
- Obtenido el modelo de programación, después de sucesivas iteraciones; se realiza la evaluación de calidad de la actualización del cronograma con el Software Acumen Fuse®.

Una vez que el modelo de programación cumple con las métricas de la evaluación de calidad, el cronograma es sometido a la revisión por parte del equipo de proyecto. Finalizada la revisión por parte del equipo de proyecto e incorporados los comentarios si los hubiera, se procede a la emisión del cronograma actualizado.

 A modo de ejemplo, se presenta el avance logrado por el proyecto al cierre del mes 24, el cual de acuerdo con las mediciones de avance, es de 56,23% versus un avance planificado de 58,97%, por lo que el proyecto presenta un atraso de 2,74%. La curva de avance del cronograma actualizado se muestra en la Figura 6

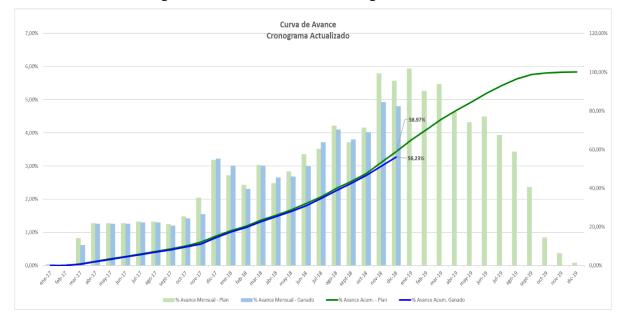


Figura 6: Curva de avance - Cronograma actualizado

5. Conclusiones

En este caso se expone un caso particular de planificación y control de un proyecto de construcción y montaje electromecánico en una empresa minera, en el que se aplica una metodología desarrollada de acuerdo a la experiencia de los autores, tomando como referencia el marco teórico de la dirección de proyectos.

El diagrama de proceso para la elaboración de la línea base del cronograma y el diagrama de proceso para la actualización del cronograma, permiten identificar la información requerida para obtener el modelo de programación. El modelo de programación debe ser sometido a una evaluación de calidad y a la revisión de los especialistas de construcción del proyecto, obteniendo luego de estos procesos la línea base o el cronograma actualizado.

En el proceso de ejecución de un proyecto de construcción, la elaboración y el monitoreo y control de la línea base del cronograma, es un proceso que permite asegurar el cumplimiento de los plazos comprometidos por el proyecto.

El modelo de programación es una herramienta de apoyo, para la planificación del proyecto y su función principal es que, permite proyectar la cantidad de recursos en un determinado período de tiempo (días, semanas, meses), para las diferentes actividades a desarrollar por el proyecto. De esta manera, los recursos de horas de personal directo (hpd) y materiales a instalar pueden ser distribuidos en el tiempo. Esta información se puede obtener desde el cronograma línea base o desde las actualizaciones del cronograma y permite estimar: la cantidad de personal directo necesaria para la construcción, la capacidad de campamento requerida y permite también, dimensionar los servicios requeridos para dicho personal (por

ejemplo, servicios de alimentación, de transporte al interior de las obras, servicios de atención médica, servicio de lavandería, entre otros).

6. Referencias

- Fernández, G., Pajares, J. & Onieva, L., 2017. Implantación de Indicadores de Rendimiento para el Control de Proyectos. Cádiz, 21ht International Congress on Project Management and Engineering.
- Gómez, H. D., & Orobio, A. (2015). Efectos de la incertidumbre en la programación de proyectos de construcción de carreteras. Dyna, 155-164.
- Guerrero Moreno, G. (2013). Metodología para la gestión de proyectos bajo los lineamientos del Project Management Institute en una empresa del sector eléctrico.
- Project Management Institute. (2017). A guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK guide) (6th ed.). Project Management Institute.
- Project Management Institute. (2019). Practice Standard for Scheduling (Third edition). Project Management Institute.
- Project Management Institute. (2023). Process Group: A practice guide. Project Management Institute.
- Sánchez Montoya, J. & Cuadros Mejía, A. (2014). Análisis de Técnicas de Seguimiento y Control de Proyectos. Aplicación en la Industria de Construcción de Botes. Revista Ciencias Estratégicas, Vol. 22(No. 31), pp. 51-66.
- Urgilés Buestan, P., Clever, J., & Sebastian, M. A. (2018). Análisis de las Técnicas del Cronograma Valorado y Valor Ganado Para el Seguimiento y Control de Proyectos de Construcción Complejos.

Comunicación alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible



