



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**ESTRATEGIA PARA GESTIONAR EL CAMBIO DE UNA OPERACIÓN MINERA
MANUAL A UNA OPERACIÓN MINERA AUTONOMA**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN GESTIÓN Y DIRECCIÓN
DE EMPRESAS**

CARLOS ANDRES RUZ AGUILAR

**PROFESOR GUÍA:
JULIO MORALES OLIVARES**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
ALDO CESAR SEBASTIAN CASALI BACELLI
GERARDO OCTAVIO DIAZ RODENAS**

**SANTIAGO DE CHILE
2021**

RESUMEN DE LA TESIS PARA OPTAR AL
GRADO DE: Magíster en Gestión y Dirección de
Empresas
POR: Carlos Ruz Aguilar
FECHA: Mayo 21
PROFESOR GUÍA: Julio Morales Olivares

ESTRATEGIA PARA GESTIONAR EL CAMBIO DE UNA OPERACIÓN MINERA MANUAL A UNA OPERACIÓN MINERA AUTONOMA”

Esta tesis busca identificar y presentar una estrategia que permita, a una operación minera, tener una guía para establecer los pasos y procesos a seguir, cuando se decide transitar, su proceso de transporte de materiales en el rajo, desde camiones tripulados a camiones autónomos.

El primer punto a abordar, es entregar una descripción de lo que implica, en términos técnicos y sus características, un sistema de camiones autónomos, identificando los sistemas críticos, las capacidades de los proveedores y las internas que permitan habilitar dicho sistema, y así establecer, donde están las oportunidades de ganancia y cuál es el resultado del caso de negocio que justifica el cambio y que agrega valor en definitiva al negocio, como así también los procesos de optimización, y aplicando conceptos de flujos económicos que permitan estimar el costo operacional que podría tener este cambio. Se incorporan en el análisis también, los impactos, los riesgos y cuáles son los controles que se deben implementar.

La siguiente etapa es establecer como son definidos los procesos de cambio, cual es la condición actual, cuál es la línea base, y cuáles son los involucrados claves, las estrategias comunicacionales, y donde están los principales impactos.

La siguiente etapa, es definir los requerimientos claves, para implementar el sistema autónomo, en términos de procesos, cuales son impactados, que roles se requieren y cuáles son los sistemas necesarios, su capacidad, sus restricciones y sus oportunidades.

En este documento se presentan cálculos y estimación en términos relativos, considerando la naturaleza de la información y la confidencialidad de esta, como también entendiendo que la etapa de este proyecto es solo de estudio o de pre factibilidad.

DEDICATORIA

Dedicado a mi Familia, Erika, Karla y Benjamin, quienes están conmigo en las buenas y en las malas y son el pilar fundamental de mis decisiones.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis compañeras y compañeros del Magister, por formar un excelente grupo, y su resiliencia, a la Universidad de Chile por gestar estas iniciativas de impulsar el conocimiento, a mi grupo de estudio específico Cristian, Rodrigo, Jorge, Lucia, Marcelo, con quienes pudimos generar una dinámica y rutina de aprendizaje, disfrutando aprender, a BHP por permitirme la oportunidad de poder realizar este MBA.

TABLA DE CONTENIDO

1. CONTENIDO

2. INTRODUCCIÓN	1
3. JUSTIFICACION.	2
4. OBJETIVOS	5
4.1. Objetivo Principal.	5
4.2. Objetivos específicos.	5
5. ALCANCES	6
6. SINTESIS DEL SISTEMA DE CAMIONES AUTONOMOS	8
6.1. Descripción del Sistema Autónomo.....	8
6.4. Beneficios del Sistema Autónomo.....	14
6.5. Requisitos del Sistema Autónomo.....	16
7. VALOR DE LA AUTONOMIA:	19
7.1. Seguridad, Salud, Medioambiente:	19
7.1.1. Seguridad	19
7.1.2. Salud:	26
7.1.3. Medio Ambiente:	26
7.2. Costos	27
7.2.1. Costos en la Minería del Cobre en Chile.....	27
7.2.2. Costos Mina Proceso Manual:	28
7.2.3. Costos Laborales:	30
7.2.4. Costos de Mantenimiento.....	32
7.2.5. Productividad.	34
7.2.6. Diseños.	40
7.3. El Caso de Negocio y el Valor Financiero	43
8. FORTALEZAS OPORTUNIDADES DEBILIDADES Y AMENZAS	47
9. ESTRATEGIA DE GESTION DEL CAMBIO.....	48
9.1. Los Riesgos	48
9.2. La Estrategia	51
9.3. El Modelo Operativo:.....	60
9.4. Los Procesos	61
9.5. Los Principales Cambios.....	63
9.6. La Estructura.....	66
9.7. Las Personas	66
9.8. Las Comunicaciones	68
10. CONCLUSION	71
10.1 Cualitativas.....	71
10.2 Cuantitativas	72
11. Bibliografía	74
12. ANEXOS	76
12.1. Anexo A, Desempeño camiones autónomos v/s manuales	76
12.2. Anexo B, Camiones mineros Autónomos 2019 cielo abierto.....	77
12.3. Anexo C, Evolución de costos industria Minera en Chile	77
12.4. Anexo D, Levantamiento de procesos para identificar impactos.....	78
12.5. Anexo E, Identificación de procesos Claves	78

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Declaración de Propósito y Estrategia, BHP, Elaboración propia con información de reporte de sustentabilidad 2019 y Conferencia accionistas 2019, Peter Beaven, CFO.....	2
Figura 2: 120 años de Historia de innovación en la minería (Global Metals & Mining and Capital Goods Mining innovation breaking through, Barclays Global Metals & Mining and Capital Goods, Equity Research 11, December 2019).	3
Figura 3: Declaración sobre el proceso de autonomía, una mirada estratégica. Fuente: Preparación propia, Pilares organizacionales de BHP.	6
Figura 4: Distribución a Nivel Mundial de Camiones Autónomos Minero 2019, Elaboración Propia. Fuente: https://www.mining-technology.com/comment/australia-autonomous-haul-trucks-use/ , 17 marzo 2020.....	9
Figura 5 : Esquema de disposición del sistema de camiones autónomos, Fuente: Paper 2016, 67 Convención Anual IIMCH.	10
Figura 6: Imagen de sala de control de transporte autónomo de Caterpillar, fuente www.caterpillar.com	11
Figura 7: Sala de Control camiones autónomos Komatsu, Fuente www.constructioncitizen.com	12
Figura 8: Beneficios de sistema autónomo comparado con sistemas manuales.	15
Figura 9: Diseño de Seguridad en capas, Presentación de Darko Louit, Komatsu, voces mineras, Santiago, agosto 2019	24
Figura 10: Esquema conceptual el aumento de costo en la vida de una operación minera.	28
Figura 11: Time USING Model, Representation de uso modelo de tiempo, A STANDARDIZED TIME CLASSIFICATION FRAMEWORK FOR MOBILE EQUIPMENT IN SURFACE MINING: Operational Definitions, Time Usage Model, and Key Performance Indicators, Global Mining Guidelines Group (GMG), 31 Aug 2020.	36
Figura 12, Esquema de Pasos implementación Gestión de Cambio, Elaboración Propia, información curso Gestión de Cambio MBA Minero U de Chile, Octubre 2020, Profesor Alex Jackes,	52
Figura 13: Creando contexto para establecer la Visión y la Misión, Elaboración Propia parte del proyecto. 2020.	56
Figura 14: Plan conceptual de comunicación y Gestión de Cambio, Fuente Gestión de Capital humano MBA industria Minera, U. de Chile, Lisa Alvarez Calderon, Septiembre 2019.	58
Figura 15: Contenido del Modelo Operativo según funciones Operacionales, Caso Operación de Estudio.....	61
Figura 16: Apertura de los Procesos Core, Caso Estudio.	62
Figura 17: Evaluación de Proceso Transporte de Mineral con camión, Fuente trabajo interno identificación de procesos e impactos.....	63
Figura 18: Identificación de Roles y definición de perfil. Fuente elaboración Propia estudio interno Modelo operativo.	68
Figura 19, Revisión de Proceso, Herramienta SIPOC, Fuente, elaboración interna análisis de estudio compañía 2020.....	78

Figura 20: Identificación de Procesos unitarios de operación mina para revisión y descripción de línea base, Fuente preparación propia, estudio de proyecto interno. 2020	78
---	----

INDICE DE GRAFICOS

GRAFICO 1: CAMIONES AUTÓNOMOS MINERO 2019, ELABORACIÓN PROPIA. FUENTE: HTTPS://WWW.MINING-TECHNOLOGY.COM/COMMENT/AUSTRALIA-AUTONOMOUS-HAUL-TRUCKS-USE/ , 17 MARZO 2020	9
GRAFICO 2: DISTRIBUCIÓN DE CAMIONES AUTÓNOMOS POR PROVEEDOR, FUENTE ELABORACIÓN PROPIA INFORMACIÓN PÚBLICA.	13
GRAFICO 3: GRAFICA CON REPORTE DE EVENTOS DE SEGURIDAD, JULIO 2019, AGOSTO 2020, DATOS DE ELABORACIÓN PROPIA CON INFORMACIÓN DE OPERACIÓN EN ESTUDIO.	23
GRAFICO 4: ELABORACIÓN PROPIA FUENTE: FUENTE CONSEJO MINERO CIFRAS ACTUALIZADAS MINERÍA 2020; FUENTE: COCHILCO CARACTERIZACIÓN DE LOS COSTOS DE LA GRAN MINERÍA DEL COBRE, 2015.	27
GRAFICO 5: DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE COSTOS UNITARIOS MINA, GRAFICO DE ELABORACIÓN PROPIA CON INFORMACIÓN EN CARE 2015 Y ANÁLISIS INTERNO 2020.	29
GRAFICO 6: DISTRIBUCIÓN DE GASTO EN UNA OPERACION MINERA, (GLOBAL METALS & MINING AND CAPITAL GOODS MINING INNOVATION BREAKING THROUGH, BARCLAYS GLOBAL METALS & MINING AND CAPITAL GOODS, EQUITY RESEARCH 11 DECEMBER 2019).	30
GRAFICO 7: REDUCCIÓN PORCENTUAL DE PERSONAL DE FLOTA DE TRANSPORTE, SEGÚN CANTIDAD DE CAMIONES AUTÓNOMOS (AHT) A IMPLEMENTAR, GRAFICA DE ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS BENCHMARK KOMATSU 2020.	31
GRAFICO 8: RESULTADO DE MEJORAMIENTO DE LA DISPONIBILIDAD DE LA FLOTA DE CAMIONES SI APLICAMOS AUTONOMÍA, DATOS DE ELABORACIÓN PROPIA CON RESULTADOS DE ESTUDIO DE CASO DE ANÁLISIS AÑO 2020.	33
GRAFICO 9: CAMBIOS PORCENTUALES DE TIEMPOS EFECTIVOS COMPARANDO OPERACIÓN MANUAL VERSUS OPERACIÓN AUTÓNOMA, REALIZACIÓN PROPIA CON DATOS REALES BASE DE ESTIMACIÓN AÑO CALENDARIO 2020, OPERACIÓN DE ESTUDIO.	37
GRAFICO 10: IMPACTO PORCENTUAL DE DEMORAS PROGRAMADAS EN EL TOTAL DE HORAS PROGRAMADAS, DATOS ELABORACIÓN PROPIA CON BASE REAL AÑO 2020, OPERACIÓN DE ESTUDIO.	38
GRAFICO 11: IMPACTO PORCENTUAL DE DEMORAS NO PROGRAMADAS EN EL TOTAL DE HORAS NO PROGRAMADAS, DATOS ELABORACIÓN PROPIA CON BASE REAL AÑO 2020 OPERACIÓN DE ESTUDIO.	39
GRAFICO 13: COSTO UNITARIO MINA US\$/TON MOVIDA, ELABORACIÓN PROPIA, ESTIMACIONES EVALUACIONES, USANDO DATOS BENCHMARKING DE LA INDUSTRIA.	42
GRAFICO 14: DISTRIBUCIÓN DEL COSTO DE INVERSIÓN DE UN PROYECTO AUTÓNOMO, GRAFICO DE ELABORACIÓN PROPIA DATOS PROYECTO EN ESTUDIO.	44
GRAFICO 15: EFECTO DE LA AUTONOMÍA EN NPV, GRAFICO ELABORACIÓN PROPIA, BASE DE CÁLCULO CASO DE NEGOCIO DEL ANÁLISIS.	45
GRAFICO 16: VPN DE OPERACIÓN MANUAL AUTÓNOMA, FUENTE INFORMACIÓN INTERNA ANÁLISIS DE CASO DE NEGOCIO.	46
GRAFICO 17: ELABORACIÓN PROPIA, FUENTE DATOS UNIVERSIDAD OF BRITISH COLUMBIA, JOHN MEECH, AUTOMINIG 2012.	46
GRAFICO 18: IDENTIFICACIÓN DE STAKEHOLDER CLAVES PROCESO DE GESTIÓN DE CAMBIO CAMIONES AUTÓNOMOS, ELABORACIÓN PROPIA, RESULTADO TALLERES DE ESTUDIO PROYECTO, 2020.	55

GRAFICO 19: ELABORACIÓN PROPIA, FUENTE DATOS UNIVERSIDAD OF BRITISN COLUMBIA, JOHN MEECH, AUTOMINIG 2012	76
GRAFICO 20: ELABORACIÓN PROPIA FUENTE: HTTPS://WWW.MINING-TECHNOLOGY.COM/COMMENT/AUSTRALIA-AUTONOMOUS-HAUL-TRUCKS-USE/ , 17 MARZO 2020 ...	77

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: TABLA DE PRINCIPALES RIESGOS A LOS QUE SE EXPONE UN OPERADOR DE CAMIÓN CON SUS CAUSAS Y SUS CONTROLES, ELABORACIÓN PROPIA, CON INFORMACIÓN DE OPERACIÓN EN ESTUDIO.	22
TABLA 2: ANÁLISIS FODA CAMBIO SISTEMA OPERACIÓN MANUAL A OPERACIÓN AUTÓNOMA DE CAMIONES MINEROS. ELABORACIÓN PROPIA, CON INFORMACIÓN RESULTANTE DEL ESTUDIO.	47
TABLA 3, MATRIZ DE RIESGOS IMPLEMENTACIÓN CAMIONES AUTÓNOMOS, ELABORACIÓN PROPIA CON INFORMACIÓN PROYECTO DE ESTUDIO 2020.	50
TABLA 4 : ELABORACIÓN PROPIA FUENTE CONSEJO MINERO CIFRAS ACTUALIZADAS MINERIA 2020; FUENTE: COCHILCO CARACTERIZACIÓN DE LOS COSTOS DE LA GRAN MINERÍA DEL COBRE, 2015.	77

2. INTRODUCCIÓN

Los Fundamentos del Porqué un Cambio de Operación Manual a Operación Autónoma.

Cada vez que vemos el proceso productivo de una operación minera a Rajo abierto, surge inmediatamente la imagen de su equipo icono que es el de un Camión Minero, cuya función es la de transportar minerales y/o estéril, en ese sentido, existe una gran variedad de marcas y tamaños diseñados para las distintas realidades de las operaciones mineras, los de mayor tamaño y capacidad, están principalmente pensados para operaciones de rajo abierto de la gran minería.

El mercado de los camiones de extracción en la minería del cobre nacional es dominado ampliamente por 2 empresas que suman una participación del 95%. Los reemplazos por término de vida útil y las necesidades de equipos adicionales para satisfacer el aumento de movimiento de material, determinan la demanda futura de camiones de extracción. Al respecto, para el periodo 2020-2025 existiría una necesidad potencial de aproximadamente 700 unidades. Dicha cifra considera operaciones cuyo parque de camiones mueve el 90% del material de las operaciones a cielo abierto.

Otro punto relevante que implica el proceso de transporte en minería está dado por el aumento de las distancias de transporte, producto de la profundización de las operaciones mineras y la disminución de las leyes, lo que obliga, para tener los mismos recursos minerales disponibles, mover más material. Ley promedio de mineral de cobre cayó 6,2% en 2018 y 20% en los últimos 10 años.

Estos factores sumados a otros, implican, un aumento considerable en algunos resultados, que significan una baja en la productividad, aumento en los costos. Producir un 19% más de cobre en los últimos 19 años ha significado usar un 79% más de energía, 157% más de mano de obra, 178% en gastos en capital, y en definitiva tener un 40% más de costo unitario por tonelada movida. (Marcos Lima, MBA Minería, U. de Chile 2019)

El avance tecnológico está cambiando la forma en que operan los negocios y la sociedad, y la minería no es una excepción. La industria está acelerando hacia la automatización industrial a gran escala, para entregar toneladas de manera más segura y a un costo unitario más bajo.

Si bien, las conversaciones y publicaciones sobre automatización en el sector minero, tiene ya un par de décadas, son muy pocas las empresas que se han aventurado en ello, entre las cuales se encuentran Codelco, Rio, BHP, Glencore, otras. En el caso específico de las operaciones en rajo, en Chile, solo existe el caso de una de ellas, perteneciente a Codelco (Minera Gaby), no obstante, durante este año se ha vislumbrado interés de varias compañías en tener propuestas al respecto, tales como Minera Escondida, Collahuasi, AMSA entre otras.

3. JUSTIFICACION.

¿Que busca la industria minera cuando está pensando en automatizar?

Actualmente, la mayoría de las compañías mineras han desarrollado sus estrategias mirando el futuro y, en particular, la cadena de automatización como un proceso clave para asegurar la excelencia de sus activos y la incorporación de ellos como parte de sus procesos operacionales. Esta definición, cuando está incluida y formalizada en las directrices de la corporación y, cuando sus líderes estiman que es esencial, genera que su proceso de implementación avance con más facilidad dentro de la organización.

La Figura 01, representa, como se conecta, en este caso, la estrategia de la compañía con el desarrollo de este análisis y de este trabajo incorporando a la automatización como un pilar estratégico.

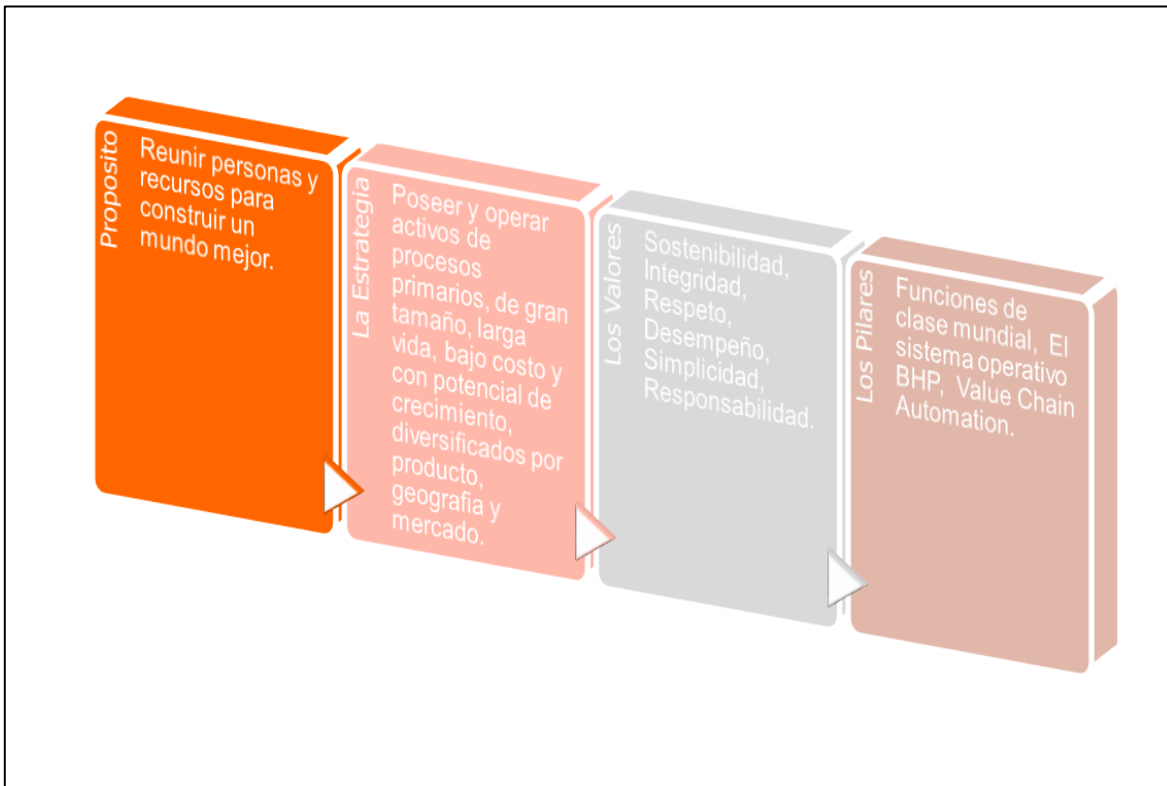


Figura 1: Declaración de Propósito y Estrategia, BHP, Elaboración propia con información de reporte de sustentabilidad 2019 y Conferencia accionistas 2019, Peter Beaven, CFO.

Las compañías mineras están comenzando a adaptar y adoptar la innovación tecnológica en sus operaciones rutinarias. Las nuevas tecnologías, que implican la transformación digital, la automatización, la ubicuidad, la electrificación y el aprendizaje virtual, se han analizado durante años, pero la implementación ha sido

lenta, sin embargo, una serie de factores externos e internos, se unen, para hacer de este el momento ideal, para la innovación en toda la industria. Estos incluyen el nivel avanzado de ofertas tecnológicas, el enfoque en aumentar el ROIC de los activos existentes en lugar de construir nuevas minas. También las consideraciones ambientales, sociales y de gobierno (ESG). Caso especial amerita incorporar al análisis, la discusión sobre efectos en la salud de las personas como los es el caso del COVID-19, que sin duda ha acelerado estas definiciones, Aunque se observa, que los impulsores de la innovación están en su lugar, es factible considerar que el proceso de adaptar y adoptar se mantiene, en sus primeras etapas, con activos importantes que ven la aplicación acelerada de nuevas tecnologías hasta 2025. (Global Metals & Mining and Capital Goods Mining innovation breaking through, Barclays | Global Metals & Mining and Capital Goods, Equity Research 11 December 2019).

La Figura 2, muestra cómo ha sido la evolución y la incorporación tecnológica en los distintos procesos mineros en los últimos 120 años donde se puede apreciar un impulso relativamente mayor en las últimas 2 décadas dando fuerza a la automatización de transporte en los últimos 20 años.

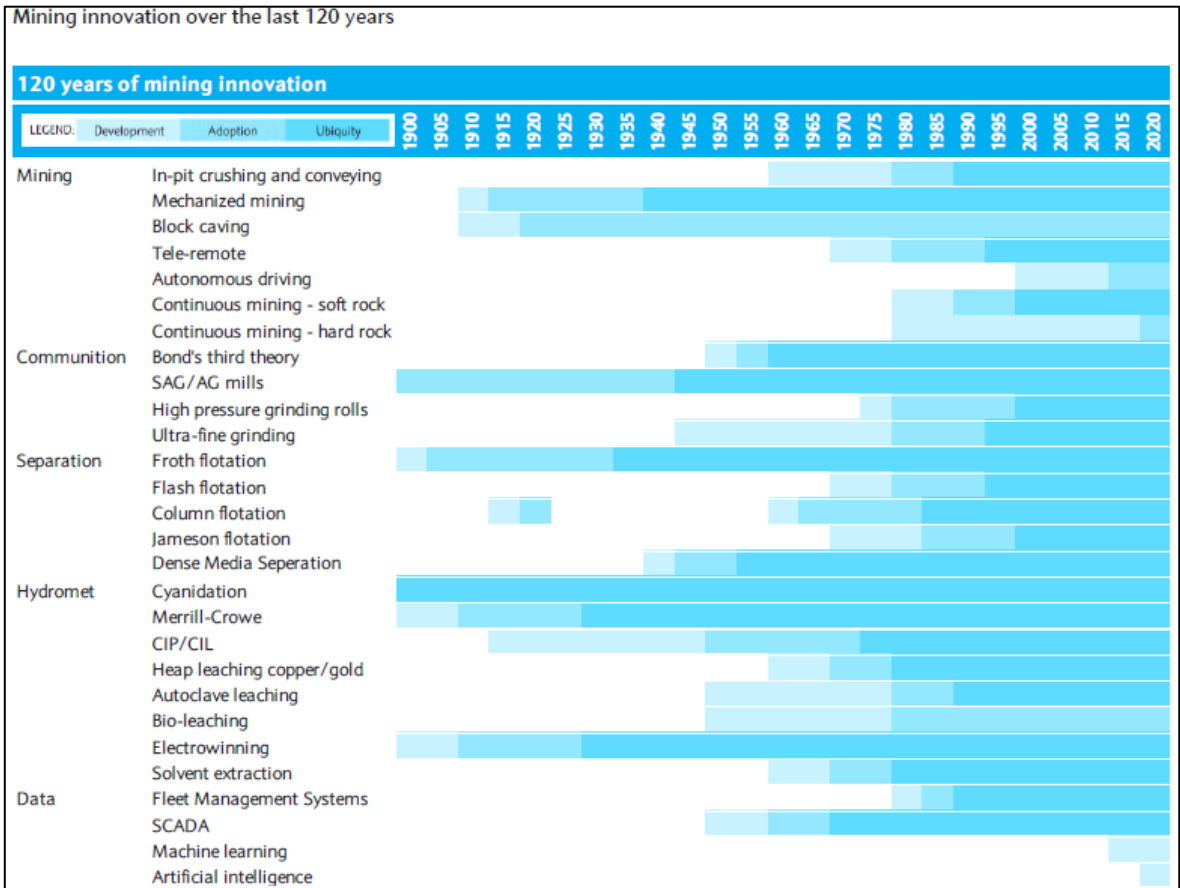


Figura 2: 120 años de Historia de innovación en la minería (Global Metals & Mining and Capital Goods Mining innovation breaking through, Barclays | Global Metals & Mining and Capital Goods, Equity Research 11, December 2019).

Hay muchas consideraciones, que se obtienen, en la incorporación de sistemas autónomos, en el transporte de materiales en una operación minera, si revisamos algunas de ellas, podemos mencionar:

- La planificación de la mina se vuelve clave y crítica, ya que se reduce la flexibilidad que requiere el cumplimiento del plan, se requiere conectar de mejor forma los procesos unitarios de la operación y la capacitación para respaldar operaciones eficientes.
- Las responsabilidades de control de la mina cambian con la entrega del desempeño de las toneladas hora movidas, hacia al control de la mina, el desempeño, es medido en forma individual y se requiere un desarrollo transparente, innovador y continuo para continuar optimizando este desempeño.
- Las capacidades de los servicios mineros, son básicamente las mismas, sin embargo, adquieren una importancia relevante, las pistas de baja calidad equivalen a camiones detenidos, el enfoque en los circuitos donde transitan equipos autónomos son una prioridad.
- Los equipos de producción se hacen más pequeños, con un mayor requerimiento de capacidades de habilidades cruzadas, los operadores se vuelven extremadamente importantes para lograr la eficiencia de producción y requieren una mentalidad de mejora continua.
- La tecnología se convierte en un verdadero pilar de producción. Requiere un cambio de mentalidad (“change mind set”), que reconoce la tecnología como un factor crítico. Estos cambios clave se deben considerar en el desarrollo del diseño organizacional y el trabajo de apoyo, incluida la gestión del cambio, el desarrollo de capacidades, las estrategias de recursos y capacitación.
- Mayor seguridad en sus procesos productivos, disminuyendo la cantidad de personas expuestas a los riesgos propios de la operación minera, ser más eficiente y productivos y hacer más atractivo el negocio reduciendo o manteniendo sus costos.

4. OBJETIVOS

Esta tesis busca identificar y presentar una estrategia que permita, a una operación minera, tener una guía para establecer los pasos y procesos a seguir, cuando se decide transitar, su proceso de transporte de materiales en el rajo, desde camiones tripulados a camiones autónomos.

4.1. Objetivo Principal.

El objetivo principal de este trabajo de tesis, consiste, en proponer una estrategia, de cómo abordar la implementación del cambio, desde una operación manual a una operación autónoma de camiones, en el transporte de mineral, dentro de un rajo minero. Basados en las experiencias de etapas de estudios para la implementación en una operación en particular y en los casos de implementación del proceso de autonomía en la industria minera tanto en Chile como en Australia y Canadá.

4.2. Objetivos específicos.

Este trabajo de tesis, también pretende abordar algunos objetivos específicos de este proceso de implementación, cuyos focos están en:

- Identificar los factores específicos que son el mayor impacto en el beneficio económico y el mayor valor en la implementación de la automatización.
- Investigar la realidad de la industria minera en autonomía de camiones y
- Como gestionar los riesgos e impactos del proceso de cambio.

Bajo estos argumentos conceptuales, existen entonces, algunas preguntas que se pretenden también desarrollar en esta tesis;

1. ¿Cuál es el factor que más incide en el beneficio y valor de un proceso de transporte minero automatizado, cuando se hace el cambio desde una operación manual convencional a una operación de transporte autónomo?
2. ¿Cómo es factible realizar un cambio de una operación manual a una operación minera autónoma?,
3. ¿Necesita una estrategia de cambio?
4. ¿Cómo se controlan y gestionan los impactos?
5. ¿Cuáles son los supuestos en su evaluación financiera?
6. ¿Cuál es el costo de cambio, incluyendo la capacitación de los profesionales?

5. ALCANCES

Cuando las compañías mineras se embarcan y navegan hacia sus procesos de cambio y proyectan definir como operarán, definiendo que las harán sobresalir del resto, establecen varias líneas de acción, reordenando sus funciones, estandarizando los procesos que son factibles, creando la cultura y capacidad para enfocarse en implementar, por ejemplo, la capacidad y agilidad para innovar, como así también, declarando que la cadena de valor puede ser también automatizada.

Esto cambios no son solo generación de valor para el negocio, sino que traen consigo oportunidades para las personas y las comunidades, pues disminuyen la probabilidad y la exposición a riesgos, crean nuevas oportunidades y desarrollan nuevas capacidades.



Figura 3: Declaración sobre el proceso de autonomía, una mirada estratégica. Fuente: Preparación propia, Pilares organizacionales de BHP.

Esta declaración, de la figura 3, por ejemplo, impulsa a las operaciones a estudiar la incorporación de tecnologías y procesos operativos, basados en este caso en la autonomía, de camiones mineros, en el proceso de extracción de materiales en un rajo.

Busca también desafiar que se puede hacer de mejor forma que permita dar sustentabilidad al negocio en el largo plazo.

Y desde aquí es, donde se desprende que podemos realizar una revisión y estudio para poder mirar, tanto conceptualmente, técnicamente, como financieramente, la conveniencia o no de implementar un sistema de transporte autónomo de materiales en una operación a cielo abierto.

6. SINTESIS DEL SISTEMA DE CAMIONES AUTONOMOS

6.1. Descripción del Sistema Autónomo

En los años 60, se iniciaron, en la industria minera, los primeros intentos de automatización de equipos mineros, sin embargo, camiones autónomos mineros en forma completa en la operación, han estado presentes en las operaciones mineras desde 2008. En Chile la primera prueba y operación de camiones autónomos fue iniciada por Komatsu en la mina Gabriela Mistral de Codelco, Chile. Ese día ha marcado un inicio importante, para que compañías como Komatsu, Caterpillar y Hitachi, iniciaran una carrera por invertir en estos equipos autónomos y posicionarlos a través del mundo. En el contexto mundial, existen diversas tecnologías en distintas etapas de desarrollo, sin embargo, existen dos que han logrado alcanzar un nivel de madurez tecnológica y operacional adecuada: Komatsu y Caterpillar. Ambas con el principio de operación de camiones autónomos similar, no obstante, con sistemas de control de la autonomía que en su aplicación difieren en términos técnicos y de procesos.

Al término del año 2019 en el mundo existían 459 camiones autónomos, tal como se indica en los Gráficos 1 y Figura 4, un 84% de estos equipos están operando en diversas compañías en Australia, un 9% en Canadá, un 4% en Chile y un 3% en Brasil.

Hoy en día es conocido el interés de varias operaciones que están iniciando estudios y preparando sus operaciones para el proceso de Autonomía, compañías como AMSA donde Centinela ha anunciado, que su proyecto Esperanza Sur, actualmente en desarrollo, será una operación autónoma, Teck con su nueva expansión QB2 también ha incorporado autonomía de camiones para su proceso de transporte, Minera Escondida ha iniciado su proceso de pruebas y pilotaje de camiones autónomos, BHP ha anunciado estudios relacionados con camiones autónomos para sus operaciones en América.

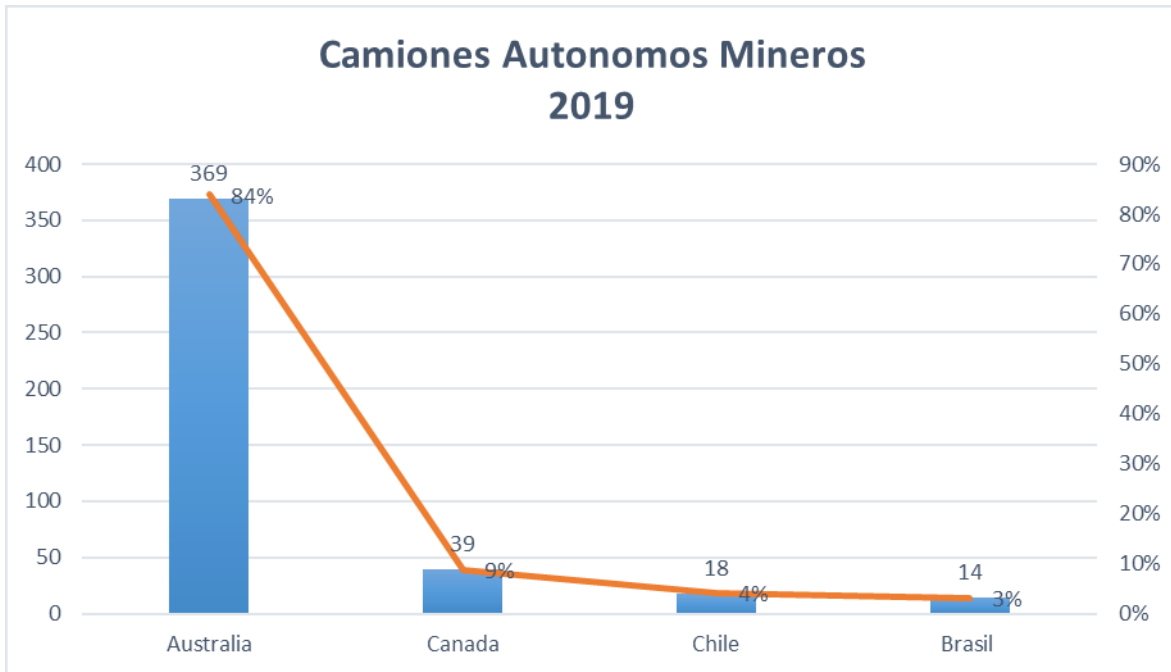


Grafico 1: Camiones Autónomos Minero 2019, Elaboración Propia. Fuente: <https://www.mining-technology.com/comment/australia-autonomous-haul-trucks-use/>, 17 marzo 2020.

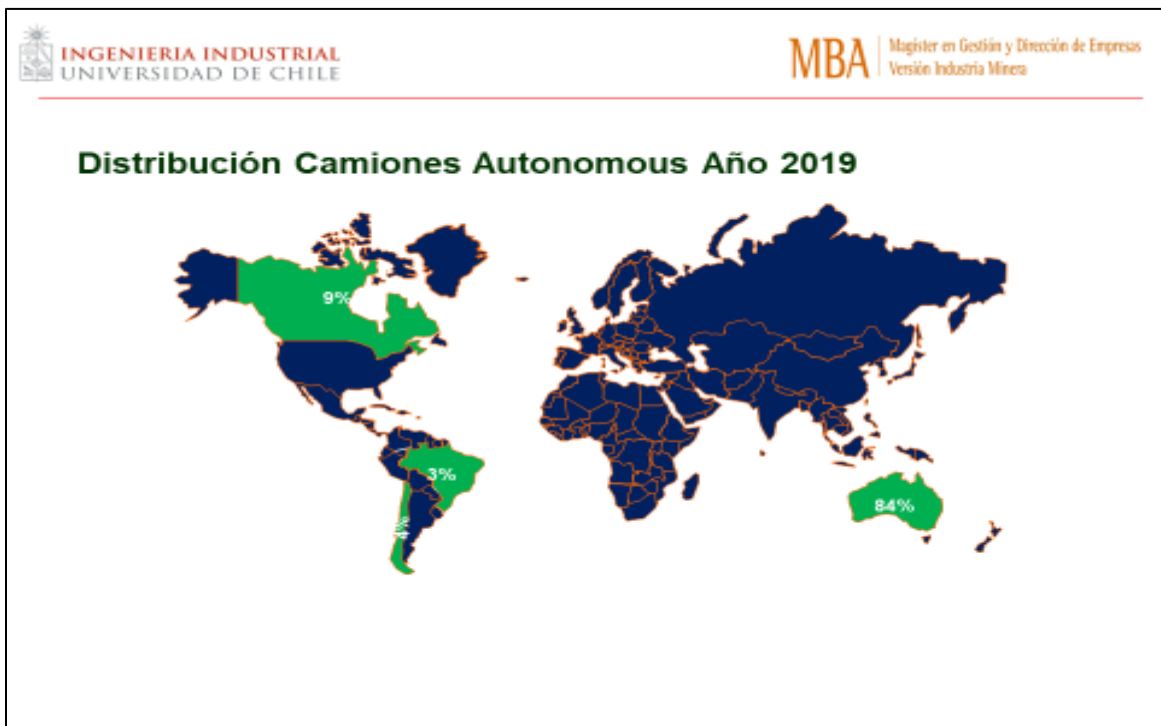


Figura 4: Distribución a Nivel Mundial de Camiones Autónomos Minero 2019, Elaboración Propia. Fuente: <https://www.mining-technology.com/comment/australia-autonomous-haul-trucks-use/>, 17 marzo 2020.

Básicamente, el concepto de un camión autónomo está concebido en (6) puntos centrales tal como se indica en la Figura 5, donde su equipamiento esencial es:

- a) Sistema de comunicación inalámbrica (Redes LTE).
- b) Sensores que permiten la navegación y detección de obstáculos.
- c) Servidor de procesamiento de datos de sensores locales a bordo para el movimiento del equipo.
- d) Equipamiento de control y coordinación de dirección y freno.
- e) Sistema de navegación GPS, que identifica la ubicación real del camión.
- f) Sistema de control central y supervisión del sistema.

Los proveedores de camiones proveen el hardware necesario con su sistema de control de flota. En esta base, Komatsu, Caterpillar, Hitachi utilizan sistemas de control de flota llamados Modular Mining Systems, Minestar y Wenco. International Mining Systems, respectivamente. (Gölbasi & Dagdelen, 2017).

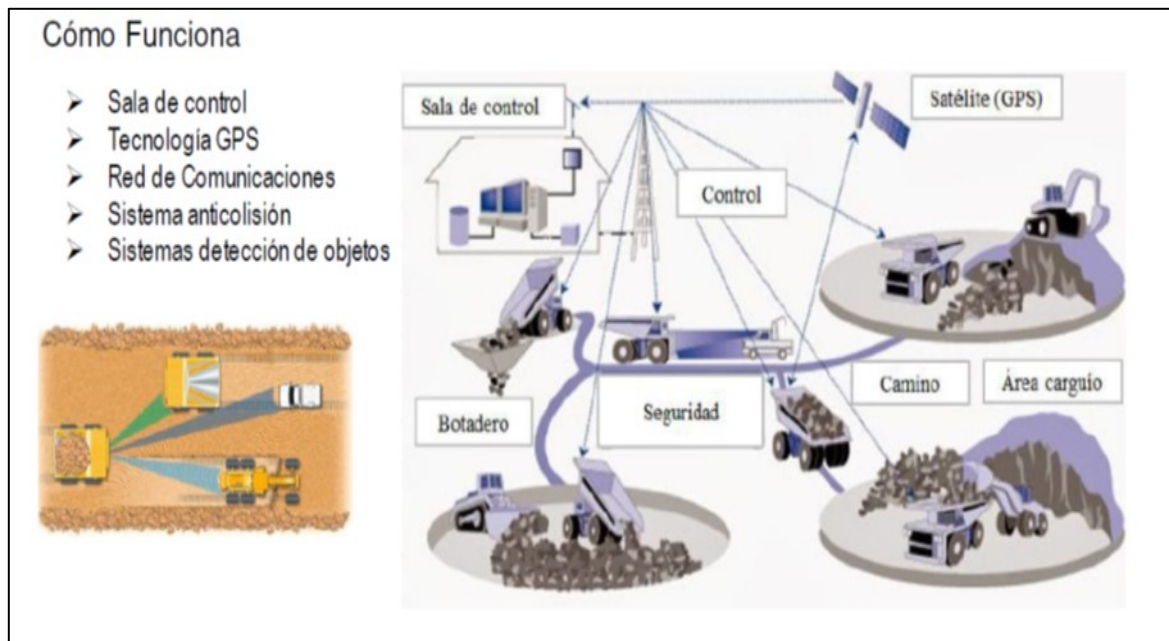


Figura 5 : Esquema de disposición del sistema de camiones autónomos, Fuente: Paper 2016, 67 Convención Anual IIMCH.

6.2. Proveedores de Sistemas de Transporte Autónomo:

Hoy en día, tal como mencionamos anteriormente el mercado de transporte de materiales en forma autónoma está dominado por dos fabricantes, Komatsu con su sistema denominado Front Runner y Caterpillar con su sistema Cat MineStar Command. Además, el mercado cuenta con los desarrollos que está impulsando la Marca Hitachi, Hitachi Construction Machinery adquirió Wenco en 2009 y ha estado trabajando en estrecha colaboración con Wenco para aprovechar el software de automatización de despacho de flota "Dynamic Dispatch" para permitir el envío de camiones de transporte autónomos.



Figura 6: Imagen de sala de control de transporte autónomo de Caterpillar, fuente www.caterpillar.com



Figura 7: Sala de Control camiones autónomos Komatsu, Fuente www.constructioncitizen.com

Las Figuras 6 y 7, muestran las salas de control de transporte de camiones autónomos de dos las tres compañías mencionadas, y básicamente el concepto detrás de estos sistemas de funcionamiento es similar, las diferencias están marcadas por los procesos y algunos roles requeridos para ejecutarlos que son particulares de cada software usado para el control, tal como se indica en los puntos siguientes del capítulo 6, la diferencia en el futuro la marcará la flexibilidad, y en el caso de nuestro estudio, la real capacidad de los camiones autónomos de entregar el beneficio ofertado.

En el grafico 2 se puede observar la distribución específica por proveedor de camiones autónomos, donde hay un dominio por parte de Caterpillar y Komatsu y las proyecciones futuras son bastantes auspiciosas para esta industria dado que el aumento del interés por contar con este tipo de equipos ha crecido.

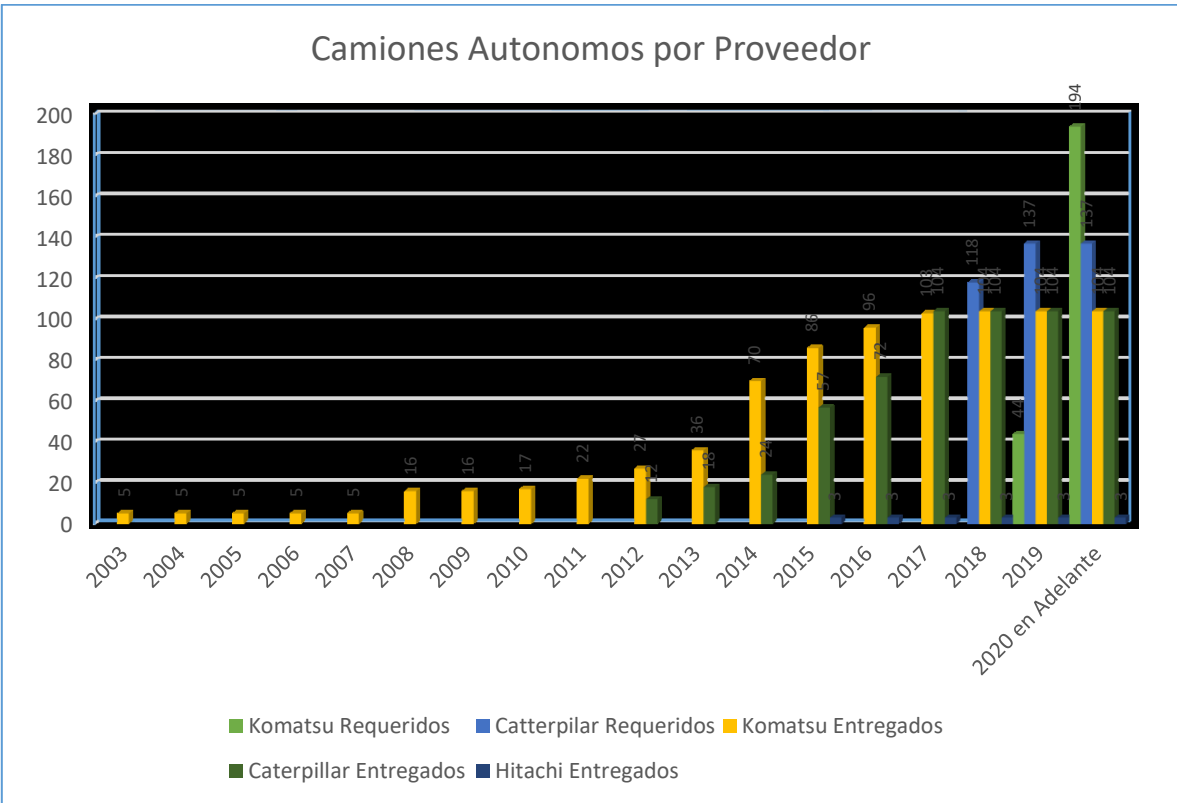


Grafico 2: Distribución de camiones autónomos por proveedor, Fuente elaboración propia información pública.

6.3. Tecnologías Disponibles para el Sistema Autónomo.

La autonomía representa un cambio radical en la dependencia de los sistemas tecnológicos que respaldan las operaciones de carga y transporte. Para contar con operaciones autónomas, las tecnologías de soporte deben ser seguras, altamente confiables, sostenibles y deben estar totalmente integradas.

El despliegue de la tecnología en operaciones autónomas incluye sistemas de infraestructura o fundaciones y tecnología específica del Sistema de Transporte Autónomo (AHS).

Para proporcionar esta información y tener una red de control y comunicación, se debe establecer cobertura de Wi-Fi o evolución a largo plazo (LTE) en todo el entorno operativo del camión. Esta red permite controlar los camiones desde grandes distancias. Por ejemplo, hay operaciones en Australia que tienen centros de control en minas remotas de servicio en las principales ciudades, a miles de kilómetros de distancia.

Para proporcionar la primera información, los camiones deben estar equipados con balizas de sistema de posicionamiento global (GPS). Esto se suma a varios otros componentes como Lidar, radar, controladores de vehículos y Wi-Fi. Aunque existen conceptos en torno a los camiones dedicados a transporte autónomo, los modelos operativos actuales se basan en máquinas tripuladas tradicionales, que han estado en servicio durante muchos años. Por lo tanto, además del costo estándar de cada máquina tripulada, también deben ser modificadas para 'convertirlas' efectivamente en camiones autónomos, concepto denominado en inglés retrofit.

6.4. Beneficios del Sistema Autónomo.

Las operaciones mineras que prefieren adaptar la automatización a sus operaciones, tendrán mayor oportunidad de ser un líder tecnológico en el sector y tener la ventaja competitiva local y global. Algunos de los principales beneficios directos que proporciona un camión Autónomo son:

- Seguridad,
- Utilización de activos,
- Eficiencia y
- Menores costos.

Uno de los beneficios más importante de la incorporación del camión autónomo, es la seguridad, donde se reduce la exposición de personas a varios riesgos dentro de la operación minera y eliminan la mayoría de las causas asociadas directamente al factor humano, fatiga, somnolencia, desconcentración, excesos de velocidad, distracción, etc... El control de estos camiones, y su operación se efectúa en áreas cerradas y alejadas del rajo en sí. Por ejemplo, Rio Tinto controla sus operaciones con camiones autónomos Yandicoogina y Nammuldi en Pilbara, Australia, desde su centro de operaciones en Perth que está ubicado a casi 1.200 kilómetros del área de operación. Además, sensores mejorados y sistemas de comunicación, instalados en los camiones, ayudan a la detección de todas las anomalías u obstáculos de las rutas de transporte incluidas personas.

El segundo factor importante, es la utilización de los equipos, particularmente el aumento de sus horas operativas, la que aumenta substancialmente, dado que los camiones autónomos, no requieren detenciones para cambios de turno, ni colación (como ejemplo para una operación, donde se tiene una pérdida de 1 hora de tiempo de carguío de palas sólo por concepto de cambio de turno). En términos de disponibilidad de un camión autónomo vs camión tripulado o manual, aumenta inmediatamente 4% al considerar que este porcentaje es la indisponibilidad asociada a fueros de servicio por concepto de cabinas (aire acondicionado, asiento, radiocomunicaciones, regulación de espejos, etc..). Los reportes iniciales de una

operación en Australia indicaron que la operación de transporte full-autonomía incremento en un 21% comparado con la operación de camiones de forma manual. Más aún, Rio tinto reportó que su productividad incrementó un 13% con operaciones autónomas entre julio 2014 y julio 2015 (Gölbasi & Dagdelen, 2017).

La figura 8, muestra en forma esquemática los principales beneficios que se obtienen de una implementación de camiones autónomos los cuales son tratados en más detalle en el capítulo 7 sobre el Valor de la autonomía.

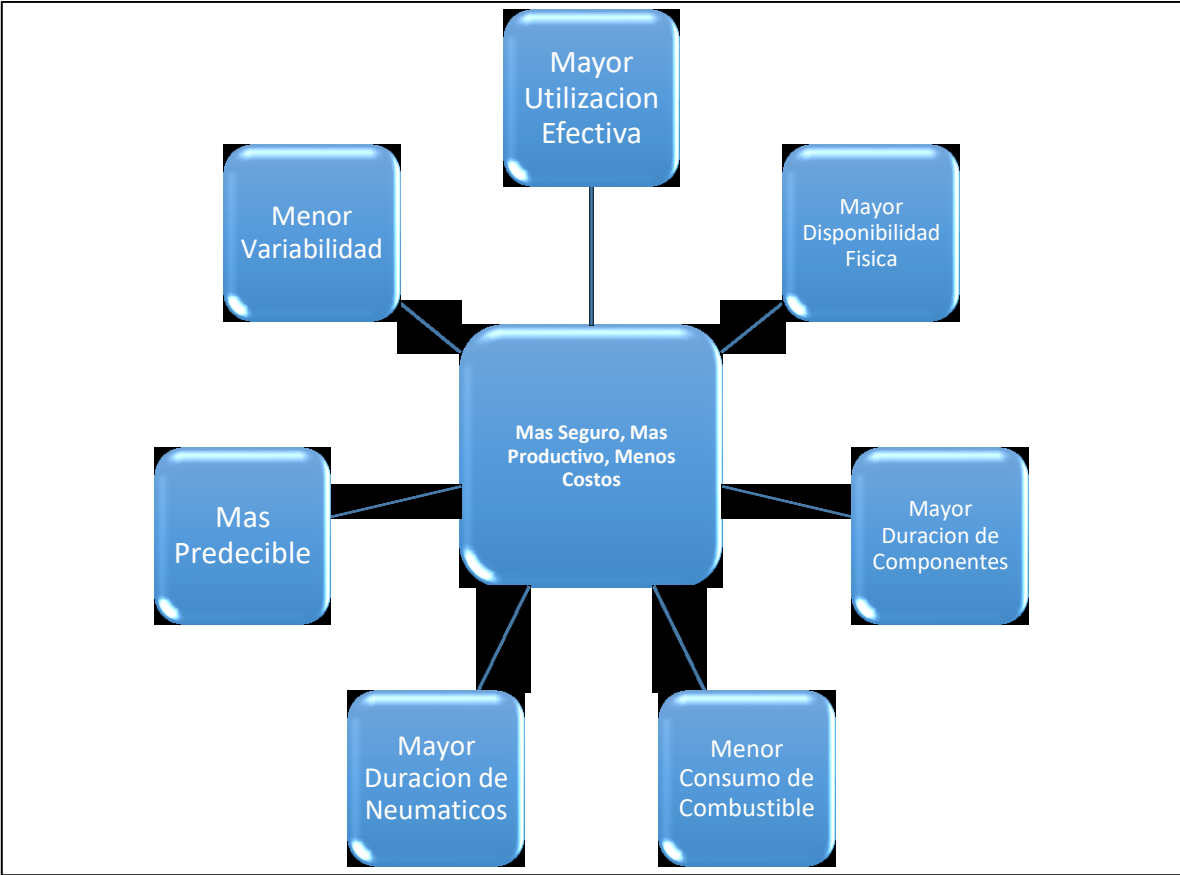


Figura 8: Beneficios de sistema autónomo comparado con sistemas manuales.

6.5. Requisitos del Sistema Autónomo.

La importancia de una topografía precisa, se destaca por la necesidad de proporcionar información relevante y clave, en la ruta de destino del camión. Las rutas y los límites generalmente se actualizan diariamente y luego se envían a los camiones a través de la red LTE del sitio.

La topografía debe ser precisa, existe una alta velocidad a la que cambia el diseño de una operación minera, un camión puede estar vaciando material, un día en un sector y luego al día siguiente, vaciar en dirección contraria, incluso puede ocurrir dentro del mismo día. Para vaciar en ese botadero, se debe establecer un límite por inspección y luego comunicárselo al camión. Al día siguiente, el área se cerró, como punto de vaciado, y se recuperó hacia el otro extremo, más allá de su extremo anterior. Dos días después, el sector se vuelve a abrir como un punto de vaciado. Si la nueva posición del sector de vaciado no se vuelve a inspeccionar, un camión podría dirigirse directamente hasta el mismo punto y vaciar en un lugar equivocado o peor aún, si no hay límites, continuar y caer por los bordes del botadero. Este ejemplo, demuestra la necesidad de alta calidad en los levantamientos de los circuitos de forma muy precisa y continua.

También se requiere tener la certeza de la ubicación de otros equipos. Esto se proporciona mediante el reacondicionamiento de vehículos pesados y livianos en el área operativa de autonomía con GPS, capacidad de red y paradas de emergencia, que pueden detener el movimiento de la flota de Autónoma. Es decir, todo equipo tripulado que interactúa con camiones autónomos requiere obligatoriamente contar con sistema autónomo, denominados KIT autonomía para vehículos tripulados,

La importancia de estos sistemas, es que sean confiables para establecer un entorno operativo seguro y eficiente. La mayoría de los sistemas de control de Autonomía dejarán de funcionar cuando otros equipos se acerquen a un camión, por lo que la información de ubicación inexacta podría causar interferencias en las operaciones de transporte.

El diseño y la planificación de la mina también requieren una atención cuidadosa. Si bien, siempre se realizan mejoras en las capacidades de las flotas de camiones autónomas, se requiere especial atención al diseñar rajos y equipamiento del rajo para operar en condiciones de autonomía.

En general, esto se refiere a factores de diseño del espacio de trabajo, tales como pendientes máximas, radios de giro mínimos, anchos de pistas mínimos y anchos de carga y descarga mínimos para que los equipos autónomos y no autónomos tengan espacios seguros de maniobra y trabajo.

Si el entorno de trabajo, no está configurado para cumplir con estos requisitos, existe el riesgo de activar innecesariamente los sistemas de seguridad de los camiones autónomos para detener el camión. Estos factores de diseño, son de

particular importancia, cuando se introduce un sistema de transporte autónomo (AHS) a una operación que ya está produciendo. Es posible que los diseños de los rajos deban revisarse y modificarse, lo que afecta las relaciones de extracción y, en última instancia, los costos.

Esto también se aplica al diseño y mantenimiento de rutas. La integridad de la base y la superficie de las pistas, el ancho, la pendiente, la condición superficial de la ruta (sin ondulación) y la relación entre el radio de la curva, el peralte y la velocidad son fundamentales para la operación autónoma del camión de extracción. Debido a que los camiones autónomos operan continuamente siguiendo exactamente la misma ruta de transporte una y otra vez, si una pista no está en condiciones óptimas, puede afectar rápidamente la vida útil de los neumáticos y otros componentes del camión.

Los camiones autónomos nunca se desviarán de su camino para evitar surcos o baches o ajustar su velocidad para evitar caídas en una pista. De hecho, sus velocidades de operación son generalmente más rápidas que las de los camiones tripulados y, por lo tanto, las pistas mal mantenidas pueden afectar aún más al camión.

Los obstáculos son otro problema, las malas condiciones del camino, que resultan en incidentes en los que se caen rocas de las tolvas, pueden activar los sistemas de parada de emergencia e interrumpir la producción, hasta que alguien sea enviado a investigar y eliminar cualquier obstrucción. Si este mismo obstáculo hubiera estado presente en un vehículo tripulado, el operador podría haber manejado alrededor del obstáculo y simplemente pedir una limpieza.

La mayoría de las operaciones de transporte autónomo, hasta ahora han sido en minas, específicamente diseñadas para camiones de transporte autónomos. Sin embargo, en el futuro cercano, la mayoría de los nuevos camiones autónomos se adaptarán a los vehículos existentes en las operaciones mineras establecidas para el transporte tripulado, por lo que se deberá prestar especial atención a la construcción de pistas.

La planificación de la mina también debe tener en cuenta las variaciones en las condiciones climáticas y el impacto que tendrán en un sistema de transporte autónomo (AHS).

Comprender, cómo las condiciones localizadas, afectarán a los camiones autónomos (AHT) y en qué grado generalmente se inicia una vez que los camiones autónomos están en el lugar, hay un período de implementación para que la tecnología se establezca y se comprenda y para que el personal se capacite. Esto generalmente se obtiene separando la flota de camiones autónomos (AHT) de la flota de camiones tripulados, para evitar demoras en el transporte y la demora de los procesos productivos.

La flota de camiones autónomos (AHT) se establecerá en un área separada de la mina donde se necesita extraer previamente el lastre. Esto crea un área de sistema

de transporte autónomo (AHS) del rajo al botadero, donde toda la infraestructura fija y móvil requerida, para operar camiones Autónomos (AHT), se puede calibrar para el sitio específico. Esto minimizará el impacto en la operación.

También puede servir como una instancia inicial de capacitación, donde el personal puede ser preparado y adquirir experiencia en la operación de una flota de AHS antes de que se implemente, en toda la operación.

Una vez que la flota autónoma ha demostrado su eficacia, puede integrarse con equipos tripulados. El trabajo del planificador de la mina dará cuenta de estos requisitos iniciales para la segregación y luego ajustar el plan a medida que ocurren retrasos imprevistos. Los datos recopilados del período de implementación también ayudarán a predecir el rendimiento futuro y, por lo tanto, a crear planes de desarrollo de minas más precisos.

7. VALOR DE LA AUTONOMIA:

7.1. Seguridad, Salud, Medioambiente:

7.1.1. Seguridad

Cuando hablamos del valor de implementar camiones autónomos en minería, uno de los valores principales es la seguridad, “no queremos que las personas se lesiones realizando su trabajo”, sin embargo, la naturaleza de esta actividad, presenta riesgos y el concepto de control de estos riesgos es clave y buscar aplicarlos en sus niveles de máxima jerarquía como lo es la eliminación del riesgo es mucho mejor aún. La implementación de un sistema de camiones autónomos, tiene implicancias directas en la seguridad, en una operación a rajo abierto, en ese contexto, es positivo mencionar que existen un gran efecto en términos de seguridad, pues implica, al implementarla, que hay una exposición al riesgo, que es eliminada, como lo es la del operador de camión.

Hoy en día la operación cuenta con un perfil de riesgos y sus respectivos controles, ver Tabla 1, para mitigar o bien prevenir su ocurrencia, perfil que tiene su foco en controles que van de la mano con el actuar del conductor u operador, para mitigar o controlar las causas, que también forman parte del accionar o condición del mismo conductor u operador, como de las personas que interactúan con él.

Riesgo	Causa	Control Principal
CHOQUE, COLISIÓN Y VOLCAMIENTO EN MINA, PILA, BOTADERO Y STOCK.	C01 Personal en condición física/mental inadecuada. C02 Fatiga y somnolencia CA03 Falla en sistemas críticos del equipo (dirección, frenos, neumáticos). C04 Competencias técnicas inadecuadas del operador/conductor. C05 Condición climática o del entorno Adversas (Ej. Viento, Hielo, baja visibilidad, exceso de regadío, nieve, etc.).	Mantenimiento de sistemas críticos dirección, frenos, neumáticos, comunicación, proximidad, fatiga y somnolencia, de acuerdo a estrategia de mantención del sitio. Sistema detección de fatiga, somnolencia, proximidad y de monitoreo de velocidad. Pretilos en circuito mina, pila, botadero, stock y diseño de rutas. Comunicación efectiva (confirmación de instrucciones entre emisor/receptor). Examen de Condiciones Médicas Físicas y Psicológicas aptas para la operación (incluye test de alcohol y drogas).

	<p>C06 Infraestructura vial deficiente en mina, pila, botadero y stock (diseño o mantenimiento).</p> <p>C07 Falla en el proceso de comunicación para operación en mina, pila, botadero y stock.</p> <p>CA08 Ausencia/Falla elementos de contención para la operación en sectores de caída de distinto nivel.</p> <p>C09 Conducta inadecuada mientras opera equipo (Exceso de velocidad, uso de celular/Tablet en operación, no respetar normas de operación interior mina, drogas, alcohol, tratamientos médicos no declarados, etc).</p> <p>C10 Caída de carga desde camión durante traslado.</p>	<p>Conductor autorizado para trabajos en la mina, pila, botadero y stock.</p> <p>Mantenión de caminos mina, pila, botadero y stock.</p> <p>Acceso controlado y restringido al interior mina, pila, botadero y stock.</p> <p>Plan de emergencia por condiciones climáticas adversas.</p> <p>Estiba, sujeción y control de peso</p>
<p>IMPACTO PERSONA EQUIPO MÓVIL / VEHÍCULO LIVIANO</p>	<p>C01 Conducta inapropiada de peatones, operadores y/o conductores, ingreso no autorizado a área de trabajo.</p> <p>C02 Condición climática Adversa (Ej. Viento, Hielo)</p> <p>C03 Falla en sistema de frenos, dirección o neumáticos.</p> <p>C04 Ausencia/Falencia de competencias técnicas de operador o</p>	<p>Segregación/delimitación entre peatones y vehículos/equipos</p> <p>Comunicación efectiva</p> <p>Diseño de layout para área o zonas de trabajo simultáneos.</p> <p>Bloqueo de equipos móviles en mantenimiento / Parqueo para evitar movimientos inesperados.</p> <p>Mantención vigente de frenos, dirección y neumáticos según fabricante.</p>

	<p>conductor.</p> <p>C05 Deficiente o falta de comunicación entre peatones y equipos móviles / vehículos livianos (ej.: silbato/bandera/radio/etc.).</p> <p>C06 Deficiente o falta de diseño para áreas de tránsito peatonal y zonas de circulación de equipos.</p> <p>C07 Personal en condición física/mental inadecuada.</p> <p>C08 Movimiento inesperado de un equipo móvil.</p>	<p>Licencia de conducir interna y externa vigente.</p> <p>Examen de Condiciones Médicas Físicas y Psicológicas aptas.</p> <p>Plan de Fatiga y Somnolencia.</p> <p>Plan ante condiciones climáticas adversas.</p> <p>Control de acceso áreas de tránsito de equipos</p>
<p>ACCIDENTE A PERSONAS POR FALLA DE TERRENO</p>	<p>C01 Condiciones naturales adversas (actividad sísmica, lluvia).</p> <p>C02 Falla diseño/ejecución en procesos perforación y tronadura (vibraciones y distribución de energía).</p> <p>C03 Falla en el diseño de excavación, rajo, botadero, stock mina.</p> <p>C04 Falla en la ejecución/operación del diseño de la excavación, rajo, botadero o stock mina.</p> <p>Incertidumbre geológica/geotécnico e hidrogeológica.</p> <p>C05 Competencias técnicas inadecuadas</p>	<p>Diseño geotécnico excavación, rajo, botadero o stock mina.</p> <p>Ejecución/operación y cumplimiento del diseño geotécnico.</p> <p>Sistema control de terreno.</p> <p>Diseño y/o implementación de perforación y tronadura.</p> <p>Diseño y/o control de drenaje y despresurización de excavación, rajo, botadero o stock mina.</p> <p>Entrenamiento personal y calificación de competencias de equipo geotécnico.</p> <p>Diseño geotécnico excavación, rajo, botadero o stock mina.</p> <p>Ejecución y cumplimiento del diseño geotécnico.</p> <p>Sistema control de terreno.</p> <p>Segregación de áreas.</p>

		Reconocimiento geológico geotécnico (largo plazo y operacional). Plan de respuesta a la emergencia
--	--	---

Tabla 1: Tabla de principales riesgos a los que se expone un operador de camión con sus causas y sus controles, Elaboración Propia, con información de operación en estudio.

Para el caso de la Grafica 3, podemos observar que un 12% del total de los eventos reportados, dentro de un periodo de 4 meses, corresponden al riesgo choque colisión y volcamiento en la mina, bajo la definición de riesgo establecida, de generarse algún condición en particular, podría haber ocurrido un evento potencial de incidente con daño a las personas, su foco principal está relacionado con los camiones de extracción o equipos mayores, interactuando con vehículos livianos o de transporte de personal, que es donde está el mayor potencial de riesgo.

Este es, el punto en particular, más relevante, que la autonomía pretende cubrir, pues la acción de todos estos controles, necesariamente, requiere del actuar del operador, para aplicar los controles correctamente, en cambio, un camión autónomo actuara en forma inmediata usando sus capas de protección como se indica más adelante.

En términos de salud, un operador de camión está expuesto a riesgos asociados a polvo, ruido, vibraciones, cambios de temperatura, etc.... si bien es cierto, existe un estricto protocolo para poder cubrir y controlarlos, estos se pueden presentar también, asociados a fallas de estos controles.

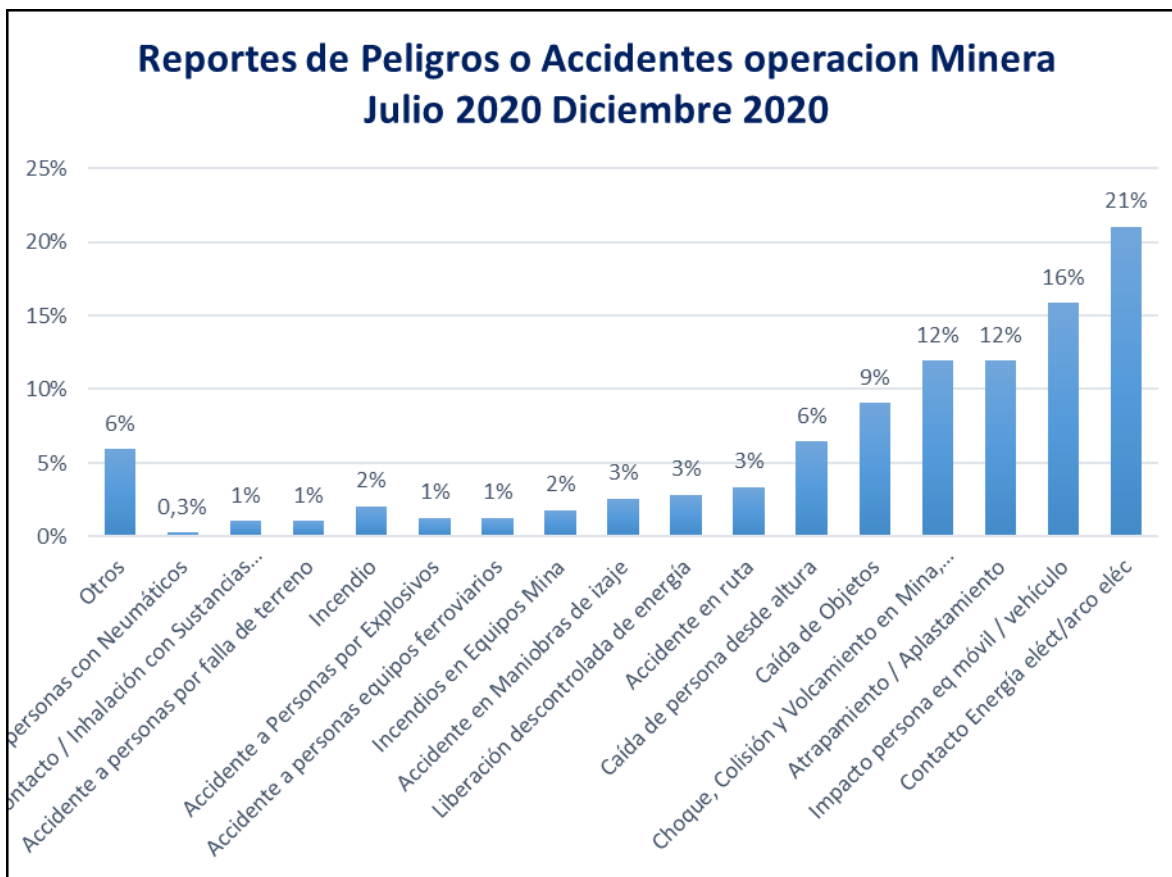


Grafico 3: Grafica con reporte de eventos de seguridad, Julio 2019, Agosto 2020, datos de elaboración propia con información de operación en estudio.

El sistema de control autónomo, ha desarrollado, durante la última década un proceso de mejoramiento continuo, denominadas capas de seguridad, que permiten identificar si el desplazamiento de este equipo tiene alguna condición diferente a la que fue programado, estas capas de seguridad, en definitiva, si las comparamos, con los controles mencionados en la tabla 1, vienen a suplirlos.

La Figura 09, muestra las capas de seguridad que ha implementado el sistema Front Runner de Komatsu, para el control de sus equipos.

Aquí se observan los distintos tipos de controles que se dan para la interacción del sistema autónomos, entre equipos autónomos, la interacción del equipo autónomo con equipos manuales, qué hacer cuando se detectan entre si equipos autónomos o tripulados, sistema de detección de obstáculos, detección de colisiones, paradas de emergencias.

El sistema Caterpillar posee 7 capas de seguridad.

En definitiva, el sistema es programado para accionar a distintas situaciones, ya sea dando preferencias de paso, o bien deteniendo su tránsito, o bien deteniendo la flota completa.

Diseño de Seguridad en Capas

1	INTERACCIÓN AUTÓNOMA <ul style="list-style-type: none"> • (AI) permite interacción segura entre AHTs • AHTs navegan por intersecciones y zonas de carga y descarga • Zonas de permiso de los AHTs regulan velocidad al interactuar con otros AHTs 	
2	INTERACCIÓN MANUAL <ul style="list-style-type: none"> • (MI) permite interacción segura entre EMVs y AHTs • EMVs tienen tres modos básicos de operación: Travel, Passing, y Park • Cada modo de EMV permite diferentes interacciones con los AHTs 	
3	SISTEMA DE DETECCIÓN DE COLISIONES <ul style="list-style-type: none"> • (CDS) es una capa adicional de seguridad de FrontRunner® • Envoltente segura, que rodea a los EMVs y camiónes tripulados en todo momento • CDS detecta cuando la zona de permiso de un AHT intersecciona el envoltente de seguridad de un EMV generando una alerta 	
4	SISTEMA DE DETECCIÓN DE OBSTÁCULOS <ul style="list-style-type: none"> • (ODS) es una capa de seguridad sobre el AHT diseñada para detectar objetos • Los AHTs están equipados con unidades ODS al frente y en la parte posterior • Cuando el ODS detecta un obstáculo, el AHT se detendrá 	
5	BOTÓN DE PARADA DE EMERGENCIA <ul style="list-style-type: none"> • Todos los EMVs, AHTs y el Control Central tienen un Botón de Parada de Emergencia • El Botón de Parada de Emergencia detiene los AHT en una situación de emergencia • El Botón de Parada de Emergencia detiene todos los AHT en la operación 	

AHT: camión autónomo
 EMV: equipo tripulado

Overview Solución de Autonomía de Komatsu | 28 Agosto 2019 | 30

Figura 9: Diseño de Seguridad en capas, Presentación de Darko Louit, Komatsu, voces mineras, Santiago, Agosto 2019

Hoy en día, en Chile, no existe una regulación de seguridad específica respecto a la implementación de camiones autónomos.

No obstante, el punto anterior si existen puntos de referencia en relación a Autonomía de camiones, tomadas en países que si han implementado estos sistemas en forma masiva y que ha desarrollado algún tipo de guía de trabajo, que en particular se refiera a los puntos de seguridad más relevantes, como lo es el caso Australiano (*), para ello revisamos algunos aspectos de esta guía mencionados y aplicables a nuestra realidad en relación a este cambio desde una operación manual a una autónoma.

a. Riesgos específicos del sitio:

Si no hay operaciones existentes:

Entonces planificar la automatización se puede adaptar desde el principio para abordar los riesgos comunes a las operaciones autónomas.

Factores de riesgo a considerar como parte de un riesgo integral, la estrategia de gestión incluye:

- Captura de cambios en las áreas de trabajo, especialmente antes conmutación de áreas de trabajo entre manual y autónomo
- Pérdida o interferencia con los sistemas de comunicación para equipo autónomo
- Pérdida de control del movimiento de equipos autónomos (deslizándose o patinando).
- Equipos autónomos que se desvían de su ruta programada, que conduce a una caída a otro nivel.
- Otros errores humanos
- Acceso involuntario
- Fenómenos naturales.

b. Introducción a una operación existente:

Donde hay una operación existente, un enfoque por fases puede ser necesario para gestionar riesgos adicionales asociados con integración y segregación, tales como:

- Infraestructura
- Comunicación
- La gestión del tráfico.

Los siguientes escenarios deben considerarse para inherentes riesgos, así como los peligros identificados para el personal operaciones:

- Acceso al área autónoma por personal no autorizado o equipo (de superficie o subterráneo).
- Errores humanos que pueden conducir a equipos autónomos entrar en áreas no autorizadas o realizar tareas que causar riesgos de seguridad (por ejemplo, intervención humana, una condición de alarma, falta de actualización de información como velocidad de diseño del equipo que no considera el funcionamiento tolerancias.
- Fallas de comunicación que provocan pérdida, degradación, retraso, comunicaciones mal dirigidas o pirateadas, sensor a bordo o fallas del controlador.
- Pérdida de control del movimiento de equipos autónomos (p. Ej. deslizamiento, patinaje).

Equipos autónomos que se desvían de su zona programada:

- En la trayectoria de otro vehículo (tripulado o autónomo).
- Que lleva a una caída a otro nivel.
- Interacciones autónomas en un entorno autónomo e interacciones de gestión del tráfico (por ejemplo, no convertir la intersección virtual en real en el suelo).
- Falta de comunicación de cambios (por ejemplo, actualizaciones del sistema, actualizaciones, cambios en las prácticas operativas).
- Interacciones manuales en un entorno autónomo y interacciones de gestión del tráfico (incluida la escolta de equipo que no pertenece al sistema o personal no capacitado en el sistema).
- Cambio inadvertido entre autónomo y otros modos de funcionamiento que conducen a la pérdida de control.
- Interacciones con peatones.
- Interacciones con muros, hileras u otra infraestructura.
- Pasajeros, observadores y técnicos a bordo de un vehículo autónomo operativo
- Reinicio remoto del vehículo autónomo desde una posición sin una conciencia situacional adecuada
- Fuego
- Acceder o verificar equipos autónomos que hayan fallado
- Pérdida de personas competentes en el lugar (es decir, rotación de personal), conduciendo a la pérdida de conocimiento corporativo.

(* 15. CODE OF PRACTICE Safe mobile autonomous mining in Western Australia, Department of Mines and Petroleum, 2015, Safe mobile autonomous mining in Western Australia – code of practice: Resources Safety, Department of Mines and Petroleum).

7.1.2. Salud:

Claramente al no tener un operador en el camión, existen riesgos de salud que se eliminan por completo, para la actividad de transporte de materiales, como lo son:

- Exposición al ruido.
- Exposición al Polvo:
- Exposición a la Vibraciones:
- Exposición a cambios de temperaturas.
- Daños musculoesqueleticos por estar un tiempo prolongado con tareas rutinarias.

7.1.3. Medio Ambiente:

Disminución entre el 10% al 15% por ciento en el consumo de combustible (1), generado por una operación más continua y sin cambios bruscos en la aceleración

del motor pueden generar ahorro de consumo de combustible que en definitiva implican menores emisión de CO2.

Menores costos de disposición final de neumáticos por mayor Vida útil de ellos.

- (1) El profesor John Meech , † ex profesor de ingeniería de minas en la Universidad de Columbia Británica, Fallecido el 9 de febrero de 2015.

7.2. Costos

7.2.1. Costos en la Minería del Cobre en Chile

El Grafico 4, muestra la evolución del costo unitario de producción en la minería del cobre Cus\$/Lb. Estos costos, en promedio en los últimos 20 años, prácticamente se ha duplicado, en cambio la ley de los yacimientos en promedio ha bajado alcanzando niveles de un 40% más bajos.

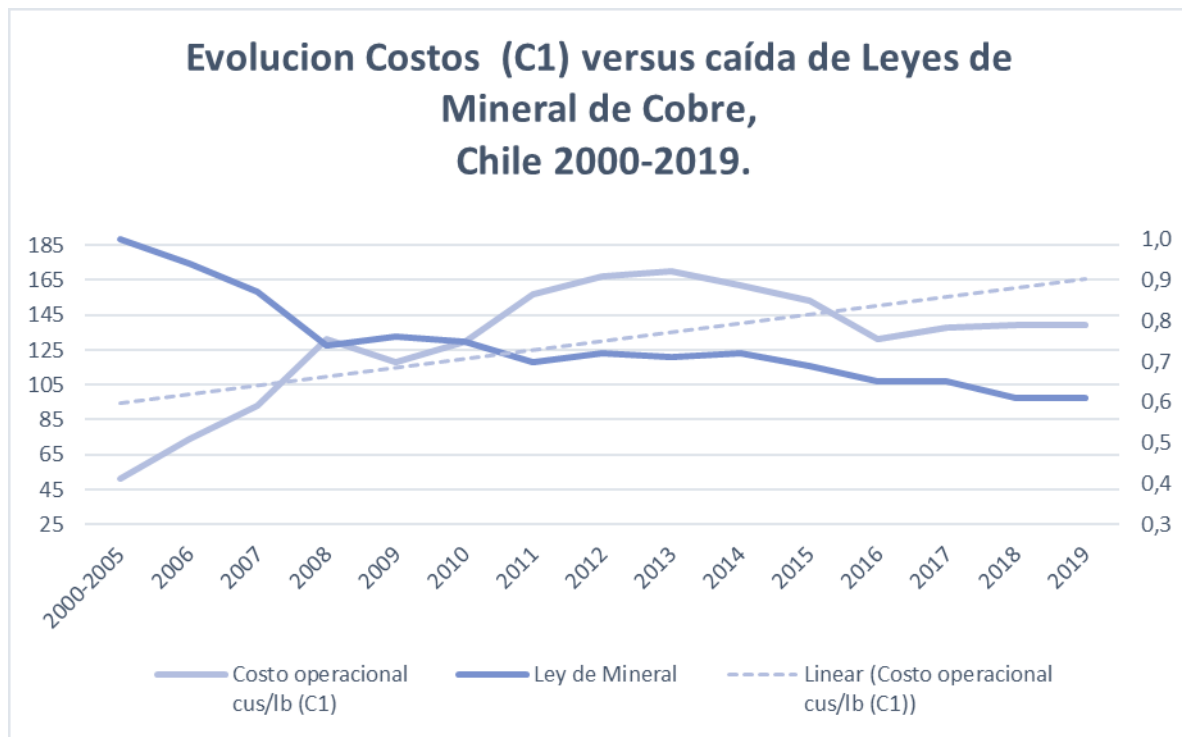


Grafico 4: Elaboración Propia Fuente: Fuente Consejo Minero Cifras actualizadas minería 2020; Fuente: Cochilco Caracterización de los costos de la gran minería del cobre, 2015.

La Figura 10, representa el esquema de lo que ocurre en el proceso de operación minera, en sus distintas componentes, en el proceso unitario de transporte mina, donde las leyes bajan, la razón lastre mineral aumenta, la distancia de transporte aumenta, los yacimientos son más profundos, las rocas son más duras (se requiere

más energía para fragmentarlas, generando un mayor uso de explosivos), esto se traduce en que los costos aumenten.

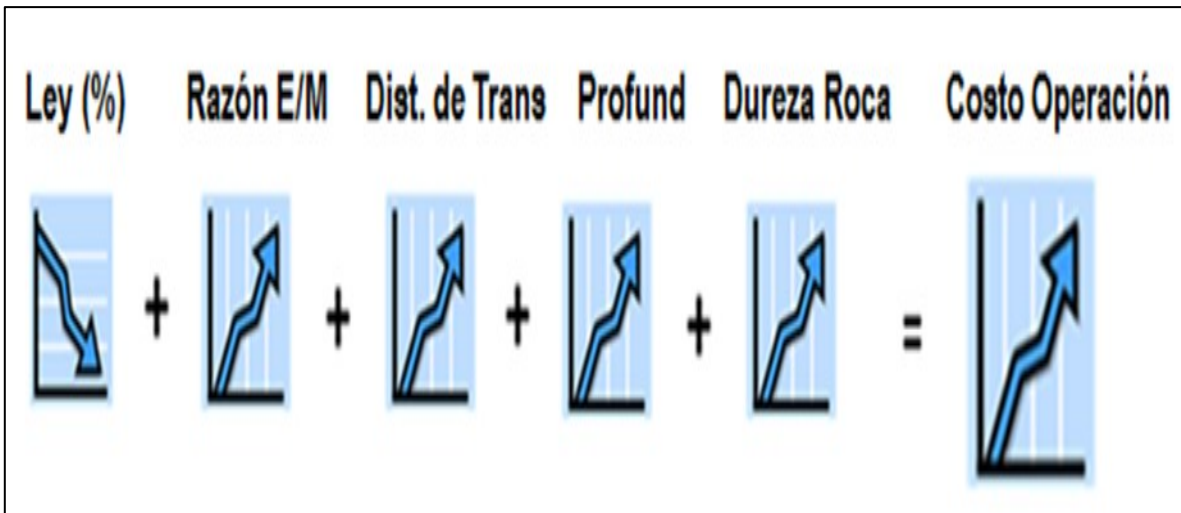


Figura 10: Esquema conceptual el aumento de costo en la vida de una operación minera.

7.2.2. Costos Mina Proceso Manual:

En el caso de la operación de carguío es importante la geometría de la fase, que queda definida en la etapa de diseño de la misma. Resulta fundamental la geometría que tengan las fases para determinar el comportamiento del costo que tendrá esta operación unitaria.

En el caso de transporte también se deben tener en cuenta que hay consideraciones que impactarán el costo y que son definidas en la etapa de diseño, como lo son las ubicaciones de los puentes de vaciado.

La ubicación de los destinos de materiales y los sistemas de conexión que tengan las fases, la mejor definición de los lugares de vaciado permite mejorar los costos, además el poder diseñar empalmes para los accesos, que no sólo flexibilizan la operación, sino que además generan quiebres de tendencia en el vector de costo de esta operación.

El grafico 05, muestra la realidad nacional en términos de la distribución porcentual del impacto de los distintos procesos unitarios de la mina, en el costo unitario por tonelada movida, donde claramente el costo de transporte es el que más impacto tiene su impacto va desde el 24% hasta operaciones con un 71%. Las operaciones con más años de vida normalmente representan los porcentajes de costos de transporte ms elevados.

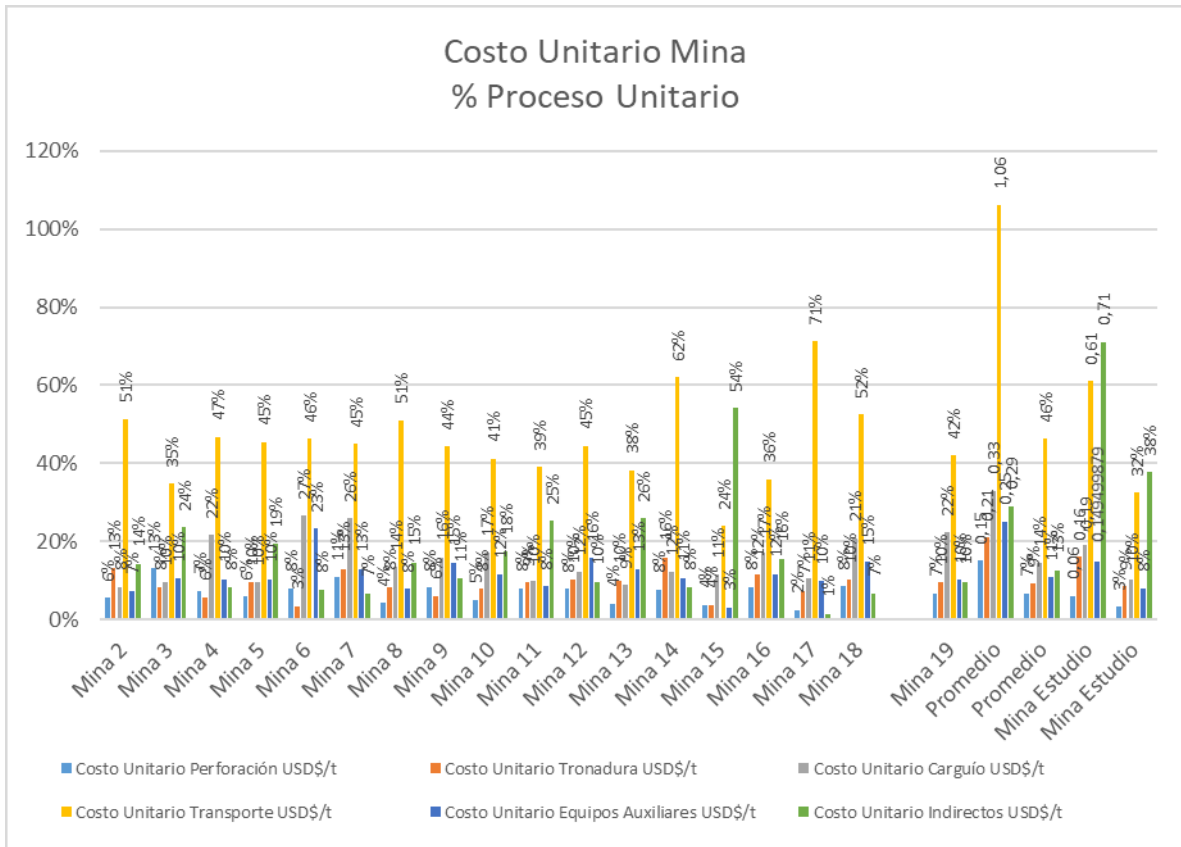


Grafico 5: Distribución Porcentual de costos unitarios mina, Grafico de elaboración Propia con información Encare 2015 y Análisis interno 2020.

El Grafico 6, muestra como se distribuyen, en terminos relativos los distintos gastos expresados ya sea por consumibles, reparable, gastos de mantenimiento, energia, en el se puede apreciar que un 42,/% esta asociado a gastos de mantencion y reparacion, un 28% en consumo de combustible y 11,2 % en salarios, un 7,2% en neumaticos.

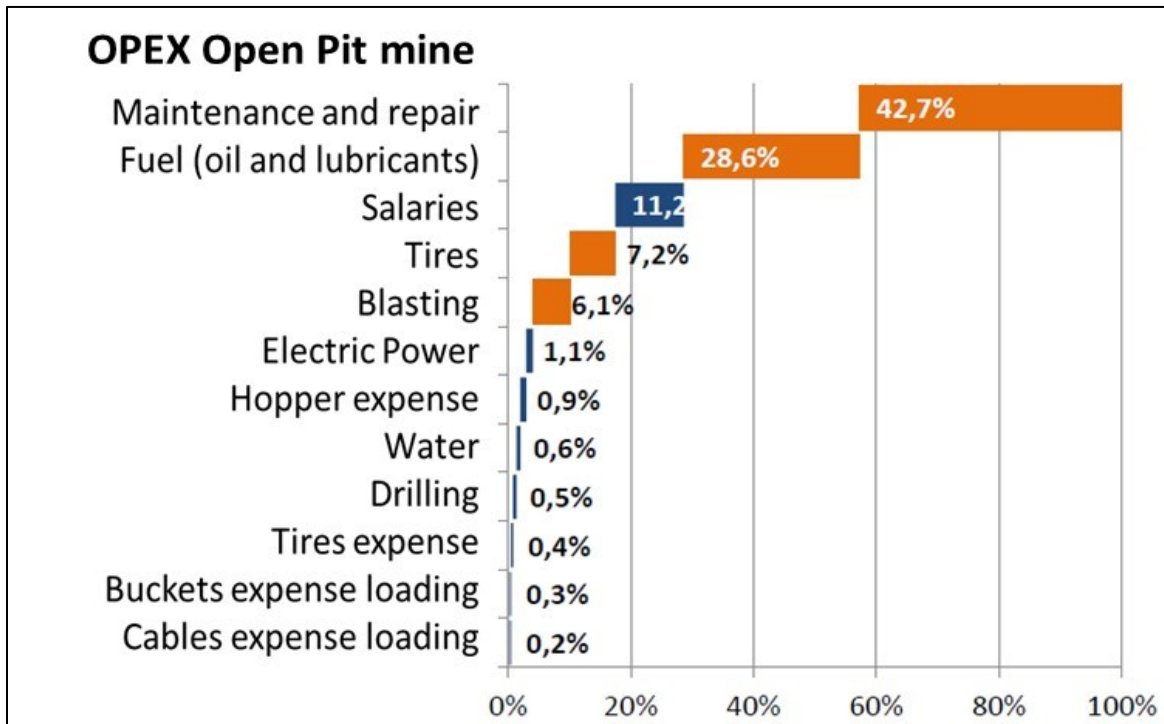


Grafico 6: Distribución de Gasto en una operacion minera, (Global Metals & Mining and Capital Goods Mining innovation breaking through, Barclays | Global Metals & Mining and Capital Goods, Equity Research 11 December 2019).

7.2.3. Costos Laborales:

Los camiones autónomos (AHT), no requieren un conductor en cada turno para operar, lo que reduce inmediatamente los costos salariales directos en operación de equipos.

No obstante, en lugar de pagar por un operador, por camión, como en una flota tradicional, la gestión de una flota autónoma requiere personal de sala de control y personal de terreno por turno, aumentan los requerimientos en servicios tecnológicos y por lo tanto en especialistas en ese rubro. Esta cantidad de personal adicional es casi constante; sí escala depende ligeramente del tamaño de la flota, pero se reduce significativamente en comparación con el campo operativo dotación de personal.

Por lo tanto, para cualquier flota que no sea la más pequeña, la flota de camiones autónomos requiere menos salarios de los operadores por turnos y entonces representa un ahorro de costos. Aunque se debe tener la precaución de que probablemente ese ahorro en costos pueda traducirse en otros gastos como son las licencias de los sistemas de control de autonomía. (Autonomous Haulage Systems

Financial Model Assessment, Nick Redwood Whittle Consulting Revision F, 14 Feb 2018).

El grafico 7, muestra un análisis de cuanto es el porcentaje de dotación de transporte menos requerido, según el tamaño de la flota que se pretende automatizar.

Los roles que se mantienen, en el sistema de transporte autónomo, corresponden a todos aquellos que son necesario para operar el sistema desde las áreas de salas de control, como también en terreno, ya sea en tareas de actualización de la información como en la inspección de los equipos autónomos y también en su abastecimiento de combustible.

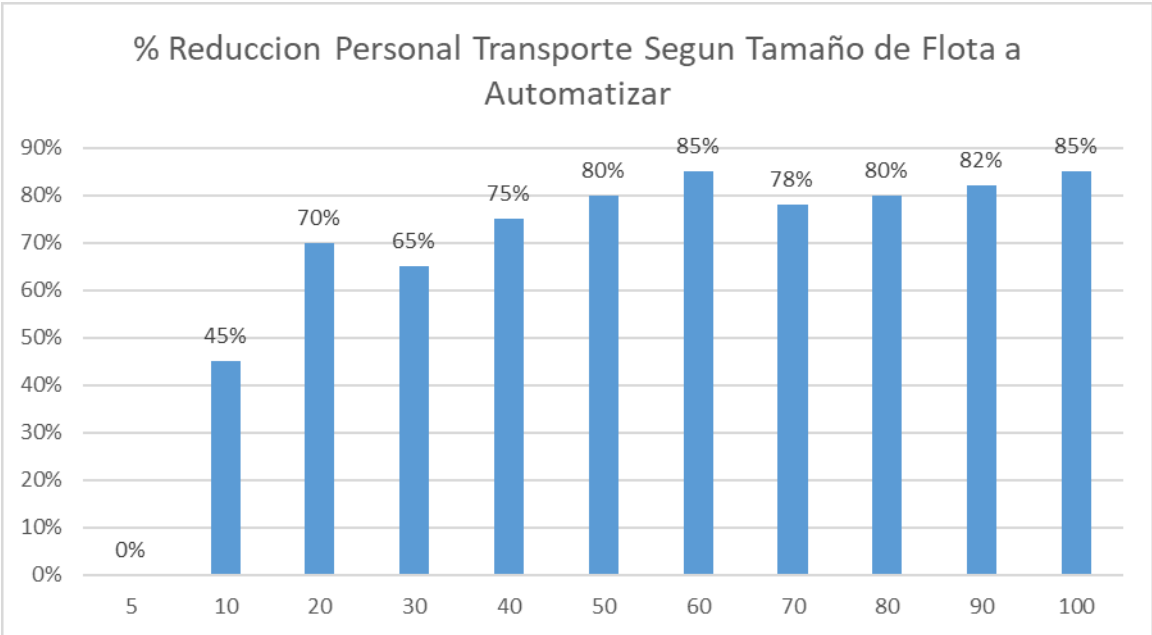


Grafico 7: Reducción porcentual de personal de flota de transporte, según cantidad de camiones autónomos (AHT) a implementar, grafica de elaboración propia con datos benchmark Komatsu 2020.

Los costos generales y de administración (G&A) también se reducen, principalmente en relación con la dependencia reducida en trabajo imprevistos. A medida que se reduce el número de conductores de camiones, esto también reduce el requisito de alojamiento, capacitación, vuelos y otros costos de coordinación y gestión.

7.2.4. Costos de Mantenimiento

Los camiones autónomos, requieren una tarea de mantenimiento programado adicional, con un servicio específico adicional de la propia autonomía, sin embargo, esta es una tarea menor. Los camiones autónomos, también requieren menos tiempo de mantenimiento no programado, ya que tienen muchos menos impactos que los camiones tripulados y, por lo tanto, hay mucho menos daño accidental a reparar. Los costos generales de mantenimiento se reducen.

La operación con camiones autónomos, tiene, en general, menos desgaste de los neumáticos, el reemplazo de neumáticos se puede programar entre 6000-7000 horas, o más, en lugar de 4000-5000 horas. Por lo tanto, los costos de los neumáticos se reducen. El aumento en la vida útil de los neumáticos, se debe a una conducción menos variable, un patrón de conducción más predecible y pistas más lisas, esto como resultado de los camiones que tienen detección sensorial de objetos a bordo.

Estudios indican que los beneficios se traducen en aumentos en 1 a 5 puntos porcentuales más de disponibilidad mecánica, ((Automining 2012, John Meech, University of British Columbia, Autonomous Haulage Trucks.)

Para el análisis en nuestro caso de estudio, según la información recopilada, la disponibilidad, está estimada, en relación al caso base, es decir, la flota permanece bajo concepto de camiones tripulados, versus la estimación, usando camiones autónomos, para ello, se han revisado todos los efectos en la disponibilidad que podrían tener relación directa con la operación manual.

En este análisis podemos identificar el impacto que afecta aproximadamente un 0,4% de la disponibilidad total y podemos distinguir por ejemplo los daños operacionales como:

- abusos de transmisión,
- impacto en sistemas de amortiguación,
- daños a exenciones de parachoques por golpes, etc...,

Las atenciones de los camiones generados por efectos de requerimiento del operador, como:

- regulares espejos,
- reparar aires acondicionados, etc.

Donde su impacto directo es casi 0,9% de la disponibilidad total.

En el caso de daño a neumáticos por efecto de operación (cortes en bandas de rodado por rocas) que impactan negativamente en la disponibilidad en 0,4%.

Bajo estos conceptos de análisis podemos determinar que la mejora en disponibilidad en condiciones de operación total de autonomía sube de desde un 86% hasta una disponibilidad cercana al 89,5%. Grafica 8.

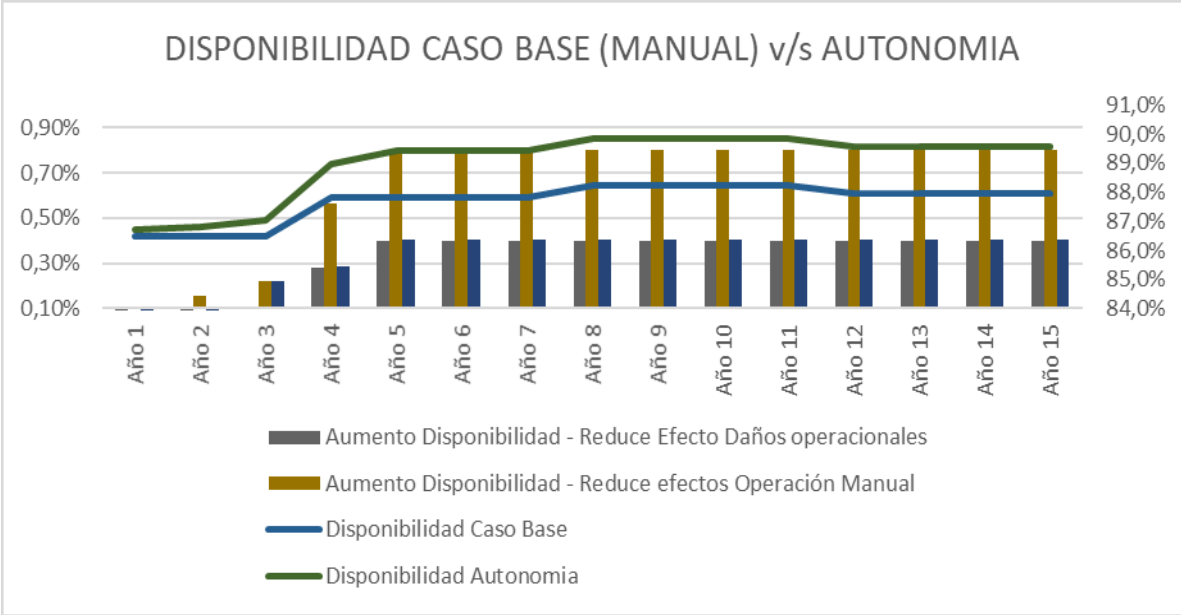


Grafico 8: Resultado de Mejoramiento de la disponibilidad de la flota de camiones si aplicamos autonomía, Datos de Elaboración propia con resultados de estudio de caso de análisis año 2020.

7.2.5. Productividad.

Los camiones autónomos (AHT), alcanzan una tasa de utilización más alta que los camiones que no son autónomos. No requieren la presencia de un conductor, por lo tanto, los camiones autónomos están listos para usar de inmediato cuando las actividades comienzan o terminan, no requieren interrupciones o cambios de operador y no dependen de programadores para emparejar el camión con chofer. Esto aumenta las horas de camión disponibles por año por camión, lo que puede significar menos

Se requieren camiones en la flota y capital y se ahorran costos fijos. Los datos informados públicamente indican que los camiones autónomos proporcionan 700-1,000 horas adicionales de operación (conducción) por año que equivalentes tripulados. (Autonomous Haulage Systems Financial Model Assessment, Nick Redwood Whittle Consulting Revision F, 14 Feb 2018).

Los camiones autónomos también se mueven a una velocidad media que es más rápida que los camiones que no son autónomos. Esto es porque el camión autónomo acelera y desacelera de manera más rápida y uniforme, y puede frenar más rápido cuando se identifican riesgos potenciales. Las velocidades típicas de transporte plano son más altas con el sistema autónomo debido a la reducción del riesgo que entregan los sistemas de sensores a bordo y disminución de la variabilidad del proceso.

Esto tiene un impacto similar al aumento de la utilización, ya que aumenta la distancia de material transportado por camión (medida de productividad por tonelada-kilómetro) que permite una reducción en el número de camiones requeridos en la flota.

El concepto de utilización tiene su fundamento en la distribución de tiempos en que el camión está disponible para transportar material. Pasando desde el tiempo total calendario, el cual puede ser fijado en horas día, semanas, meses, años, según el espacio de tiempo a medir, descontando los tiempos no programados y los tiempos programados, tanto operacionales, como de mantenimiento, y también los tiempos de reserva (los cuales pueden ser internos o externos).

La figura 11, representa gráficamente como se clasifican las actividades de la operación de un camión indicando las que corresponden a actividades productivas y no productivas, estados y eventos.

Este modelo de uso del tiempo, denominado Time Using Model (TUM), se basa en la premisa que la operación debe tener en cuenta en todo momento para identificar y eliminar tiempos no productivos, con ello se puede hacer un mejor uso de los activos y, por lo tanto, mejorar la eficiencia y la eficacia del equipo, lo que se traduce en una mejora inmediata de productividad.

Las categorías de tiempo reflejadas en el modelo nos dan información en cómo se usa el tiempo; esto permite el análisis, la decisión soporte, y el desarrollo y definición de los KPI relevantes. Estas las categorías permiten entregar la base para calcular los KPI comunes del equipo productivo.

Las actividades y los estados y eventos asociados que se capturan en el curso de la operación se registran y clasificados en las categorías de tiempo establecidas. Los elementos de tiempo no productivos normalmente se clasifican y restan de categorías de tiempo productivo.

Las mejoras en la recopilación de datos y la capacidad de clasificación han permitido que las operaciones definan mejor las pérdidas y retrasar eventos, lo que resulta en una mejor resolución y comprensión del tiempo productivo real. Profundizando en el modelo verticalmente permite la captura mejorada de demoras, reflejando en forma más precisa el uso productivo del tiempo.

El modelo refleja las clasificaciones tradicionales de horas de funcionamiento (GOH) y horas de funcionamiento netas (NOH) como tiempo de funcionamiento y tiempo de trabajo respectivamente. Mejoras en la capacidad de recopilación de datos habilitadas por mejoras en la configuración de los sistemas de gestión de flotas e inherentes a los sistemas autónomos pueden permitir a las operaciones aislar el elemento tiempo no productivo, del tiempo de trabajo, lo que resulta en la clasificación agregada de horas productivas y no productivas. Uno de los beneficios de distinguir entre tiempo productivo y no productivo es la capacidad de medir la cantidad de tiempo productivo incurrido por cada equipo.

El modelo está destinado a ser flexible en términos de informes, al nivel que representa la recopilación de datos de una operación capacidad. Si bien comparaciones de rendimiento más precisas se harían en el nivel más bajo del modelo, este modelo y las comparaciones resultantes pueden aplicarse al mínimo Categoría de tiempo para lo cual la operación prácticamente puede recolectar datos, por ejemplo, las operaciones que no identifican actividades y eventos no productivos incluirían esas actividades y eventos en el tiempo de trabajo, y el retraso operativo sería el nivel más bajo en el que podrían capturar retrasos. Comparación a otras operaciones se realizarían luego en el Nivel de tiempo.

Tiempo Calendario (TC)								
Tiempo Programado (TP)						Tiempo No Programado (TNP)		
Tiempo Disponible (TD)					Mantenimiento (TM)			
Tiempo Operativo (OT)					Reserva (R)	Mantenimiento Programado (MP)	Mantenimiento No Programado (MNP)	
Tiempo de Trabajo (TE)				Reservas Operativas (RO)				Reservas Externas (RE)
Tiempo Efectivo (TE)			Demoras Operativas (DO)		Reservas Operativas (RO)	Reservas Externas (RE)	Mantenimiento Programado (MP)	Mantenimiento No Programado (MNP)
Tiempo No Productivo (NO)		Demoras Operativas Programadas (DOP)	Demoras Operativas no Programadas (DONP)					

Figura 11: Time USING Model, Representation de uso modelo de tiempo, A STANDARDIZED TIME CLASSIFICATION FRAMEWORK FOR MOBILE EQUIPMENT IN SURFACE MINING: Operational Definitions, Time Usage Model, and Key Performance Indicators, Global Mining Guidelines Group (GMG), 31 Aug 2020.

Con la descripción del modelo anterior y la información disponible realizamos el cálculo de la utilización y en que puntos específicos podemos entonces obtener un mejoramiento comparativo en términos del uso de un camión tripulado y un camión no tripulado o autónomo (AHT).

Utilización

$$= \frac{\text{Horas Totales (TC)} - (\text{Tiempo No programado (TNP)} - \text{Demoras (DO)} - \text{Mantenimiento (TM)} - \text{Reserva (R)})}{\text{Horas Totales (TC)} - \text{Mantenimiento (TM)} - \text{Reserva (R)}}$$

$$= \frac{\text{Tiempo Trabajo (TT)}}{\text{Tiempo Total (TC)} - \text{Mantenimientos (TM)} - \text{Reservas (R)}}$$

La gráfica 9, muestra el cambio porcentual, que se obtiene al efectuar el análisis, primero, del impacto en los tiempos y demoras generados por la operación manual, de un camión minero y luego, eliminando esos impactos viendo las oportunidades de y como se ve mejorada la operación, considerándola desde un punto de vista

autonomía, en este caso se refleja un aumento del tiempo efectivo desde un 66% hasta un 73,21%.

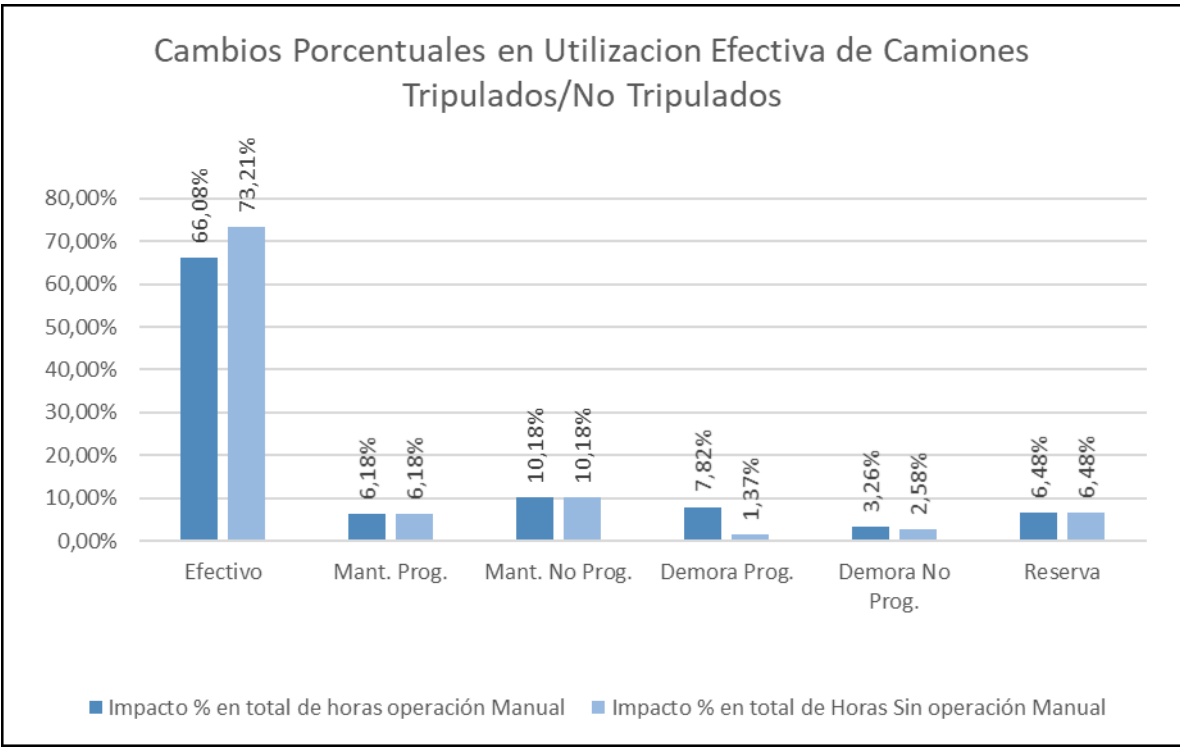


Grafico 9: Cambios porcentuales de tiempos efectivos comparando operación manual versus operación autónoma, realización propia con datos reales base de estimación año calendario 2020, operación de Estudio.

La grafica 10, muestra la distribución porcentual de demoras programadas en la operación de camiones, en el caso de estudio, del total de horas de demoras programadas identificadas, un 82,68% tiene relación directa con tiempos que impacta la operación manual siendo aproximadamente un 70% de estas horas referida a tiempos de descanso y cambios de turnos, tiempos que son necesario y requeridos para cambiar a los operadores de turno y para realizar las colaciones y desansos a la media jornada.

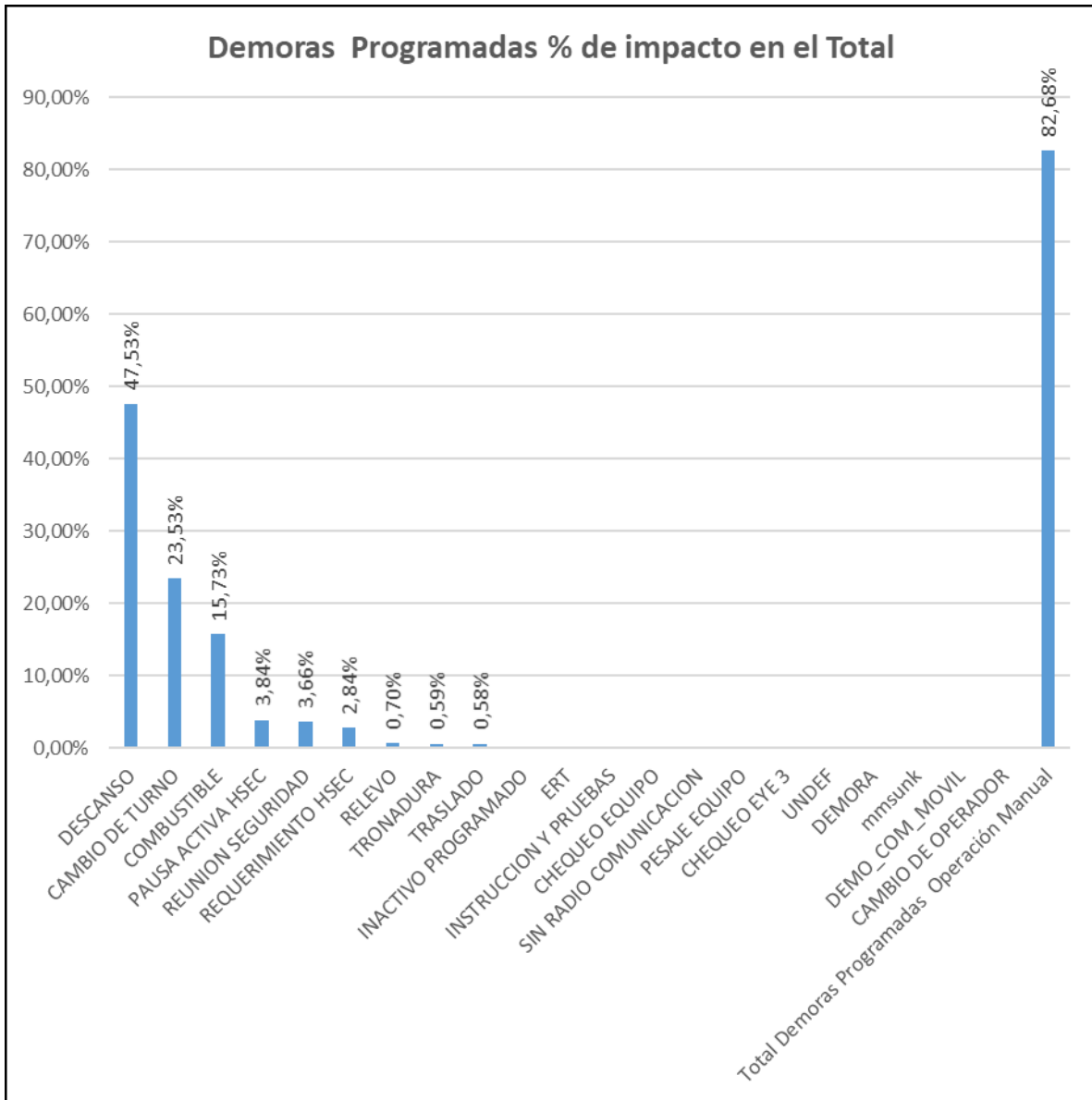


Grafico 10: Impacto Porcentual de Demoras Programadas en el total de horas programadas, datos elaboración propia con base real año 2020, operación de estudio.

El impacto que tienen en la hora de demoras no programadas la operación manual, como se observa en la gráfica de la figura 18, estas horas en total reflejan un 20,96% dl tiempo total no programado siendo por ejemplo un 7% del tiempo que el camión está esperando por operador una vez que es entregado por mantención o un 5% por espera de operador.

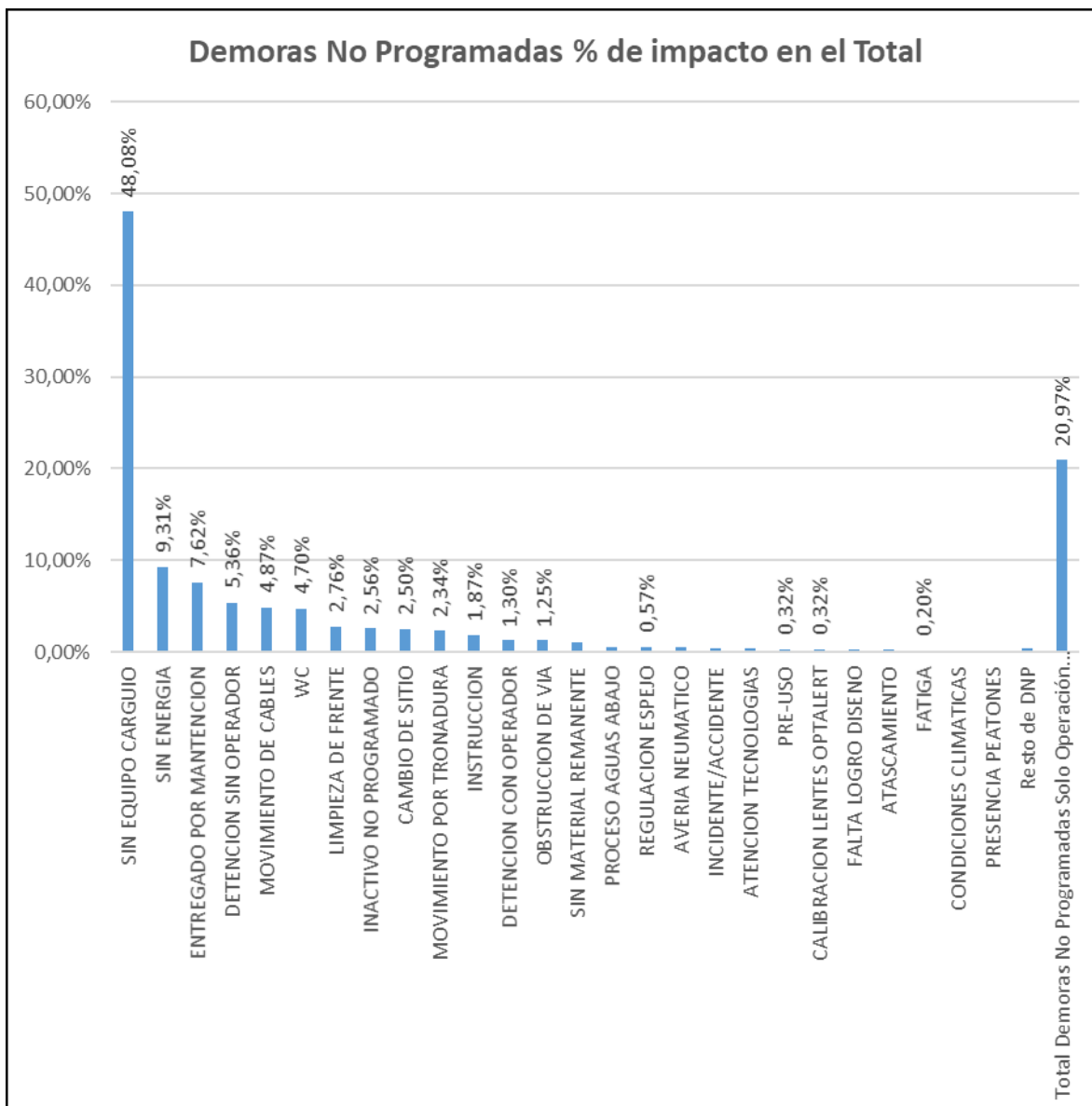


Grafico 11: Impacto Porcentual de Demoras no programadas en el total de horas no programadas, datos elaboración propia con base real año 2020 operación de estudio.

En base al análisis del año fiscal 2020, se puede establecer la oportunidad de aumentar, en 21600 horas más, las horas operativas, para la flota de camiones, significa, mejorar su utilización base en un rango entre un 9,6% a un 13 % comparado con el valor actual promedio.

7.2.6. Diseños.

Las posiciones y velocidades de los camiones autónomos, se controlan dentro de las tolerancias finas. El sistema de localización de autonomía es un GPS de alta precisión, que tiene una precisión de varios centímetros. Esta precisión significa se requiere menos espacio entre el camión y los bordes de la rampa u otros camiones que viajan en la dirección opuesta. Esto permite reducir el ancho de la rampa, en esta evaluación teórica.

Una reducción, en el ancho del camino de transporte, permite que la pendiente total del rajo, utilizada para la planificación de la mina, sea más pronunciada, sin comprometer la seguridad. Una pendiente más pronunciada, generalmente tiene varios beneficios financieros; una reducción en la extracción de lastre, un beneficio asociado que se convierte en mineral adicional en el fondo del rajo y potencialmente la capacidad de acceder a mineral más profundo antes, en la vida útil de la mina (si se extrae la tasa de tonelaje es el factor limitante).

Un beneficio adicional, no examinado en este estudio, es que, como los camiones autónomos coordinan con precisión, son capaces de utilizar caminos de transporte unidireccionales. Se pueden coordinar mejor, para llegar a la pista de ida y vuelta en forma periódica y en el momento adecuado para minimizar los tiempos de espera. Las rampas de una sola vía son a menudo utilizadas para el acceso al fondo del rajo durante la etapa final de la vida útil de la mina.

Pendiente del rajo - bancos de extracción más angostos:

Los vehículos autónomos no requieren operadores, lo que puede reducir los niveles de riesgo evaluados y permitir anchos reducidos de los bancos de extracción. Las evaluaciones de riesgos generalmente consideran dos componentes para el ello, "probabilidad" y "gravedad"; por ejemplo, una caída de roca en un camión de transporte autónomo no tendría riesgo de dañar a una persona, la gravedad de un incidente se reduce potencialmente. O visto de otra manera, las personas están menos expuestas en áreas del rajo donde existe el riesgo de caída de roca, que reduce la probabilidad de un resultado de accidente de personas. En algunos diseños de pozos, esto puede permitir que cambie la categorización del riesgo y, por lo tanto, se reducirá el ancho del banco de captura.

Una reducción similar del factor de riesgo, puede ser posible para los ángulos de la pared, ángulos entre rampas, sin embargo. Los ángulos entre rampas dependen de una clasificación de masa de roca y un factor de seguridad. Si bien las características del macizo rocoso no cambiarían, existe potencial en rajo, con menos personal en general y menos horas de personal en el rajo por año, para reducir el factor de seguridad. (Autonomous Haulage Systems Financial Model Assessment, Nick Redwood Whittle Consulting Revision F, 14 Feb 2018).

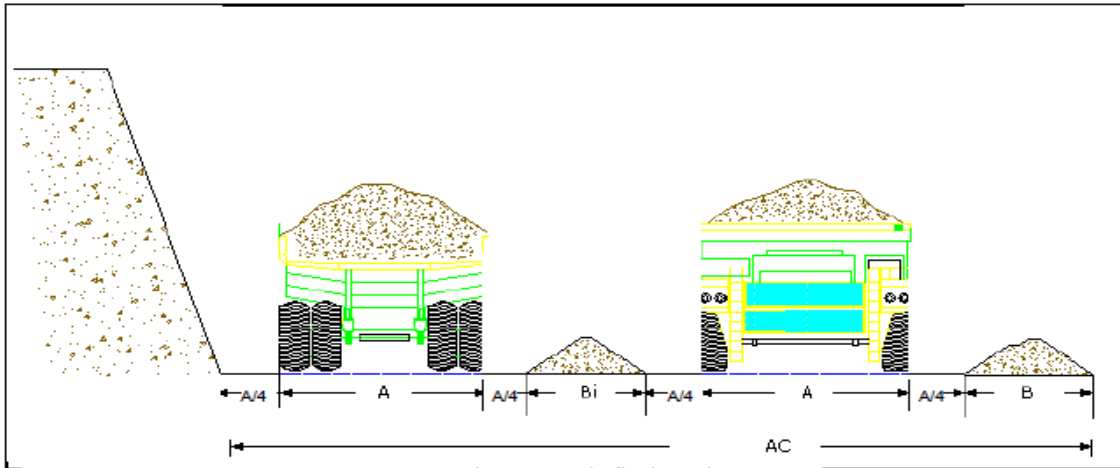


Figura 12: Diseño estándar de una rampa principal mina.

Finalmente, si llevamos todas estas proyecciones, a una interpretación de la evolución de costos, en la operación de análisis, podemos identificar el impacto en el costo unitario de transporte de una operación minera. En este caso en particular el rango del costo unitario de ajuste de variables de costos está dentro del orden del 07 al 12 % menos comparado con el caso base. Según se muestra en la Grafica 13.

Un camión minero autónomo tiene un costo de inversión un 30% más caro que uno tripulado, esta tendencia, a medida que se avanza en el desarrollo de la tecnología y se masifica, debería tender también a disminuir su alto costo.

Estudios indican, que los beneficios se traducen en 15% de mayor disponibilidad mecánica, un 5% aumento en productividad, un 15% más de aumento de vida del camión, los tiempos de ciclo se reducen en un 8%, el consumo de combustible en un 12%, la vida de los neumáticos en un 13% los costos de mantenimiento en un 1% y los costos laborales en un 5% (claramente esto va a depender de la envergadura y de la condición. (Automining 2012, John Meech, University of British Columbia, Autonomous Haulage Trucks.)

Para el caso de convertir por ejemplo 170 camiones desde una operación manual a una autónoma, es diferente a una flota de 40 en términos de costo laboral.

En términos de costos el estudio realizado para la conversión de una flota manual a una autónoma, indica que el costo unitario mina en operación autónoma, debería

estar entre un 7% a un 12% menos que la actual operación manual, para este caso este efecto se ve reflejado en la gráfica 20.

Se puede apreciar, claramente, que, si no existen opciones ni alternativas de mejoramiento, el costo unitario mina, se puede ver incrementalmente aumentado, quedando fuera de los parámetros competitivos de la industria dentro de los primeros dos cuartiles.

Un sistema de transporte autónomo que entregue un ahorro de un 12% en el costo unitario, implicara mantener la operación dentro del rangos competitivos, esto combinado a otras iniciativas, darán a la operación de la mina un espacio de competitividad y sustentabilidad del negocio, que implica que se den oportunidades para todos los involucrados en el futuro.

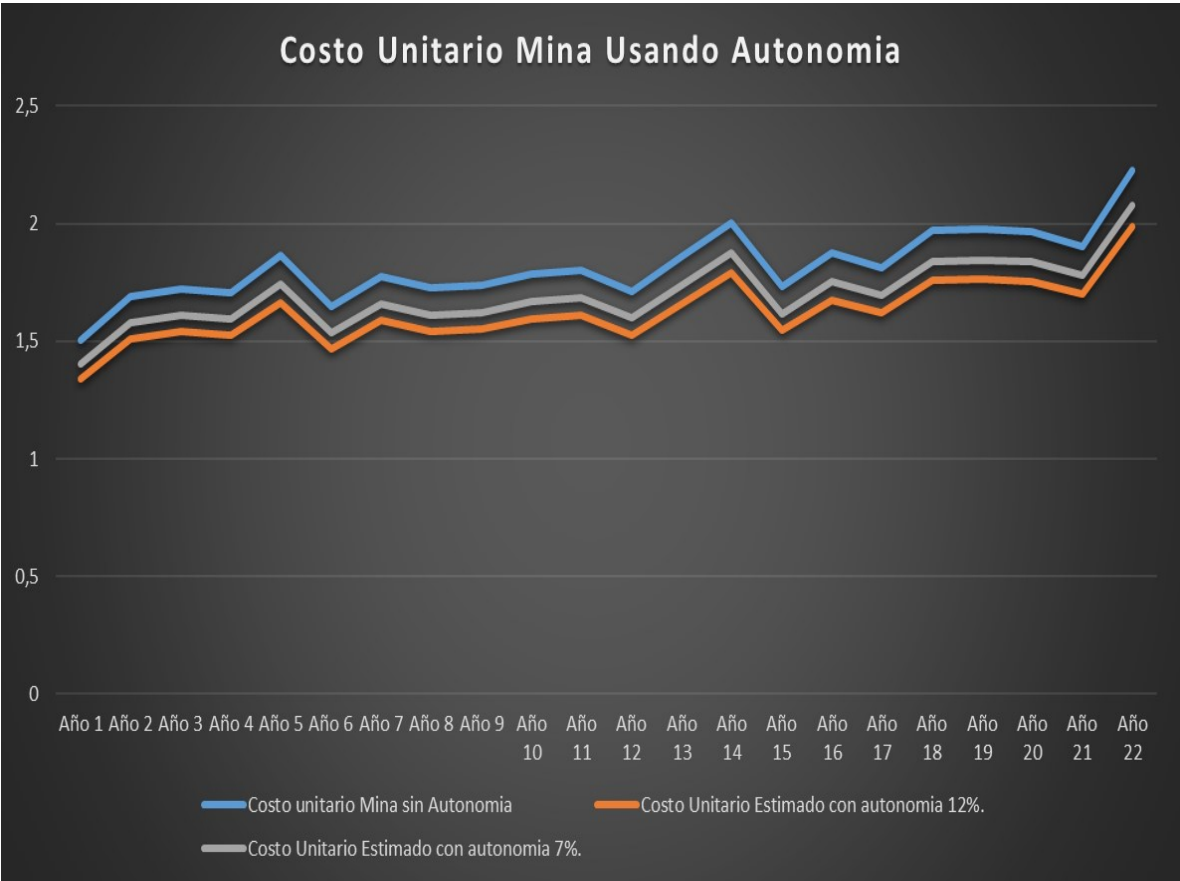


Grafico 12: Costo unitario mina US\$/ton Movida, Elaboración propia, estimaciones evaluaciones, usando datos benchmarking de la industria.

7.3. El Caso de Negocio y el Valor Financiero

El beneficio o el valor del negocio, claramente va a depender del punto de comparación base, sobre el cual se realice el análisis, y cuál será el punto de partida de la autonomía, si es en una operación nueva o bien en una operación que desea convertirse de manual a operación autónoma, para nuestro caso, consideraremos el análisis de convertir una operación minera manual a una autónoma, donde las mejoras, en términos operacionales que se indican más arriba, se suman, a un cambio en el diseño, el cual implica, por ejemplo, disminuir anchos de pistas. Las disminuciones de estos anchos de pistas implican también una evaluación en términos de la geometría y diseño actual que es necesario corregir.

Este cambio incluye, disminuir en ancho efectivo de pistas, como así también, eliminar pretilas centradas y ajustar condiciones de seguridad a las capas de seguridad del sistema autónomo, que le permitan interactuar a los camiones autónomos con otros equipos, tanto autónomos, como tripulados. En términos numéricos y dependiendo de las consideraciones del fabricante los requerimientos pueden ir variando. Este ancho puede tener entre un 10% a un 13% menos del ancho original, donde la disminución se obtiene en eliminar, por ejemplo, los pretilas centrales, esta disminución de ancho, también implica que el material necesario para extraer minerales disminuye, pudiendo, solo este cambio de diseño, entregar hasta el 80% del valor de caso de negocio, dejando el otro 20% a efectos operacionales directos en mejoras en productividad, menores costos laborales, aumento de disponibilidad, aumento de utilización, menor consumo de combustible, mayor duración de neumáticos.

El Costo de Inversión de convertir una operación manual a una autónoma tiene varias particularidades y tal como mencionamos anteriormente, en el capítulo 6, va a depender del tipo de equipo y de las características del yacimiento, en nuestro caso de estudio la flota de camiones, al ser relativamente nueva, requerirá un inversión menor en términos de reparaciones y preparación de los camiones para la instalación de KIT, esto podría ser diferente si las flotas requieren una alta inversión en actualizarla (retrofit).

Para este caso, el monto fuerte en inversión está dado por la adquisición de los KIT autónomos, los cuales representan el 53,9% del total de inversión, como se muestra en la Gráfica 14, esto incluye tanto los KIT para los camiones autónomos como los KIT necesarios, para los vehículos tripulados, que interactúan en el sistema autónomo.

Hoy en día el valor unitario de cada KIT depende de cada fabricante y según las condiciones comerciales, podrían variar entre los KUS\$ 550 a KUS\$ 900 cada uno, el segundo monto en importancia recae en los soportes para los procesos de instalación, el cual está cercano al 13,4% del total de la inversión.

Las licencias y el soporte tecnológico representan un 12,5 % del total de inversión, cabe mencionar que, en el caso de estudio, no se ha considerada la construcción y habilitación de una red interna de comunicaciones (LTE), que es recomendada por los fabricantes para un mejor desempeño de la autonomía, pues fue considerado en otro proyecto, por lo que los costos del proyecto y su valor cambiarían.

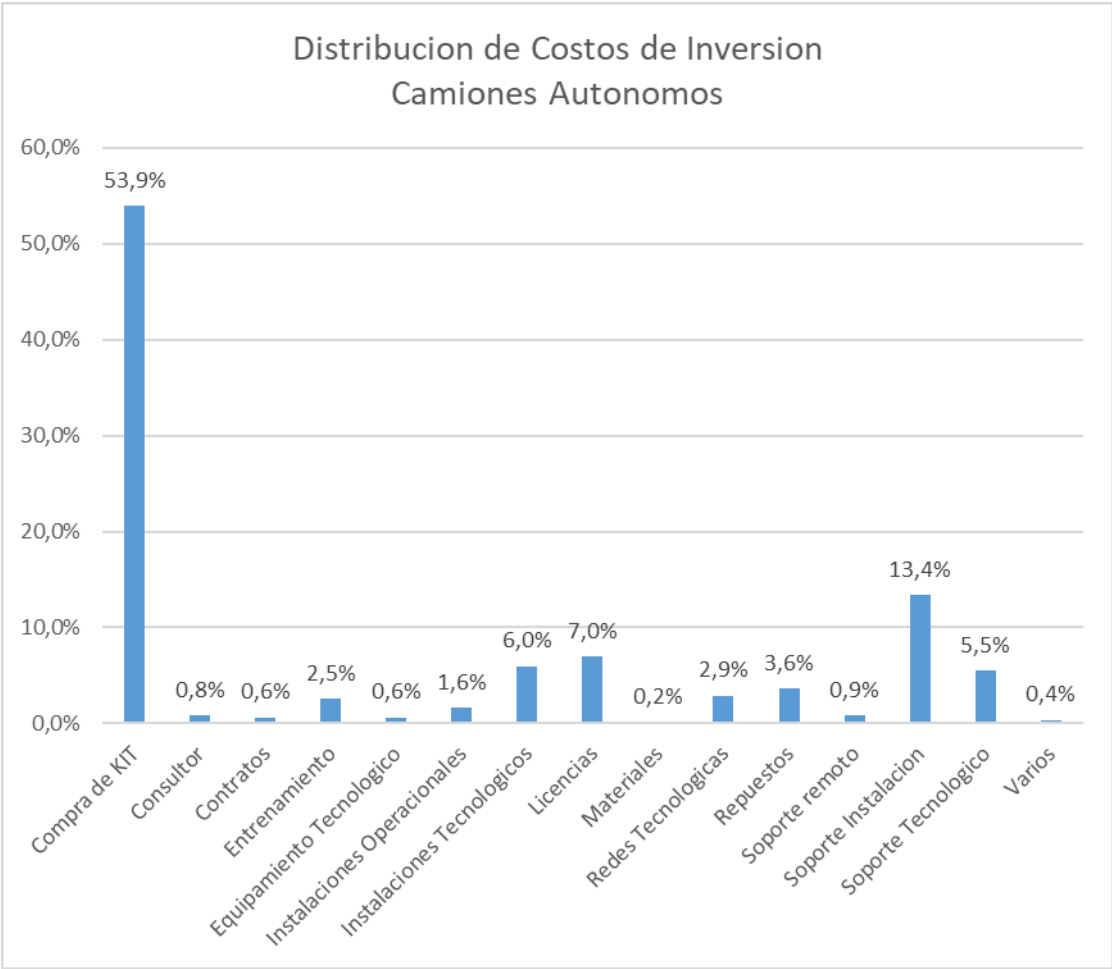


Grafico 13: Distribución del Costo de Inversión de un proyecto autónomo, Grafico de elaboración Propia datos proyecto en Estudio.

La Grafica 15, muestra el resultado del NPV del proyecto, de un 35% en relación al caso base, aplicando autonomía para un rango de cálculo de 20 años. El factor más relevante está dado por los cambios en el diseño de la mina, términos de diseño de rampas, anchos de bermas, que implican rediseñar el pit logrando con ello mejorar el acceso a los recursos, pudiendo disminuir el tiempo de llegar a los minerales, moviendo menos lastre.

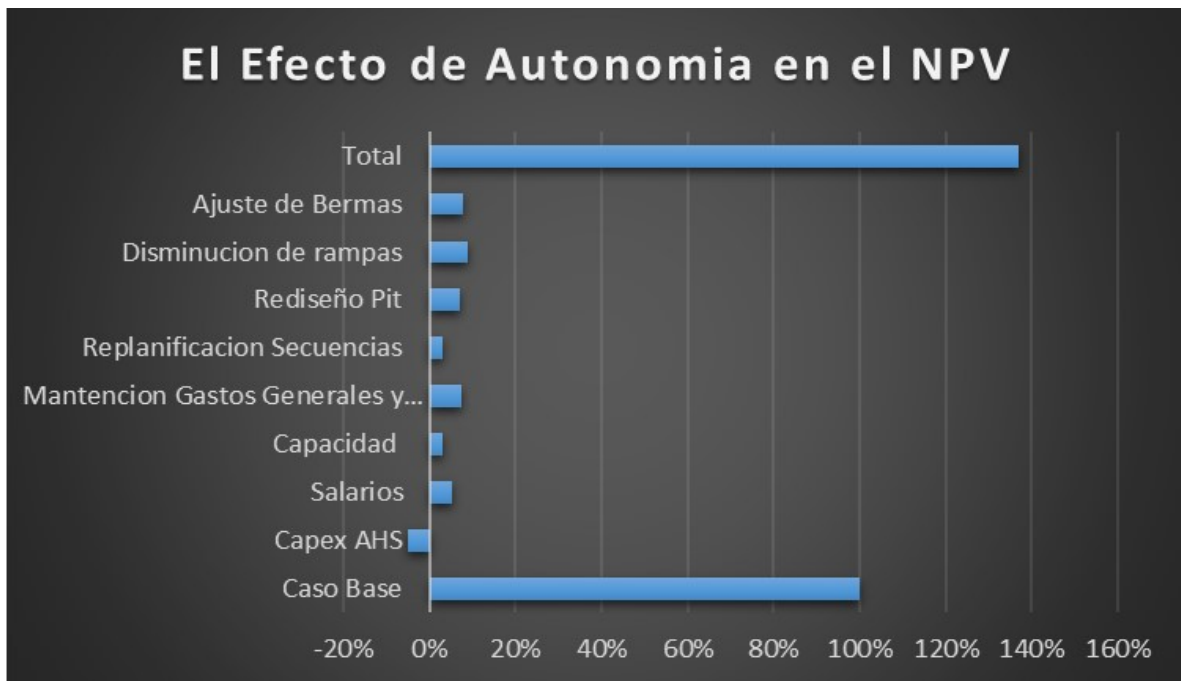


Grafico 14: Efecto de la autonomía en NPV, Grafico elaboración propia, base de cálculo caso de negocio del Análisis.

Donde se ratifica que el porcentaje de mayor impacto en términos relativos está dado por los cambios en el diseño donde el 80% de Valor de negocio de la autonomía esta dado en ese ítem generando para el caso de la productividad de la flota un 80% como se indica en la figura 16.

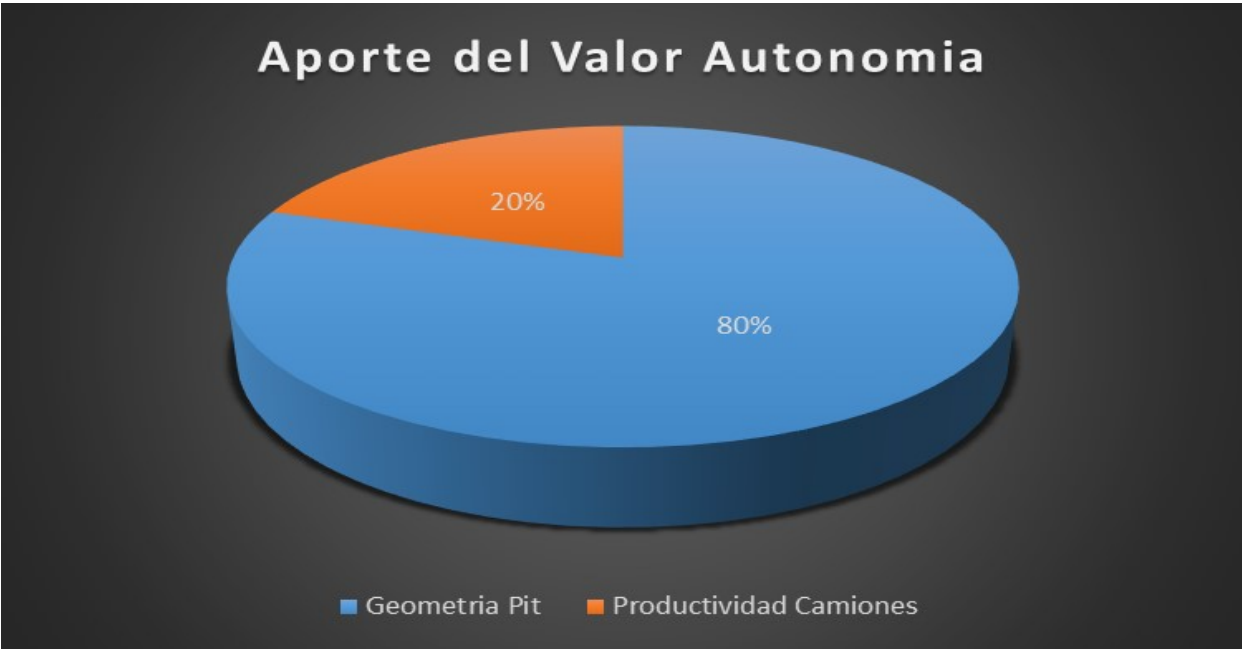


Grafico 15: VPN de Operación Manual Autónoma, fuente información interna análisis de caso de negocio.

La Grafica 17, muestra la distribución del valor del negocio, en términos de costos, dados por la comparación, entre usar un camión autónomo versus un camión tripulado, el 30% de mayor costo de inversión inicial, en este caso viene dado por la compra de un equipo listo para ser usado en autonomía.

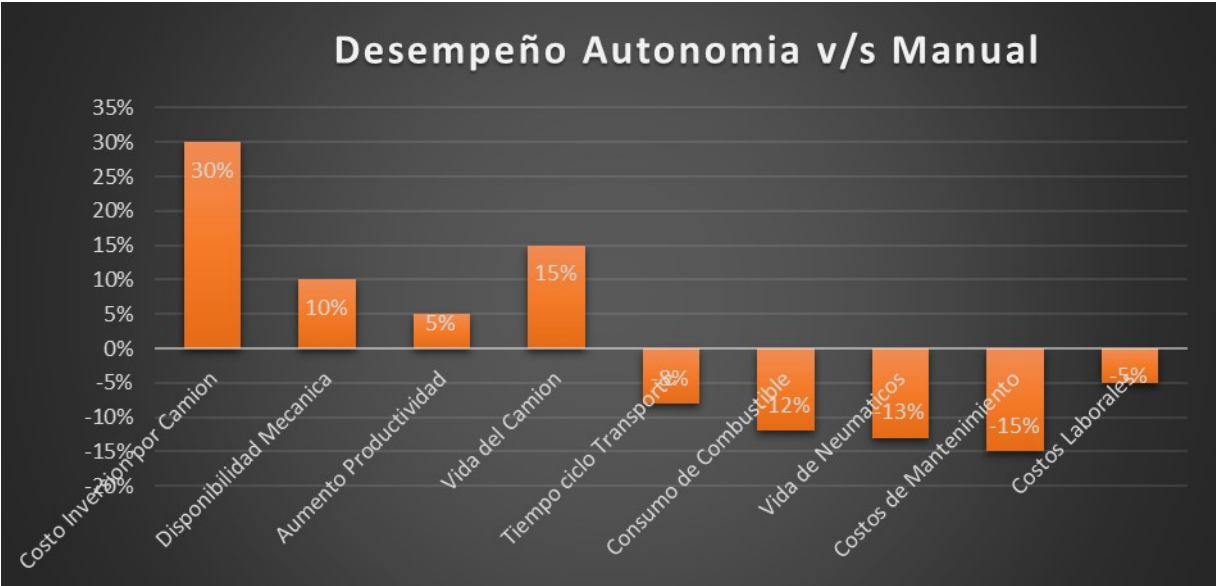


Grafico 16: Elaboración Propia, Fuente datos Universidad of British Columbia, John Meech, Autominig 2012.

8. FORTALEZAS OPORTUNIDADES DEBILIDADES Y AMENAZAS

La Tabla 2, pretende mostrar un resumen de las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas de la implementación de un sistema de transporte autónomo, resumiendo parte de los análisis del estudio realizado anteriormente.

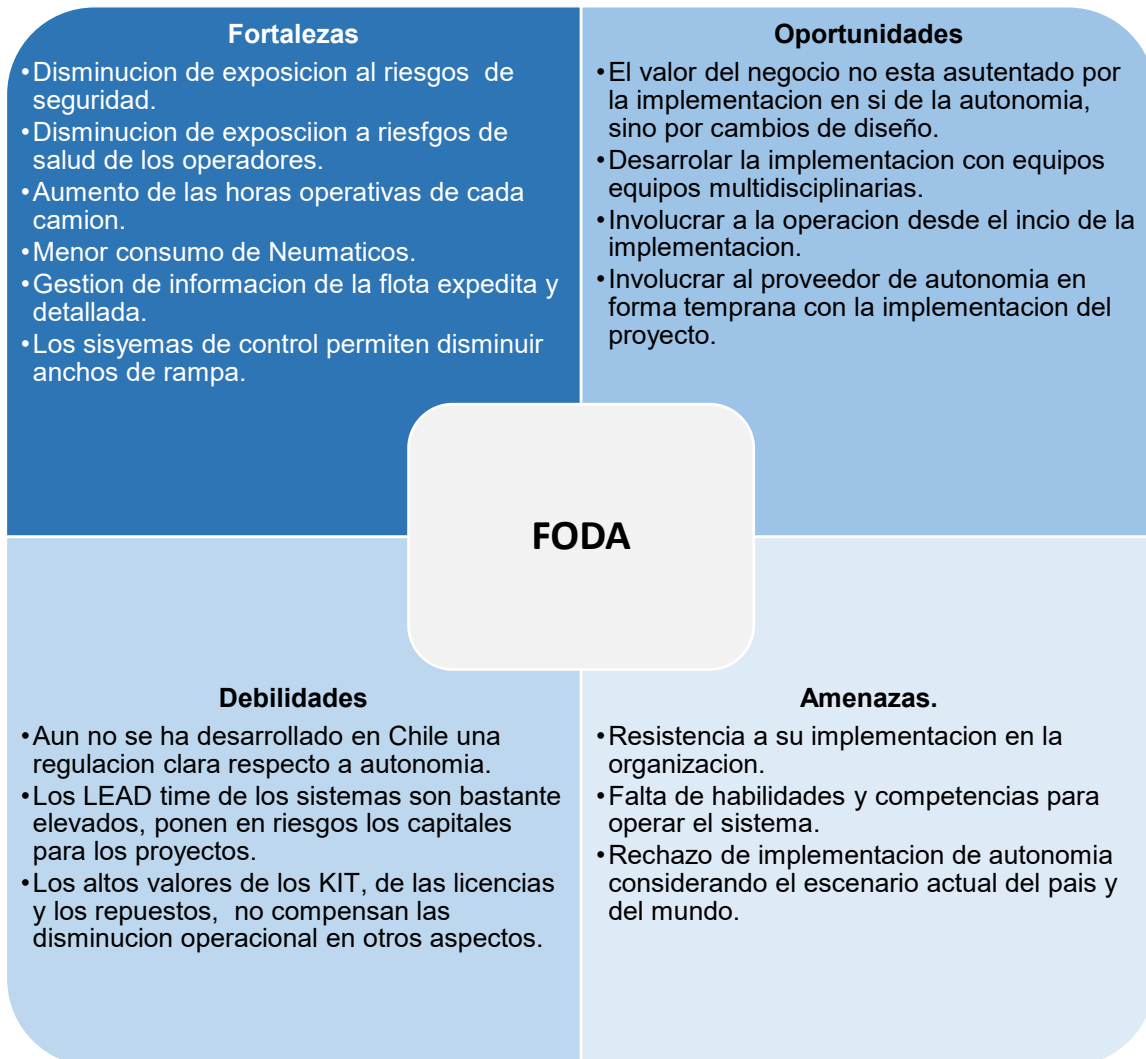


Tabla 2: Análisis FODA Cambio sistema operación manual a Operación Autónoma de camiones Mineros. Elaboración Propia, con información resultante del estudio.

9. ESTRATEGIA DE GESTION DEL CAMBIO.

9.1. Los Riesgos

Al identificar un proceso de cambio, de pasar desde una operación manual, a una operación autónoma, un paso muy relevante consiste en poder gestionar los riesgos que esto implica y no tan solo los asociados a seguridad, sino que aquellos involucrados principalmente en lo que implica adaptarse a esta nueva forma de operar en el transporte usando camiones autónomos, Tal como comentamos en los capítulos introductorios no es solo un cambio tecnológico es un cambio Cultural. Se ha usado mucho el concepto de desaprender para aprender. “los analfabetos del siglo 21 no serán aquellos que no sepan leer ni escribir sino aquellos que no sepan desaprender “. O, mejor dicho: “...los analfabetos del siglo XXI no serán aquellos que no sepan leer y escribir, sino aquellos que no puedan aprender, desaprender y reaprender”. (Alvin Toffler, Nueva York, 3 de octubre de 1928-Los Ángeles, 27 de junio de 2016, escritor, sociólogo y futurista estadounidense, doctorado en Letras, Leyes y Ciencia, conocido por sus discusiones acerca de la revolución digital, la revolución de las comunicaciones y la singularidad tecnológica).

La Implementación de camiones autónomos incluye riesgos inherentes adicionales, asociados con las actividades comerciales (adquirir equipos, compra de tecnologías, servicios, soportes), existes cambios de personas y transformación organizacional, más allá del típico asociado con la entrega de programas de infraestructura con grandes y complejos cambios.

Incorporar camiones autónomos para transformar una operación manual, es una tarea muy compleja y el proceso de Gestión del cambio debe ser gestionado eficientemente. Un significativo cambio en el modelo operativo, tanto en la faena como en los centros de control, en el proceso de mantenimiento de tecnología, involucra cambios relevantes en su ejecución.

Dentro de los riesgos detectados están:

Personas, Comunidad y Normativa – Esto implica gestionar la relación con las autoridades, como identificar correctamente las relaciones con las comunidades, como enfrentar la resistencia al cambio, como adaptarse a la normativa.

Bases tecnológicas: entrega de infraestructura tecnológica confiable, segura y efectiva requerida para el transporte autónomo.

Cambiar las Operaciones: Esto implica una transformación y la capacidad de diseñar e implementar una operación de transporte con camiones autónomos que puede lograr un desempeño de alto estándar en la industria desde el punto de vista de seguridad, productividad y costos transformándose en referentes en la industria.

Comercial: Los proveedores deben entregar tecnologías confiables, hardware de calidad y además poder aportar con su experiencia para mejorar en forma eficiente el proceso.

Se identifican varios riesgos los cuales se pueden distribuir en base a su área de influencia y su impacto, también estos riesgos pueden dividirse en aquellos de carácter interno que son parte del proceso de gestión propio de la compañía, como aquellos riesgos externos que involucran a actores externos y que su resolución por ejemplo tiene que ver con cumplimientos de normas, o bien con una gestión enfocada en cumplir la promesa de valor social.

- Comercial: no se puede llegar a un acuerdo con los fabricantes (OEM) para respaldar la estrategia de implementación.
- Personas y comunidad: La autonomía se puede transformar en un problema político donde los procesos electorales puedan generar impactos y objeciones a su implementación.
- Personas y comunidad: La implementación de la autonomía genera la protesta y/o molestias por parte de la comunidad.
- Personas y comunidad: La implementación de la autonomía puede generar y sumar incumplimientos con en relación a compromisos de valor social, inclusión y diversidad, contratación de mano de obra local, desarrollo de proveedores locales.
- Cambios de operaciones: Las autoridades puedan objetar la implementación de proyecto y bien no aprobarlo.
- Legal: La autonomía en Chile, no cuenta hoy en día, en especial en operaciones mineras, con una regulación formalizada, ni con las exigencias, ni requisitos establecidos, para la implementación de autonomía, esto puede comprometer su implementación, si es que estas regulaciones elevan demasiado su nivel de exigencia que se hace imposible hacerlo.

En la tabla 3, se muestra un resumen de la Matriz de riesgo establecida para la implementación de camiones autónomos.

Matriz de Riesgos Implementación Camiones Autónomos	
Área Riesgo	Riesgo
Comercial	No lograr acuerdos comerciales con proveedores de sistemas de autonomía (OEM) que permitan sustentar la implementación de camiones autónomos.
Personas y Comunidad	La implementación de camiones autónomos se enmarca dentro de procesos electorales y reformas importantes para el país esto puede generar acciones de y posiciones opuestas en las respectivas campañas.
	Al no contar hoy con una legislación específica en términos de autonomía en operaciones mineras y querer incorporar una nueva Introducción de nueva legislación por parte del estado esta pueda generar prohibiciones o restringir de tal forma el uso de la tecnología autónoma que generen impracticable su uso.
	Las comunidades se manifiesten y protesten en contra de la implementación de autonomía.
	La implementación de camiones Autónomos generar cambios importantes en el compromiso de Valor Social adquirido por la compañía, que en definitiva generen no cumplimiento con estos compromisos, como lo son la inclusión y diversidad, contratación de mano de obra, proveedores locales, etc...)
Cambios en la operación	Las autoridades representantes del estado, son opositores a la implementación de tecnologías y usan sus atribuciones para prohibir, impedir, o retrasar la implementación del programa.
	Se genera un evento de seguridad con los camiones autónomos que implica la detención o suspensión de su implementación.
	Las autoridades interviene la implementación por una gestión inadecuada en la implementación de la autonomía por parte de los responsables en la operación.
Tecnología	Incorporar tecnologías sin probarlas, sin evaluarlas correctamente, con recursos restringidos o reducción de alcances, que implican fallas en los sistemas o hardware, que impliquen en fracaso en su implementación.

Tabla 3, Matriz de Riesgos Implementación Camiones Autónomos, Elaboración Propia con información Proyecto de Estudio 2020.

9.2. La Estrategia

La gestión del cambio es el proceso, planificado y estructurado de intervenciones utilizando herramientas de seguimiento y control que movilizan el capital humano de la organización, desde un estado actual a un objetivo deseado por la administración, que puede tener características técnicas o adaptativas.

Existen diversos modelos o marcos de referencia que las empresas pueden tener en cuenta a la hora de introducir y gestionar procesos de cambio. Entre los más utilizados, con alcance organizacional, se incluyen los siguientes:

- El modelo ADKAR.
- El modelo de Lewin.
- El modelo de los 8 pasos de Kotter.
- El modelo McKinsey 7-S.
- La teoría Nudge.
- El modelo ACT FSL™.
- Teorías: a) Curva Kübler-Ross del cambio, y b) Curva Rogers de difusión de la innovación

Cada uno de estos modelos, en general establece como base conceptual dos puntos relevantes:

- El primero está identificado como la alineación donde es necesario entender la necesidad del cambio, establecer los equipos claves y desarrollar visiones y estrategias para la gestión del cambio,
- La segunda etapa se define bajo el concepto del compromiso donde es necesario motivar y crear la sensación de urgencia, comunicar en forma efectiva, actuar y luego ir efectuando los respectivos controles que permitan hacer seguimientos para establecer cómo se va consolidando este cambio.

La figura 13, muestra en esquema resumen de los pasos de implementación de un proceso de gestión de cambio definido en 7 pasos.

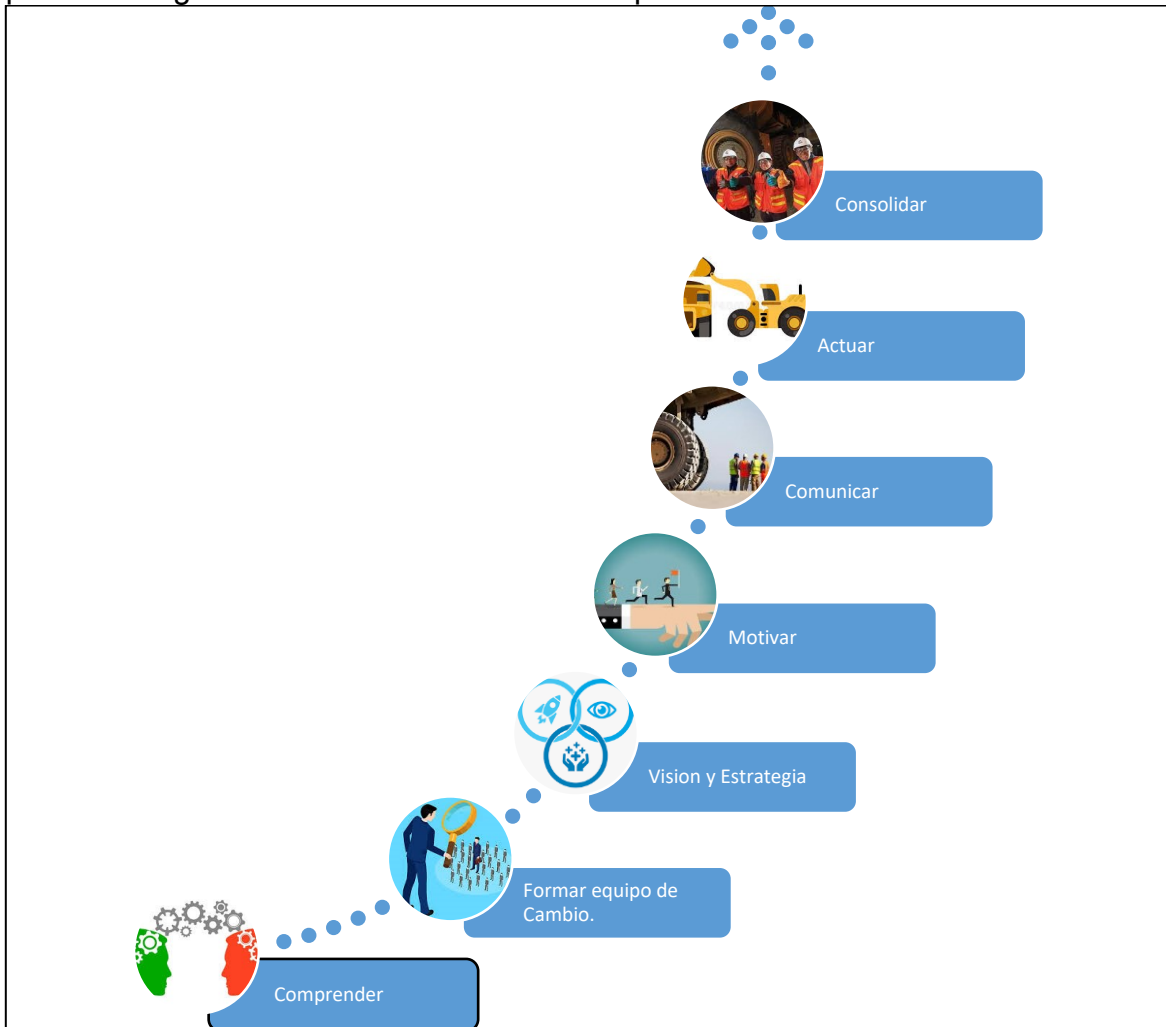


Figura 13, Esquema de Pasos implementación Gestión de Cambio, Elaboración Propia, información curso Gestión de Cambio MBA Minero U de Chile, Octubre 2020, Profesor Alex Jackes.

Paso 1: Comprender

Comprender cuales son los impactos sino se efectúa el cambio, identificar la realidad del negocio, y su proyección en el futuro son claves, para establecer la necesidad de hacer el cambio, los detalles están identificados en el capítulo 7 de este documento, donde los principales efectos están dados por exposición a riesgos y el aumento de costos de la operación mina. Principalmente en el proceso unitario de carguío y transporte.

Las consideraciones básicas para esta etapa están dadas por:

- Entrevistas con líderes, gerentes y empleados de primera línea.
- Interactuar con clientes y proveedores (es decir, grupos de enfoque).
- Identificar un punto de referencia en los competidores y otras organizaciones.

Identifique el problema:

- Determinar las causas fundamentales, pero no los síntomas.

Compartir información con los interesados clave. (Alta Dirección).

- Crear una alineación con los interesados claves (gerentes) mediante el intercambio de una evaluación honesta de los panoramas actuales, competitivos y financieros.
- Realizar de 5 a 6 acciones para garantizar la comprensión.

Paso 2: Captar.

Esta etapa de la Gestión de cambio permite identificar quienes serán actores claves (stakeholder) del proceso de implementación del cambio, quienes están a favor, como quienes se oponen, o quienes son indiferentes, la identificación temprana de estos grupos permite, también, en forma temprana planificar las acciones necesarias para su involucramiento.

Identificar al patrocinador (Sponsor):

- Es activo y visible, brinda apoyo, administra la resistencia y se comunica directamente.

Identificar al agente de cambio:

- Es visionario, es motivador, empodera y gestiona.

Capte al equipo de cambio:

- Considerar a los miembros según los distintos liderazgos, el poder del puesto que ocupan, la experiencia, la credibilidad y la gestión.

Identificar a los interesados clave:

- Hacer un esquema del apoyo de los interesados para tener una idea clara de la preparación de la organización para el cambio.

Para el caso de este estudio fueron definidos dos grupos claves en este proceso:

Grupos claves (Stakeholders) externos, que corresponden a todas las organizaciones comunitarias, asociaciones gremiales, servicios públicos y autoridades que pueden jugar un rol en la implementación de camiones autónomos.

Grupos Claves (Stakeholders) Internos, son todos los distintos grupos y roles dentro de la compañía, que juegan un papel importante para la implementación de camiones autónomos, este trabajo se basa en específico en este grupo.

La metodología empleada para esta identificación, corresponde primero, a un levantamiento de todos los grupos y roles que juegan un papel preponderante en el proyecto y que son parte de la compañía, un segundo paso es identificar cual es el grado de impacto que este proyecto implica en cada grupo y/o rol y cuál es el nivel de influencia, que este grupo o rol, puede tener en el desarrollo del proyecto.

El resultado es llevado a una representación matricial, en esta representación gráfica se puede identificar qué tipo de acciones en general serán necesarias aplicar para el involucramiento en el proyecto.

El Grafico 18, representa el resultado del levantamiento de Stakeholder aplicando procesos de este levantamiento como talleres, encuestas o revisiones individuales de identificación.

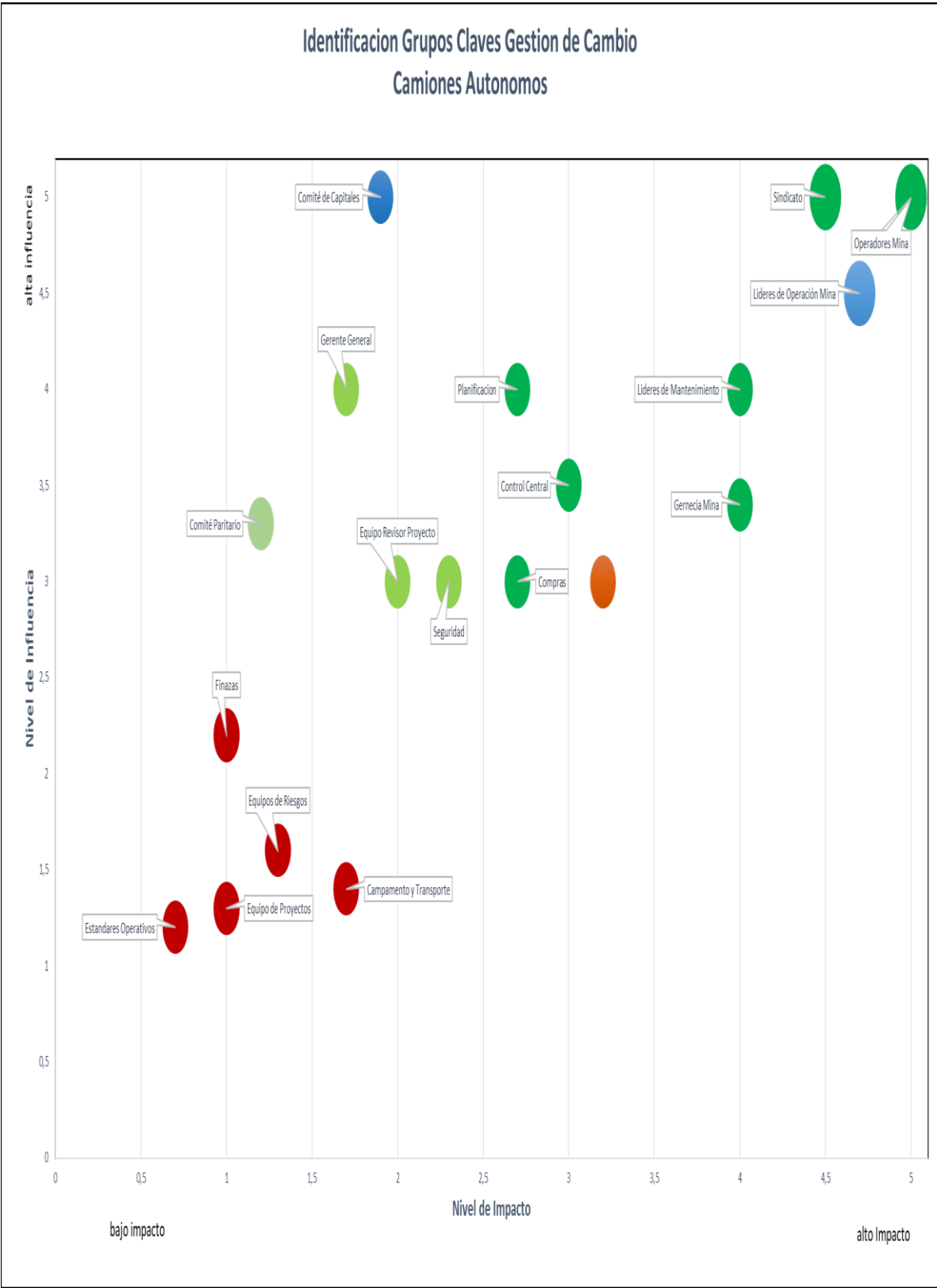


Grafico 17: Identificación de Stakeholder Claves proceso de Gestión de Cambio Camiones Autónomos, Elaboración Propia, resultado talleres de estudio Proyecto, 2020.

Paso 3: Preveer

- Desarrollar una visión para el proyecto: “Lo que quiere lograr”.
- Tangible, deseable, factible y flexible, centrado y simple.
- Breve, flexible e inspirador.
- Las grandes visiones son básicamente conductuales y se traducen fácilmente en acción.
- Desarrollar una visión para implementar: “Cómo lo logrará”.
- Proporcionar un marco o un plan para las decisiones operativas.
- Los 5 a 7 pilares principales para lograr la visión.
- ¿Qué podemos esperar ver más/menos en el futuro?

Su propósito es avanzar en la búsqueda continua de mejores estándares de seguridad, mantener a la compañía en una posición competitiva, explorar nuevas formas de cómo agregar valor a nuestro trabajo, mejorar nuestro performance operacional y desempeño medioambientales, entre otros.

Nuestro propósito es mejorar nuestros procesos operacionales, así como también nuestra competitividad y productividad, transformando nuestra filosofía operativa para lograr ser una operación más sostenible, segura y alineada con nuestro principio de valor social.



Figura 14: Creando contexto para establecer la Visión y la Misión, Elaboración Propia parte del proyecto. 2020.

Paso 4: Motivar.

Abordar los niveles racionales (30%) y emocionales (70%)

Crear un sentido de urgencia:

- Considerar avanzar (oportunidad) frente a alejarse (crisis)
- Respuesta: ¿Cuáles son las implicaciones del statu quo?

Compartir información y comunicarse honestamente con toda la organización:

- Compartir el panorama competitivo y financiero con todos los empleados.
- Dejar tiempo para sesiones de preguntas y respuestas con los empleados.

Haga que sea personal (WIIFM):

- Fomentar el aporte y el diálogo bidireccional.
- Extrínseco (salario, bonificación, etc.) frente a intrínseco (propósito, dominio, autonomía).
- Ganar los corazones y las mentes de las personas.

Paso 5: Comunicar

Las Comunicaciones

Este es un aspecto relevante y puede marcar la pauta de cómo avanzar en la implementación de un sistema de camiones autónomos, los mensajes que se transmiten debe ir en el sentido positivo de adquirir una tecnología como parte del proceso productivo, este mensaje debe ser claro, preciso, y dentro de los avances de la implementación, con la transparencia y certeza de la información con la cual se cuenta. Reforzando que los beneficios están pensados en crear valor social a través de foco en seguridad, disminuyendo las personas expuestas a los riesgos propios de la operación minera,

La Figura 15 muestra una forma de elaborar un plan comunicacional y de gestión de cambio dirigido hacia las personas.

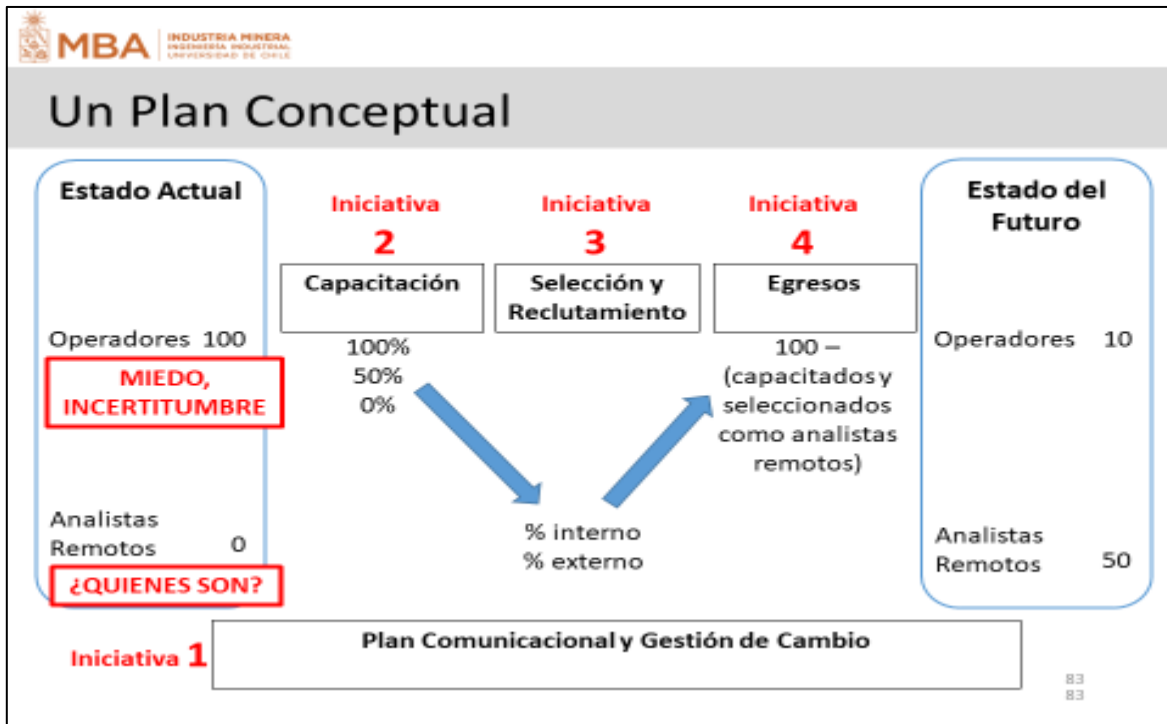


Figura 15: Plan conceptual de comunicación y Gestión de Cambio, Fuente Gestión de Capital humano MBA industria Minera, U. de Chile, Lisa Alvarez Calderon, Septiembre 2019.

¿Qué debe comunicar?:

- Compartir y repetir constantemente la nueva visión.
- Ser honesto con los empleados; comparta posibles desafíos.
- Abordar la ansiedad debido a la falta de certeza.
- Nuevas expectativas/objetivos (individuales).
- Nuevos objetivos (grupo/corporativo).

¿Cuánta comunicación es suficiente?:

- Decir o y repetir: ¡la regla de “7 veces”!
- Usar varios métodos (presencial, correos electrónicos, foros, boletines informativos, Intranet de la empresa, etc.).

Paso 6: Actuar

Implementar acciones consistentes con la visión y la comunicación:

- Hacer estructuras compatibles con la visión.
- Alinear prácticas, políticas, sistemas.
- Tratar con personas que reducen el cambio necesario.

Proporcionar la capacitación que los empleados necesitan:

- Desarrollar una infraestructura de capacitación específica para la ejecución de una nueva estrategia.
- Considerar proyectos piloto con grupos más pequeños antes de la capacitación corporativa.

Paso 7: Consolidar

Alentar y recompensar:

- Celebrar y divulgar los éxitos del nuevo cambio.
- Recompensar los aportes individuales.
- Compartir evidencia y datos que demuestren que el cambio está funcionando.

Comunicar ambos aspectos:

- Cuantitativo (evidencia, gráficos de barras, unidades vendidas, ventas, ganancias);
- Cualitativo (historias de éxitos, testimonios de clientes y empleados).

Reflexionar y aprender:

- Incorporar las lecciones aprendidas en proyectos futuros.

En cada proceso de gestión de cambio, existen consideraciones que se deben tener en cuenta y que pueden complicar la implementación, los errores más comunes que se observan son:

- Esforzarse poco en comprender, demasiado hincapié en la visión y pasar directo a la acción.
- Perder tiempo y energía en tácticas de poco valor.
- Diagnosticar erróneamente el alcance del cambio o establecer cronogramas poco realistas y que producen crisis.
- Menospreciar la cultura organizacional y la necesidad de cambiar la vieja cultura para que se adapte a la nueva estrategia.
- Pasar por alto la necesidad de lograr un modelo de liderazgo.
- Falta de un proceso abierto y transparente.
- Gerentes sénior que ven las preguntas como negativas.

Existirán procesos adicionales a la tecnología en sí de camiones autónomos, que requerirán revisar cómo se hace hoy y como se puede hacer en el futuro, donde se elimine la interacción entre las personas y una flota autónoma, por dos razones principales, el primero eliminar la exposición y el riesgo de interacción y el segundo

dar continuidad al sistema autónomo, sin poner obstáculos en el camino, la esencia de la operación autónoma entonces está en la continuidad operacional.

También es indudable, que cambiar una operación manual que se ha desempeñado así por más de una década, con una cultura establecida, a una operación autónoma en su proceso de transporte, incorporando camiones autónomos, requiere, no tan solo la incorporación de un cambio tecnológico, sino que también incorporar una filosofía operacional distinta donde todos los actores operan bajo un concepto nuevo.

“La primera regla de cualquier tecnología utilizada en una empresa es que la automatización aplicada a una operación eficiente magnificará la eficiencia. El segundo es que la automatización aplicada a una operación ineficiente magnificara la ineficiencia ". Bill Gates

En este aspecto es clave considerar el desarrollo de las estrategias estableciendo algunos aspectos relevantes:

- Definiendo principio que gobernara la operación (principios basados en la estrategia global de la compañía).
- Establecer el modelo operativo bajo el cual se gobernará el proceso, también con sus principios y alcances básicos.
- Definir la estructura.
- Identificar los aspectos tecnológicos y de sistemas relevantes para el funcionamiento.
- Establecer cómo serán gobernados los impactos, los riesgos y sus cambios.
- Establecer el plan que apalancara todos los stakeholders relevantes tanto internos como externos.
- Identificar el plan del cómo serán abordados los impactos en las personas, en sus capacidades, competencias, reconversiones.

Para aprovechar al máximo una flota de transporte autónoma, las operaciones deben considerar cuidadosamente cada aspecto de la implementación del sistema y preparar a su fuerza laboral para un cambio significativo, dado que no es solo un cambio tecnológico es un cambio cultural.

9.3. El Modelo Operativo:

El Modelo operativo, entrega la guía básica inicial, para poder definir los procesos, las estructuras y los sistemas a utilizar en la operación autónoma, algunos conceptos claves de este modelo son:

- Identifica los conceptos operacionales,
- que procesos se ven impactados,

- identifica los procedimientos que requieren ser modificados,
- establece la estructura requerida según las recomendaciones hechas por el proveedor del sistema autónomo,
- como así también define los roles y perfiles de las personas que operaran el sistema autónomo,
- establece los impactos y como se efectúa el relacionamiento con eventos operativos entre todas las áreas que interactúan en la operación de camiones autónomos.

Contenido Desarrollado	 Diseño Mina	 Programación y control de operaciones	 Soporte Operacional	 Carga, Transporte y Descarga	 Mantenimiento de equipos	 Tecnología Operaciones IT / OT
Conceptos Operacionales (OCD)						
Procesos						
Organización – Roles - Perfiles						
Impactos						
Relacionamiento Eventos Operativos						

Figura 16: Contenido del Modelo Operativo según funciones Operacionales, Caso Opcion de Estudio.

9.4. Los Procesos

Cada proceso debe ser revisado e identificado y como se ve impactado en términos de actividades que son necesarias para que funcione AHS y que actividades son necesarias que se realicen bajo otra modalidad a la actual. Esta etapa también requiere identificar responsabilidad, establecer los indicadores de desempeño. Y que habilidades nuevas requiere el sistema para identificar como se consiguen esas habilidades.

Una buena forma de realizar este análisis es utilizar herramientas como las denominadas SIPOC (Supplier, Input, Process, Outcome, Customer) por sus siglas en ingles.

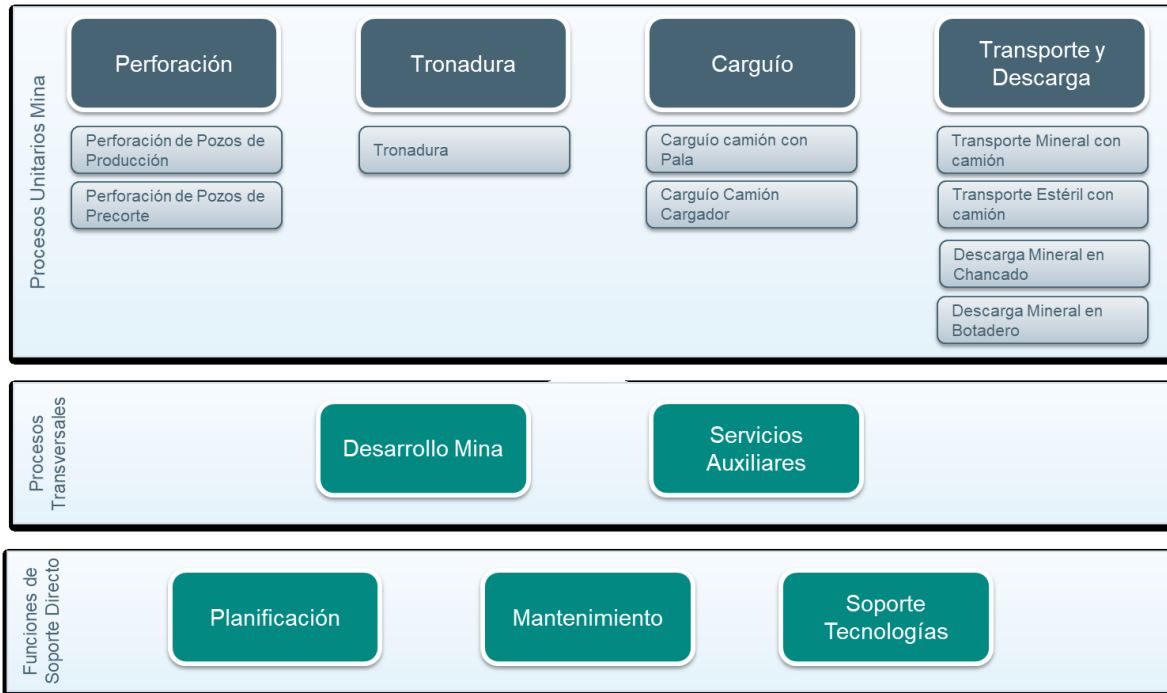


Figura 17: Apertura de los Procesos Core, Caso Estudio.

Tal como se muestra en la figura 18, luego de sentar la línea base e identificar la condición actual del o los procesos impactados es necesario identificar en que etapas del proceso se generan los impactos de la incorporación de tecnología y que funciones requieren realizarse en forma diferente también que funciones se pueden eliminar. Las interacciones de estas funciones como así también las responsabilidades y que roles deberían considerar dichas funciones.

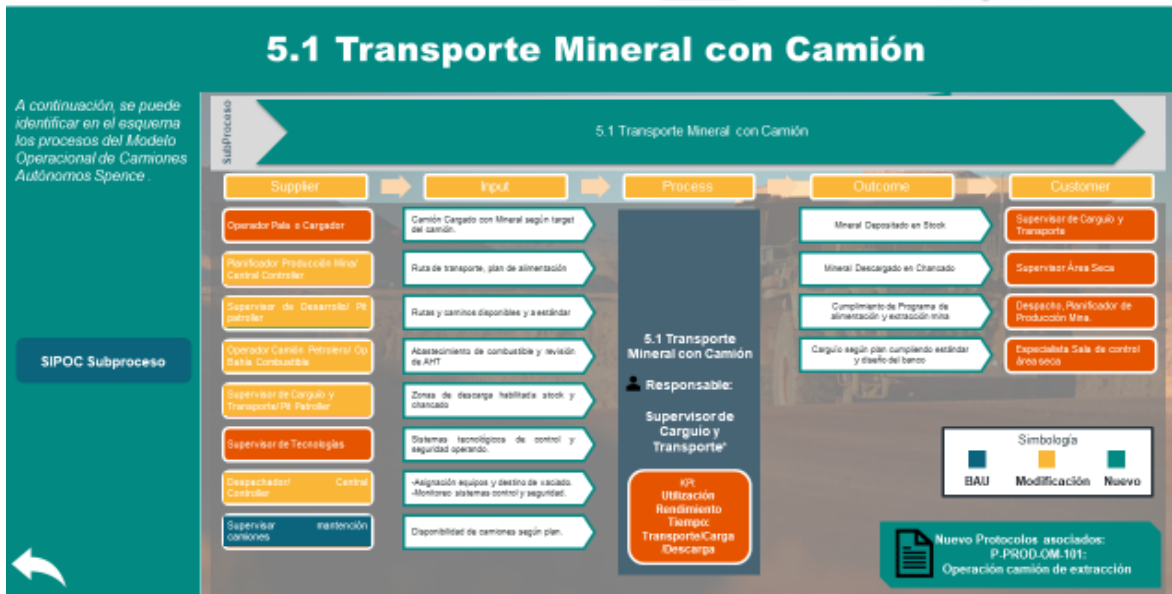


Figura 18: Evaluación de Proceso Transporte de Mineral con camión, Fuente trabajo interno identificación de procesos e impactos.

9.5. Los Principales Cambios

La incorporación de camiones autónomos a la operación mina, no solo trae consigo cambios a nivel de operadores de camiones, sino que también una serie de prácticas y ajustes al resto de los procesos de la cadena productiva como de apoyo.

Perforación y Tronadura

- Nuevas interacciones con nuevos roles para ejecución de operaciones.
- Nuevas normas en conducción en rutas/zonas de autonomía.
- Nueva dinámica para ingresar a rutas y zonas autónomas (Escoltas).
- Activar zonas de seguridad.
- Informar estados de ruta.
- Coordinar con operador escolta el traslado de explosivos desde polvorín a patio perforado.

Carguío

- Nuevas interacciones con nuevos roles para ejecución de operaciones.

- Generar obstáculos vía sistema.
- Bloquea/desbloquear ruta por limpieza.
- Nuevo protocolo de carga (capacidades y condiciones).
- Aprobar ingreso vía sistema de AHT.
- Aplicar protocolo de contingencia de AHT (Sobrecarga/emergencias), en zona carguío.
- Detectar fallas en AHT o de Conectividad.
- Bloquear/Desbloquear frentes de carguío en AHS.
- Autorizar desplazamiento de AHT desde control.

Transporte

- Crear y actualizar obstáculos virtuales en ruta (AHT).
- Detectar falla y detención de AHT (Monitoreo).
- Ejecutar protocolos de parada de emergencia en ruta AHS (Equipos con kit de autonomía).
- Ejecutar protocolo de volcamiento AHT.
- Calibrar puntos de aculatamiento.
- Nuevos escalamientos para los procedimientos de emergencia e incidentes.

Descarga

- Nuevas interacciones con nuevos roles para ejecución de operaciones.
- Definir de puntos de aculatamiento.
- Gestionar problemas con levantamiento de Tolva.
- Detectar falla y detención de AHT (Monitoreo).
- Ejecutar protocolo de falla de tolva AHS.
- Bloqueo de equipo AHT.
- Autorizar salida de AHT posterior a descarga.
- Detectar falla y detención de AHT (Monitoreo).

Planificación

- Nuevas interacciones con nuevos roles para planificar y ajustar planes según avance operacional.

- Retroalimentación constante del Especialista de control central por cambio de condiciones.

Desarrollo Mina

- Nuevas interacciones con nuevos roles para ejecución de operaciones.
- Nuevas normas en conducción en rutas/zonas de autonomía.
- Nueva dinámica para ingresar a rutas y zonas autónomas (Escoltas).
- Activar zonas de seguridad.
- Informar estados de ruta.
- Uso de kit de autonomía.

Servicios Auxiliares

- Nuevas interacciones con nuevos roles para ejecución de operaciones.
- Nuevas normas en conducción en rutas/zonas de autonomía.
- Nueva dinámica para ingresar a rutas y zonas autónomas (Escoltas).
- Activar zonas de seguridad.
- Informar estados de ruta.
- Uso de kit de autonomía.

Soporte Tecnologías

- Escalamiento y resolución de incidentes.
- Estándar y disponibilidad de redes y servicio en general.

Mantenimiento

- Nuevas actividades y estándares de mantención de camiones, comunicaciones, infraestructura.
- Revisiones más estrictas e intervalos inteligentes para maximizar la disponibilidad.
- Necesidad de minimizar mantenimientos correctivos.
- Capacitación al personal involucrado y mantener conectividad permanente.

- Alto estándar de servicio de mantenimiento, nuevos roles para mantener nuevos componentes y tecnología.

9.6. La Estructura

Cada organización, establece su propio modelo operativo, donde basa sus filosofías operativas y sus principios, los cuales permiten definir el marco, que regule como se interrelaciona los procesos, como interactúan sus funciones y como se identifican las responsabilidades.

Todo lo anterior se puede reflejar también en las estructuras que soporte ese modelo operativo, se pueden manifestar dos espacios para este proceso, uno, es hacer un cambio total de la estructura o bien reordenar las piezas dentro de la estructura actual, en cualquiera de ellas, es necesario tener identificadas las competencia y los roles claves para el sistema autónomo.

El caso de estudio, establece conceptos operacionales que incorporan en una filosofía operacional, el involucramiento y la capacitación de toda la organización, el foco está en el servicio hacia los clientes, buscando la perfección operativa. Donde la producción, sin desperdicios, es una forma de relevante del trabajo.

9.7. Las Personas

Las personas son claves y relevantes en este proceso de transformación, esto no corresponde solo a una incorporación de tecnologías, sino que es la incorporación de una filosofía de trabajo, donde se debe manejar el concepto de open mind para poder gestionar las actividades y el involucramiento de cada persona con el sistema autónomo.

Una parte esencial del AHS es la capacitación, pues de ella depende su implementación exitosa. No hay en la actualidad una operación cien por ciento autónoma, y en nuestro caso de análisis esto tampoco ocurre. Lo anterior significa que existirán equipos y vehículos tripulados, tales como palas, bulldozers y vehículos ligeros, deben poder moverse por la mina en forma segura e interactuar con los camiones autónomos cuando sea apropiado. Muy relevante es que los operadores también conozcan las limitaciones del AHS y qué hacer si ocurre una condición insegura o una violación de los registros de seguridad del sistema.

El desempeño humano, impacta las operaciones tripuladas y autónomas de manera similar, con una variabilidad que presenta riesgos considerables para la seguridad, la productividad y la confiabilidad de las flotas de equipos pesados. Por lo tanto, seleccionar al personal adecuado y tener una estrategia efectiva, de desarrollo de

habilidades, es importante, para garantizar la integración sin problemas de un AHS y en la gestión de los efectos adversos del desempeño humano.

Darse cuenta, del valor total de un sistema automatizado, a menudo es limitado, debido a una subestimación del factor humano para alcanzar el rendimiento óptimo del sistema. Esto, combinado con un nuevo tipo de rol crítico, que se introduce en la operación, puede significar que los riesgos son mucho más significativos que en una operación no autónoma.

Una estrategia importante, y que hace la diferencia, está en el cambio del entrenamiento primario, que va más orientado hacia el operador de carguío y a los operadores de equipos auxiliares, como se operan estos equipos tiene un impacto mucho mayor en la efectividad de la operación autónoma.

“Debido a estos riesgos, estamos viendo un enfoque más considerado para el desarrollo de la fuerza laboral en el que se implementan vías de aprendizaje desde la selección de candidatos hasta la optimización de habilidades en operaciones autónomas”. (comentario interno)

El aumento de la complejidad y la criticidad de los roles humanos, dentro de un sistema de transporte significa que a menudo lleva más tiempo capacitar a los operadores para operaciones autónomas.

Los cambios de tecnologías y de forma de operar, incorporan cambio no solo al nivel de operadores y supervisores, sino que también a nivel de mantenimiento, organizaciones técnicas y funcionales.

El primer paso, luego de revisar los procesos sus funciones e impactos es establecer que capacidades se requieren y dependiendo del tipo de tecnología a usar que capacidades son necesarias, que entrenamiento y que habilidades requieren las distintas personas para ejercer los roles relacionados con la autonomía, algunos puntos a considerar son:

- ¿Dónde se inserta ese rol en la estructura organizaciones?,
- cuáles son sus relaciones directas o indirectas?,
- sobre que funciones genera impactos?,
- cuál es el propósito del rol cuáles son sus principales responsabilidades?,
- cuáles son los indicadores de desempeño?,
- a quien reporta con quien coordina?, etc...

La figura 19, muestra cómo se desarrolla la identificación y definición de un perfil y rol requerido para el funcionamiento de un sistema de transporte autónomo:



Figura 19: Identificación de Roles y definición de perfil. Fuente elaboración Propia estudio interno Modelo operativo.

9.8. Las Comunicaciones

Este es un aspecto relevante, y puede marcar pautas de cómo avanzar en la implementación de un sistema autónomo, los mensajes que se transmiten debe ir en el sentido positivo de adquirir un sistema autónomo como parte del proceso productivo, el cual permitirá, sustentar el negocio en el tiempo. Reforzando que los beneficios están pensados en crear valor social a través de foco en seguridad disminuyendo las personas expuestas a los riesgos propios de la operación minera,

El Plan comunicacional, busca, habilitar espacios de comunicación, que resalten el proyecto y sus oportunidades, definiendo mensajes claves, que den cuenta de la

implementación de autonomía y sus beneficios, permitiendo una narración coherente entre todos los portavoces de la organización. Además, nos permitirá anticiparnos y gestionar los riesgos reputacionales, con la flexibilidad necesaria para ajustarnos a las características de cada etapa de su implementación y a las necesidades y nuevos requerimientos que pudieran surgir de las audiencias alineadas con el avance de la implementación de autonomía.

Con el fin de estructurar el Plan de Comunicación y la profundidad de sus mensajes, se definieron enfoques basados en las tres etapas de la Estrategia de Comunicación:

- Crear Conciencia,
- Despliegue e
- Integración.

Estas tres etapas están vinculadas a las fases de implementación de autonomía y se considera, que su contenido será elaborado de acuerdo a los requerimientos de cada fase de su implementación y las necesidades de información de cada interesado. Además, para su correcto diseño se consideraron variables de contexto político nacional y regional, incluyendo procesos de elección de nuevas autoridades, y variables internas como la negociación colectiva con Sindicatos.

Para que nuestra estrategia de comunicación sea exitosa, se definieron un propósito, un proceso y un plan de implementación claros.

El propósito comunicacional se define de la siguiente manera: presentar el proyecto, enfocándose en el valor y los beneficios que crea para generar una actitud positiva de los interesados (stakeholders) claves / estratégicos y gestionar los posibles riesgos en reputación, asociados al proyecto.

Posicionar la gestión de relaciones de la Compañía a largo plazo desde una dimensión de valor social.

Nuestra estrategia de comunicación busca posicionar la visión de la Compañía, estructurar contenidos y mensajes de acuerdo con enfoques estratégicos y adaptarse al contexto de cada etapa del proyecto. Lo haremos con una estrategia diferenciada en tres etapas, con mensajes y acciones definidas para cada audiencia a nivel interno y externo y en función de su nivel de impacto:

- Etapa 1 - Sensibilización: comunicar la información disponible para sensibilizar y abrir las audiencias, posicionando la visión de la Compañía sobre el proyecto, anticipándose a potenciales riesgos reputacionales.
- Etapa 2 - Despliegue: difundir información más detallada sobre el proyecto, alineando a todos los grupos de interés con los objetivos

definidos y generando un trabajo colaborativo entre ellos y la organización.

- Etapa 3 – Profundización: enfoque en el valor que traerá la ejecución del proyecto, manteniendo un flujo de información permanente, tanto interna como externamente, hasta el cierre del proyecto.

Inicialmente, la etapa de implementación de las comunicaciones, para autonomía, se enmarca dentro del contexto de generar conciencia, para instalar la narrativa, que busca fortalecer el futuro de la organización, que incluye la automatización de camiones como alternativa con lo que se busca:

- Generar impulso y emoción más allá de hitos y resultados,
- establecer una comunicación efectiva, directa, transparente y clara sobre las fases, tiempos y avances de los proyectos,
- y posicionar a los líderes como los principales portavoces fortaleciendo su rol comunicacional y de gestión del cambio como líderes.

Difundiendo diferentes materiales comunicativos (es decir, notas en boletines, videos introductorios, carteles, etc.) en todos los canales de comunicación existentes, realizando sesiones dirigidas por líderes, etc.

10. CONCLUSION

10.1 Cualitativas

El éxito de pasar desde una operación de camiones de extracción desde la forma tradicional tripulada a una operación en forma autónoma, está en aplicar correctamente un buen proceso de gestión del cambio, esto en el sentido de que no se trata solo de un cambio tecnológico, sino que es un cambio cultural y en cómo lograr que este cambio sea adoptado por la organización en forma positiva.

Luego de revisar a analizar el desempeño de las operaciones con camiones autónomos en el transporte de materiales claramente representa beneficios los cuales podemos mencionar:

Una disminución de la exposición a riesgos inherente de una operación minera:

Riesgos de Seguridad:

- Choque Colisión,
- Impacto a personas,
- Riesgo por falla de terreno:

Riesgos de salud como:

- Ruido,
- Polvo,
- Vibraciones.

Mejoramiento Productivos:

Al tener menos interrupciones generadas por la interacción del ser humano, genera aumentos en términos de horas de uso de equipos, mejoras en términos de tiempos de mantención asociados a incidentes por efectos humanos.

En menor gasto de neumáticos y combustibles al tener procesos operativos de los camiones en forma más estándar.

Nuevas Oportunidades:

Si bien se generan una disminución de operadores en el rajo, existe la creación de otras oportunidades y capacidades en otros ámbitos como lo es la creación de roles en la mantención de los sistemas autónomos, los requerimientos de entrenamiento calificado para operar estos sistemas, la necesidad de desarrollar capacidades locales para proveer servicios e insumos para la operación de una flota de camiones autónomos.

Sin duda que estos beneficios son relevantes al momento de definir implementar este cambio, sin embargo, un punto relevante a considerar está relacionado estrechamente con la gestión de cambio y como se pueden administrar los impactos y riesgos, clave en el proceso es el nivel de compromiso de la organización con este cambio, tener un proceso robusto de entrenamiento y reconversión del personal si es posible.

La incorporación de camiones autónomos a la operación mina, no solo trae consigo cambios a nivel de operadores de camiones, sino que también una serie de prácticas y ajustes al resto de los procesos de la cadena productiva como de apoyo.

En este sentido es fundamental para capturar correctamente el valor de la implementación de camiones autónomos incorporar el concepto de continuidad operacional, esto es clave, pues la filosofía de operación de los camiones autónomos está pensada en esa continuidad, no detener la flota.

Ello implica que para que una operación a rajo abierto sea más eficiente en términos de seguridad, productividad y costos, se deben considerar todos los aspectos más importantes de la cadena operativa, es decir diseño de las expansiones (ancho de rampa, gradiente, curvas, etc.), planificación minera, tener preparada la continuidad de fases y áreas de vaciado en forma anticipada, perforación & tronadura que deja una fragmentación adecuada para el carguío, operación del carguío (pala) y transporte (camión), mantención y estados de rutas debe ser de excelencia.

Lo planteado en el punto anterior permite abrir futuros espacios de evaluación cuantitativa para determinar, en comparación con la operación actual cuanto es lo que se requiere mejorar o hasta que nivel se deben llevar la operación minera para mantener la continuidad operacional de una flota autónoma considerando y reforzando este concepto mencionado en el capítulo 9.5 sobre el cambio de mentalidad y una nueva forma de operar una mina.

10.2 Cuantitativas

Cuantitativamente se puede concluir que la implementación de un sistema de camiones autónomos logra entregar los siguientes beneficios.

Podemos reducir un 80% los incidentes de seguridad asociados a errores humanos, asociados al riesgo inherente de la operación mina como lo es el choque colisión y volcamiento mina o la exposición al riesgo de incendio de equipos mina.

La inversión de capital está dominada por un 53% en la compra de los sistemas tecnológicos para implementar en el camión.

El Valor del negocio arroja un NPV positivo.

Un 80% de este valor se lo lleva el cambio en el diseño de la mina.

El costo mina estará reducido en un 12% comparativamente con la base actual.

La dotación expuesta a riesgo en la operación de camiones mineros se reduce al 100%, mientras que del total de la operación de la mina corresponde en un 40%.

Las horas Operativas de la Flota al año se estiman aumentaran un 13% comparadas con el caso actual.

Una operación Autónoma implica necesariamente un proceso con más predictibilidad que requiere estar preparados en forma anticipada para eventuales cambio, esto lleva también a una mejora en el proceso de planificación.

Le proceso de mantenimiento se hace más predecible y con una mejor adherencia a la planificación de éste, las mantenciones programadas deberían estar en una relación 70%-80%/30%-20% en cuanto a la relación no programada.

Hoy en día existen operaciones mineras que claramente requieren que los softwares de control, de camiones autónomos puedan operar una flota numerosa por lo tanto el desafío para los proveedores eta en ese foco también.

El nivel de preparación y calificación para las personas que operan el sistema de autonomía claramente requiere ser mayor al que hoy se tiene para operar un camión en forma manual.

En términos de costos del sistema este aun no lograr equiparar en forma directa la reducción operacional que tiene pasar desde un caso manual a uno tripulado, practicante los costos de los KIT, como los costos de licencias y los costos de soporte equivalente a mantener un operador sobre el equipo.

Un punto relevante a considerar en la actualidad es la capacidad de los proveedores para soportar y entrenar el sistema en Chile, esto es una amenaza dado que no se cuenta con la cantidad de personas para cubrir todos los procesos y ante el aumento en el requerimiento de las operaciones en la implementación de autonomía esto podría verse impactado más aún.

Un punto clave en la implementación de autonomía es contar con una red LTE robusta y redundante.

Puede parecer obvio, pero contar con un buen protocolo de pruebas para validar el uso del sistema es clave para asegurar que el proveedor entregue lo ofertado y el cliente reciba lo ofertado, clave es asegurar contar con estos acuerdos de servicio preestablecidos.

11. Bibliografía

1. Minería Chilena, Publicado el 6 de diciembre del 2013.
2. Finning, Newsletter, septiembre 2018.
3. Cochilco, Análisis del mercado de insumos críticos en la minería del cobre, DEPP 12/2015.
4. Corporación Alta Ley, Hoja de Ruta 2.0 de la Minería Chilena Actualización y consensos para una mirada renovada, Santiago 2019 link: https://corporacionaltaley.cl/wp-content/uploads/2020/01/Actualizacion_Hoja_de_Ruta_Mineria_del_Cobre_2019.
5. Cochilco, Productividad en la Gran Minería del Cobre, Cochilco, mayo 2017.
6. Universidad de Chile, Factibilidad de Implementación de Camiones Autónomos en División Radomiro Tomic, Codelco, Tesis para optar al Grado de Magister en Gestión y Dirección de Empresas, Andes Eduardo Mujica Morovic, 2019.
7. Minería Chilena, Publicación Camiones autónomos permitirían mayor productividad en rajo Esperanza Sur, de Centinela, 25 Septiembre 2019.
8. AMCconsultants, Considerations when implementing autonomous haulage in open cut mining, 2018 link <https://amcconsultants.com/experience/dd-considerations-autonomous-haulage-open-cut-mining/>.
9. Universidad of British Columbia, John Meech, Autominig 2012.
10. <https://www.mining-technology.com/comment/australia-autonomous-haul-trucks-use/>, 17 marzo 2020.
11. Consejo Minero Cifras actualizadas minería 2020;
12. Modular Mining, Autonomous Haulage Solutions, link: <https://www.modularmining.com/our-solutions/autonomous-haulage-solutions/>.
13. Autonomous Haulage Systems Financial Model Assessment, Nick Redwood Whittle Consulting Revision F, 14 Feb 2018.

14. Modelo de Costos para la Valorización de Planes Mineros, Tesis Para Optar al Grado de Magister en Minería, Galo Muñoz Lopez, noviembre 2012.
15. Code Of Practice Safe mobile autonomous mining in Western Australia, Department of Mines and Petroleum, 2015, Safe mobile autonomous mining in Western Australia – code of practice: Resources Safety, Department of Mines and Petroleum.
16. Departamento de Ingeniería Organizacional, IN7M0-1 Gestión de Competencias, del Conocimiento y del Talento, Gestión del Cambio Alex Jaques octubre 2020

12. ANEXOS

12.1. Anexo A, Desempeño camiones autónomos v/s manuales

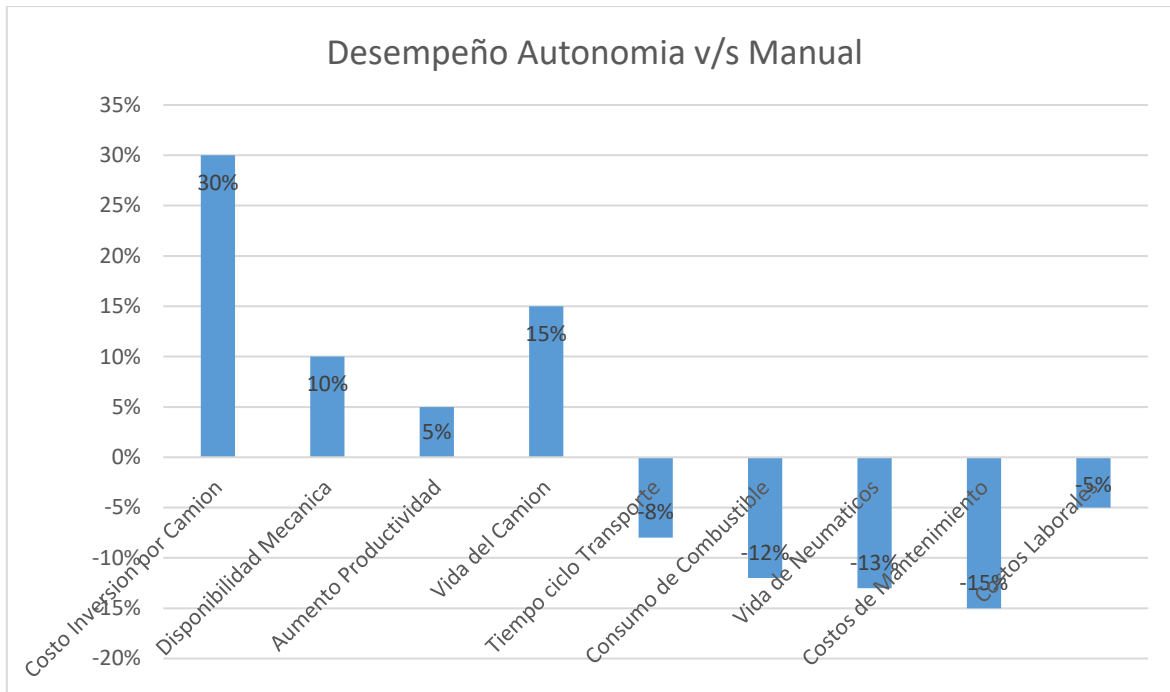


Grafico 18: Elaboración Propia, Fuente datos Universidad of British Columbia, John Meech, Autominig 2012

12.2. Anexo B, Camiones mineros Autónomos 2019 cielo abierto

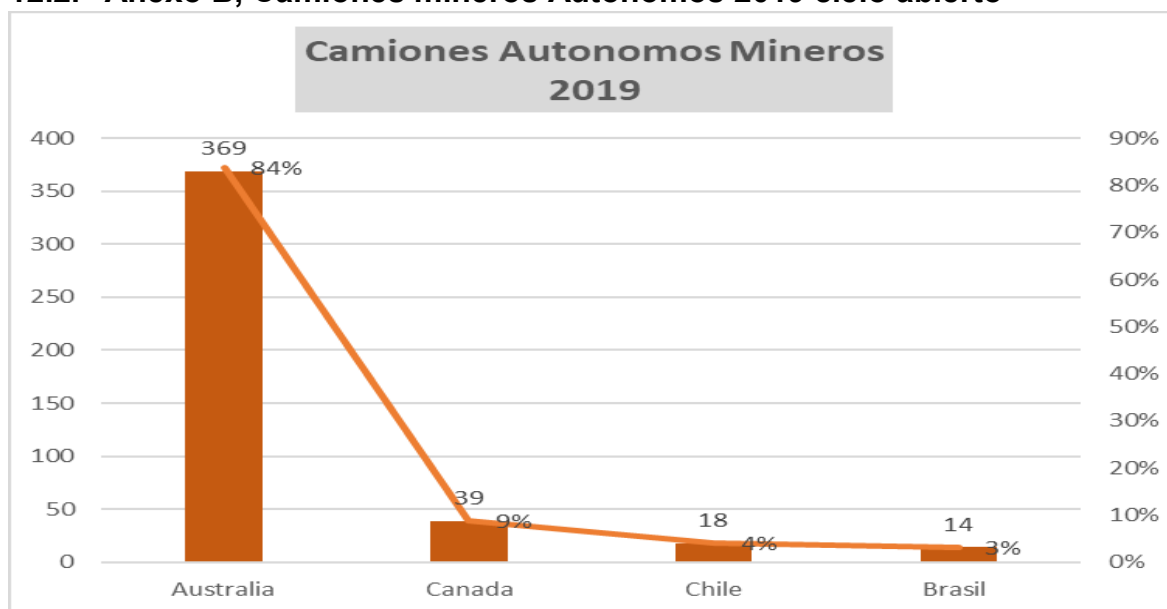


Grafico 19: Elaboración Propia fuente: <https://www.mining-technology.com/comment/australia-autonomous-haul-trucks-use/>, 17 Marzo 2020

12.3. Anexo C, Evolución de costos industria Minera en Chile

Evolución del Costo de la Industria Minera en Chile.					
año	Chile cus/lb (C3)	Resto del Mundo cus/lb (C3)	Precio de Cobre cus/lb	Ley de Mineral	Costo operacional cus/lb (C1)
2000-2005	67,2	70,2	126	1,0	51
2006	101	112,7	274	0,94	74
2007	102,2	121,1	274	0,87	93
2008	143,7	167,9	274	0,74	131
2009	140,4	136,7	274	0,76	118
2010	159,8	151,7	342	0,75	130
2011	195,1	178,2	400	0,7	157
2012	222,8	222,5	361	0,72	167
2013	217,1	232,7	332	0,71	170
2014	222	225,8	311	0,72	162
2015	241,2	209,5	250	0,69	153,5
2016	231,4	190,7	221	0,65	131,3
2017	219,3	191,2	280	0,65	137,7
2018	215,1	183,8	296	0,61	139,1
2019			272	0,61	139,0

Tabla 4 : Elaboración Propia Fuente Consejo Minero Cifras actualizadas minería 2020; Fuente: Cochilco Caracterización de los costos de la gran minería del cobre, 2015.

12.4. Anexo D, Levantamiento de procesos para identificar impactos.

Proceso: Transporte Mineral con Camion

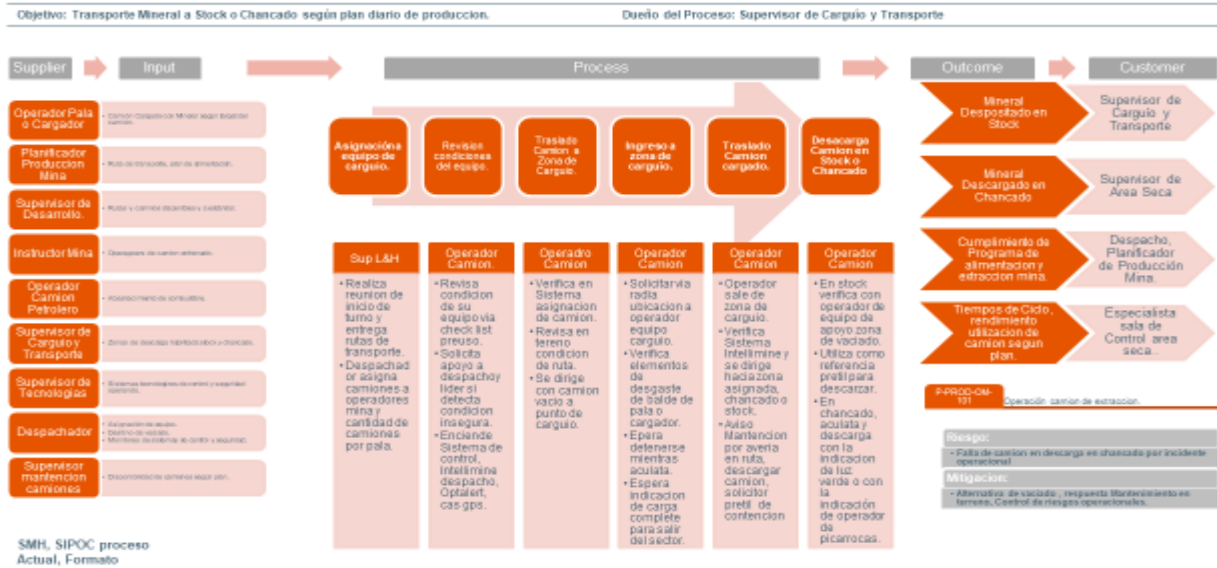


Figura 20, Revisión de Proceso, Herramienta SIPOC, Fuente, elaboración interna análisis de estudio compañía 2020

12.5. Anexo E, Identificación de procesos Claves

Caracterización de Procesos Línea Base



Figura 21: Identificación de Procesos unitarios de operación mina para revisión y descripción de línea base, Fuente preparación propia, estudio de proyecto interno. 2020