



ESCUELA DE NEGOCIOS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA COMERCIAL

UNIVERSIDAD TÉCNICA  
FEDERICO SANTA MARÍA

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA**

**Escuela de Negocios Departamento de Ingeniería Comercial**

**MBA, Magíster en Gestión Empresarial**

**AUMENTO DE DISPONIBILIDAD Y CONFIABILIDAD DEL  
SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA A TRAVÉS DEL  
ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE CAPEX, APLICADO A COMPAÑÍA  
MINERA COLLAHUASI**

Tesina de Grado presentada por

**Carlos Constantino González Leal**

Como requisito para optar al grado de

**MBA, Magíster en Gestión Empresarial**

Guía de Tesina Dr. Zócimo Campos Jaque

**Noviembre de 2018**

**TITULO DE TESINA:** “AUMENTO DE DISPONIBILIDAD Y CONFIABILIDAD DEL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA A TRAVÉS DEL ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE CAPEX, APLICADO A COMPAÑÍA MINERA COLLAHUASI”

**AUTOR:** Carlos Constantino González Leal

**TRABAJO DE TESINA,** presentando en cumplimiento parcial de los requisitos para el Grado de MBA, Magíster en Gestión Empresarial de la Universidad Técnica Federico Santa María.

**OBSERVACIONES:** \_\_\_\_\_

**COMISIÓN DE TESINA:** Dr. Zócimo Campos J.  
Dr. Pablo Isla M.  
Dr. Luis Cerna M.

Santiago, Noviembre 2018

Todo el contenido, análisis, conclusiones y opiniones vertidas en este estudio son de mi exclusiva responsabilidad.

Nombre: CARLOS CONSTANTINO GONZÁLEZ LEAL

Fecha: 09 Noviembre 2018

## Dedicatoria

Primero que todo a mi familia, a mi querida y amada esposa Isabel y a mis hijas Martina y Sofía, y que, por esas cosas de la vida, durante est proceso también llegó nuestra bebé Constanza. Ellas han sido mi principal pilar, soporte y apoyo en este desafío que fue continuar con este desafío que fue el MBA, ya que sin el sacrificio del tiempo que podría haber estado con ellas, me lo entregaron para que pudiera lograrlo.

A Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi SCM, por su apoyo en este desafío.

A mi jefatura y colegas de trabajo, en especial a mi colega, compadre y amigo Sergio, con el cual iniciamos, sufrimos muchas veces y finalmente llegamos al término de esta etapa, con un café que le prometí al inicio de este, una anécdota entre muchas que tuvimos, que hicieron más llevadero todo este proceso.

A todos los profesores de la Universidad Técnica Federico Santa María que nuevamente, pero ahora en un postgrado, me entregaron su conocimiento durante esta etapa de estudio.

Y finalmente, pero no por eso menos importante, a mi profesor guía Zócimo, que con su apoyo, compromiso y consejos pude lograr dar culminación a este proceso que duró dos años de mi vida.

# Índice de Contenido

Índice de Tablas .....	iii
Índice de Gráficos .....	iv
Índice de Ilustraciones.....	v
Resumen Ejecutivo .....	vi
Abstract.....	vii
Glosario.....	viii
1. Introducción.....	1
2. Objetivos .....	2
2.1 Objetivo General.....	2
2.2 Objetivos Específicos.....	2
3. Marco Teórico .....	3
3.1 Productividad en la minería, factor capital productivo .....	3
3.2 La cadena de Valor, la base del análisis .....	4
3.3 Mantenimiento Preventivo Eléctrico, su relevancia.....	5
4. Metodología de la Investigación .....	6
4.1 Descripción de Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi SCM .....	7
4.1.1 Reseña Histórica .....	8
4.2 Descripción Sistema de Distribución Eléctrico de CMDIC .....	9
4.2.1 Alimentadores Aéreos .....	10
4.2.2 Alimentadores Subterráneos.....	12
4.3 Operación y Mantenimiento del Sistema Eléctrico.....	14
4.3.1 Operación Sistema Eléctrico .....	14
4.3.2 Mantenimiento Sistema Eléctrico .....	14
4.4 Análisis de la cadena de valor .....	16
4.4.1 Proceso Mina .....	17
4.4.2 Proceso Chancado y Transporte .....	20
4.4.3 Proceso Planta Concentradora .....	23
4.5 Selección de Alimentadores Críticos.....	28
4.5.1 Ubicación .....	28
4.5.2 Configuración N-1 .....	29

4.5.3 Accionamiento .....	29
4.5.4 Pérdida por Hora .....	29
4.5.5 Resultado del Análisis .....	30
4.6 Proyecto a evaluar.....	32
4.7 Evaluación del Proyecto.....	34
4.7.1 Evaluación Proyecto Chancado de Pebbles.....	35
4.7.2 Evaluación Proyecto Espesadores y Relaves .....	36
5. Conclusiones y Comentarios.....	37
5.1 Análisis del Sistema Eléctrico de Distribución Actual.....	37
5.2 Análisis de intervenciones de mantenimiento que impactan a la operación y propuesta de circuitos .....	37
5.3 Evaluación de los proyectos de capital propuestos .....	38
5.4 Comentarios finales.....	38
6. Bibliografía.....	39
Anexos .....	40
Anexo A1: Mapa sistema eléctrico nacional, sector norte.....	40
Anexo A2: Datos entrada algoritmo .....	41
Anexo A3: Diagrama Unilineal Chancado de Pebbles.....	42
Anexo A4: Diagrama Unilineal de Espesadores y Relaves.....	43

## Índice de Tablas

Tabla 1: Listado de alimentadores aéreos en 23 y 110 [kV] y sus distancias.....	12
Tabla 2: Listado de alimentadores subterráneos y sus distancias.....	13
Tabla 3: Equipos eléctricos principales mina.....	19
Tabla 4: SS/EE Eléctricas asociadas a Chancado y Transporte.....	22
Tabla 5: SS/EE Proceso Planta Concentradora.....	27
Tabla 6: Detalle partidas de Inversión Proyecto, referencia Ingeniería Keypro, 4to transformador SAG1011 .....	33
Tabla 7: Valoración pérdidas por Mantenimiento.....	34
Tabla 8: Flujos Evaluación Proyecto Chancado de Pebbles.....	35
Tabla 9: Flujos Evaluación Proyecto Espesadores y Relaves.....	36

## Índice de Gráficos

Gráfico 1: Evolución precio del cobre, año 2000 al 2018 (Julio), referidos a dólares del 2012. Elaboración propia, fuente Cochilco .....	7
Gráfico 2: Distribución Mantenimiento Sistema Eléctrico, elaboración propia. ....	15
Gráfico 3: Disponibilidad Sistema de Distribución de CMDIC, elaboración propia.....	15

## Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Rajo Rosario y tronadura de mineral.....	8
Ilustración 2: Operación industrial inicial en CMDIC.....	9
Ilustración 3: Vista Switchgear S/E Principal CMDIC 23 [kV] .....	10
Ilustración 4: Línea área liviana de 23 [kV] .....	11
Ilustración 5: Diagrama de la cadena de valor de CMDIC.....	16
Ilustración 6: Rajo Rosario y transporte de mineral.....	17
Ilustración 7: Rajo Rosario, vista satelital.....	19
Ilustración 8: Diagrama esquemático alimentación eléctrica Proceso Mina.....	20
Ilustración 9: Recorrido sistema de transporte de correas desde sector Rosario a Ujina .....	21
Ilustración 10: Chancador sector Rosario .....	21
Ilustración 11: Diagrama esquemático proceso Chancado y Transporte .....	22
Ilustración 12: Diagrama esquemático proceso Planta Concentradora .....	24
Ilustración 13: Análisis Impacto Operacional desarrollado a través de algoritmo en Excel.....	31

## Resumen Ejecutivo

La presente tesina, tiene como objetivo entregar una propuesta, a través de una metodología de casos, para el análisis y evaluación de proyectos de capital asociado al sistema de distribución de energía eléctrica, el cual debe competir con otras iniciativas que se presentan en los comités de proyecto que tiene establecidos Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi.

La investigación presentada comienza con un análisis del sistema eléctrico de distribución actual y cómo este impacta a la cadena de valor, principalmente cuando se requiere ejecutar el mantenimiento correspondiente que viene dado por un plan matriz. Las intervenciones eléctricas en el sistema de distribución son en gran porcentaje del tipo planificado. Sin embargo, aunque existen las instancias para planificarlas y programarlas con antelación, el solo hecho de impactar la operación genera un rechazo inicial de parte de las áreas clientes.

El desarrollo de las distintas etapas de la investigación entregó como resultado que, de los alimentadores posibles de intervenir, entre ellos los que no cuentan con algún accionamiento de por medio, surgieron los asociados al proceso de Chancado de Pebbles y el Espesadores y Relaves. Se generaron los casos de negocio, evaluando la inversión y los beneficios de solicitar y ejecutar ambos proyectos, obteniendo como resultado la factibilidad de inversión para llevar el actual circuito de Chancado de Pebbles a una configuración N-1, con un retorno en el tiempo de evaluación atractivo para que pueda competir con otras iniciativas, que generalmente están enfocadas en aumentar la producción de cobre fino y que son presentadas por las áreas operativas de Mina, Chancado y Transportes o Planta Concentradora.

Adicionalmente el proyecto genera un beneficio en el aspecto operacional que es la de mitigar la dificultad de entrega de equipos a mantenimiento, eliminando el desgaste que genera esta instancia al interior de los equipos de trabajo.

## Abstract

This thesis has as objective to deliver a proposal through a case methodology, for the analysis and evaluation of capital projects associated with the electric power distribution system, which must compete with other initiatives that are presented in the project committees that has established Doña Inés de Collahuasi Mining Company.

The presented research begins with an analysis of the current distribution electric system and how it affects the value chain, mainly when it is required to execute the corresponding maintenance that is given by a main plan. The electrical interventions in the distribution system are in large percentage of the planned type. However, although there are instances to program and schedule them in advance, but the mere fact of affecting the operation generates an initial rejection by the client areas.

The development of the different stages of the methodology gave as a result that of the feeders possible to intervene, among them those that do not count with some electronic drive, arose those associated to the process of Pebbles Crusher and the Thickeners and Tailings. The business cases were generated evaluating the investment and the benefits of requesting and executing both projects, obtaining as a result the feasibility of investment to bring the current circuit of Pebble Crusher to an N-1 configuration, with a return in the of evaluation very attractive so that it can compete with other initiatives, which are generally focused on increasing the production of fine copper and that are presented by the operational areas of Mine, Crushing and Transportation or Concentrator Plant.

Additionally the project generates a benefit in the operational aspect that is to mitigate the difficulty of delivering equipment to maintenance, eliminating the wastage generated by this instance within the work teams.

## Glosario

El siguiente glosario se generó con palabras o acrónimos que más se utilizan generalmente en el ámbito eléctrico, para que la comprensión sea más fluida:

A.T. : alta tensión

CMDIC : Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi SCM

EAM : software asociado a la gestión de activos de empresas

Geho : marca de bomba impulsora de concentrado de cobre

HH : concepto de hora – hombre utilizado para la carga de trabajo

kV : unidad de tensión o voltaje, kilo - volt

Mineroducto : sistema de tuberías con el objetivo del transporte de concentrado de cobre desde la faena minera hasta puerto.

N-1 : término que se utiliza cuando una instalación eléctrica tiene posibilidad de ser transferido sin afectar la operación.

Pebbles : rocas de mineral molido con un espesor entre 2 y 64 [mm]

SAG : molino de mineral, del tipo semiautógeno.

SCM : sociedad contractual minera

SING : Sistema Interconectado del Norte Grande

S/E : subestación eléctrica

SS/EE : subestaciones eléctricas

Stockpile : palabra en inglés, utilizada en minería, asociada a la pila de acumulación de mineral

# 1. Introducción

La presente Tesina, desarrolla la problemática que se origina en todo proceso productivo, cuando el mantenimiento afecta parte o en forma completa la normal operación de la cadena de valor. En la gran minería y debido a los altos volúmenes de producción, esto implica pérdidas de producción considerables que dificultan o limitan, todo proceso paralelo que afecte la operación.

Todas las plantas productivas, en especial la que componen la gran minería, requieren en todos sus procesos principales, el suministro de Energía Eléctrica y debido a la alta disponibilidad exigida, implica que el mantenimiento se vuelva indispensable para lograr los objetivos propuestos. Sin embargo, una de las principales razones por la cual no se realizan los mantenimientos planificados, se debe a que estos afectan la operación.

El desarrollo de la presente tesina, busca generar un análisis de los principales puntos del sistema de distribución que afectan la continuidad operacional del proceso productivo, principalmente cuando se requiere realizar el mantenimiento planificado aplicado a Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi.

La solución se presenta a través del desarrollo de una metodología para poder defender una solicitud de inversión en capital, para infraestructura eléctrica que pueda competir con otras iniciativas de áreas Operacionales.

El desarrollo está basado en el análisis de la cadena de valor y la cuantificación del impacto en el mantenimiento eléctrico, argumentando la propuesta de evaluación una solicitud de capital (Capex), y con esto, generar un proyecto que mitigue o elimine el impacto de la operación. Para ello se evaluó el proyecto considerando los beneficios de realizar mantenimiento sin afectación de la operación y también considerando fallas que se puedan presentar.

## 2. Objetivos

### 2.1 Objetivo General

- Evaluar el financiamiento en el aumento de la disponibilidad y confiabilidad del Suministro de Energía Eléctrica, analizando los impactos al proceso productivo durante mantenimientos planificados, a través de la evaluación de proyectos de capital.

### 2.2 Objetivos Específicos

- Explorar el Sistema Eléctrico de Distribución actual.
- Analizar las intervenciones de mantenimiento que impactan a la operación.
- Propuesta de circuitos o alimentadores a intervenir.
- Evaluación de los proyectos de capital, aplicados a Compañía Minera Collahuasi.

### 3. Marco Teórico

El marco teórico descrito establece que la inversión en capital de las mineras es muy competitiva, y que ha sido uno de los factores principales en la disminución de productividad durante el súper ciclo de los Commodities, por lo que internamente en la empresa se produce una competencia por la adjudicación de estos recursos limitados. El desarrollo de esta tesina toma al análisis de la cadena de valor como su eje principal y explica por qué se debe seguir realizando el mantenimiento eléctrico.

#### 3.1 Productividad en la minería, factor capital productivo

En los últimos años la minería y en especial la asociada a la extracción y producción de cobre, ha enfrentado precios bajos comparados con el súper ciclo de los Commodities (Grijalva, 2014), siendo su valor peak el 14 de febrero del 2011, llegando a 4,60 USD/lb. Este súper ciclo fomentó que la productividad en la minería tendiera a la baja sostenidamente, desde el año 2004 al 2012, Chile había disminuido un 25%, no muy distinto a otros países mineros como los son Australia y Canadá. Lo anterior se puede explicar porque el único foco era producir a cualquier costo debido al alto valor del precio del cobre (EYGM Limited, 2014), lo cual ha impulsado que todas las empresas busquen aumentar su ventaja competitiva (Porter, 1991) y la base es la de generar una cadena de valor acorde con los principales procesos productivos. Esta baja en la productividad se ha analizado y se determinó que tiene tres factores principales la mano de obra, el capital y los recursos (materiales). Uno de estos factores, el de capital de inversión, ha afectado debido a la diferencia de tiempo entre la inversión y cuando esta se transforma en un aumento en la producción (EYGM Limited, 2014).

Para el caso de esta tesina, este factor es relevante, ya que los montos de inversión (Capex) que dispone la Minera Collahuasi, al igual que otras mineras, son limitados y se presenta una alta competitividad entre iniciativas presentadas

por todas las áreas productivas y también de aquellas que soportan la producción, como es el caso de la energía eléctrica. La base del análisis para poder competir con un argumento técnico y financiero es el impacto en la cadena de valor minera.

### 3.2 La cadena de Valor, la base del análisis

Minera Collahuasi no es la excepción y tiene mapeada sus procesos principales a través de una cadena de valor minera o MVC (Bester, Russell, van Heerden, & Carey, 2016), donde la fila superior de la representación gráfica corresponde a los procesos de alto nivel y la fila inferior a los procesos que sostienen la cadena principal, a través de esta herramienta se disgrega a la empresa en sus actividades estratégicas relevantes (Porter, 1991).

Sin embargo, este mismo análisis no está ejecutado para el sistema eléctrico, no se conoce en forma precisa cuáles equipos o instalaciones impactan en mayor proporción la cadena de valor operativa, que en el caso de una minera es la detención total o parcial de la producción de cobre fino, ya que es el soporte y encargado de suministrar la energía eléctrica necesaria para todos los procesos internos con una alta calidad y confiabilidad del servicio. Lo que sí se tiene claro es que, para cualquier proceso productivo, en especial el minero que es intenso en activos, uno de los ejes principales es el mantenimiento, sin embargo, este mismo genera en algunos casos una merma en la producción, ya que realizar mantenimiento, implica muchas veces detener los equipos productivos.

En el caso del sistema eléctrico, si la instalación no tiene un equipo de respaldo que pueda entregar la energía al proceso, éste deberá ser desenergizado. Estas decisiones enfrentan generalmente disyuntivas entre las áreas operativas y las de mantenimiento. Este tipo de análisis no se involucran en las etapas de ingeniería y proyectos, ya que una instalación en redundancia implica una mayor inversión inicial, por lo que solamente durante la etapa operativa de la instalación se presentan los impactos.

### 3.3 Mantenimiento Preventivo Eléctrico, su relevancia

Si analizamos la variable continuidad operacional, el documento “Standard for an Electrical Preventive Maintenance (EPM) Program” indica que un equipo que no ha sido incorporado en un programa de mantenimiento preventivo planificado tiene una tasa de falla tres veces mayor que el que sí está incorporado (Boiler, 2014).

En el mismo documento se describe que la frecuencia del mantenimiento preventivo depende en mayor parte a la ubicación física del equipo por su naturaleza operacional o tipo de medio ambiente, que en el caso de los equipos eléctricos de faena CMDIC, presentan esta característica particular.

En lo que respecta el tipo de mantenimiento que se debe ejecutar para cada equipo, el paper “Maintenance management decision model for preventive maintenance strategy on production equipment” describe que los primeros mantenimientos mayoritariamente están basados en las indicaciones y recomendaciones de los fabricantes de los equipos, lo que va evolucionando con los años hasta llegar a una frecuencia y tipo de mantenimiento de acuerdo a la experiencia y know how propio de los modos de falla particulares que se presentan y que finalmente pasan a ser de la estrategia de mantenimiento actual. (Ahmad, Kamaruddin, Azid, & Almanar, 2011).

## 4. Metodología de la Investigación

El presente capítulo se enfoca en el desarrollo de la metodología de investigación, en el estudio del impacto de la cadena de valor de los mantenimientos eléctricos en Minera Collahuasi.

Analizando el estado del arte en metodologías de investigación, se tiene una particular que combina información principalmente cuantitativa y cualitativa, esta teoría es el Estudio de Casos, que se define como “una investigación empírica que investiga un fenómeno contemporáneo en su contexto real” (Yin, 1989).

Según Villarreal y Landeta (2010), las características de esta metodología y el tipo de preguntas que pueden ser respondidas mediante su uso, permiten que sea una estrategia adecuada para abordar cuestiones como las siguientes: 1) Explicar las relaciones causales que son demasiado complejas para las estrategias de investigación mediante encuesta o experimento, 2) Describir el contexto real en el cual ha ocurrido un evento o una intervención, 3) Evaluar los resultados de una intervención, y 4) Explorar situaciones en las cuales la intervención evaluada no tiene un resultado claro y singular.

Para el caso particular de estudio de esta Tesina, la metodología de investigación se estructuró de acuerdo a las siguientes etapas:

- Descripción de Collahuasi - Reseña Histórica
- Descripción Sistema Eléctrico de CMDIC
- Descripción O&M Sistema Eléctrico
- Análisis de la Cadena de Valor
- Selección de Alimentadores Críticos
- Propuesta de Proyecto
- Evaluación del Proyecto

#### 4.1 Descripción de Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi SCM

Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi SCM (CMDIC) es una empresa minera dedicada a la extracción y producción de concentrado y cátodos de cobre, y concentrado de molibdeno. La explotación del mineral es a rajo abierto y se centra actualmente en los yacimientos Rosario y Ujina y, en una forma menor, en Huinquintipa, todos situados a 4.400 metros de altura sobre el nivel del mar en la zona altiplánica de la Región de Tarapacá, comuna de Pica, en el extremo norte de Chile. (Collahuasi, 2018)

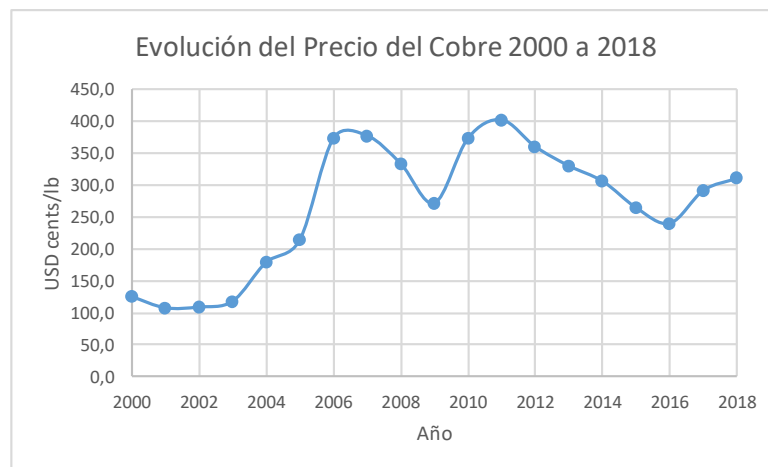


Gráfico 1: Evolución precio del cobre, año 2000 al 2018 (Julio), referidos a dólares del 2012. Elaboración propia, fuente Cochilco

Sus centros industriales y los tres yacimientos conforman el “Área Cordillera”. En el sector de Ujina se encuentra también la planta concentradora, desde donde nace un mineroducto de 203 [km], a través del cual el concentrado de cobre es trasladado como pulpa hasta las instalaciones de filtrado y embarque de la compañía ubicadas en Punta Patache, a 65 [km] al sur de la ciudad de Iquique, donde se embarcan los productos hacia los mercados internacionales. En este lugar, denominado “Área Puerto”, se encuentran también las plantas de molibdeno y de filtrado de concentrado.

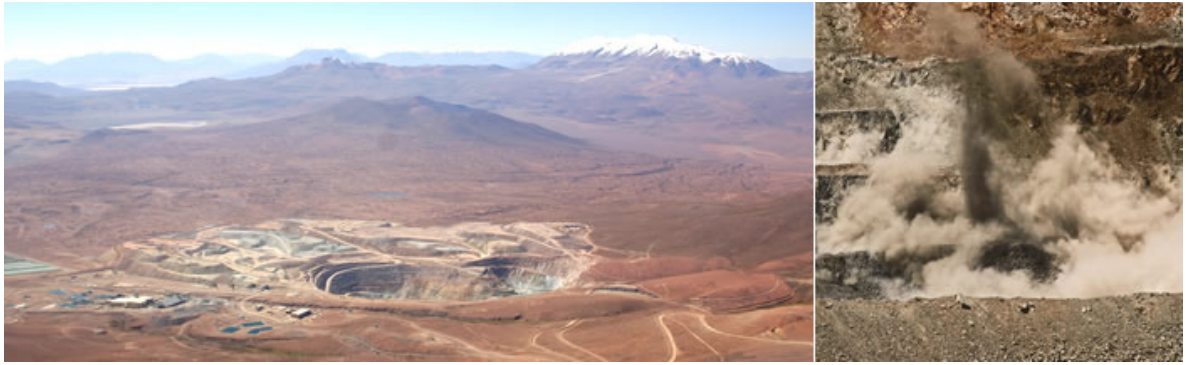


Ilustración 1: Rajo Rosario y tronadura de mineral

#### 4.1.1 Reseña Histórica

La actividad comercial del distrito minero Collahuasi se inició en 1880 con la explotación de los sistemas de vetas de cobre-plata de alta ley, operación que se interrumpió el año 1930 a raíz de la crisis económica mundial. Las actividades en el área se reiniciaron en 1978, año en el cual se identificaron los componentes claves del yacimiento Rosario.

Posteriormente, en 1991, una combinación de estudios basados en imágenes satelitales, levantamientos aerofotogramétricos, terrestres y actividades de perforación de sondajes dio como resultado el descubrimiento del yacimiento Ujina. Los estudios de factibilidad y de impacto ambiental del Proyecto Collahuasi fueron aprobados en 1995. A fines de 1996, habiéndose suscrito los acuerdos relativos al financiamiento y comercialización, se dio inicio a la etapa de desarrollo y construcción.

La Compañía inauguró su operación comercial el 7 de abril de 1999 y desde entonces se propuso desarrollar su actividad en base a políticas y prácticas que contribuyan al bienestar de la sociedad, su economía y medio ambiente, tomando en cuenta las necesidades de los grupos de interés con los cuales se vincula.



Ilustración 2: Operación industrial inicial en CMDIC

## 4.2 Descripción Sistema de Distribución Eléctrico de CMDIC

El sistema de distribución entrega la energía eléctrica a cada uno de los procesos internos de CMDIC en su área Cordillera que va desde la alimentación a las palas y perforadoras eléctricas, pasando por chancado y transporte, concentradora y finalmente el envío del concentrado a través del mineroducto hasta el Puerto Patache.

La alimentación de Puerto Patache, perteneciente a CMDIC y punto de embarque del concentrado de cobre hacia los clientes finales, tiene una alimentación eléctrica independiente de faena Cordillera. El suministro de energía, se obtiene en forma directa desde la Central Térmica Tarapacá que está conectada al SING, ubicada en la cercanía del puerto<sup>1</sup>.

La distribución eléctrica se realiza principalmente en una tensión de 23 [kV], y en forma particular, existe una tensión en 110 [kV] exclusivamente para la alimentación de los pozos de extracción de agua fresca en el sector de Coposa Norte. Esta distribución se realiza desde la S/E Principal de CMDIC, a través del Switchgear Principal, la cual representa el corazón de la energía de faena Cordillera.

---

<sup>1</sup> Ver Anexo A1 Mapa sistema eléctrico nacional, sector norte.

El Switchgear está separado en dos barras principales uno para los alimentadores aéreos y otro para los alimentadores subterráneos, a su vez cada uno de ellos está separado en 3 sub-barras.



Ilustración 3: Vista Switchgear S/E Principal CMDIC 23 [kV]

Desde el Switchgear de la S/E Principal nacen alimentadores aéreos y subterráneos dirigidos a los procesos finales. Los alimentadores aéreos alimentan principalmente las cargas fuera del sector de Ujina, entre ellas, los campos de pozos, campamentos y el sector de Rosario, donde se ubica el rajo principal. Los alimentadores subterráneos tienen como finalidad alimentar a la Planta Concentradora, ubicada en el mismo sector y todos sus procesos paralelos, entre ellos, la molienda, flotación, espesamientos, relaves, etc.

#### 4.2.1 Alimentadores Aéreos

Los alimentadores aéreos, son líneas eléctricas que están suspendidas en el aire, a través de conductores, estructuras de postes de hormigón armado y sistemas de sujeción con aisladores y otros componentes de protección.

Las líneas aéreas de CMDIC, se clasifican internamente en líneas aéreas pesadas y livianas:

- Las líneas pesadas, son líneas generalmente de doble circuito, con conductor tipo Flint y tres estructuras de hormigón armado.

- Las líneas livianas, son líneas generalmente de un circuito, con conductor tipo Azusa o Butte, con dos o una estructura de hormigón. La capacidad de transporte de energía es menor que de una línea pesada.

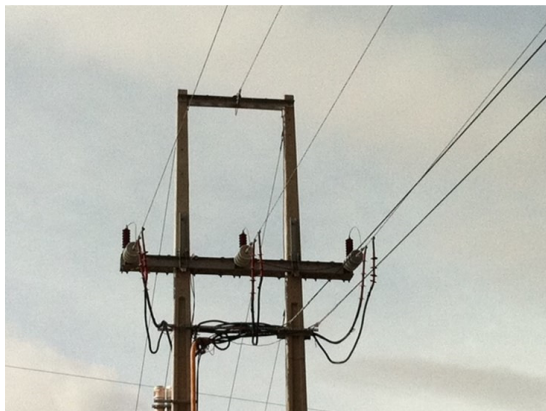


Ilustración 4: Línea área liviana de 23 [kV]

Línea Aérea	Proceso	Doble Circuitos	Simple Circuito	Conductor /Largo Total
AG ½	Aglomerado y Chancado.	3 [km]	-	6 [km]
EL ½	Electro Obtención	5 [km]	-	10 [km]
MU 1/2	Mina Ujina	1 [km]	5 [km]	7 [km]
RA ½	Recuperación de Agua	-	8 [km]	8 [km]
DRA1	Derivación Booster Intermedia	-	2 [km]	2 [km]
MR 1/2	Mina Rosario 1 y 2	7 [km]	-	14 [km]
TL01/02	Línea Extensión MR 1 / 2	3 [km]	3 [km]	9 [km]

MR 3/4	Mina Rosario 3 y 4	8 [km]	-	16 [km]
OC 1/2	Overland – La Carreta 1 y 2	8 [km]	-	16 [km]
CA 1/2	Alimentación Aguas y Campamento.	25 [km]	-	50 [km]
PO	Línea Pozos Coposa	-	15 [km]	15 [km]
DCA	Derivación Torre de Captación	-	5 [km]	5 [km]
PR	Pozos Recuperación	-	5 [km]	5 [km]
L1 y L2 CN	Pozos Coposa Norte	-	5 [km]	5 [km]
L3 CN	Pozos Coposa Norte	-	6 [km]	6 [km]
PZ	Portezuelo	-	8 [km]	8 [km]
CS	Coposa Sur	-	10 [km]	10 [km]
CN	Coposa Norte 110 kV	-	55 [km]	55 [km]
	TOTAL	60 [km]	127 [km]	247 [km]

Tabla 1: Listado de alimentadores aéreos en 23 y 110 [kV] y sus distancias

#### 4.2.2 Alimentadores Subterráneos

Los alimentadores subterráneos, corresponden a los cables de distribución en 23 [kV] que alimentan los consumos desde la S/E principal hacia la planta concentradora a través de cables con un calibre 500 MCM y con diversos

números de conductores por fases, los cuales van dispuestos en el túnel de cables vía bandejas. El túnel de cables, tiene un largo total de aproximadamente 700 [m].

En la siguiente tabla se muestra los alimentadores, los calibres y el número de conductores del alimentador:

Alimentador 23 [kV]	Calibre	Disposición	Distancia (Aprox)
Molienda 1/2	500 MCM	3 x 1c	700 mts. x2
SAG 1 y SAG 2	500 MCM	3 x 1 c	400 mts x 2
Bolas 3 y Bolas 4	500 MCM	6 x 1c	400 mts x 2
Flotación 1 / 2	500 MCM	6 x 1 c	600 mts x 2
Remolienda 1 y 2	500 MCM	9 x 1 c	600 mts x 2
Espesadores 1 y 2	500 MCM	3 x 1 c	800 mts x 2
Molino SAG 1011	500 MCM	9 x 1c	400 mts x 2
Molino Bolas 1012	500 MCM	9 x 1c	400 mts x 2
Molino Bolas 1013	500 MCM	9 x 1c	400 mts x 2
Molienda L3 Alim 1/2	500 MCM	6 x 1c	400 mts x 2
Coposa Norte 1 y 2	500 MCM	6 x 1c	200 mts x 2

Tabla 2: Listado de alimentadores subterráneos y sus distancias

## 4.3 Operación y Mantenimiento del Sistema Eléctrico

### 4.3.1 Operación Sistema Eléctrico

La operación del sistema eléctrico, tiene como responsabilidad entregar la energía eléctrica, en forma confiable y continua, a todos los procesos internos, incluida la cadena de valor, para apalancar los resultados esperados y que son comprometidos con los dueños.

Una correcta operación está basada en una buena planificación de todos los requerimientos que son solicitados y que debe ejecutar, en especial la entrega de áreas seguras para las tareas de mantenimiento.

### 4.3.2 Mantenimiento Sistema Eléctrico

El deterioro de los equipos eléctricos es un proceso normal, y comienza inmediatamente una vez que el equipo es instalado y energizado. Si el proceso de desgaste no es monitoreado puede llevar a un mal funcionamiento y en algunos casos a la falla del equipo, y el consiguiente costo productivo y de reparación.

El propósito del mantenimiento preventivo eléctrico es reconocer en forma incipiente signos que indiquen que un proceso de deterioro está presente, para poder minimizarlo, detenerlo y en el mejor caso, eliminarlo. Para ello se debe analizar la condición del propio activo y cómo este influye en el sistema eléctrico el cual está inserto. (Waite, Kopejtkova, Mestrovic, Skog, & Solver, 2009)

Actualmente la estrategia de mantenimiento del sistema eléctrico de distribución de CMDIC, está basada en un mantenimiento principalmente por frecuencia y en un menor porcentaje distribuido entre mantenimiento asociado a mejoras, correctivo (fallas) y proyectos operacionales.

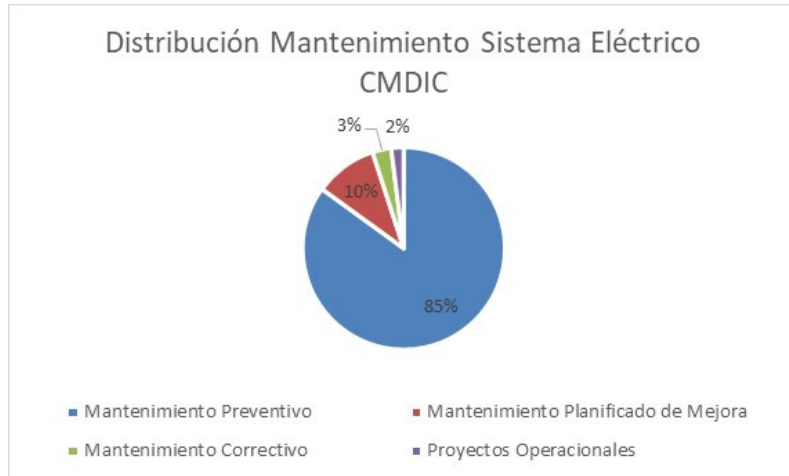


Gráfico 2: Distribución Mantenimiento Sistema Eléctrico, elaboración propia.

El principal indicador del proceso de Suministro de Energía en el Sistema de Distribución es el KPI<sup>2</sup> de Disponibilidad.

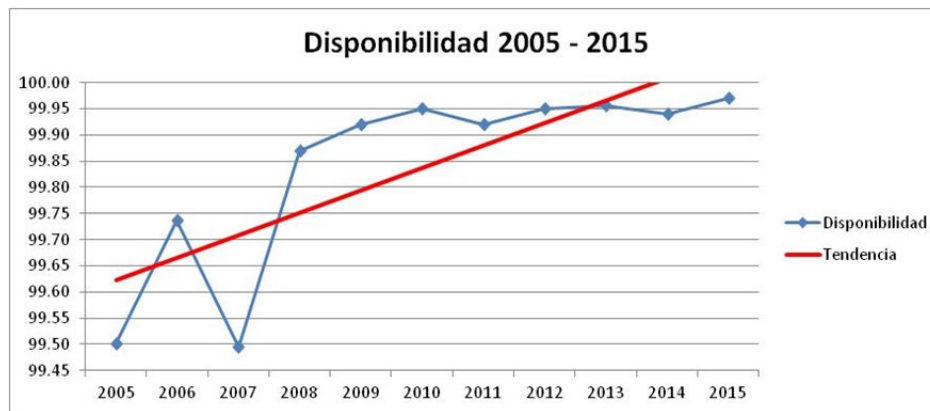


Gráfico 3: Disponibilidad Sistema de Distribución de CMDIC, elaboración propia

<sup>2</sup> Key Performance Indicator – Indicador clave de desempeño.

#### 4.4 Análisis de la cadena de valor

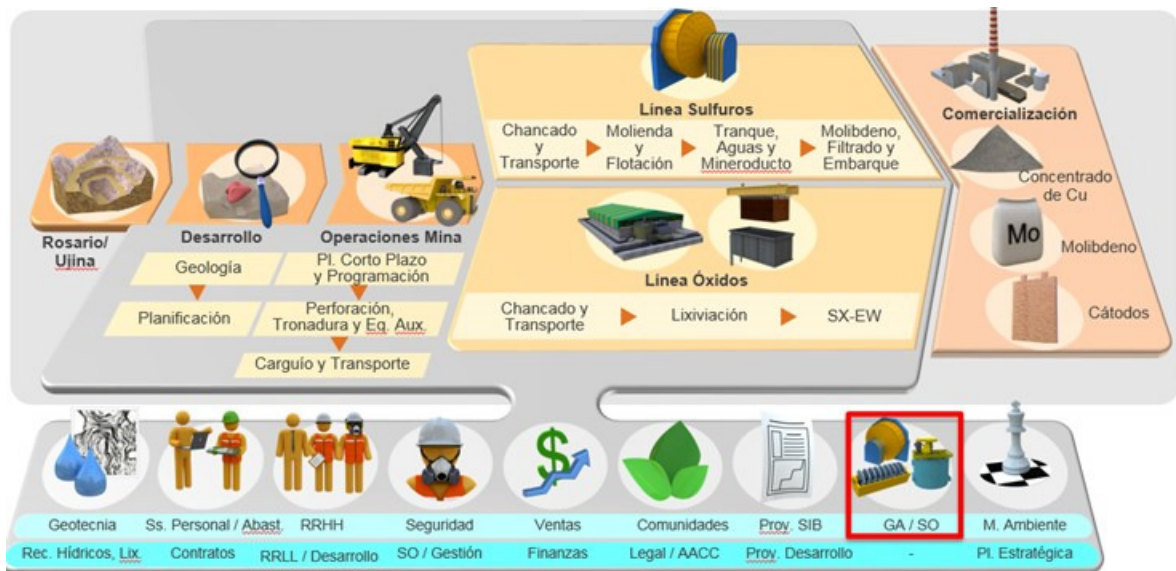


Ilustración 5: Diagrama de la cadena de valor de CMDIC

El suministro de energía inicia en la alimentación de las palas y perforadoras eléctricas en la mina, pasando por el chancado y transporte, molienda, flotación, espesamiento, mineroducto y finalizando en el puerto Patache para el transporte del producto final.

Adicionalmente se suministra la energía eléctrica a todos los procesos de soporte a la cadena de valor, desde los campamentos hasta la infraestructura que tienen los distintos procesos.

Para el análisis de la Cadena de Valor se va a definir procesos, principalmente por su ubicación geográfica y por el tipo de actividad que desarrollan, y para cada uno de ellos se va a analizar el sistema eléctrico y cómo la indisponibilidad de sus instalaciones afectan la cadena de valor y en qué porcentaje, de acuerdo a ciertas definiciones necesarias para los cálculos.

Los Procesos definidos para el análisis de la cadena de valor son los siguientes:

- Mina
- Chancado y Transporte
- Planta Concentradora

Para cada Proceso se analizará sus procesos internos del punto de vista de alimentación eléctrica de distribución y sus alternativas de suministro, principalmente dependiendo de su configuración de redundancia y el impacto a la cadena final.

El Puerto Patache, quedará fuera del análisis de esta Tesis, definida principalmente para faena cordillera y su sistema de distribución en 23 [kV].

#### 4.4.1 Proceso Mina

El Proceso Mina, gestiona los recursos desde la planificación de tronadura, la perforación para la instalación de las cargas explosivas, la operación del carguío y el transporte de mineral hasta los Chancadores que dispone faena cordillera.



Ilustración 6: Rajo Rosario y transporte de mineral

El suministro de energía eléctrica para el Proceso Mina, se requiere principalmente para los equipos eléctricos de perforación y carguío, asociados a las perforadoras y palas eléctricas.

CMDIC, tiene en operación actualmente 7 perforadas y 9 Palas eléctricas en su rajo principal de explotación denominado rajo Rosario. De las 9 palas eléctricas, 6 de ellas están en puntos del rajo con mineral.

La alimentación eléctrica de la mina, se realiza a través de cuatro alimentadores aéreos desde la S/E Principal CMDIC, los que energizan los dos centros principales de transferencia que son el Patio de Maniobras Overland y la S/E La Carreta. Las líneas que salen desde la S/E Principal Collahuasi, son las Mina Rosario (MR) 1 a la 4.

El Patio de Maniobras Overland tiene una configuración de equipos abiertos en patio, con Interruptores/Desconectadores y la S/E La Carreta tiene una configuración encapsulada en gas SF6. Ambos puntos se unen a través de dos líneas eléctricas denominadas Overland-La Carreta 1 y 2. A través de estas líneas se genera un anillo eléctrico con la S/E Principal.

#### 4.4.1.1 Equipos Críticos analizados

Los equipos críticos que afectan la Cadena de Valor operacional son las palas eléctricas asociadas a las fases de producción que tiene el Rajo Rosario, ya que se pierde la continuidad de alimentación hacia el Subproceso de Chancado y Transportes.

Actualmente las fases de producción son la Fase N° 8 y la Fase N° 9, las cuales tienen 6 palas eléctricas en operación.

Las palas eléctricas se alimentan a través de cables mineros en una tensión de 7.2 [kV], conectados a una S/E Móvil, la cual puede tener varias cargas asociadas. Estas SS/EE móviles a su vez se conectan a las líneas eléctricas aéreas dispuestas en el sector de Rosario. A continuación se indican la fase de producción, pala eléctrica, S/E Móvil y línea eléctrica desde donde está tomada la alimentación.

Equipos Principales Proceso Mina – Cadena de Valor			
Fase	Pala	S/E Móvil	Línea Eléctrica 23 [kV]
8	4	Rolec N° 2	Carreta - Capella 2
8	6	Rolec N° 2	Carreta - Capella 2
9	8	Rhona N° 9	Carreta - Capella 1 y 2
9	10	Rhona N° 9	Carreta - Capella 1 y 2
9	12	Rolec N° 4	TL 02 – 1
9	14	Rhona N° 8	Overland – La Carreta 1 y 2

Tabla 3: Equipos eléctricos principales mina

Para el análisis se considerará que cada pala eléctrica tiene un peso relativo idéntico, y que la cadena de valor se ve afectada principalmente por el nivel del Stockpile ubicado en el proceso Planta Concentradora.



Ilustración 7: Rajo Rosario, vista satelital

A continuación, se presenta un esquema de la configuración eléctrica del Proceso Mina.

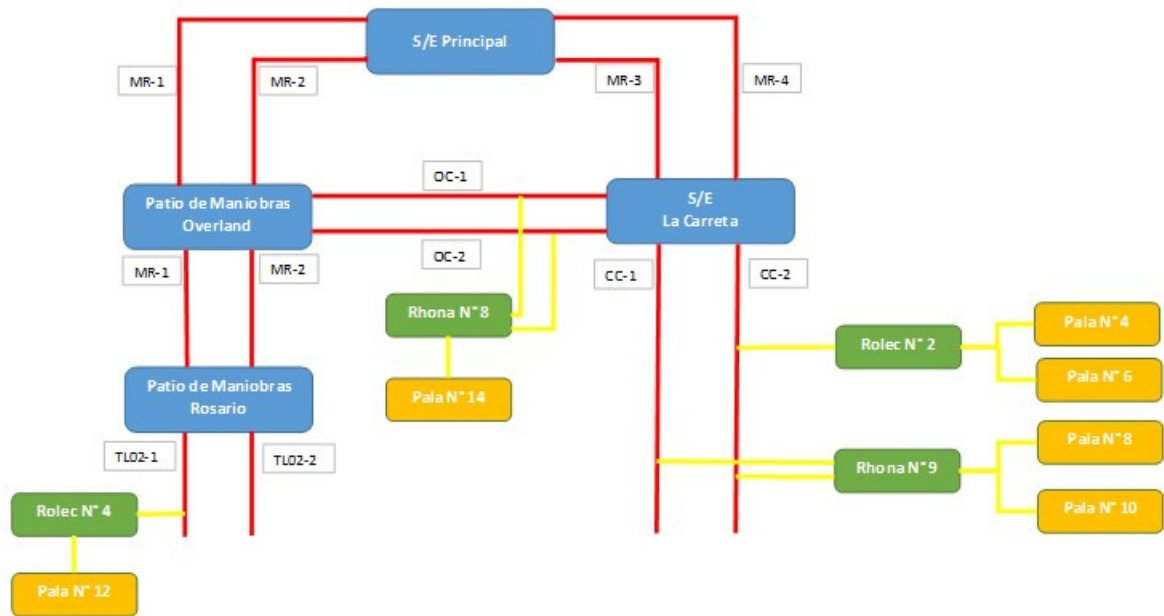


Ilustración 8: Diagrama esquemático alimentación eléctrica Proceso Mina

#### 4.4.2 Proceso Chancado y Transporte

El Proceso de Chancado y Transporte gestiona los recursos necesarios desde el chancado del mineral que entrega el Proceso Mina, hasta su transporte al Proceso de Planta Concentradora donde lo recibe en el Stockpile. La distancia desde el Chancador hasta el Stockpile es aproximadamente de 9 [km].



Ilustración 9: Recorrido sistema de transporte de correas desde sector Rosario a Ujina

El suministro de energía eléctrica para el Proceso de Chancado y Transporte, se requiere principalmente para la alimentación del Chancador y las correas eléctricas de transporte de mineral.



Ilustración 10: Chancador sector Rosario

Estos equipos se pueden resumir en la siguiente tabla:

Equipo	S/E Baja Tensión	S/E Media Tensión
Chancador 4	115US112	115US111
	115US113	
Correa CV 206	115US122	115US121
Correa CV207	115US132	115US131
Correa CV203	115US07	115US08
Correa de Transferencia	110US07	110US05
Chancador Sulfuros		110US01

Tabla 4: SS/EE Eléctricas asociadas a Chancado y Transporte

Se destaca que todas las SS/EE del Proceso de Chancado y Transportes no tiene configuración N-1, por lo cual no permite transferencia eléctrica de ningún tipo entre las SS/EE del mismo equipo.

A continuación se presenta un esquema de la secuencia de Chancadores y Correas del Proceso de Chancado y Transportes.

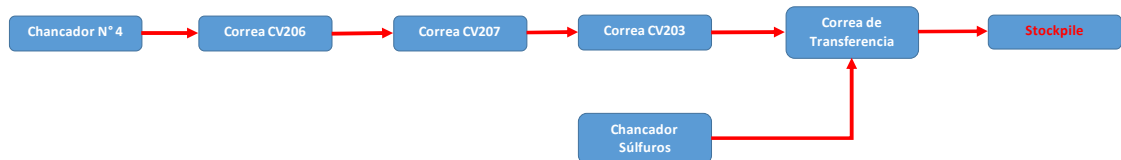


Ilustración 11: Diagrama esquemático proceso Chancado y Transporte

#### 4.4.3 Proceso Planta Concentradora

El Proceso de Planta Concentradora, es el más complejo de la Cadena de Valor, ya que representa cerca del 60% de la demanda de faena cordillera, principalmente en el subproceso de Molienda.

Todos los subprocesos de Planta Concentradora están energizados a través de alimentadores subterráneos conectados directamente a la S/E Principal CMDIC.

Los subprocesos que tiene Planta Concentradora son:

- Molienda
- Chancado de Pebbles
- Lavado de Pebbles
- Flotación
- Remolienda
- Espesadores
- Bombas Geho

##### 4.4.3.1 Subproceso Molienda

El subproceso Molienda está compuesto por 7 molinos, 3 SAG y 4 Bolas, distribuidos en 3 líneas de producción. Cada molino se alimenta desde una S/E la cual puede tener varios transformadores trabajando en forma paralela por la alimentación hacia los Cicloconvertidores que requieren para su accionamiento.

##### 4.4.3.2 Subprocesos Lavado y Chancado de Pebbles

Los subprocesos de Lavado y Chancado de Pebbles están en serie operacional y reciben el material que no puede ser molido en el subproceso de Molienda y tampoco continuar hacia el proceso siguiente que es el de Flotación, por lo cual se encarga de realizar una molienda más específica de esta granulometría.

#### 4.4.3.3 Subproceso Flotación

El subproceso de Flotación es el encargado de recuperar el concentrado de cobre para continuar al siguiente subproceso de Espesadores.

#### 4.4.3.4 Subproceso de Remolienda

El subproceso de Remolienda recibe la solución que no pudo ser recuperada en el proceso de Flotación, realizando una molienda más fina de las partículas con granulometría por sobre lo requerido y el material vuelve al proceso de flotación en una etapa intermedia.

#### 4.4.3.5 Subproceso de Espesadores y Relaves

El subproceso de Espesadores recibe el concentrado de cobre desde el subproceso de Flotación y extrae el agua, dejando el concentrado con el mínimo nivel de agua para que pueda ser transportado por el mineroducto hasta Puerto Patache a través de las bombas Geho. El mineroducto principal es de 8" y el secundario de 7" de 203 [km] de longitud cada uno.

A continuación, se presenta un esquema de la secuencia de los subprocesos del proceso Planta Concentradora:

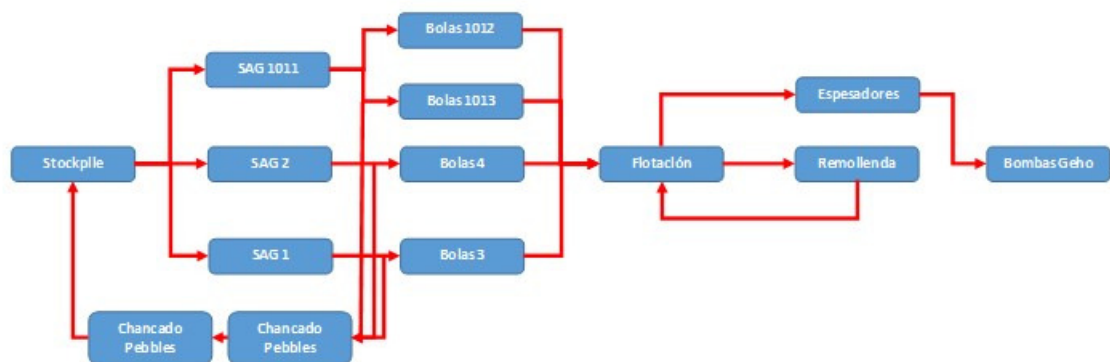


Ilustración 12: Diagrama esquemático proceso Planta Concentradora

#### 4.4.3.6 SS/EE Proceso Planta Concentradora

Las SS/EE eléctricas que energizan a los subprocesos de la Planta Concentradora, comparten en algunos casos alimentadores que están conectados directamente a la S/E Principal. Debido a lo anterior a continuación se especifican los alimentadores que llegan a la Planta Concentradora, a qué subproceso pertenecen y las SS/EE que están tomadas de ese alimentador y si presenta configuración N-1.

Alimentador	Equipos	Subproceso	N-1
SAG 1011	141XF01	Molienda	NO
	141XF02	Molienda	NO
	141XF03	Molienda	NO
Bolas 1012	141XF04	Molienda	NO
	141XF05	Molienda	NO
	141XF06	Molienda	NO
Bolas 1013	141XF07	Molienda	NO
	141XF08	Molienda	NO
	141XF09	Molienda	NO
SAG 1	140CB01	Molienda	NO
	140ML001XF1	Molienda	NO
	140ML001XF2	Molienda	NO
	140ML001XF3	Molienda	NO
SAG 2	140CB02	Molienda	NO

	140ML002XF1	Molienda	NO
	140ML002XF2	Molienda	NO
	140ML002XF3	Molienda	NO
<b>Bolas 3</b>	140US01	Molienda	SI
<b>Bolas 4</b>	140US02	Molienda	SI
<b>Molienda N° 1</b>	130US01	Molienda	SI
	133US01	Chancado de Pebbles	NO
	133US03	Chancado de Pebbles	NO
	140US03	Molienda	SI
	140US05	Molienda	SI
	140US07	Molienda	SI
	143US01	Lavado de Pebbles	SI
	143US03	Lavado de Pebbles	SI
<b>Molienda N° 2</b>	130US02	Molienda	SI
	140US04	Molienda	SI
	140US06	Molienda	SI
	140US08	Molienda	SI
	143US02	Lavado de Pebbles	SI
	143US04	Lavado de Pebbles	SI
<b>Flotación N° 1</b>	150US02	Flotación	NO
	160US01	Flotación	SI

	160US03	Flotación	SI
Flotación N° 2	150US03	Flotación	NO
	160US02	Flotación	SI
	160US04	Flotación	SI
	150US04	Remolienda	SI
Remolienda N° 1	150US06	Remolienda	SI
	150US08	Remolienda	SI
	150US05	Remolienda	SI
Remolienda N° 2	150US07	Remolienda	SI
	150US09	Remolienda	SI
	170US01	Espesadores y Relaves	SI
Espesadores y Relaves N° 1	220US01	Espesadores y Relaves	SI
	181US01	Espesadores y Relaves	NO
	181US03	Espesadores y Relaves	NO
	186US03	Espesadores y Relaves	NO
	170US02	Espesadores y Relaves	SI
Espesadores y Relaves N° 2	220US02	Espesadores y Relaves	SI
	181US01	Espesadores y Relaves	NO
	186US2800	Espesadores y Relaves	NO

Tabla 5: SS/EE Proceso Planta Concentradora

## 4.5 Selección de Alimentadores Críticos

Un elemento o factor crítico se define como la atención en lo importante estratégicamente y permite enfocar la aplicación correcta de los recursos para la creación de ventaja competitiva. (Romero, Noriega, Escobar, & Avila, 2009)

En el caso de esta investigación, el análisis de los alimentadores críticos tiene como resultado acotar del universo de alimentadores que tiene CMDIC, cuáles presentan las criticidades más altas, principalmente por su impacto a la producción de cobre fino.

Para seleccionar los alimentadores críticos, se van a utilizar las siguientes variables:

- Ubicación
- Configuración N-1
- Accionamiento
- Pérdida por Hora

### 4.5.1 Ubicación

La ubicación del alimentador en la cadena de valor es relevante, debido a que existe un punto intermedio entre el sector de Rosario y Ujina, que es el Stockpile, el cual tiene la capacidad de almacenar mineral antes del ingreso al proceso de la planta Concentradora. Por lo tanto si se produce un evento o mantenimiento planificado y el Stockpile está por sobre el nivel mínimo el impacto a la producción de cobre fino es nula.

#### 4.5.2 Configuración N-1

Se considera configuración N-1 cuando un alimentador o S/E tiene la capacidad de traspasar toda su carga a un circuito paralelo, por lo tanto, un evento en ella o mantenimiento planificado, tiene un impacto a la producción nulo.

#### 4.5.3 Accionamiento

Para el caso de alimentadores de accionamientos, se consideran fuera de este análisis, ya que considerar un accionamiento paralelo, debe venir desde la concepción de un proyecto minero, principalmente por su costo y que por experiencia no se presentan en los proyectos.

#### 4.5.4 Pérdida por Hora

Se va a utilizar la variable de pérdida por hora dada en unidades de [USD], para que sea común a todos los alimentadores o SS/EE. Para realizar el cálculo se utilizan las variables de:

- Mineral procesado
- Recuperación
- Utilización
- Ley de alimentación
- Costo
- Precio de Venta

**Mineral procesado**, es aquel mineral proveniente del Stockpile que entra al proceso de molienda, flotación y finalmente transportada a través del mineroducto.

**Recuperación**, es el % de cobre que se puede recuperar del contenido en el mineral procesado.

**Utilización**, es el % del tiempo disponible que es utilizado el proceso de la planta concentradora.

**Ley de alimentación**, es el % de cobre que contiene el mineral proveniente desde el rajo.

**Costo**, es aquel necesario para obtener una libra de cobre.

**Precio de venta**, está dado por el mercado, por tratarse de un commodity, sin embargo puede tener variaciones, dependiendo de otros factores como minerales adicionales.

Los valores de cada una de ellas son específicos para Minera Collahuasi, las que dependen principalmente del tipo de yacimiento, estrategias de producción, estrategias de costo y el precio de venta que viene dado por el mercado por ser un commodity.

#### 4.5.5 Resultado del Análisis

Para aplicar lo anterior se generó un algoritmo<sup>3</sup> en el programa excel, que combina todas las variables descritas anteriormente y entrega como resultado el impacto de los alimentadores del punto de vista de pérdida por hora, cuando se produce un evento o se requiere realizar mantenimientos planificados.

---

<sup>3</sup> Ver Anexo A2 Datos entrada algoritmo.

La información de impacto sobre cada proceso de la cadena de valor se obtuvo a través de las áreas operacionales.

Análisis Impacto Operacional Sistema Eléctrico - Cadena de Valor					
Datos de Entrada			Indisponibilidad		Impacto Cadena de Valor
Variables		Unidad	Mina		
Mineral	6500	ton/h	Chancado y Transporte		No impacta
Recuperación	88	%	Planta Concentradora		No impacta
Utilización	98	%	Resultados Operacionales		
Ley	1,3	%	Producción Cu	72,87	ton/h
Costo	1,1	US\$/lb		160.685	lb/h
Precio Venta	2,9	US\$/lb	Utilidad	289.232	US\$/h
Nivel Stock Pile (25% Crítico)	80	%	Pérdida	0,00	%
			Datos de Entrada / Modificable		
			Ubicación falla / Modificable		
			Proceso Afectado / Resultado		
			Resultados Operacionales		

Ilustración 13: Análisis Impacto Operacional desarrollado a través de algoritmo en Excel

El resultado obtenido del algoritmo, entregó que los alimentadores que más impactan la cadena de valor cuando se tiene un evento de falla o mantenimiento planificado son:

- Chancado de Pebbles, 18% de impacto<sup>4</sup>
- Espesadores y Relaves, 10% de impacto<sup>5</sup>

El impacto se calcula sobre una hora de producción a plena capacidad con las variables de entrada promedio que presenta Minera Collahuasi.

Los dos alimentadores tienen en común que no dependen del Stockpile, no tienen configuración N-1, no tienen accionamiento y con evento de falla o en mantenimiento tienen un impacto directo a la producción de cobre fino.

<sup>4</sup> Ver Anexo A3 Diagrama unilineal Chancado de Pebbles.

<sup>5</sup> Ver Anexo A4 Diagrama unilineal Espesadores y Relaves.

En un año calendario, el plan matriz de estos alimentadores tiene una frecuencia de intervención cada seis meses en forma independiente. Donde la duración de la intervención es de:

- Chancado de Pebbles, se considera una intervención de 10 hrs.
- Espesadores y Relaves, se considera una intervención de 8 hrs.

#### 4.6 Proyecto a evaluar

Los alimentadores que presentaron el mayor impacto a la producción, tienen en común, que también presentan la mayor cantidad de SS/EE dentro de todo el sistema de Distribución de Energía Eléctrica.

El alimentador de Chancado de Pebbles tiene 8 SS/EE y el alimentador de Espesadores y Relaves tiene 5 SS/EE, y los puntos más débiles de ambos alimentadores está en aquellas SS/EE que no presenta una configuración N-1.

Por lo anterior el proyecto a evaluar es llevar el alimentador a una configuración N-1, la cual elimine el impacto a la producción de cobre fino. (Kristjónsson, 2013)

El proyecto a presentar es la construcción de dos SS/EE que puedan dejar en configuración N-1 la sección de fuerza y también la de SS/AA.

El proyecto va a considerar una evaluación conceptual con datos recopilados de proyectos anteriores.

Los ítems principales considerados son:

- Ingeniería
- Repuestos Críticos
- Construcción

Inversión Proyecto			Valores unitarios		Subtotal
N°	Ítem	Cantidad	CLP	USD	USD
1	Ingeniería	1	60.000.000		90.226
2	Repuestos críticos	2		87.000	174.000
3	<b>Construcción 3.11 + 3.12</b>				<b>893.472</b>
3.1	Movimiento de Tierra	1		12.473	12.473
3.2	Hormigones	1		98.477	98.477
3.3	Acero Estructural	1		131.973	131.973
3.4	Electricidad	1		369.525	369.525
3.5	Instrumentación y Control	1		97.298	97.298
3.6	<i>Costos Directos</i>				709.746
3.7	Apoyo en terreno	1		19.200	19.200
3.8	Comisionamiento	1		7.920	7.920
3.9	Costo del Dueño	10%			70.975
3.10	<i>Costos Indirectos</i>				98.095
3.11	<i>Subtotal</i>				807.841
3.12	Contingencia	10,60%			85.631
Tipo de Cambio 24/09/18: 665 CLP/USD				<b>Total 1+2+3</b>	<b>1.157.697</b>

Tabla 6: Detalle partidas de Inversión Proyecto, referencia Ingeniería Keypro, 4to transformador SAG1011

El proyecto tiene un costo de USD 1.157.697, considerando una contingencia de 10,6% para la etapa de construcción, la cual es la que por experiencia tiene una mayor variabilidad.

## 4.7 Evaluación del Proyecto

Para evaluar el proyecto, se consideran las políticas de Minera Collahuasi, las cuales constan de un horizonte de evaluación de 5 años y una tasa de descuento del 8%.

El beneficio del proyecto será estimado por la no pérdida de producción debido a la implementación del proyecto, por el efecto de mantenimiento y también considerando una falla, que es probable debido a la cantidad de SS/EE en un horizonte de 5 años a evaluar.

Ambos alimentadores se intervienen cuando la línea de producción de mayor capacidad está en mantenimiento mayor, el cual se produce durante el cambio de revestimiento mecánico de los molinos.

Este mantenimiento baja la producción en un 60%, donde el 40% restante está dado por las líneas de molienda 1 y 2.

Tomando la consideración anterior, el plan matriz y las horas de intervención tienen un mantenimiento planificado con un impacto de:

Alimentador		Pérdida por Mantenimiento [USD/evento]	Pérdida por Mantenimiento Año [USD]
Chancado Pebbles	de	208.247	416.494
Espesadores Relaves	y	92.554	185.108

Tabla 7: Valoración pérdidas por Mantenimiento

La pérdida está calculada sobre la planilla generada de análisis de impacto operacional, considerando que el mantenimiento se ejecuta cuando la línea 3 de molienda está con cambio de revestimiento y considerando las horas que están definidas por plan matriz.

#### 4.7.1 Evaluación Proyecto Chancado de Pebbles

Para la evaluación del proyecto, se considera que los mantenimientos se realizan en forma consistente dos veces al año de acuerdo al plan matriz. Una falla en este alimentador y de acuerdo a la experiencia con fallas en otras SS/EE del sistema de distribución, tiene un tiempo de impacto cercano a las 5 horas.

El cálculo de los Flujos de Caja es:

Flujos Evaluación Proyecto Chancado de Pebbles [USD]						
Año	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Inversión	1.157.697					
Beneficio Mantenimientos		416.494	395.669	407.539	415.690	407.376
Beneficio Falla			260.309			
Flujo de Caja	-1.157.697	416.494	655.978	407.539	415.690	407.376
	Tasa de descuento		0,08			
	VAN		696.657			
	TIR		30%			

Tabla 8: Flujos Evaluación Proyecto Chancado de Pebbles

Para los cálculos de los beneficios, se utilizó la planilla análisis de impacto operacional, considerando las horas de mantenimiento por plan matriz y variaciones del precio del Cu, el cual tiene impacto directo en el beneficio.

El proyecto es rentable y tiene un Valor Actualizado Neto de USD\$ 696.657 y con una TIR del 30%.

Es una alternativa para ser presentada al comité de proyectos de Minera Collahuasi.

#### 4.7.2 Evaluación Proyecto Espesadores y Relaves

Para la evaluación se considera que, los mantenimientos se realizan en forma consistente dos veces al año de acuerdo al plan matriz. Una falla en este alimentador y de acuerdo a la experiencia con fallas en otras SS/EE del sistema de distribución, tiene un tiempo de impacto cercano a las 5 horas.

El cálculo de los Flujos de Caja es:

Flujos Evaluación Proyecto Espesadores y Relaves [USD]						
Año	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Inversión	1.157.697					
Beneficio Mantenimientos		185.108	175.853	181.128	186.562	182.831
Beneficio Falla			144.616			
Flujo de Caja	-1.157.697	185.108	320.469	181.128	186.562	182.831
	Tasa de descuento		0,08			
	VAN		-306.205			
	TIR		-3%			

Tabla 9: Flujos Evaluación Proyecto Espesadores y Relaves

El proyecto finalmente no es rentable con respecto a la inversión necesaria para poder llevar el impacto durante los mantenimientos planificados y considerando también una falla durante el quinquenio analizado.

## 5. Conclusiones y Comentarios

Las conclusiones y comentarios presentadas en este capítulo están directamente asociadas a los Objetivos Específicos que fueron identificados en el Capítulo 2 y que, a través de su desarrollo en esta Tesina, se da cumplimiento al Objetivo Principal.

### 5.1 Análisis del Sistema Eléctrico de Distribución Actual

En el desarrollo de la presente tesina se hizo una descripción detallada del sistema de distribución eléctrico actual de CMDIC. Generando el análisis a partir de la cadena de valor por procesos y las instalaciones que están involucradas en cada uno de ellos. Siendo los principales procesos el de Mina, Chancado y Transporte y Planta Concentradora.

### 5.2 Análisis de intervenciones de mantenimiento que impactan a la operación y propuesta de circuitos

Del análisis por procesos se generó un algoritmo, basado en la ubicación, configuración N-1, accionamiento y pérdida por hora de los alimentadores involucrados. Para los cálculos de la pérdida por hora se utilizaron las variables de mineral procesado, recuperación, utilización, ley de alimentación, costo y precio de venta. Los resultados indicaron que en dos alimentadores el impacto era significativo y adicionalmente permiten que sean candidatos a generar una evaluación de proyectos. Los alimentadores que se determinaron son el de Chancado de Pebbles y el de Espesadores y Relaves.

### 5.3 Evaluación de los proyectos de capital propuestos

Para cada alimentador se generó una evaluación de proyecto con valores referenciales para la inversión necesaria y los beneficios esperados para un período de retorno de cinco años. Los cálculos de los beneficios estuvieron basados en la pérdida que se genera por los mantenimientos planificados y por probables fallas que el sistema presenta.

### 5.4 Comentarios finales

El desarrollo de la presente tesina, presentó la implementación de una metodología de casos en el análisis de proyectos de capital (CAPEX), para la evaluación y respaldo de inversiones asociadas a mejora del sistema de distribución de energía eléctrica dentro de una empresa minera. El concepto que se utilizó fue el de aumentar la disponibilidad y confiabilidad llevando las instalaciones a una configuración N-1. De los dos proyectos evaluados solamente el asociado al Chancado de Pebbles tuvo un valor actualizado neto (VAN) positivo, el cual en el periodo de evaluación asciende a los 700 kUSD, y es candidato para ser presentado y que pueda competir con proyectos de los distintos procesos que tiene Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi.

Sin embargo, el proyecto a presentar no solamente genera un beneficio financiero que es la variable medible, sino que también aspectos más operacionales como son la dificultad de entrega de equipos a mantenimiento y que generan desgastes al interior de los equipos de trabajo.

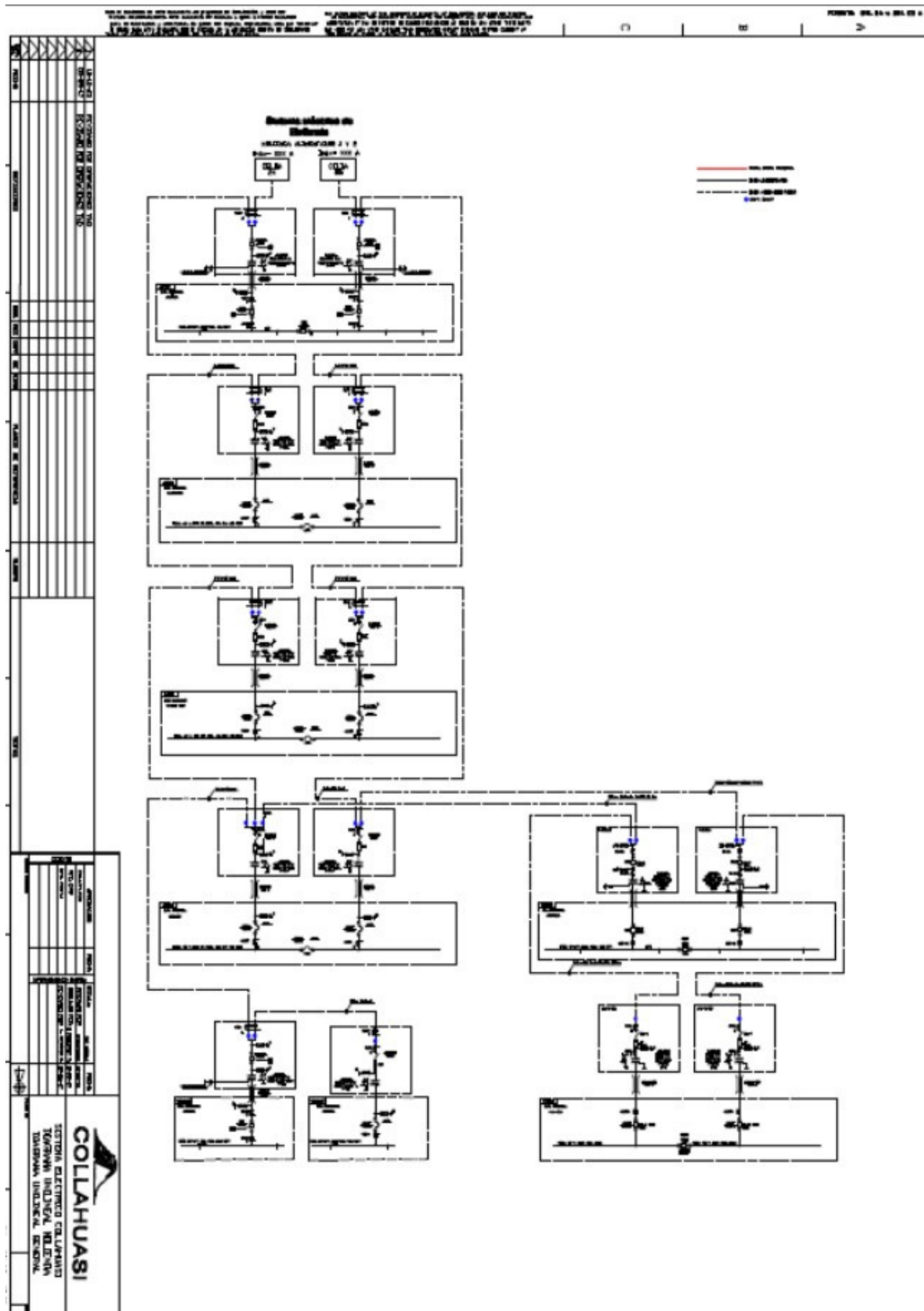
## 6. Bibliografía

- Ahmad, Kamaruddin, Azid, & Almanar. (2011). Maintenance management decision model for preventive. *Journal of Industrial Engineerig International*, 1-13.
- Bester, M., Russell, T., van Heerden, J., & Carey, R. (2016). Reconciliation of the mining value chain. *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 407-411.
- Boiler, T. H. (07 de 2014). *The Hartford Steam Boiler Inspection and Insurance Company*. Obtenido de Munich RE Group: <https://www.munichre.com/HSB/home/index.html>
- Collahuasi, C. M. (2018). *CMDIC*. Obtenido de CMDIC: <http://www.collahuasi.cl/>
- EYGM Limited. (2014). Productivity in mining: now comes the hard part. *Sustainable Minerals Institute*, 1-18.
- Grijalva, D. (2014). El fin de los súper ciclo de los Commodities y su impacto en América Latina. *Koyuntura*, 1-7.
- Kristjónsson, M. (2013). *Enforcing the N-1 Criterion in Power Transmission Networks: An Analysis of a Theoretical model*. Bergen: Norwegian School of Economics.
- Porter, M. E. (1991). *Ventaja Competitiva, creación y sostenimiento de un desempeño superior*. Buenos Aires: Rei Argentina S.A.
- Romero, R., Noriega, S., Escobar, C., & Avila, V. (2009). Factores críticos de éxito: Una estrategia de competitividad. *CULCyT / Planeación Estratégica*, 5-14.
- Villarreal, O., & Landeta, J. (2010). El estudio de casos como metodología de investigación científica en dirección y economía de la empresa. Una aplicación a la internalización. *Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de la Empresa*, 31-52.
- Waite, Kopejtkova, Mestrovic, Skog, & Solver. (2009). USE OF DATA FROM CIGRE HIGH VOLTAGE EQUIPMENT. *Cigre*, 1-6.
- Yin, R. K. (1989). *Case Study Research, Design and Methods*. London: Applied Social Research Method Series.





# Anexo A3: Diagrama Unilineal Chancado de Pebbles



# Anexo A4: Diagrama Unilineal de Espesadores y Relaves

