



UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
Escuela de Negocios Departamento de Ingeniería Comercial
MBA, Magíster en Gestión Empresarial

TRANSFORMACIÓN DIGITAL PARA CAP MINERÍA. ELECCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN PROYECTO DE DIGITALIZACIÓN

Tesina de Grado presentada por
Gilbert Alexis Torres Silva

Como requisito para optar al grado de

MBA, Magíster en Gestión Empresarial

Director de Tesina: Cristian Raggio Donoso

Mayo 2019

**TITULO DE TESINA: “TRANSFORMACIÓN DIGITAL PARA CAP MINERÍA.
ELECCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN PROYECTO DE
DIGITALIZACIÓN”**

AUTOR: GILBERT ALEXIS TORRES SILVA

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:

Santiago, mayo 2019



ESCUELA DE NEGOCIOS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA COMERCIAL
UNIVERSIDAD TÉCNICA
FEDERICO SANTA MARÍA



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

Nombre: Gilbert Alexis Torres Silva.

Fecha: 29 mayo 2019

Resumen Ejecutivo

La industria de la minería ha estado en la constante búsqueda de lograr mayores grados de eficiencia, forzada por varios factores, uno de ellos es la incesante variación del precio de los minerales. Otro de los factores que empuja a las empresas mineras a ser cada vez más eficientes es que la calidad y la accesibilidad de las reservas mineralógicas declina, haciendo necesario el uso de técnicas más complejas (y costosas) de extracción y procesamiento del mineral.

CAP Minería, el principal productor del mineral de hierro de nuestro país no está exento de todo esto, y actualmente se encuentra en un proceso de Transformación Digital con el objetivo de elevar su grado de digitalización para aumentar la eficiencia operacional de sus procesos y acercar a la compañía a ser un producto de hierro de clase mundial.

La importancia del estudio radica principalmente en poder definir una estrategia tecnológica para la empresa, de tal forma de establecer una hoja de ruta en la búsqueda de la máxima eficiencia y con ello aumentar en el mediano plazo el margen neto y por consiguiente su EBITDA.

Se utiliza como referente tecnológico al principal productor de hierro del mundo, la empresa minera Vale, quién se encuentra en el top de línea en lo que respecta a tecnología.

Para el análisis de los procesos de la organización se utilizan herramientas de lean y excelencia operacional, información que, cruzada con las iniciativas tecnológicas de Vale, resulta en una propuesta preliminar de proyectos tecnológicos desde una perspectiva de las tecnologías operativas (OT).

Para poder cuantificar el impacto de estos proyectos en la organización, se utiliza el modelo de flujo de caja neto y posteriormente se realizará un ranking de los proyectos de mayor a menor TIR.

Del resultado de esta evaluación, se determina que el primer proyecto que debe implementar CAP Minería es el de control avanzado en el área de concentración de todas sus plantas. Finalmente, se proponen dos actividades para la gestión del cambio con fin de asegurar el éxito de su implementación.

Abstract

The mining industry has been constantly searching for greater degrees of efficiency, the strength of several factors, the incessant variation in the price of minerals. Another point of the factors that pushes the mining companies to be increasingly efficient that the quality and accessibility of mineralogical reserves declines, the use of more complex techniques and mineral processing.

CAP Mining, the main producer of iron ore in our country is not exempt from all this, and is currently in a process of Digital Transformation with the aim of raising its digitization degree to increase its operational efficiency of its processes and bring The company is a world class iron product.

The importance of the study lies mainly in being able to define a strategy for the company, the way to establish a roadmap in the search for maximum efficiency and in order to increase in the medium term the net margin and therefore its EBITDA.

It is used as a technological reference to the world's leading producer, the small company, who is at the top of the line when it comes to technology.

For the analysis of the processes of the organization lean tools and operational excellence are used, information that, crossed with Vale technological initiatives, results in a preliminary proposal of technological projects from a perspective of operational technologies (OT).

In order to quantify the impact of these projects in the organization, the net cash flow model is used and a ranking of the projects of the contribution is made mostly to the IRR of the company to those with the lowest contribution.

The result of this evaluation results in the first project that CAP must implement. Mining is the advanced control in the concentration area of all its plants. Finally, for this project, two activities for change management are proposed.

Índice de Capítulos

CAPÍTULO 1 Introducción.....	12
CAPÍTULO 2 Definición y justificación del tema	14
CAPÍTULO 3 Objetivos	16
3.1. Generales	16
3.2. Específicos	16
CAPÍTULO 4 Alcance	17
CAPÍTULO 5 Metodología de trabajo	18
5.1 Establecer línea base antes de la implementación de proyectos tecnológicos.....	18
5.2 Realización de un benchmarking.....	18
5.3 Realizar una propuesta preliminar de iniciativas.	18
5.4 Búsqueda de oportunidades de mejora en los procesos productivos de la organización.18	
5.5 Preselección de iniciativas.	21
5.6 Realizar una evaluación económica de los proyectos.....	21
5.7 Determinación de proyectos digitales.....	21
5.8 Planificar la implementación de estas.	21
CAPÍTULO 6 Estado del arte	24
CAPÍTULO 7 Desarrollo	27
7.1 Línea Base.....	27
7.2 Benchmarking.....	29
7.3 Propuesta preliminar de iniciativas.....	32
7.4 Oportunidades de mejora en los procesos productivos de la organización.....	38
7.4.1 Mina y planta El Romeral.....	38
7.4.2 Mina y planta Los Colorados.....	41
7.4.3 Planta de Pellets.....	42
7.4.4 Planta Magnetita.....	43
7.4.5 Mina y planta Cerro Negro Norte (CNN)	44
7.4.6 Elección de los procesos a ser mejorados con tecnologías.	47

7.5 Preselección de iniciativas.....	51
7.6 Evaluación económica de los proyectos.....	51
7.7 Selección del proyecto de implementación.....	56
7.8 Planificación de la implementación.....	56
CAPÍTULO 8 Conclusiones.....	60
8.1 Cumplimiento de los objetivos.....	60
8.2 Comentarios de la tesina.....	60
8.3 Proyecciones.....	61
Bibliografía	62
Anexos.....	63

Índice de Figuras

- Figura 1: PIB del sector minero y su participación en PIB nacional.
- Figura 2: Producción de hierro mundial y de Chile entre 2006 y 2017.
- Figura 3: Matriz de impacto de los procesos.
- Figura 4: Matriz de desempeño de los procesos.
- Figura 5: Matriz de priorización de los procesos.
- Figura 6: Metodología de gestión del cambio del análisis de los Stakeholders
- Figura 7: Herramienta de balanza de valor
- Figura 8: Flujo de caja inicial
- Figura 9: Trabajador conecta
- Figura 10: Mantenimiento prescriptivo
- Figura 11: Plataformas integradas.
- Figura 12: Centro de operación remota.
- Figura 13: Analítica avanzada de procesos
- Figura 14: Operación minera con equipamiento autónomo.
- Figura 15: Control avanzado de procesos.
- Figura 16: Simulación de procesos.
- Figura 17: Robotización de procesos
- Figura 18: Operaciones de CAP Minería.
- Figura 19: Diagrama de proceso Mina El Romeral.
- Figura 20: Diagrama de proceso área de Chancado Planta El Romeral.
- Figura 21: Diagrama de proceso área Concentradora Planta El Romeral.
- Figura 22: Diagrama de proceso área Molienda Planta El Romeral.
- Figura 23: Diagrama de proceso Mina Los Colorados.
- Figura 24: Diagrama de proceso Planta Los Colorados.
- Figura 25: Diagrama de proceso Planta de Pellets.
- Figura 26: Diagrama de proceso Planta Magnetita.
- Figura 27: Diagrama de proceso Mina Cerro Negro Norte.
- Figura 28: Diagrama de proceso área Chancado Planta Cerro Negro Norte.
- Figura 29: Diagrama de proceso área Concentración y Molienda Planta Cerro Negro Norte.

Figura 30: Matriz de priorización de los procesos A.

Figura 31: Matriz de priorización de los procesos B.

Figura 32: Evaluación de proyectos tecnológicos.

Figura 33: Flujo de caja posterior a la implementación de los proyectos de mejora.

Figura 34: Matriz de análisis de los Stakeholders.

Figura 35: Propuesta de valor.

Índice de Tablas

Tabla 1: Impacto de algunas tecnologías en la industria de la minería y metales.

Tabla 2: Benchmarking de la industria minera del fierro.

Tabla 3: Procesos candidatos a ser mejorados.

Tabla 4: Evaluación de proyectos tecnológicos.

Tabla 5: Resultado del análisis de los Stakeholders.

Tabla 6: Actividad de comunicación Stakeholder Operaciones.

Tabla 7: Actividad de capacitación y transferencia de conocimiento Stakeholder Operaciones.

CAPÍTULO 1

Introducción

Hoy en día la tecnología avanza a una velocidad exponencial y es el centro de la llamada revolución industrial 4.0. A pesar de esto existe un rezago tecnológico en la industria en Chile y en especial en la minería, debido principalmente a los grandes montos de inversión y riesgos asociados.

La minería tiene un rol protagónico en nuestro país, teniendo un impacto directo en el desarrollo de nuestra economía. En figura 1, se muestra la participación que ha tenido la minería en el PIB de Chile.

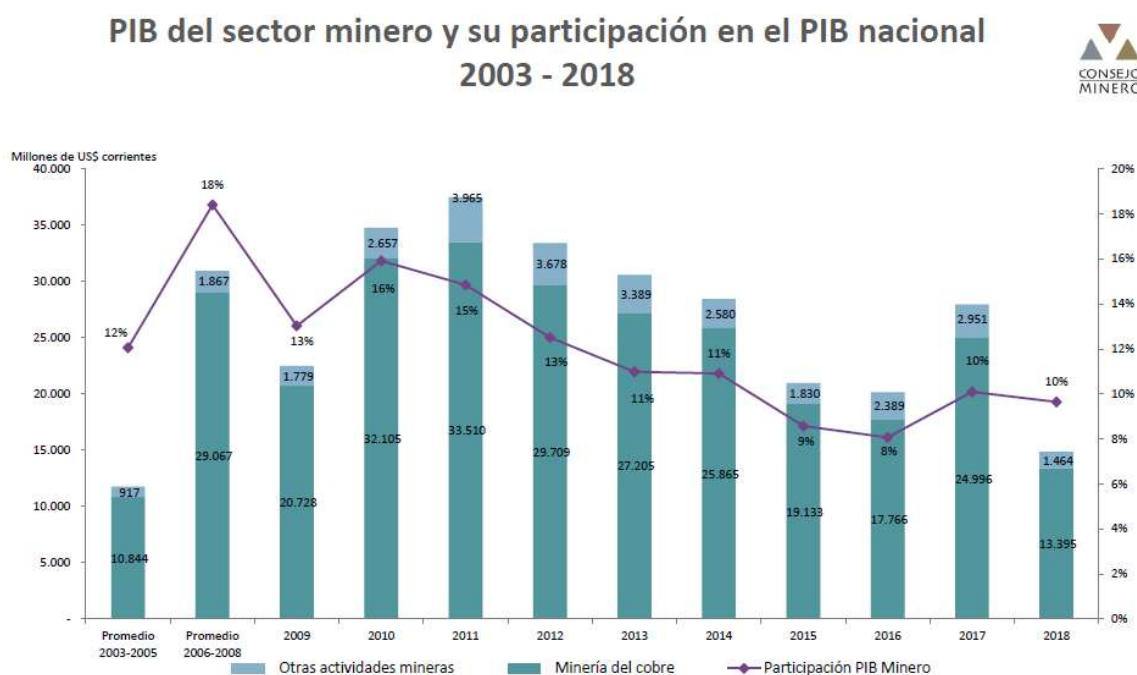


Figura 1: PIB del sector minero y su participación en PIB nacional¹

¹ Fuente: Consejo Minero -2018

CAP Minería (CAP) es una empresa chilena perteneciente a la industria de la minería de hierro y desarrolla sus operaciones dentro de la tercera y cuarta región (principalmente). CAP es el principal productor de hierro de nuestro país, produciendo el 99% de la producción nacional (fuente: Minería en números 2017, Consejo Minero).

En figura 2, se muestra la cantidad de producción nacional de hierro versus la producción mundial entre los años 2006 al 2017.

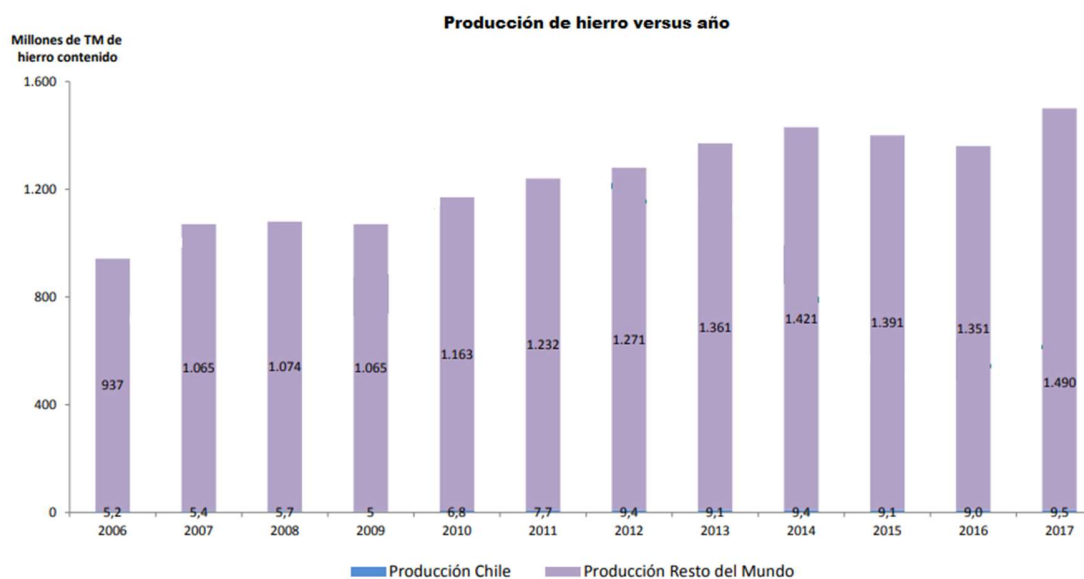


Figura 2: Producción de hierro mundial y de Chile entre 2006 y 2017²

CAP tiene como objetivo estratégico convertirse en un productor de hierro “de clase mundial”. Bajo esta premisa se ha creado en esta compañía un área denominada Transformación Digital (TD), que busca, de la mano de la tecnología dar cumplimiento a los objetivos estratégicos determinados por la alta gerencia. Dentro del área de TD se afronta este desafío separando el mundo de las Tecnologías de la Información (TI) con el de las Tecnologías Operativas (OT). Esta tesina aborda este desafío desde una perspectiva del mundo OT, generando una línea de partida (línea base), junto con la definición de un proyecto tecnológico y su posible impacto en la organización.

² Fuente: Consejo Minero -2018

CAPÍTULO 2

Definición y justificación del tema

CAP minería y las empresas mineras en general operan en un mercado altamente competitivo, con bajos precios de venta de los minerales, haciendo que cada vez las compañías deban hacer sus procesos más eficientes. En esta búsqueda, CAP tiene la convicción de que el uso de la tecnología es vital para lograr los óptimos operacionales y con ello lograr un alto aprovechamiento de sus activos, es aquí donde aparecen conceptos como big data, advanced analytics, inteligencia artificial, internet de las cosas, entre otras. Todas estas herramientas tecnológicas buscan que las compañías sean más eficientes, pero ¿por dónde comenzar en el camino de la búsqueda de mayor eficiencia?, ¿qué procesos intervenir primero?, ¿qué tecnología ocupar?. Estas son algunas preguntas que se busca dar respuesta en esta tesina, apuntando a la definición de un proyecto desde una mirada OT buscando impactar en la reducción de los costos y con ello mejorar la eficiencia de un proceso minero y establecer una línea base para la ejecución de nuevos proyectos tecnológicos.

A continuación, se citan la visión, misión y objetivos estratégicos de la compañía, que se alinean con los temas tecnológicos antes indicados³:

Visión: “Ser una empresa minera de clase mundial, innovadora y referente en el desarrollo de negocios sustentables, generando valor a sus accionistas, clientes, trabajadores y comunidades de su entorno”

Misión: “Ser productor de pellets y concentrado magnético de alta ley, buscando en forma permanente oportunidades de crecimiento y diversificación de nuestros negocios, contando con altos estándares de sustentabilidad y excelencia operacional.

³ Fuente: CAP Minería.

Objetivo Estratégico: “Consolidarse como un productor competitivo de pellets y concentrado magnético de alta ley en el largo plazo”.

Focos: Reducción de costos, aumento de productividad, calidad, innovación en procesos y estrategia comercial.

CAPÍTULO 3

Objetivos

Por lo expuesto en los capítulos anteriores, se postulan los siguientes objetivos:

3.1. Generales

Definir el primer proyecto de Transformación Digital, desde una mirada OT, para CAP minería y evaluar su impacto en la organización.

3.2. Específicos

Para dar cumplimiento del objetivo general se debe abordar los siguientes objetivos específicos:

3.2.1. Objetivo 1:

Establecer línea base antes de la implementación de proyectos tecnológicos.

3.2.2. Objetivo 2:

Efectuar un benchmarking con pares de la misma industria para evaluar el estado de CAP.

3.2.3. Objetivo 3:

Realizar una propuesta preliminar de iniciativas.

3.2.4. Objetivo 4:

Determinar oportunidades de mejora en los procesos productivos de la organización.

3.2.5. Objetivo 5:

Preseleccionar proyectos de mejora.

3.2.6. Objetivo 6:

Llevar a cabo una evaluación económica de los proyectos

3.2.7. Objetivo 7:

Seleccionar el proyecto de implementación

3.2.8. Objetivo 8:

Planificar la implementación del proyecto escogido.

CAPÍTULO 4

Alcance

Con los objetivos anteriormente expuestos, la presente tesina busca definir un proyecto digital desde el punto de vista de OT para CAP Minería, de tal forma de elevar su grado de digitalización con el fin de aumentar la eficiencia operacional de sus procesos y acercar a la compañía a ser un producto de hierro de clase mundial.

La importancia del estudio radica principalmente en poder definir una estrategia tecnológica para la empresa, de tal forma de establecer una hoja de ruta en la búsqueda de la máxima eficiencia y con ello aumentar en el mediano plazo el margen neto y por consiguiente su EBITDA.

El problema radica principalmente en que no existen en CAP (en el ámbito tecnológico) lineamientos, ni criterios a la hora de implementar proyectos, a su vez, se desconoce la situación actual de la compañía y además se desconoce hacia dónde orientar las mejoras tecnológicas. El resultado de este estudio busca sentar las bases para la adopción de tecnologías desde una mirada OT con el objetivo de realizar las inversiones correctas (menos inversión y máximo beneficio) y definir el primer proyecto que ayude a convertir a CAP Minería en un producto de hierro de primera línea.

CAPÍTULO 5

Metodología de Trabajo

Para lograr los objetivos antes indicados, la metodología de esta tesina se detalla a continuación:

5.1. Establecer línea base antes de la implementación de proyectos tecnológicos.

En primer lugar, se establecerá la situación actual de la compañía mediante la herramienta del flujo de caja neto (inicial). Con esta herramienta determinaremos el VAN y TIR actual de la compañía y serán nuestra base de comparación para evaluar los proyectos tecnológicos.

5.2 Efectuar un benchmarking

En segundo lugar, se realiza una comparación con empresas líderes de la industria en el ámbito tecnológico, para ello se buscará por medio de entrevistas y encuestas información de 6 empresas del rubro de la minería del hierro y se mostrarán sus indicadores más relevantes.

5.3 Realizar una propuesta preliminar de iniciativas.

En base a la información obtenida en el punto 5.2 se elabora un listado de iniciativas que han sido exitosas en empresas de la misma industria.

5.4 Determinar oportunidades de mejora en los procesos productivos de la organización.

El siguiente paso consiste en determinar los procesos críticos y menos eficientes de la compañía, con fin de direccionar las soluciones tecnológicas hacia estos procesos. Para lograr esto se utilizarán dos herramientas metodológicas, la primera denominada Matriz de nivel de impacto de los procesos (figura 3) y la segunda, Matriz de desempeño de mismos (figura 4). El resultado de estas matrices se plasma en una tercera matriz que resume y muestra gráficamente los procesos a los cuales debemos poner nuestra atención. Esta matriz mostrada en figura 5 lleva por nombre matriz de priorización de los procesos. Las

herramientas antes indicadas fueron vistas en la asignatura Herramientas en Land y de Excelencia Operacional dictada por el profesor José Luis Andías.

Nivel de impacto-> 0: Bajo impacto; 100: Alto impacto

ID	PROCESOS	OBJETIVOS ESTRATÉGICOS			IMPACTO (PROMEDIO)
		Consolidarse como un productor competitivo de pellets y concentrado magnético de alta ley	Desarrollar nuevos negocios, definir alternativas de diversificación minera	Fortalecer la estrategia de sustentabilidad y competencias de la organización	
1					
2					
3					
4					
5					

Figura 3: Matriz de impacto de los procesos⁴

Nivel de desempeño-> 0: Bajo desempeño; 100: Alto desempeño

ID	PROCESOS	OBJETIVOS ESTRATÉGICOS			DESEMPEÑO (PROMEDIO)
		Consolidarse como un productor competitivo de pellets y concentrado magnético de alta ley	Desarrollar nuevos negocios, definir alternativas de diversificación minera	Fortalecer la estrategia de sustentabilidad y competencias de la organización	
1					
2					
3					
4					
5					

Figura 4: Matriz de desempeño de los procesos⁵

^{4, 5} Fuente: MBA UTFSM- Taller lean y excelencia operacional- 17/06/18

Priorización de Procesos

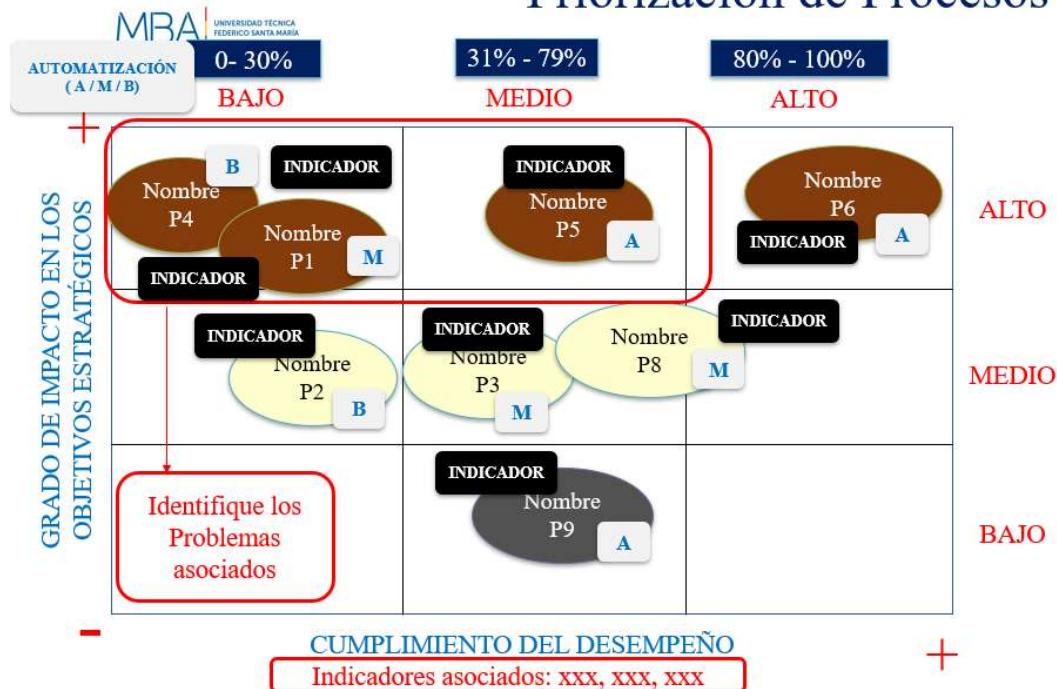


Figura 5: Matriz de priorización de los procesos⁶

La matriz de priorización clasifica los procesos según el nivel de desempeño (eje x) y su nivel de impacto en los objetivos estratégicos de la compañía (eje y), a mayor nivel de desempeño y mayor nivel de impacto, más arriba y a la derecha se clasificará el proceso en evaluación. Para poder evaluar el nivel de desempeño se debe escoger un indicador representativo del proceso en cuestión.

Otro dato relevante que incorpora esta matriz es el nivel de automatización de los procesos, denotado por las letras A (alto), M (medio), B (bajo).

Los procesos que se considerarán candidatos para proponer proyectos de mejora son los procesos que resulten con un alto nivel de impacto en los objetivos estratégicos y con un bajo o medio nivel de desempeño.

⁶ Fuente: MBA UTFSM- Taller lean y excelencia operacional- 17/06/18

5.5. Preseleccionar proyectos de mejora.

Teniendo clara las oportunidades de mejora en la organización más las jugadas digitales exitosas en las empresas líderes del mercado se realiza una preselección de las iniciativas candidatas a ser implementadas en las faenas.

5.6 Llevar a cabo una evaluación económica de los proyectos

Para poder determinar el impacto de los proyectos en la organización se realizará una evaluación económica de cada uno de ellos, utilizando el método de flujo de caja para la determinación del beneficio, calculando el VAN y TIR.

5.7 Seleccionar el proyecto de implementación

Para determinar el proyecto a implementar se realizará un ranking de los proyectos de mayor a menor TIR, con el fin definir la priorización de los proyectos.

De los primeros resultantes se considerará además el nivel de inversión y la facilidad de la implementación.

5.8 Planificar la implementación del proyecto seleccionado.

Para la planificación de la implementación del proyecto tecnológico, se utilizará la metodología de gestión del cambio del análisis de los stakeholders, mostrada en figura 6, más la herramienta de la balanza de valor, detallada en figura 7. Estas herramientas fueron vistas en la asignatura Gestión del cambio para la adopción de un proceso de transformación digital dictada por el profesor José Luis Andías.

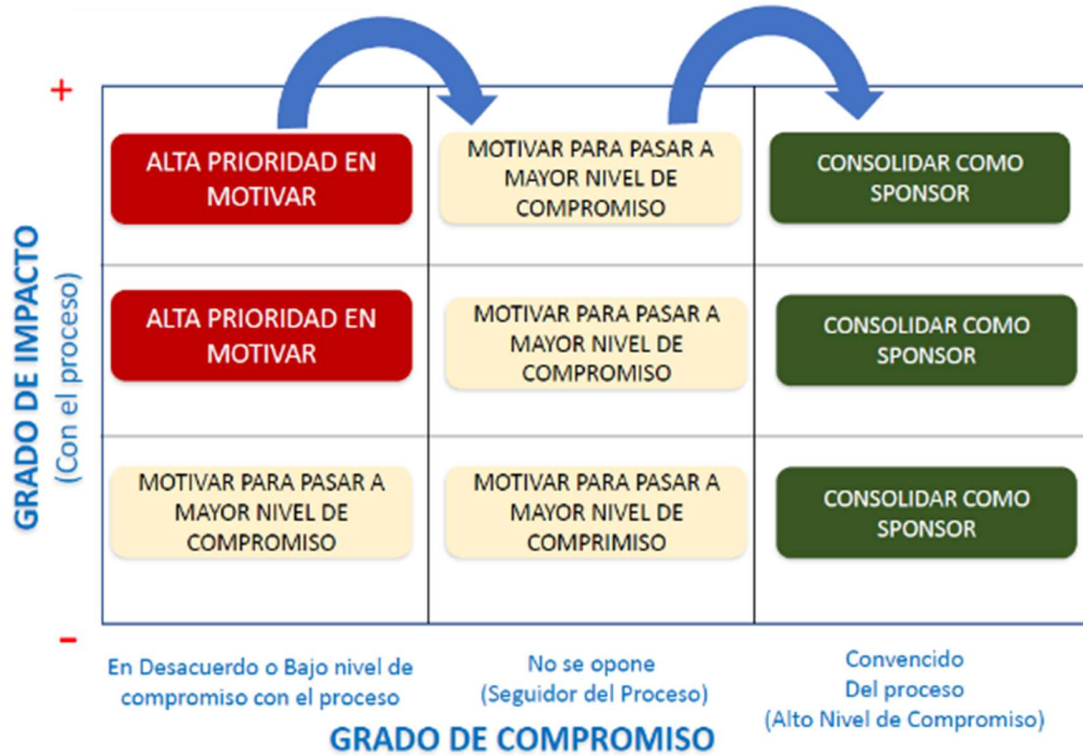


Figura 6: Metodología de gestión del cambio del análisis de los Stakeholders⁷



Figura 7: Herramienta de balanza de valor⁸

^{7, 8} Fuente: MBA UTFSM - Gestión del cambio para la adopción de un proceso de transformación digital - 15/12/18

A esta altura se ha presentado los alcances de esta tesina, los objetivos (principal y específicos) y también se explicó la metodología de trabajo que se utilizará para dar cumplimiento a dichos objetivos. A continuación, se procede a realizar una recopilación bibliográfica de los temas más relevantes abordados en la presente tesina.

CAPÍTULO 6

Estado del arte

La industria de la minería ha estado en la constante búsqueda de lograr mayores grados de eficiencia, forzada por varios factores, uno de ellos es la incesante variación del precio de los minerales. En la industria de la minería del hierro no es diferente, el precio del hierro se ha visto afectado (a la baja) por la sobre producción de acero. China, quién es el principal productor de acero del mundo con un 50% de la producción mundial, y por ende el principal importador de hierro debido a que utiliza este mineral (hierro) como insumo primario, es sindicado como el responsable de este exceso de oferta de acero, y esto conjugado con el aumento de la capacidad acerera mundial provoca la caída de la industria siderúrgica impactando fuertemente en el precio del hierro. Si bien en la actualidad el precio del hierro se encuentra estable, se espera para este año que el precio del hierro sufra una caída en torno al 10%⁹.

Otro de los factores que empuja a las empresas mineras a ser cada vez más eficientes es que la calidad y la accesibilidad de las reservas mineralógicas declina. Las compañías mineras en general escogen enfocarse inicialmente en los depósitos de mineral más accesibles y de mejor calidad (ley) y a medida que comienza la explotación, los tiempos de despeamiento y la cantidad de impurezas (menor calidad) aumentan, haciendo necesario el uso de técnicas más complejas (y costosas) de extracción y procesamiento del mineral¹⁰.

Las empresas de clase mundial se caracterizan por la alta eficiencia de sus procesos y una de las formas de medir esto (eficiencia) es con el indicador Overall Equipment Efficiency o Eficiencia General de los Equipos (OEE) que corresponde a una razón porcentual que sirve para medir la eficiencia productiva de una maquinaria (o proceso). La ventaja de este indicador es que mide, en un único indicador, los parámetros fundamentales de la producción industrial, la disponibilidad, la eficiencia y la calidad¹¹.

⁹ Cifras actualizadas de la minería. Consejo minero, octubre 2018

¹⁰ Productivity in the Mining Industry: Measurement and Interpretation. Vernon Topp, Leo Soames, Dean Parham, Harry Bloch. December 2008.

¹¹ Lean cursos, <http://www.lean cursos.online/lean-manufacturing/oeef/>. [Accesado el 17/12/18].

Las empresas de clase mundial (world class) se pueden clasificar por su OEE de la siguiente forma:

Un OEE menor al 65% se considera Inaceptable. En empresas que poseen este valor de OEE se producen importantes pérdidas económicas. Además, poseen una muy baja competitividad.

Una compañía con un OEE entre 65% - 75% se considera regular. Es aceptable para una firma sólo si se está en proceso de mejora. La empresa posee pérdidas económicas y una baja competitividad.

Una empresa con un OEE entre 75% y 85% se considera aceptable. Se recomienda continuar la mejora para superar el 85 % y avanzar hacia la “World Class”. Las firmas poseen ligeras pérdidas económicas y una competitividad ligeramente baja.

Una compañía con un valor de OEE entre 85% y 95% se considera buena, entra en Valores “World Class”. La empresa posee buena competitividad.

Y finalmente tener un OEE sobre 95% significa que es una firma de excelencia. Son valores “World Class”. Se traduce en una excelente competitividad.

Hay muchas empresas que ya comenzaron este viaje en búsqueda de la excelencia operacional utilizando como principal herramienta la Transformación Digital (TD), una de ellas es la empresa minera Vale, quién es el mayor productor de hierro del mundo¹². Vale indica que para lograr la TD se focalizó en cuatro pilares estructurales fundamentales: El internet industrial de las cosas (IIoT) y Analítica, la integración de los sistemas que conforman la cadena de valor, la robotización de los procesos y el equipamiento minero autónomo¹³. La implementación de tecnología en esta empresa significó un ahorro estimado entre 3 USD/ton a 5 USD/ton, estos ahorros se desglosan de la siguiente manera: reducción entre 1 USD/ton a 1,5 USD/ton por la implementación de proyecto S11D [5], 0,5 USD/ton de reducción gracias a la innovación y automatización de los procesos, reducción entre 0,5 USD/ton a 1,5 USD/ton por la implementación de programa de administración de costos, 0,5 USD/ton debido a la mejora del rendimiento operacional y finalmente una reducción entre 0,5 USD/ton a 1,0 USD/ton por la optimización de la cadena de valor.

¹² Wikipedia, [https://en.wikipedia.org/wiki/Vale_\(company\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Vale_(company)). [Accesado el 17/12/18].

¹³ Rockwell Automation, https://ops.marketing.rockwellautomation.com/_SessionMaterials/AutomationFair/AF_2018/Automation%20Fair%202018%20-%20F04%20-%20Mining%20Forum.pdf. [Accesado el 17/12/18]

En general, debido a la implementación de una TD en la industria de la minería y metales, se obtienen los siguientes beneficios¹⁴:

- Más de 425 mil millones de dólares de valor para la industria, clientes, sociedad y medio ambiente durante los próximos 10 años. Este es el equivalente de 3-4% de ingresos de la industria durante el mismo período.
- Más de 320 mil millones de dólares de valor de la industria en la próxima década, con un beneficio potencial de aproximadamente \$ 190 mil millones de dólares para el sector minero y 130 mil millones de dólares para el sector de los metales. El total para minería y metales es equivalente al 2,7% de los ingresos de la industria y el 9% de beneficio de la industria.
- Una reducción de 610 millones de toneladas de emisiones de CO₂, con un valor estimado para la sociedad y entorno de \$ 30 mil millones.
- Una mejora en seguridad, con alrededor de 1.000 vidas. Salvados y evitados 44.000 heridos. Esto equivale aproximadamente a una disminución del 10% en vidas perdidas y una 20% de disminución en lesiones en la industria.

A continuación, en tabla 1, se muestran más beneficios de algunas iniciativas tecnológicas para la industria de la minería y metales¹⁵.

	Potential Business Impact (\$ billion)	Potential Societal Impact (\$ billion)	Total Value at Stake (\$ billion)	Emissions Reduction (million tonnes CO ₂)	Net Impact on Jobs (000s)
Smart Sensors	34	8	42	161	(40)
Autonomous Operations & Robotics	56	19	75	396	(60)
3D Printing	--	3	3	35	--
Connected Worker	85	--	85	--	(201)
Remote Operations Centre	77	7	84	16	(12)
Asset Cybersecurity	21	--	21	--	--
Integrated Platforms	37	69	106	--	(5)
Advanced Analytics	11	--	11	--	(13)
Total	321	106	427	608	(330)

Tabla 1: Impacto de algunas tecnologías en la industria de la minería y metales.

¹⁴ World Economic Forum, <http://reports.weforum.org/digital-transformation/wp-content/blogs.dir/94/mp/files/pages/files/wef-dti-mining-and-metals-white-paper.pdf> [Accesado el 17/12/18],

¹⁵ World Economic Forum, <http://reports.weforum.org/digitaltransformation/wpcontent/blogs.dir/94/mp/files/pages/files/dti-executive-summary-20180510.pdf>. [Accesado el 17/12/18].

CAPÍTULO 7

Desarrollo.

Habiendo presentado el propósito de esta tesina, descrito la justificación, objetivos, alcances y el estado del arte de la misma, a continuación, se irán desarrollando cada uno de los objetivos específicos.

7.1. Línea Base

Para poder evaluar el impacto que tendrá la implementación de tecnologías en la organización se utilizará como base el flujo de caja neto inicial (ver figura 8). Posteriormente se presentarán estos mismos valores luego de la implementación de las tecnologías y compararemos su diferencia.

En el **anexo 1** se puede observar el detalle del flujo de caja neto. Además se incluye un pendrive donde se encuentran todos los cálculos y flujos de esta Tesina

Se considera que las mejoras tecnológicas desde la perspectiva OT tendrán un impacto en la producción (aumento de la producción) y en el consumo específico de la energía eléctrica (disminución de la cantidad de energía eléctrica necesaria para producir una tonelada de mineral [kwh/ton]). Estos a su vez repercuten en el margen neto (aumento), lo que se traduce en un mejor aprovechamiento de sus activos y por consiguiente aumento de su EBITDA.

Los supuestos de la evaluación son: Tasa de descuento del 9,4%, estimado a través del CAPM por la unidad de finanzas de CAP, una inversión en reposición estimada en 1.500 millones de USD y un horizonte de evaluación de 25 años.



Flujo de caja puro Anual kUSD	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026 ~ 2044
Años	0	1	2	3	4	5	6	25
Ingresos netos		1.134.275	1.134.275	1.134.275	1.134.275	1.134.275	1.134.275	21.551.216
		0						
Total Costos Fijos		519.474	519.474	519.474	519.474	519.474	519.474	9.870.006
Total Costos Variables		151.819	151.819	151.819	151.819	151.819	151.819	2.884.557
Costos Totales		671.293	671.293	671.293	671.293	671.293	671.293	12.754.563
		0						
Otro costo		175.473	175.473	175.473	175.473	175.473	175.473	3.333.987
		0						0
Resultados operacional antes de impuestos		287.509	287.509	287.509	287.509	287.509	287.509	5.462.665
Impuestos		86.775	86.775	86.775	86.775	86.775	86.775	1.648.720
Resultados operacional después de impuestos		200.734	200.734	200.734	200.734	200.734	200.734	3.813.946
		0						
Depreciación								
Total Inversiones	-1.500.000							
Mejora 1								
Mejora 2								
Mejora 3								
Mejora 4								
		0						
Flujo de caja neto	-1.500.000	200.734	200.734	200.734	200.734	200.734	200.734	3.813.946
Flujo de caja acumulado	-1.500.000	-1.299.266	-1.098.532	-897.798	-697.064	-496.330	-295.596	32.523.128
No hay capital de trabajo								
Evaluación kUSD								
TIR	12,71%							
TASA	VAN							
12,4%	31.718							
9,4%	409.493							
7,4%	757.338							

Figura 8: Flujo de caja inicial¹⁶

Como se aprecia en la figura 8, el FCN acumulado al cabo de 25 años asciende a 32 mil millones de dólares (los últimos 18 años resumidos en la última columna), lo que genera un VAN de 409 millones de dólares a una tasa de un 9,4% y una TIR del 12,71%. Para más detalles de este flujo de caja ver **anexo 1**. Además, se adjunta un pendrive con el Excel donde se aprecian todos los cálculos.

¹⁶ Fuente: Elaboración propia

7.2. Benchmarking

Para poder evaluar la situación actual de la compañía, se hará una comparación con pares de la misma industria (de gran tamaño y de tamaño similar).

Dentro de las empresas de tamaño similar a Cap, se encuentran las compañías mineras (de hierro): Ciff, Atlas Iron Limited, Shougang Hierro. A su vez, dentro de las grandes empresas mineras del mineral de hierro, y referentes, se encuentran: Fortescue Metals Group Ltd (FMG), Rio Tinto y Vale. A continuación, se muestra una breve descripción de cada una.

7.2.1 Cliff¹⁷

Es la minera independiente más antigua y grande de fierro de los estados unidos, y es anterior a la primera revolución industrial.

El 2017 celebró su año 170 como compañía. En el nuevo milenio gracias al ingenio y arduo trabajo de los empleados a lo largo de los años se ha convertido en el mayor productor del mineral de hierro de América del Norte, teniendo operaciones en Estados Unidos y Australia.

7.2.2 Atlas Iron Limited¹⁸

Atlas es una compañía australiana independiente de mineral de hierro, que extrae y exporta mineral de envío directo (DSO) desde sus operaciones en la región del norte de Pilbara en Australia Occidental.

A fines del año 2004 logra su inclusión en el ASX, convirtiéndose en una compañía de exploración y extracción del mineral de fierro de tamaño mediano. Atlas tiene un conjunto de valores que son parte integral de la cultura corporativa de la compañía, a través de lo que se alienta a todos los empleados a operar logrando resultados que benefician a todas las partes.

¹⁷ Fuentes: <http://www.clevelandcliffs.com/English/home/default.aspx> [Accesado el 14/04/09]

http://s1.q4cdn.com/345331386/files/doc_financials/annual/CLF_2017_AnnualReport.pdf [Accesado el 14/04/09]

¹⁸ Fuente: <http://www.atlasiron.com.au/site/content/> [Accesado el 14/04/09]

http://www.atlasiron.com.au/site/PDF/8534_1/2018AnnualReporttoShareholders [Accesado el 14/04/09]

7.2.3 Shougang Hierro¹⁹

Empresa ubicada en la costa sur del Perú, aproximadamente a 530 kilómetros de la ciudad de Lima. Es una minera que explota, procesa y comercializa el mineral de hierro en el distrito de Marcona Provincia de Nasca en la región del Inca, obteniendo concentrados de alta ley para la elaboración de sus productos.

El complejo minero metalúrgico de Shougang Hierro Perú S.A.A. comprende 3 áreas: Mina, San Nicolás y San Juan.

7.2.4 Fortescue Metals Group Ltd²⁰

Desde su fundación en 2003, Fortescue ha descubierto y desarrollado importantes depósitos de mineral de hierro y ha construido algunas de las minas más importantes del mundo.

La visión de Fortescue es ser la minera más segura, de menor costo y más rentable.

Con una producción constante de 170 millones de toneladas de mineral de hierro por año, Fortescue se ha convertido en uno de los mayores productores mundiales de mineral de hierro y ha sido reconocido como el proveedor marítimo de mineral de hierro con el costo más bajo en China, según el análisis de Economía del Sector de Recursos Metalúrgicos.

7.2.5 Rio Tinto²¹

Empresa minera ubicada en la región de Pilbara en Australia Occidental, con márgenes líderes en la industria, cuenta con la cartera más grande del mundo en activos de mineral de hierro. Posee una suite de productos premium, entre ellas una mezcla piloto de Pilbara. Impulsa las relaciones sólidas con los clientes y está respaldada por la experiencia en mercadeo técnico y comercial. En este mercado sigue siendo el operador de camiones

¹⁹ Fuentes: <http://www.shougang.com.pe/empresa.htm> [Accesado el 14/04/09]

http://www.smv.gob.pe/Bp_LisDatosGenerales.aspx?op=bq1 [Accesado el 14/04/09]

<http://www.smv.gob.pe/ConsultasP8/temp/Memoria%20SHP%202017.pdf> [Accesado el 14/04/09]

²⁰ Fuentes: <http://www.fmgil.com.au/about-fortescue/who-we-are> [Accesado el 14/04/09]

https://www.fmgil.com.au/docs/default-source/announcements/media-release---fy18-results.pdf?sfvrsn=36b1fb51_6

[Accesado el 14/04/09]

²¹ Fuentes: <https://www.riotinto.com/iron-ore-158.aspx> [Accesado el 14/04/09]

https://www.riotinto.com/documents/RT_2017_Annual_Report.pdf [Accesado el 14/04/09]

autónomos más grande del mundo y un líder orgulloso en tecnologías de minería automatizadas.

7.2.6 Vale²²

Vale es el mayor productor mundial de mineral de hierro y pellets, materias primas esenciales para la fabricación de acero. Mediante diversos procesos industriales que incorporan tecnología de punta, el mineral de hierro se procesa y luego se vende a las compañías de acero. El mineral de hierro producido por Vale se puede encontrar en casas, automóviles y electrodomésticos. Vale se encuentra invirtiendo en innovaciones tecnológicas y desarrollando iniciativas para prevenir y minimizar los impactos ambientales que causa la minería. Su objetivo es establecer el punto de referencia en la gestión sostenible y el uso de los recursos naturales.

7.2.7 Resumen del Benchmarking

	Producción (Mton/año)	EBITDA (MUSD)	ROIC (%)
CAP (2017)	16	484	14
Cliff (2017)	10	505	27
Atlas (2018)	13	19	15
Shougang (2017)	7	147	14
FMG (2018)	170	3.200	22
Río Tinto (2018)	328	11.520	19
Vale (2017)	344	49.004	17

Tabla 2: Benchmark de la industria minera del fierro.

Como se aprecia en Tabla 2, la principal empresa del mercado de la minería de hierro es la compañía Vale, la cual usaremos como referente tecnológico en esta tesina.

²² Fuentes: <http://www.vale.com/en/business/mining/iron-ore-pellets/pages/default.aspx> [Accesado el 14/04/09]

http://www.vale.com/EN/investors/information-market/financial-statements/FinancialStatementsDocs/2017%204Q%201TR%20BRL_i.pdf [Accesado el 14/04/09]

7.3. Propuesta preliminar de iniciativas

De acuerdo con lo visto en el capítulo 6, las empresas mineras que son referentes en Transformación Digital han direccionado sus iniciativas tecnológicas a tres pilares fundamentales: Analítica avanzada, Automatización de procesos y Digitalización de procesos. Siguiendo esta tendencia a continuación se realiza una propuesta preliminar en dos de los tres pilares, Analítica avanzada y Automatización de procesos debido a que tienen un mayor impacto en la reducción de costos de producción y mejoramiento de la eficiencia de los procesos.

7.3.1 Propuesta preliminar de iniciativas en el pilar de Analítica Avanzada.

A continuación, se listan las iniciativas preliminares en el pilar de Analítica Avanzada con una breve descripción de cada una de ellas:

7.3.1.1 Trabajador Conectado²³

Consiste en llevar información relevante de la operación, mantenimiento y otros a las personas en terreno, para hacer más eficiente su desempeño en campo.



Figura 9: Trabajador conectado

²³ Fuente: Rockwell Automation

7.3.1.2 Mantenimiento Prescriptivo²⁴

Consiste en la utilización de algoritmos de inteligencia artificial para indicar al personal de mantenimiento las acciones que debe realizar en función de los parámetros operacionales de una máquina para evitar que esta falle.



Figura 10: Mantenimiento prescriptivo

7.3.1.3 Plataformas integradas²⁵

Consiste en realizar una integración de todas las plataformas informáticas (sistemas de control, SCADA, u otro) que conforman la cadena de valor, de tal forma de eliminar los silos de información y tener un solo lugar en donde se almacenen los datos, facilitando el análisis y la toma de decisiones.

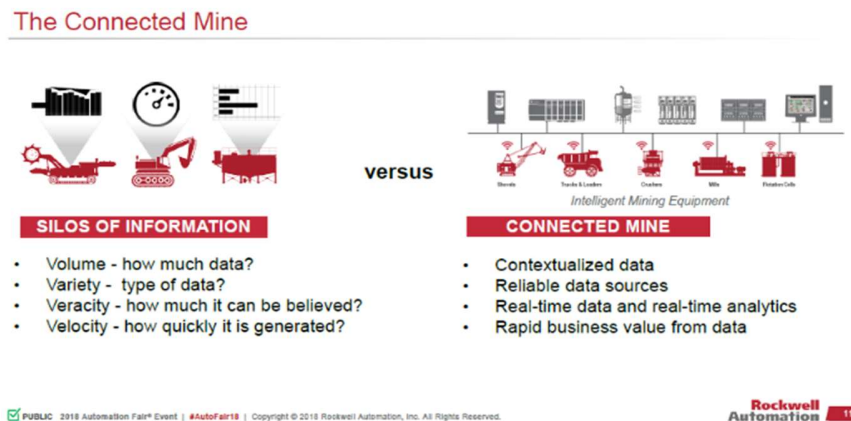


Figura 11: Plataformas integradas

²⁴ Fuente: Rockwell Automation

²⁵ Fuente: Rockwell Automation

7.3.1.4 Centro de operación remota²⁶

Consiste en operar remota y centralizadamente los diferentes sitios mineros de la empresa. Se centraliza la información de toda la cadena de valor Mina, Planta y Puerto, mejorando la planificación de la producción.

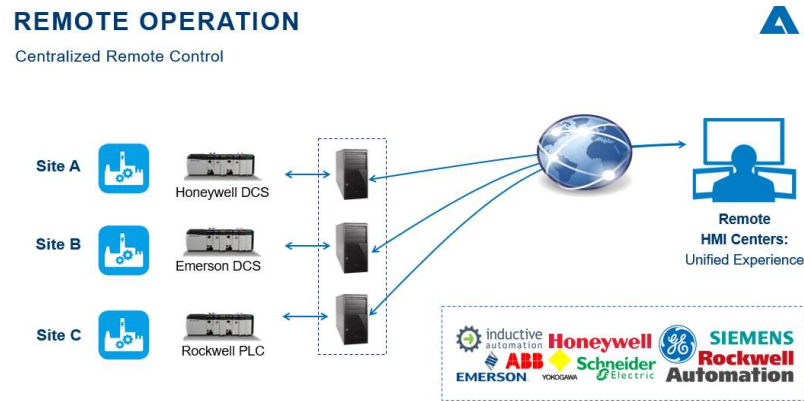


Figura 12: Centro de operación remota

7.3.1.5 Analítica avanzada de procesos²⁷

Consiste en la implementación de poderosos algoritmos de análisis de datos que entregan como resultado la indicación de acciones que se deben llevar a cabo en función de sus datos de entrada. Esto se puede aplicar a nivel de compañía (negocio) o a nivel de proceso.

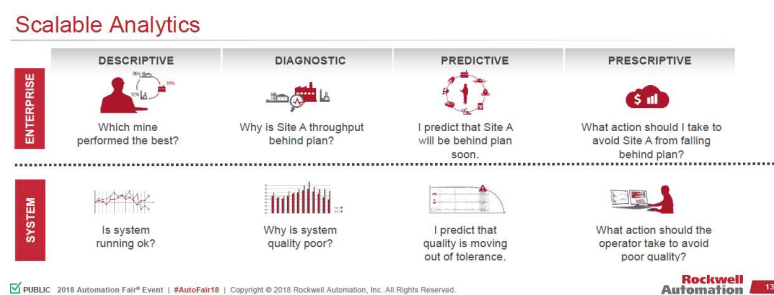


Figura 13: Analítica avanzada de procesos

²⁶ Fuente: Andritz

²⁷ Fuente: Rockwell Automation.

7.3.2 Propuesta preliminar de iniciativas en el pilar de Automatización de Procesos.

A continuación, se listan las iniciativas preliminares en el pilar de Automatización de Procesos con una breve descripción de cada una de ellas:

7.3.2.1 Operación minera con equipamiento autónomo²⁸

Consiste en modernizar el equipamiento minero (camiones, palas, cargadores frontales, perforadoras), de tal forma que estos sean operados sin la necesidad de la intervención humana.

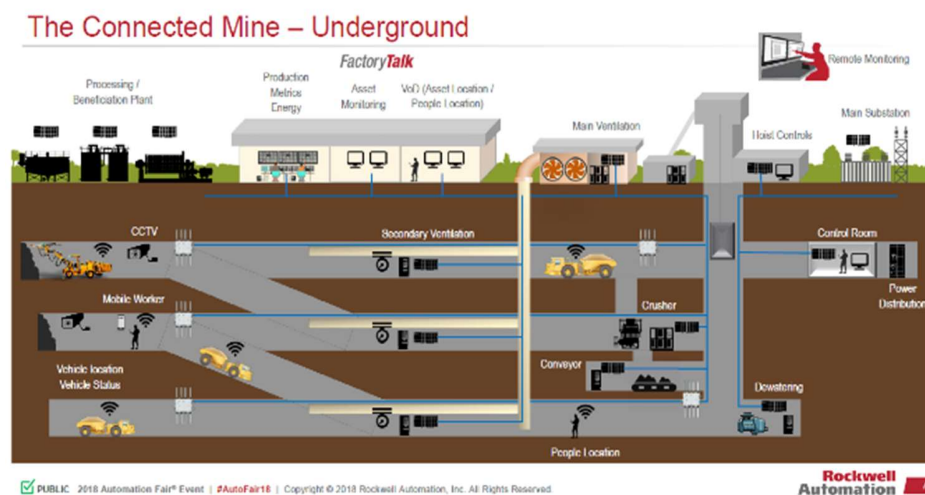


Figura 14: Operación minera con equipamiento autónomo

7.3.2.2 Implementación de control avanzado de procesos²⁹

Consiste en la implementación de algoritmos de control avanzado de procesos, tales como modelo de control predictivo (o MPC por sus siglas en inglés), redes neuronales, lógica difusa, entre otros, para el control operacional de los procesos.

²⁸ Fuente: Rockwell Automation

²⁹ Fuente: Metso

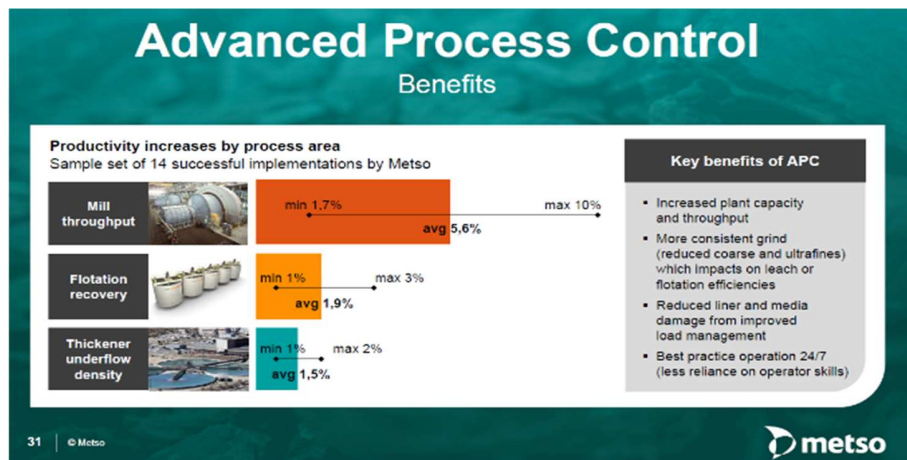


Figura 15: Control avanzado de procesos

7.3.2.3 Simulación de procesos³⁰

Consiste en modelos matemáticos que simulan el comportamiento dinámico de los procesos. Con esto se pueden realizar estudios y análisis de los procesos sin la necesidad de intervenirlos en terreno. Se puede también realizar un entrenamiento de los operadores de tal forma de estandarizar la forma de operar los equipos.

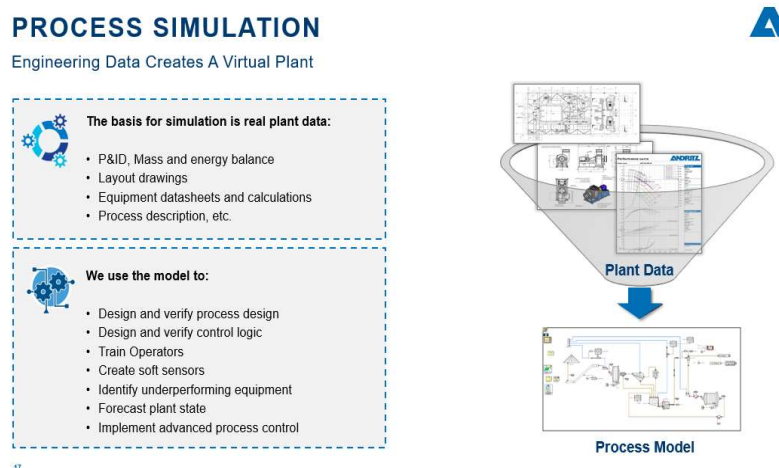


Figura 16: Simulación de procesos

³⁰ Fuente: Andritz

7.3.2.4 Robotización de procesos³¹

Consiste en la implementación de robots en procesos que son repetitivos y en procesos en dónde las personas se ven sometidas a condiciones adversas y riesgosas.



Figura 17: Robotización de procesos

³¹ Fuente: MIRS

7.4. Oportunidades de mejora en los procesos productivos de la organización.

A continuación, se muestra un diagrama esquemático resumido de las operaciones de CAP Minería, dentro de la tercera y cuarta región, repartidas en los valles de Copiapó, Huasco y Elqui.

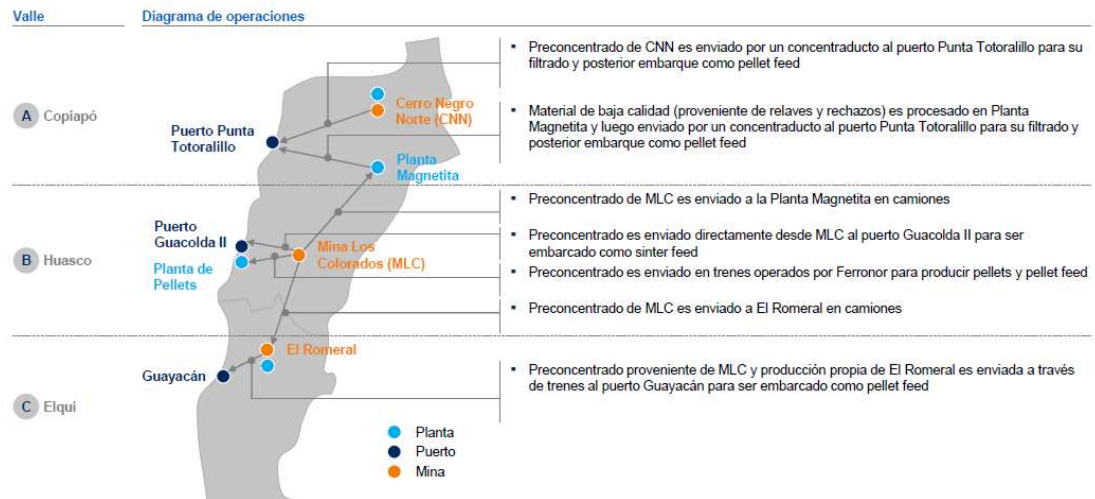


Figura 18: Operaciones de CAP Minería³².

Detalle de las operaciones mineras:

7.4.1 Mina y planta El Romeral³³

Yacimiento ubicado en el valle de Elqui, a 20 kilómetros al norte de la ciudad de La Serena. La producción anual de El Romeral es de 1.579 (kTon) y representa el 10% de la producción total de la compañía.

El Romeral se compone de dos áreas: Mina y Planta.

En la mina se encuentran los procesos de: Perforación y tronadura, carguío y transporte, principalmente.

La planta a su vez está compuesta por los procesos de: Chancado, concentrado y molienda.

³² Fuente: Área de TD de CAP Minería

³³ Fuente: CAP Minería

Más detalle de estos procesos se muestran en las figuras 19 y 20.

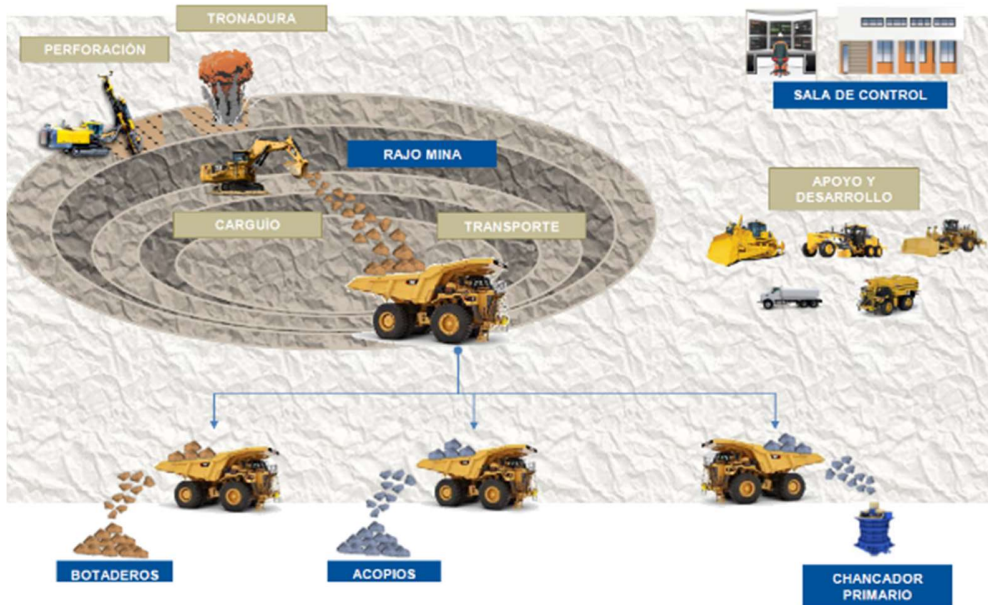


Figura 19: Diagrama de proceso Mina El Romeral³⁴

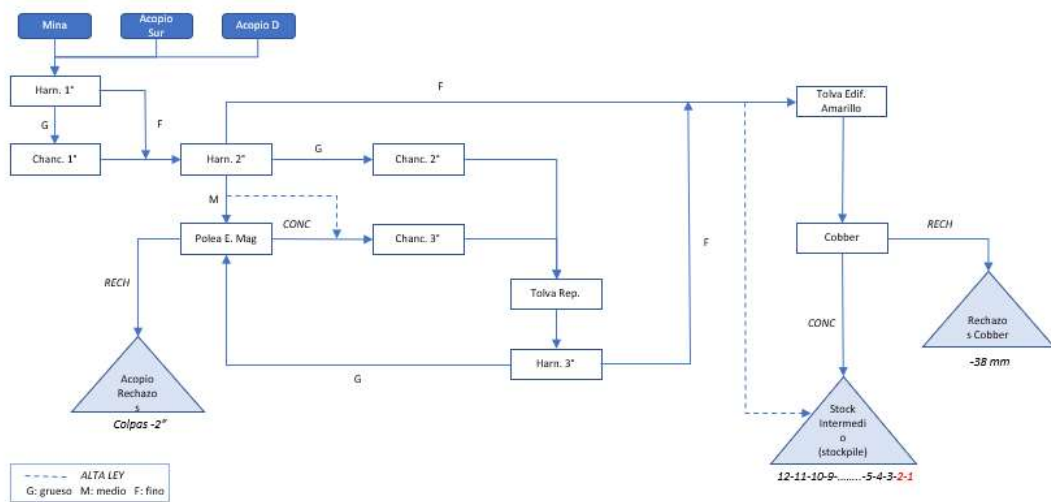


Figura 20: Diagrama de proceso área de Chancado Planta El Romeral³⁵

^{34, 35} Fuente: CAP Minería

7.4.2 Mina y planta Los Colorados³⁸

Yacimiento ubicado en el valle de Huasco, a 30 kilómetros al noreste de la ciudad de Vallenar. La producción anual de Los Colorados es de 1.650 (kTon) y representa el 10% de la producción total de la compañía.

Los Colorados se compone de dos áreas: Mina y Planta.

En la mina se encuentran los procesos de: Perforación y tronadura, carguío y transporte, principalmente.

La planta a su vez está compuesta por los procesos de: Chancado, pre-concentrado. Más detalle de estos procesos se muestran en las figuras 23 y figura 24.

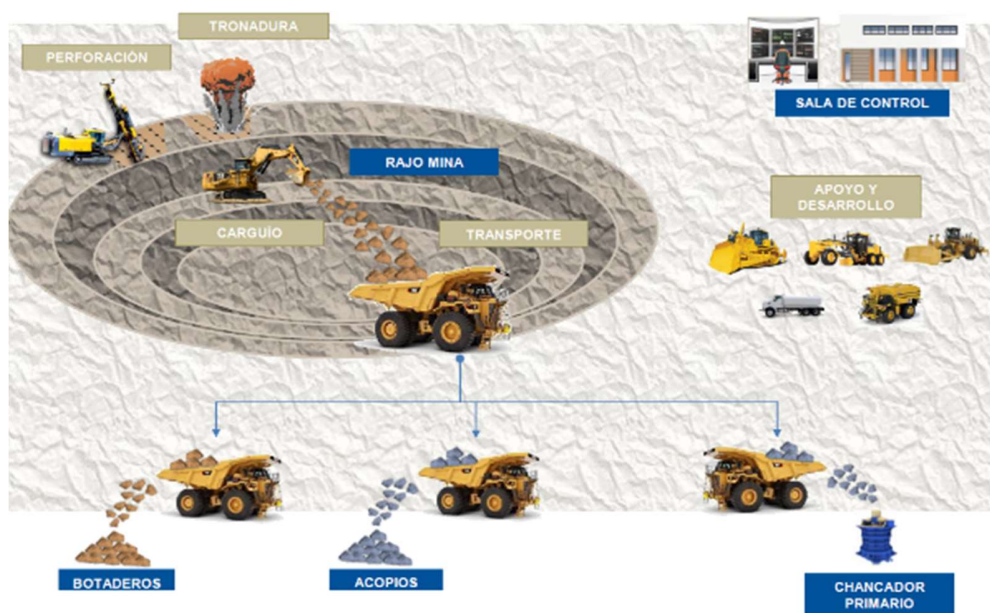


Figura 23: Diagrama de proceso Mina Los Colorados³⁹

^{38, 39} Fuente: CAP Minería

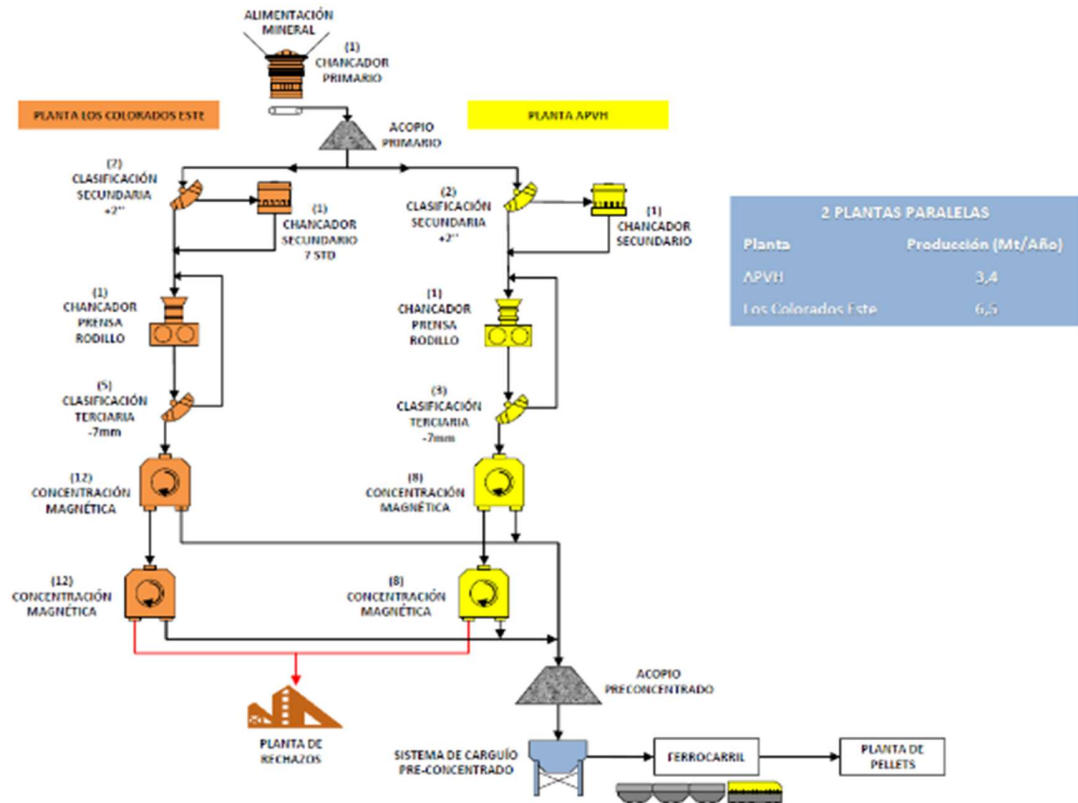


Figura 24: Diagrama de proceso Planta Los Colorados⁴⁰

7.4.3 Planta de Pellets⁴¹

Planta ubicada en el valle de Huasco, a 5 kilómetros al sudoeste de la ciudad de Huasco. La producción anual de Planta de Pellets es de 6.455 (kTon) y representa el 40% de la producción total de la compañía.

Planta de Pellets no posee yacimiento minero y la planta se alimenta con mineral proveniente de Los Colorados.

La planta se compone de los procesos de: Molienda y concentración, balling y endurecimiento térmico, y embarque. Más detalle de estos procesos se muestra en la figura 25.

^{40, 41} Fuente: CAP Minería

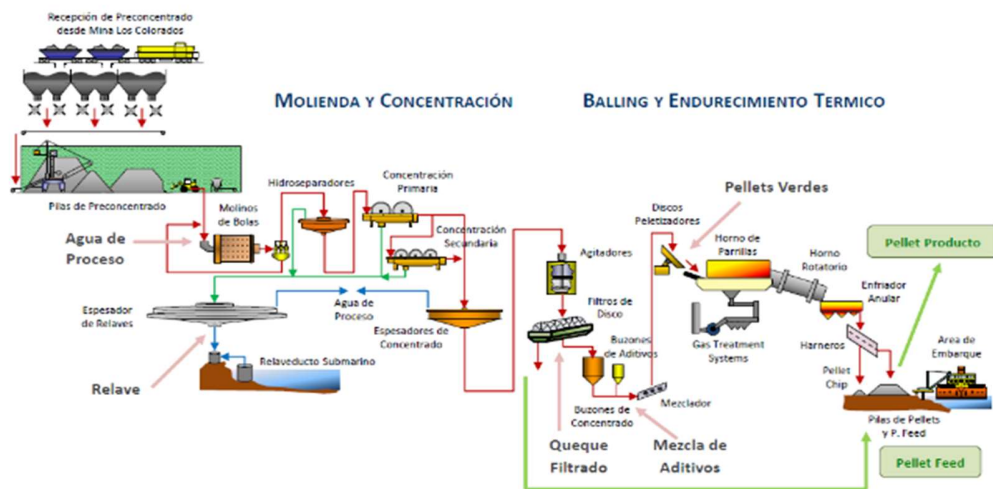


Figura 25: Diagrama de proceso Planta de Pellets⁴²

7.4.4 Planta Magnetita⁴³

Planta ubicada en la comuna de Tierra Amarilla de la ciudad de Copiapó. La producción anual de Planta Magnetita es de 2.215 (kTon) y representa el 14% de la producción total de la compañía.

Planta Magnetita no posee yacimiento minero y la planta se alimenta con los relaves producidos por minera de cobre Candelaria.

La planta se compone de los procesos de: concentración magnética, molienda y clasificación y transporte. Más detalle de estos procesos se muestra en la figura 26.

^{42, 43} Fuente: CAP Minería

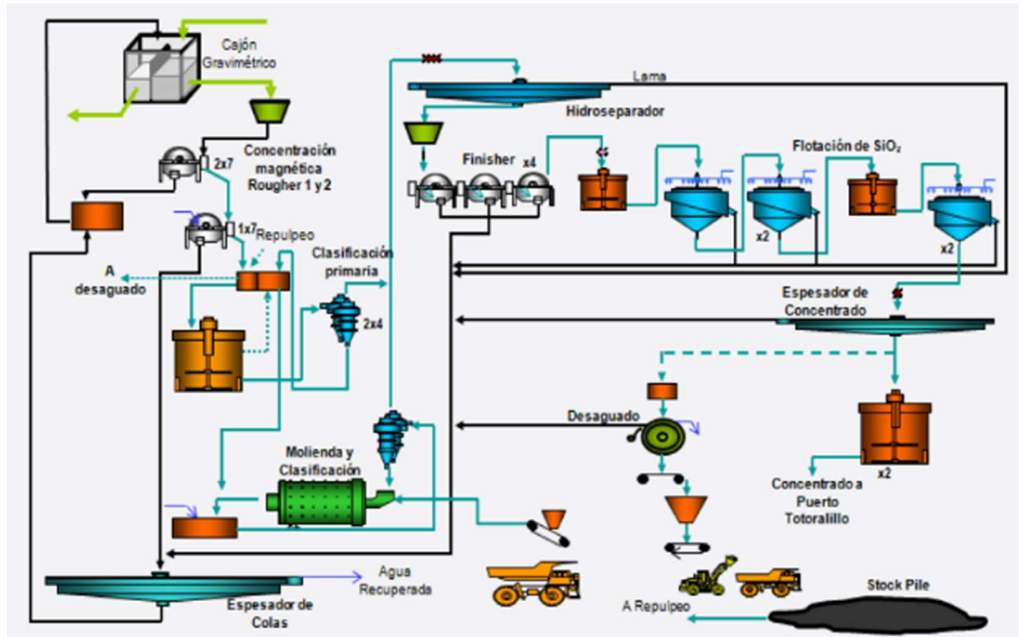


Figura 26: Diagrama de proceso Planta Magnetita⁴⁴

7.4.5 Mina y planta Cerro Negro Norte (CNN)⁴⁵

Yacimiento ubicado en el valle de Copiapó, a 37 kilómetros al norte de la ciudad de Copiapó. La producción anual de CNN es de 4.190 (kTon) y representa el 26% de la producción total de la compañía.

CNN se compone de dos áreas: Mina y Planta.

En la mina se encuentran los procesos de: Perforación y tronadura, carguío y transporte, principalmente.

La planta a su vez está compuesta por los procesos de: Chancado, concentración y molienda y transporte. Más detalle de estos procesos se muestran en las figuras 27, 28 y 29.

^{44, 45} Fuente: CAP Minería

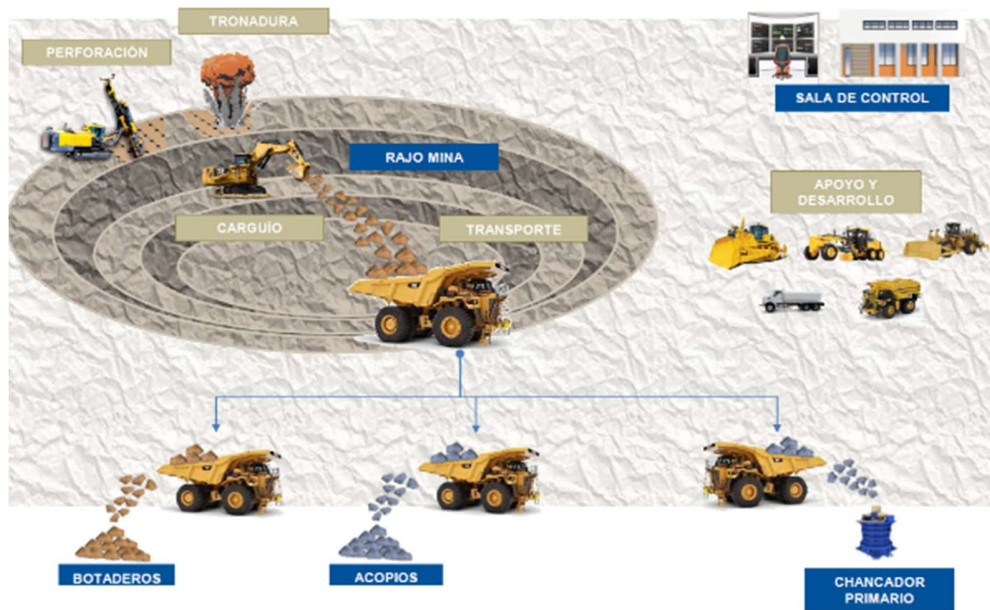


Figura 27: Diagrama de proceso Mina Cerro Negro Norte⁴⁶

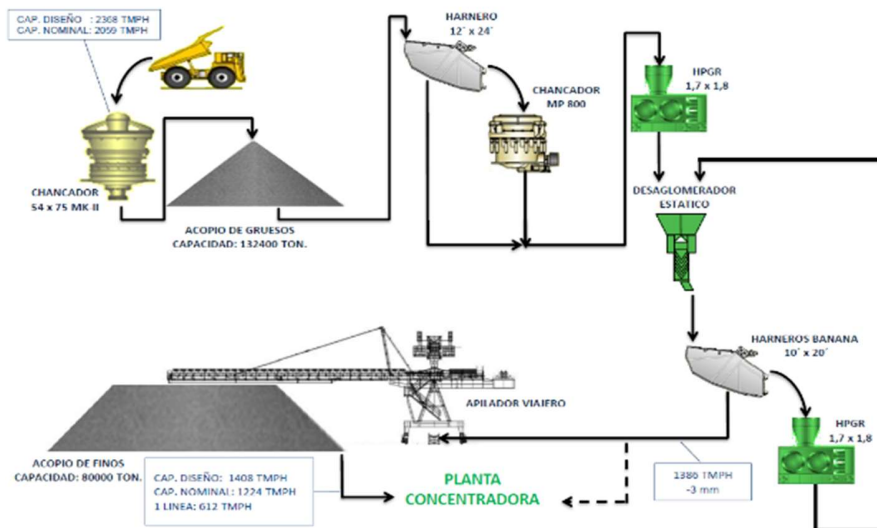


Figura 28: Diagrama de proceso área Chancado Planta Cerro Negro Norte⁴⁷

^{46,47} Fuente: CAP Minería

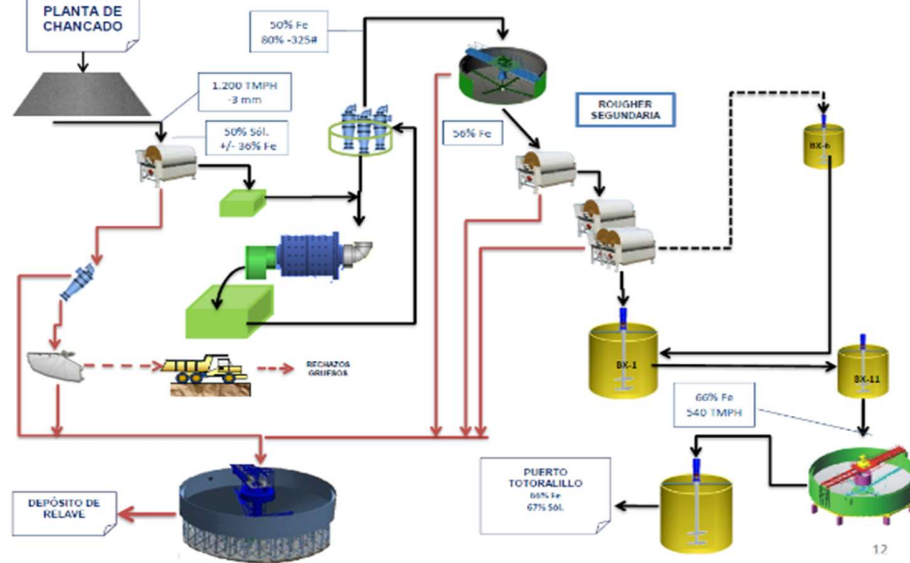


Figura 29: Diagrama de proceso área Concentración y Molienda Planta Cerro Negro Norte⁴⁸

⁴⁸ Fuente: CAP Minería

7.4.6 Elección de los procesos a ser mejorados con tecnologías.

Habiendo detallado los procesos de la organización, a continuación, se procede a utilizar las herramientas de la Matriz de impacto de los procesos y la Matriz de desempeño de estos. Para ello el primer paso es tener claridad de los objetivos estratégicos de la compañía.

Los Objetivos Estratégicos de CAP Minería son⁴⁹:

- 1) *Consolidarse como un productor competitivo de pellets y concentrado magnético de alta ley en el largo plazo.*

Los focos para alcanzar este objetivo son:

- *Reducción de costos*
- *Incremento de productividad*
- *Calidad de los productos*
- *Optimización de procesos*
- *Transformación digital*

- 2) *Desarrollar nuevos negocios, definir alternativas de diversificación minera, en el uso de activos estratégicos y fomentar el desarrollo de una cultura de innovación.*

Los focos para alcanzar este objetivo son:

- *Nuevos minerales al modelo de negocio*
- *Alianzas comerciales en Fe*
- *Cultura de innovación*
- *Negocios mediante uso de activos estratégicos*

- 3) *Fortalecer la estrategia de sustentabilidad y competencias de la organización.*

Los focos para alcanzar este objetivo son:

- *Estructura, organizaciones y competencias*
- *Plan de cumplimiento y responsabilidad ambiental*
- *Cultura de cero daños*

⁴⁹ Fuente: CAP Minería

- *Comunidades y vínculo social*
- *Equipos, liderazgo y futuro*

Teniendo definidos los objetivos estratégicos de la organización, se realiza el análisis de los procesos y se determina el nivel de impacto en dichos objetivos. Para llevar a cabo esto, se realiza la matriz de impacto de los procesos. El detalle de este análisis se encuentra en el anexo 2. Posteriormente, se realiza la matriz de desempeño de los procesos en donde los indicadores escogidos para analizar los procesos son de productividad y sustentabilidad del negocio. El detalle de este análisis se encuentra en el anexo 2.

Finalmente, teniendo desarrolladas ambas matrices (matriz de impacto y de desempeño de los procesos) se procede a construir la matriz de priorización de los procesos, mostradas a continuación en figura 30 y figura 31.

En el **anexo 2** se encuentra el detalle de este análisis.

Priorización de Procesos



Figura 30: Matriz de priorización de los procesos A.⁵⁰

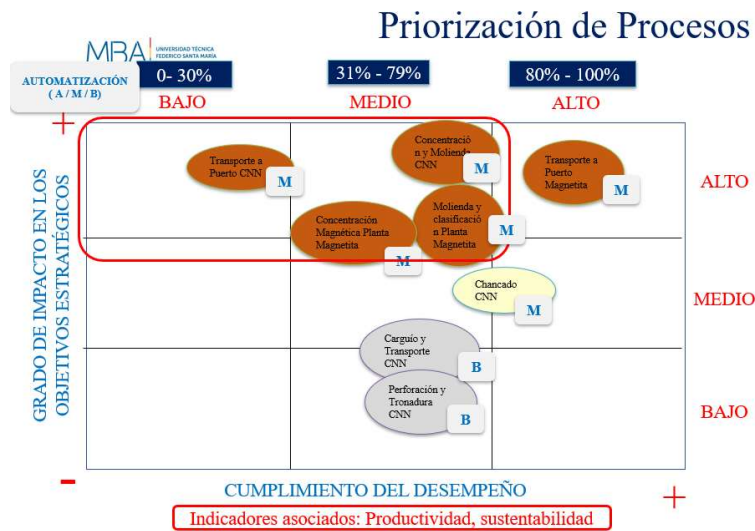


Figura 31: Matriz de priorización de los procesos B.⁵¹

^{50, 51} Fuente: MBA UTFSM- Taller lean y excelencia operacional- 17/06/18

De las matrices de priorización de los procesos (A y B), resultan los procesos en los cuales se enfocarán las mejoras tecnológicas.

A continuación, en tabla 3 se describe brevemente los problemas de estos procesos y el objetivo estratégico que se ve afectado.

PROCESO	OBJETIVO ESTRATÉGICO ASOCIADO	PROBLEMA ASOCIADO
Balling y Endurecimiento térmico Planta de Pellets	Consolidarse como un productor competitivo de pellets y concentrado magnético de alta ley	Equipamiento antiguo, baja disponibilidad física, lo que repercute en una menor producción
Molienda y Concentración Planta de Pellets	Consolidarse como un productor competitivo de pellets y concentrado magnético de alta ley	Equipamiento antiguo, baja disponibilidad física, lo que repercute en una menor producción.
	Fortalecer la estrategia de sustentabilidad y competencias de la organización	Problema medioambiental relaves enviados por emisario submarino al mar.
		Control de procesos antiguo
Transporte hacia Planta de Pellets	Consolidarse como un productor competitivo de pellets y concentrado magnético de alta ley	Transporte por locomotoras, proceso manual y en la línea crítica de proceso.
Embarque Planta de Pellets	Consolidarse como un productor competitivo de pellets y concentrado magnético de alta ley	Equipamiento antiguo, baja disponibilidad física, lo que repercute en una menor producción
Concentración y Molienda CNN	Consolidarse como un productor competitivo de pellets y concentrado magnético de alta ley	Problema de calidad. Mina de baja ley y no se logra obtener buena calidad. Ajuste de calidad manual.
		Control de procesos antiguo
Molienda y clasificación Planta Magnetita	Consolidarse como un productor competitivo de pellets y concentrado magnético de alta ley	Control de proceso antiguo, no opera en su punto óptimo. Ajuste de calidad manual.
Concentración Magnética Planta Magnetita	Consolidarse como un productor competitivo de pellets y concentrado magnético de alta ley	Proceso muy variable, se requiere estabilizar y mejorar calidades
Transporte a Puerto CNN	Consolidarse como un productor competitivo de pellets y concentrado magnético de alta ley	Limitado en capacidad por desgaste prematuro de tubería.
	Fortalecer la estrategia de sustentabilidad y competencias de la organización	Problema medioambiental por derrames.

Tabla 3: Procesos candidatos a ser mejorados⁵²

⁵² Fuente: Elaboración propia

7.5. Preselección de iniciativas:

Teniendo claridad de las tendencias tecnológicas de los líderes de la industria (vistas en 7.3) y los procesos a los cuáles debemos apuntar nuestras jugadas digitales en CAP Minería, se realiza una preselección de proyectos a implementar en la organización:

Pilar de Automatización de procesos

- Control avanzado de proceso para el área de Concentración y Molienda de todas las plantas.
- Control avanzado de proceso para el área Balling y Endurecimiento térmico de Planta de Pellets.
- Robotización de proceso de descarga de trenes en Planta de Pellets.
- Simulación del proceso de concentración y molienda de todas las plantas.

Pilar de Analítica Avanzada

- Integración de todos los sistemas que conforman la cadena de valor.
- Analítica avanzada para la toma de decisiones operacionales
- Mantenimiento prescriptivo en Planta de Pellets.
- Mantenimiento predictivo en transporte de concentrado de CNN.

7.6. Evaluación económica de los proyectos

Continuando con los objetivos específicos, para llevar a cabo la evaluación económica de los proyectos se utiliza el modelo de flujo de caja neto.

El impacto de cada iniciativa se evalúa en tres ámbitos: aumento de producción, disminución del consumo de energía eléctrica y disminución del gasto de mantenimiento.

En el **anexo 1**, se presenta el desarrollo del flujo de caja neto para todas las iniciativas.

El resultado de la evaluación económica se muestra en tabla 4, en dónde se ordenaron los proyectos desde el que más aporta a la TIR hasta el que menos aporta a esta variable.

Proyectos	Δ TIR [%]	TIR acumulada [%]	Δ VAN [kUSD]	VAN acumulada [kUSD]	Inversión [kUSD]	Inversión acumulada [kUSD]
Sin proyectos	0	12,71	0	409.493	1.500.000	1.500.000
Análítica avanzada para la toma de decisiones operacionales	0,55	13,26	73.408	482.901	1.000	1.501.000
Control avanzado de proceso para el área de Concentración y Molienda de todas las plantas.	0,54	13,80	74.659	557.560	1.600	1.502.600
Simulación del proceso de concentración y molienda de todas las plantas.	0,44	14,24	64.042	621.602	4.000	1.506.600
Robotización de proceso de descarga de trenes en Planta de Pellets.	0,37	14,61	52.933	674.535	1.500	1.508.100
Mantenimiento prescriptivo en Planta de Pellets.	0,26	14,87	34.852	709.387	1.000	1.509.100
Mantenimiento predictivo en transporte de concentrado de CNN.	0,17	15,04	22.248	731.635	300	1.509.400
Integración de todos los sistemas que conforman la cadena de valor.	0,07	15,11	9.188	740.823	800	1.5010.200
Control avanzado de proceso para el área Balling y Endurecimiento térmico de Planta de Pellets	0,01	15,12	1.023	741.846	250	1.5010.450

Tabla 4: Evaluación de proyectos tecnológicos⁵³

En el gráfico 1, se muestra el aporte del TIR de cada proyecto, además de la TIR acumulado y la inversión de cada proyecto acumulada.

⁵³ Fuente: Elaboración propia

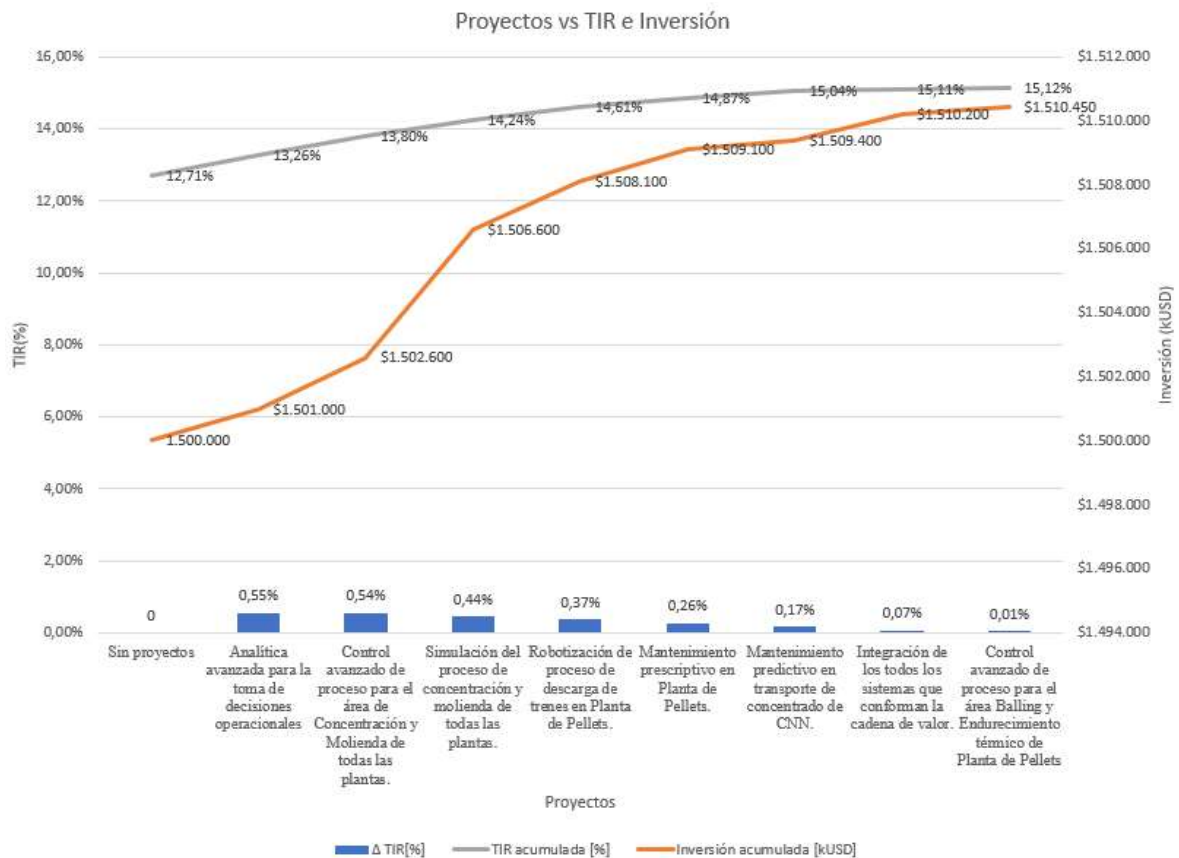


Figura 32: Evaluación de proyectos tecnológicos⁵⁴

Se observa del gráfico 1 que con la realización de los dos primeros proyectos se logra capturar más del 50% del beneficio total, con un aumento de la TIR de un +1.32% (TIR = 13,80%) y a un nivel de inversión de 2.600 kUSD, correspondiente a cuatro veces menos la inversión total de los ocho proyectos (10.450 kUSD).

Si consideramos el nivel de inversión y el aporte en la TIR del tercer y del cuarto proyecto en el ranking, quizás sea conveniente realizar antes el cuarto proyecto (TIR = 0,37%; Inversión = 1.500 kUSD) que el tercer proyecto (TIR = 0,44%; Inversión 4.000 kUSD), la elección dependerá del nivel de inversión que pretende hacer la compañía, la facilidad de la implementación, entre otros factores.

⁵⁴ Fuente: Elaboración propia

A continuación, en la figura 33 se muestra el flujo de caja neto final, posterior a la evaluación de los ocho proyectos tecnológicos.



Flujo de caja puro Anual kUSD	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026 ~ 2044
Años	0	1	2	3	4	5	6	25
Ingresos netos		1.134.275	1.183.729	1.183.729	1.183.729	1.183.729	1.183.729	22.490.848
Total Costos Fijos		515.086	515.086	515.086	515.086	515.086	515.086	9.786.640
Total Costos Variables		149.294	149.294	149.294	149.294	149.294	149.294	2.836.577
Costos Totales		664.380	664.380	664.380	664.380	664.380	664.380	12.623.217
Otro costo		175.473	175.473	175.473	175.473	175.473	175.473	3.333.987
Resultados operacional antes de impuestos		294.422	343.876	343.876	343.876	343.876	343.876	6.533.645
Impuestos		88.861	103.787	103.787	103.787	103.787	103.787	1.971.959
Resultados operacional después de impuestos		205.561	240.089	240.089	240.089	240.089	240.089	4.561.686
Depreciación								
Total Inversiones	-1.500.000							
Integración de sistemas (PI System)	-800							
Análítica avanzada para la toma de decisión	-1.000							
Mantenimiento prescriptivo Planta de Pellet:	-1.000							
Mantenimiento predictivo transporte CNN	-300							
Control avanzado de proceso concentración	-1.600							
Control avanzado en Balling y Endurecimier	-250							
Robotización descarga de trenes en Planta c	-1.500							
Simulación de proceso de concentración y t	-4.000							
Flujo de caja neto	-1.510.450	205.561	240.089	240.089	240.089	240.089	240.089	4.561.686
Flujo de caja acumulado	-1.510.450	-1.304.889	-1.064.801	-824.712	-584.623	-344.534	-104.446	43.632.393
No hay capital de trabajo								
Evaluación kUSD								
Inversion Inicial + capital de trabajo		2.055.605						
TIR		15,12%						
TASA	VAN							
12,4%		290.849						
9,4%		741.846						
7,4%		1.157.299						

Figura 33: Flujo de caja posterior a la implementación de los proyectos de mejora (miles de USD)⁵⁵

Como se aprecia en la figura 33, el FCN acumulado al cabo de 25 años asciende a 43 mil millones de dólares, lo que genera un VAN de 741 millones de dólares a una tasa de un 9,4% y una TIR del 15,12%. Para más detalles de este flujo de caja ver **anexo 1**.

⁵⁵ Fuente: Elaboración propia

7.7. Selección del proyecto de implementación

La selección del proyecto de implementación se determina escogiendo dentro de los dos primeros proyectos de tabla 4, el que posea una mayor facilidad de implementación desde el punto de vista técnico. A su vez, para evaluar la facilidad de implementación se realiza una pequeña encuesta a expertos de la empresa. Como resultado se obtiene que el primer proyecto que se debe llevar a cabo es el de control avanzado de procesos para el área de Concentración y Molienda de todas las plantas de CAP Minería.

7.8. Planificación de la implementación

Para la planificación de la implementación de los proyectos tecnológicos se utilizará la metodología de gestión del cambio del análisis de los Stakeholders, más la herramienta de la balanza de valor.

En el **anexo 3** se muestra el desarrollo de esta metodología. A continuación, en la figura 34 y tabla 5 se muestran los resultados obtenidos.

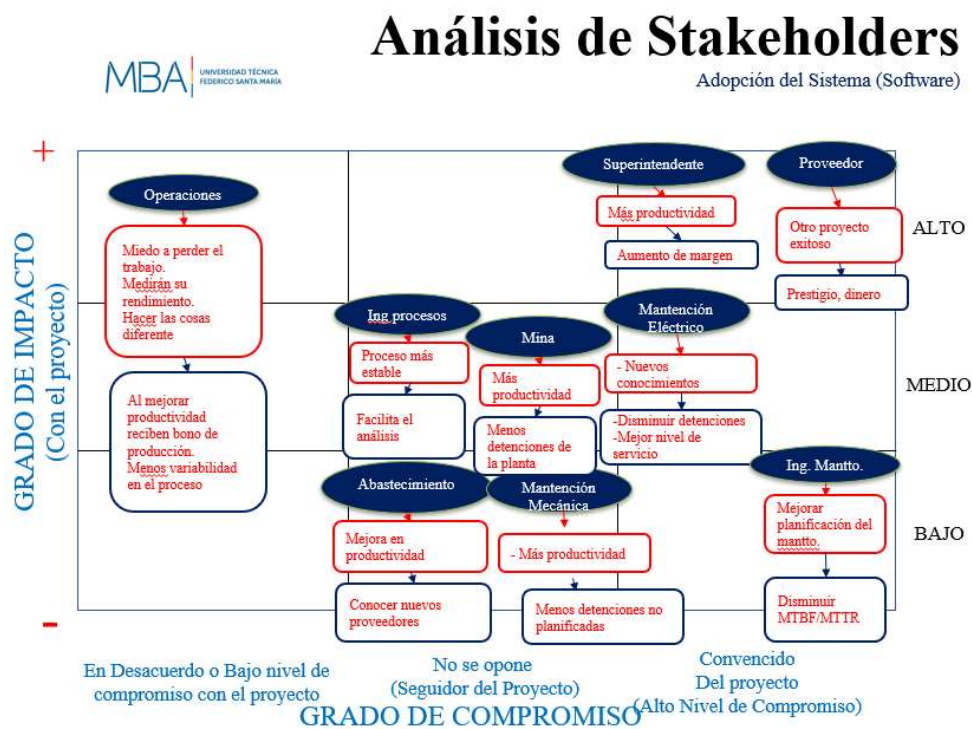


Figura 34: Matriz de análisis de los Stakeholders⁵⁶

⁵⁶ Fuente: Elaboración propia

PERSONAS O GRUPOS	RESISTENCIA/MOTIVACIÓN	POSIBLES BENEFICIOS
Operaciones (planta)	Miedo a perder el trabajo. Medirán su rendimiento. Hacer las cosas diferente	Al mejorar productividad reciben bono de producción. Menos variabilidad en el proceso
Ingeniería de procesos	Proceso más estable	Facilita el análisis del proceso
Abastecimiento	Mejora en productividad	Conocer nuevos proveedores de tecnología
Mina	Más productividad	Menos detenciones de la planta implican menos perturbaciones en la mina.
Mantenimiento mecánico	Más productividad	Menos detenciones no planificadas
Mantenimiento eléctrico	Nuevos conocimientos	Disminuir detenciones. mejor nivel de servicio
Superintendente	Más productividad	Aumento de margen
Ingeniería de Mantenimiento	Mejorar planificación del mantenimiento	Disminuir Indicadores como disponibilidad, MTBF/MTTR
Proveedor	Otro proyecto exitoso	Prestigio, dinero

Tabla 5: Resultado del análisis de los Stakeholders⁵⁷

Del análisis anterior, se desprende que al grupo de los Stakeholders de Operaciones (planta) es en dónde debemos enfocar nuestra estrategia de gestión del cambio, debido a que presentan un alto grado de impacto y un bajo grado de compromiso con esta iniciativa.

A continuación, en la figura 35 se muestra el resultado de la herramienta Balanza de Valor para el grupo de Operaciones, en dónde se analizan ambas miradas de este proyecto, es decir, cuál es la propuesta de valor desde la mirada de “nosotros” (los dueños de esta iniciativa) y de “ellos” (Operaciones).

El objetivo de esta herramienta es tratar de “equilibrar” ambas propuestas de valor, si hay algún tipo de “desequilibrio”, nos da la señal que algo no irá bien en la planificación de este proyecto. En este caso la balanza se encuentra equilibrada.

⁵⁷ Fuente: Elaboración propia

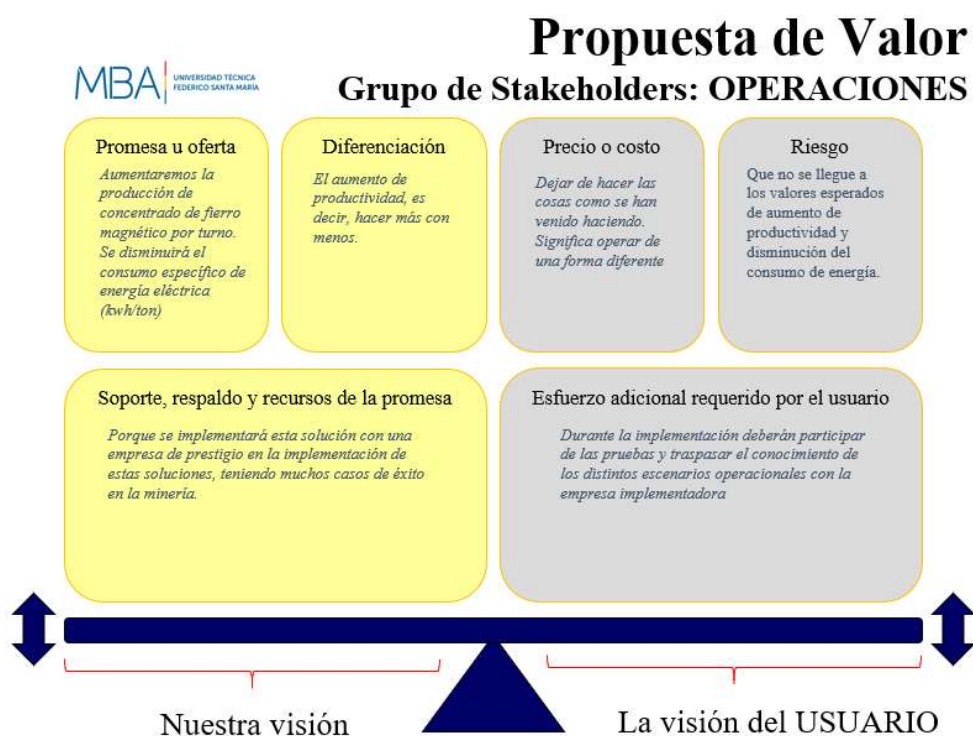


Figura 35: Propuesta de valor⁵⁸

Con el fin de llevar al Stakeholder de Operaciones desde el cuadrante de “bajo nivel de compromiso” (ver figura 34), al cuadrante de alto nivel de compromiso, se sugiere desarrollar dos actividades relacionadas con la comunicación del proyecto y la capacitación y transferencia del conocimiento. Estas se describen a continuación:

⁵⁸ Fuente: Elaboración propia

Comunicación		
Stakeholder	Propuesta de valor a transmitir	Actividad
Operadores de sala de control y jefes de área	Realizar una reunión demostrativa del sistema enfatizando los beneficios para ellos y la simplicidad en su uso	Sesión presencial

Tabla 6: Actividad de comunicación Stakeholder Operaciones⁵⁹

Capacitación y transferencia del conocimiento		
Stakeholder	Propuesta de valor a transmitir	Actividad
Operadores de sala de control	Posibilidad de utilizar una versión demo del software para que futuros usuarios experimenten la propuesta de valor de esta nueva plataforma.	Creación de plataforma E-learning para el uso del software (demo)

Tabla 7: Actividad de capacitación y transferencia de conocimiento Stakeholder Operaciones⁶⁰

^{59, 60} Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 8

Conclusiones

8.1 Cumplimiento de los objetivos.

Se recuerdan los objetivos de esta tesina, el objetivo principal era definir el primer proyecto de Transformación Digital, desde una mirada OT, para CAP Minería y evaluar su impacto en la organización mientras que los objetivos específicos eran, establecer línea base (punto de partida) antes de la implementación de proyectos tecnológicos, realizar un benchmarking con pares de la misma industria para evaluar el estado de CAP, realizar una propuesta preliminar de iniciativas, realizar una búsqueda de oportunidades de mejora en los procesos productivos de la organización, realizar una preselección de iniciativas, realizar una evaluación económica de los proyectos, seleccionar las iniciativas tecnológicas y planificar la implementación de estas. Por lo presentado hasta el momento y como se visualiza en las páginas anteriores estos objetivos están cumplidos a cabalidad.

8.2 Comentarios de la tesina.

A partir del análisis de benchmarking realizado, el análisis a los procesos productivos de CAP Minería, y el seguimiento de las tendencias tecnológicas de su par líder de la industria de la minería de hierro (Vale), se definieron los primeros ocho proyectos tecnológicos, desde una mirada OT, para ser implementados en la organización. Estas iniciativas se evaluaron económicamente y se ordenaron desde la que más aportaba a la TIR hasta la que menos aportaba. La TIR pasó de un 12,71% (VAN = 409.493 kUSD) a un 15,12% (VAN = 741.846 kUSD), con una variación final de la TIR de un +2,41% y una variación positiva del VAN de 332.353 kUSD y un nivel de inversión de 10.450 kUSD. Cabe destacar que con la realización de los tres primeros proyectos se logra capturar más del 60% del beneficio total, con un aumento de la TIR de un +1.53% (TIR = 14,24%) y un aumento del VAN en un +212.109 kUSD (VAN = 621.602 kUSD) y a un nivel de inversión de 6.600 kUSD, correspondiente a un 63% de la inversión total de los ocho proyectos.

8.3 Proyecciones

Si bien se realizó una propuesta y evaluación de proyectos tecnológicos de digitalización desde una mirada de las tecnologías operativas (OT), creemos se puede avanzar en la evaluación de los proyectos desde una mirada de las tecnologías de la información (TI), por ejemplo, herramientas de Business Intelligence, nuevas herramientas para las plataformas ERP (SAP), entre otros. Además, se estima que en futuro se podría avanzar en lo que respecta a gestión del cambio, evaluar nuevas herramientas metodológicas para garantizar que los proyectos de digitalización (ya implementados o en etapa de implementación) efectivamente van a tener una recepción y adopción positiva de las personas. También falta desarrollar mecanismos de control de gestión en términos de poder medir el resultado, desempeño y el real impacto en la organización de los proyectos tecnológicos en términos de aumento de productividad, disminución de costos, disminución de la tasa de accidentabilidad, entre otros.

Bibliografía

Consejo minero, <https://consejominero.cl/chile-pais-minero/>. [Accesado el 16/02/19]. Cifras actualizadas de la minería. Consejo minero, Octubre 2018.

Productivity in the Mining Industry: Measurement and Interpretation. Vernon Topp, Leo Soames, Dean Parham, Harry Bloch. December 2008.

Lean cursos, <http://www.leancursos.online/lean-manufacturing/oe/>. [Accesado el 17/12/18].

Wikipedia, [https://en.wikipedia.org/wiki/Vale_\(company\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Vale_(company)). [Accesado el 17/12/18]

Rockwell Automation, https://ops.marketing.rockwellautomation.com/SessionMaterials/AutomationFair/AF_2018/Automation%20Fair%202018%20-%20F04%20-%20Mining%20Forum.pdf. [Accesado el 17/12/18]. Presentación pública, Automation Fair® Event 2018, Rockwell Automation. Philadelphia.

World Economic Forum, <http://reports.weforum.org/digital-transformation/wp-content/blogs.dir/94/mp/files/pages/files/wef-dti-mining-and-metals-white-paper.pdf> [Accesado el 17/12/18]. The Digital Transformation Initiative, World Economic Forum, 2017.

World Economic Forum, <http://reports.weforum.org/digital-transformation/wp-content/blogs.dir/94/mp/files/pages/files/dti-executive-summary-20180510.pdf> . [Accesado el 17/12/18]. Digital Transformation Initiative In collaboration with Accenture, executive summary, May 2018.

Anexos

- Archivo: “Anexo 1 – FCN.xls” – Detalle de flujo de caja neto.
- Archivo: “Anexo 2 – Procesos.ppt” – Detalle de análisis de los procesos.
- Archivo: “Anexo 3 – Gestión del cambio.ppt” – Detalle de análisis para la gestión del cambio.