



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE MINAS**

**INFLUENCIA DE LOS ACCIDENTES POR SOMNOLENCIA EN
CAMIONES DE EXTRACCIÓN**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL DE MINAS

FRANCESCA YANIRA BROGI JAQUI

PROFESOR GUÍA:

MANUEL TAPIA VARGAS

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

JAIME CHÁVEZ RAMÍREZ

HANS GÖPFERT HIELBIG

SANTIAGO DE CHILE

2017

Resumen

Una de las principales preocupaciones de las empresas es llevar a cabo una producción segura para los trabajadores, de hecho la seguridad es el valor más importante en las compañías sobre todo en el ámbito de la minería, donde el potencial de que un accidente sea grave, es mayor producto de la magnitud de trabajos ejecutados.

Durante los años que han sido analizados han ocurrido en el área operaciones mina, de las tres faenas, 1110 accidentes, de los cuales un 3,87%, son atribuidos directamente a fatiga y somnolencia. Debido a esto se han creado distintos métodos para detectarla; basados en análisis de parámetros de conducción, monitoreo del entorno del vehículo, monitoreo de los rasgos faciales y lectura de ondas cerebrales.

Aquellos basados en los parámetros de conducción, crean un perfil en base al análisis del comportamiento de conducción. Cuando el comportamiento dista del perfil se genera una alarma. Los parámetros medidos con este sistema son, la velocidad del vehículo, movimientos del volante, uso de freno y acelerador entre otros. Aquellos basados en el monitoreo de los rasgos faciales se centran en la velocidad de parpadeo. Se crea una línea base dando una alerta cada vez que el operador se aleja de ella. Y el estudio de la lectura de las ondas cerebrales da mediciones fisiológicas directas de los niveles de alerta a través de la lectura de las variaciones de la actividad eléctrica existente en la piel, procesando esas ondas cerebrales para determinar el estado de fatiga del operador.

El presente trabajo tiene como objetivo ver cómo afectan los accidentes por fatiga y somnolencia a los equipos de transporte de mineral, en cuanto a disponibilidad, producción y costos de reparación, y el impacto de utilizar un dispositivo que detecte en etapa temprana los niveles de fatiga y somnolencia del operador.

Para llevar a cabo esto se realizó un estudio en tres faenas de Chile. Éste consistió en el análisis de la productividad diaria y disponibilidad anual de los camiones de extracción, determinando los factores que contribuyen a su variación. Luego se determinó la variación en la productividad por cada evento de fatiga y somnolencia. Finalmente, se determinó la variación de disponibilidad y costo por accidente, al utilizar SmartCap.

Los principales resultados del estudio muestran que un 4,57% de los fatales ocurridos entre los años 2000 y 2016 a nivel nacional, pueden ser atribuidos a fatiga y somnolencia. La disponibilidad de los equipos disminuye en un 0,60% anual por esta causa. Que puede haber una disminución de producción del equipo minero de un 26,33% en promedio por cada evento. Que la inversión de un equipo como SmartCap representa entre un 12% y un 19% los costos asociados a un evento de somnolencia, considerando mantención en caso de daño al camión de extracción y reposición en caso de pérdida total. De hecho, el dispositivo tiene una duración de 60 meses y el capital de inversión se retorna en 45 meses en Faena 1 y 30 meses en las Faenas 2 y 3.

Se concluye que SmartCap mejora la disponibilidad y la producción de los equipos mineros, así como disminuye los costos de mantención producto principalmente de un uso más eficiente de los equipos e indirectamente de una mejora en la gestión de trastornos del sueño.

Abstract

One of the major concerns of companies is to carry out procedures that maintain their employees safe. In fact, safety is the paramount priority of companies, especially in the mining field, where the possibility that an accident is serious is higher than in others. This is mainly due to the amount of work executed in this type of field.

During the years that three mine sites have been researched, a total of 1110 accidents have occurred, from which 3.87% can be directly attributed to the workers' fatigue and somnolence. For that reason, methods based on the analysis of their driving behavior, vehicle surroundings, facial features, and brain wave patterns, have been created in order to detect those symptoms.

The methods based on driving behavior create a profile according to the common driving behavior that each worker has. When it is different from the usual, an alarm is released. The parameters measured with this system are the vehicle speed, wheel movements, brakes and accelerator's use, among others. Regarding the methods based on facial features, they are focused on the blinking speed. Therefore, a line base is created, releasing an alert whenever the operator is away from it. In addition, the study of the brain wave patterns, provide precise physiological measurements of the alert levels, through the analysis of the variation of the electrical skin activity, processing these brain waves to determine the operator's alert state.

Consequently, the aim of this research is to know how fatigue and somnolence affect mineral transportation equipment, in terms of availability, production and repairing costs, and to determine the impact of using a device that can detect the aforementioned symptoms, early.

To accomplish this, a study of three Chilean mine sites have been carried out. This study involved the analysis of daily productivity and annual availability, specifying factors that contribute to its variation. After, the variation of productivity for each fatigue and somnolence event was determined. Finally, availability variation and cost per accident was determined, with the implementation of SmartCap, a device which detects those symptoms early.

The main results of the study showed that 4.57% of the fatal national accidents that took place between 2000 and 2016, can be attributed to fatigue and somnolence, and that the mine transportation equipment availability decreased 0.60% that year, as a result. Hence, the evidence shows that the investment in SmartCap represents 12% and 19% of the costs associated to a somnolence event, considering maintenance if the extraction truck is damaged, and replacement in case of total loss. In fact, the device has a duration of 60 months and the investment capital is returned in 45 months in Faena 1 and 30 months in Faenas 2 and 3.

In conclusion, SmartCap, not only improves availability and productivity of mining equipment, but also decrease maintenance costs, due to a more efficient equipment performance, and indirectly, because of an improvement on the management of sleeping disorders.

Dedicatoria

Esta memoria está dedicada a mi familia, quiénes siempre me han apoyado en cada paso que doy. A mis padres por entregarme toda su comprensión y amor en los momentos difíciles y por sonreír conmigo en los buenos, por darme las herramientas para salir adelante y por creer, ciegamente, en mí. Y a mis hermanos, que siempre han cuidado de mí y me han tratado como a una hija.

Agradecimientos

Quiero agradecer a mis profesores guía y co-guía por haberme apoyado desde el día uno. Sin ustedes y sus gestiones jamás habría conseguido la información necesaria para el desarrollo de esta memoria. Además, a pesar de sus ajetreadas vidas siempre se dieron el tiempo de darme consejos para llevar a cabo este trabajo.

A OpenWorld, en especial a Don Fernando y Diego Linero por darme la oportunidad de realizar mi trabajo de titulación en la empresa y por haberme dado la libertad de escoger el enfoque de mi tema.

A mis padres por toda la fuerza que me brindan, por su amor y dedicación, porque gracias a ellos he llegado a ser la persona que soy actualmente.

A Juanita, porque a pesar de no haber estado en la etapa final de mi carrera, mientras pudo estuvo ahí para una palabra de apoyo. A Nicole, porque aunque nunca entendí los pasos necesarios para la titulación, siempre estuvo dispuesta a explicármelos mil y un veces.

A mi novio, Hernán por soportar con mucho amor mi sistema de turnos y mi humor variable en el tiempo que duró este trabajo.

También agradecer a mi amiga de la infancia, Jennifer quien ha sido mi confidente desde los 12 años y siempre ha sabido cómo ayudarme a canalizar mi estrés.

A mis tíos Denisse, René y Jaime, por acogerme en sus hogares cada vez que lo necesité, por prestarme un internet decente y darme todo el amor, cariño, apoyo y comprensión durante toda mi vida.

A mi hermano Víctor, por hacerme reír cada vez que me veía mal. A mi hermano Miguel, por recibirme en su casa el primer mes de trabajo y por todo el amor y cariño que ambos me han dado desde que tengo memoria. Han sido como unos padres y a veces porque no decirlo, hijos para mí.

Gracias también a mis compañeros de trabajo, por alegrarme los días laborales y por tener siempre la disposición de ayudarme. Sin ustedes la jornada laboral habría sido más extensa y con muchas menos risas.

Y finalmente, a mis amigos de Universidad, Diego y Exequiel, quiénes llegaron a mi vida cuando más lo necesité.

Tabla de Contenido

1. Aspectos Generales	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Problemática y motivación	1
1.3. Objetivos	2
1.4. Alcances.....	2
1.5. Metodología	2
2. Contexto	5
2.1. Productividad en Minería.....	5
2.2. Accidentabilidad en la minería chilena	7
2.3. Estudio del sueño (BSS, 2015)	12
2.4. Mecanismos para control de fatiga y somnolencia.....	15
2.4.1. Basados en parámetros de conducción.....	15
2.4.2. Basados en monitoreo de rasgos faciales	17
2.4.3. Basado en medición de ondas cerebrales.....	19
2.4.4. Comparación de diversos mecanismos	22
2.5. Descripción de la Empresa (Open World Ltda., 2016)	24
2.5.1. Misión	24
2.5.2. Visión.....	24
3. Situación actual en faenas de estudio	25
3.1. Antecedentes de seguridad.....	25
3.1.1. Faena 1	25
3.1.2. Faena 2	28
3.1.3. Faena 3	31
3.2. Antecedentes de días perdidos y producción.....	34
3.2.1. Faena 1	34
3.2.2. Faena 2	35
3.2.3. Faena 3	36
3.4. Conclusiones del capítulo	37
4. Análisis de Accidentes.....	38
4.1. Análisis de Disponibilidad.....	38
4.1.1. Faena 1	38
4.1.2. Faena 2	38
4.1.3. Faena 3	39

4.2. Análisis económico.....	39
4.2.1. Faena 1	39
4.2.2. Faena 2	40
4.2.3. Faena 3	40
4.3. Conclusiones del Capítulo.....	40
5. Conclusiones y Recomendaciones.....	42
Glosario	43
Bibliografía	44
Anexos	45
A.1. Cálculo de la PTF	45
A.2. Cálculo de la ley equivalente	46
A.3. Equipos mineros	47

Índice de Tablas

Tabla 1 Datos de PTF y precio del cobre entre los años 2000 y 2013. Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos de COCHILCO	7
Tabla 2: Cantidad de accidentes y fallecidos entre los años 2000 y 2016	8
Tabla 3: Número de trabajadores fallecidos en accidentes, distribuidos por causa entre los años 2000 y 2016. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SERNAGEOMIN	11
Tabla 4: Tipo de Sueño según rango etario	12
Tabla 5: Niveles de fatiga y mecanismos de detección personal.	14
Tabla 6: Niveles de alerta de SmartCap y acciones recomendadas para cada nivel	21
Tabla 7: Comparación de mecanismos de detección de fatiga	23
Tabla 8: Especificación de los eventos causados por somnolencia	28
Tabla 9: Descripción de eventos de somnolencia de Faena 2	31
Tabla 10: Descripción de los eventos de somnolencia en Faena 3.....	34
Tabla 11: Producción real v/s prevista de camiones de extracción involucrados en los accidentes de la faena 1	35
Tabla 12: Producción real v/s prevista de camiones de extracción involucrados en los accidentes de la faena 2	36
Tabla 13: Producción real v/s prevista de camiones de extracción involucrados en los accidentes de la faena 3.....	36
Tabla 14: Disminución de disponibilidad por año, Faena 1	38

Tabla 15: Disminución de disponibilidad por año, Faena 2	38
Tabla 16: Disminución de disponibilidad por año, Faena 3	39
Tabla 17: Desglose costo SmartCap	39
Tabla 18: Análisis de costos Faena 1	40
Tabla 19: Análisis de costos Faena 2	40
Tabla 20: Análisis de costos Faena 3	40
Tabla 21: Características de equipos implicados en incidentes en Faena 1	47

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Detección de somnolencia con sensor en volante	15
Ilustración 2: Asistente de mantenimiento en carril	16
Ilustración 3: Sistema de frenado automático	17
Ilustración 4: Sistemas de detección de velocidad de parpadeo y porcentaje de cierre de párpado	18
Ilustración 5: Detección de grado de inclinación cabeza	19
Ilustración 6: Sistema de monitoreo por lectura de ondas cerebrales	20
Ilustración 7: A la izquierda Bulldozer, a la derecha Wheeldozer	47
Ilustración 8: Camión Aljibe	47
Ilustración 9: Camión cama baja	48
Ilustración 10: A la izquierda Camión de Extracción CAT 797F. A la derecha Cargador Frontal	48
Ilustración 11: A la izquierda Correa Transportadora. A la derecha cargador frontal	48
Ilustración 12: Equipo Motoniveladora	49
Ilustración 13: A la izquierda Perforadora. A la derecha Pala Mecánica	49
Ilustración 14: Equipo Pisten Bully	50

Índice de Gráficos

Gráfico 1: Evolución de la productividad en la minería del cobre, medida como PTF. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de COCHILCO	6
Gráfico 2: Distribución de cantidad de accidentes y fallecidos entre los años 2000 y 2016. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SERNAGEOMIN	9
Gráfico 3: Fallecidos en la industria minera, según ocupación, desde 2010 a 2014. Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos de SERNAGEOMIN	9

Gráfico 4: Distribución de accidentes según causas, entre los años 2012 a 2016. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SERNAGEOMIN.....	10
Gráfico 5: Distribución de trabajadores fallecidos por tipo de accidente entre 2000 y 2016. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SERNAGEOMIN.....	11
Gráfico 6: Variación de alarmas de SmartCap en faenas australianas	22
Gráfico 7: Distribución de incidentes según sector para Faena 1	25
Gráfico 8: Distribución de incidentes según área de operaciones mina para Faena 1	26
Gráfico 9: Distribución de incidentes según causa para Faena 1.....	27
Gráfico 10: Distribución de incidentes según sector, en Faena 2.....	29
Gráfico 11: Distribución de incidentes según área de operaciones mina, en Faena 2	29
Gráfico 12: Distribución de incidentes según causa, en Faena 2.....	30
Gráfico 13: Distribución de incidentes según sector, en Faena 3.....	32
Gráfico 14: Distribución de incidentes según área de operaciones mina, en Faena 3	33
Gráfico 15: Distribución de incidentes según causa, en Faena 3.....	33

1. Aspectos Generales

1.1. Introducción

En minería los accidentes tienden a tener un alto potencial de fatalidad, ya que las tareas son a gran escala, se está expuesto continuamente a inestabilidades de la roca, entre otras cosas. Sin embargo, no todos ocurren por estos motivos y son esos a los que se les pretende disminuir la tasa de ocurrencia mediante el uso de tecnologías. Un claro ejemplo son los sensores de proximidad, instalados en los equipos mineros con el fin de evitar colisiones.

Una de las causas con mayor potencial de fatalidad, es la presencia de fatiga y somnolencia en operadores de equipos mineros, puesto que las consecuencias de quedarse dormido al volante, pueden ser desde una colisión hasta un desbarrancamiento, lo que se traduce en una disminución de productividad y aumento de los costos operacionales por daños a personas, equipos y/o infraestructura. Es por esto que en el siguiente informe se verá cómo incide en la productividad y disponibilidad de los equipos de carguío en operación mina, el uso de un dispositivo llamado SmartCap, el cual fue creado con el propósito de evitar este tipo de accidentes, al detectar el evento antes de que comiencen a verse señales físicas, como ralentización en la velocidad de parpadeo. Además se evaluarán otros dispositivos creados con el mismo fin para determinar ventajas competitivas entre uno y otro.

Para el entendimiento de este informe, es necesario saber que el nombre de faenas mineras comprende todas las labores que se realizan, desde las etapas de construcción del conjunto de instalaciones y lugares de trabajo de la Industria Extractiva Minera, tales como minas, plantas de tratamiento, fundiciones, refineras, maestranzas, talleres, muelles de embarque de productos mineros, campamentos, bodegas y en general, la totalidad de las labores, instalaciones y servicios de apoyo e infraestructura necesaria para asegurar el funcionamiento de la Industria Extractiva Minera (Ministerio de Minería, 2004). De esta forma, la información analizada en este informe, corresponde a todos los accidentes ocurridos en las faenas mineras en estudio, sin embargo, las variaciones de productividad y disponibilidad devenidas de las ocurrencias de los accidentes, sólo serán analizados para los equipos de transporte de material.

1.2. Problemática y motivación

Debido al creciente aumento en los estándares de seguridad de la minería, cada vez es más frecuente el uso de nuevas tecnologías. Es en este escenario, que se diseña la tecnología SmartCap, que incluye un dispositivo y un algoritmo que detecta la condición de fatiga y somnolencia en etapas tempranas.

Por otro lado, se ha detectado una disminución progresiva de la productividad minera. Es por esto que se quiere determinar, cómo afecta a la productividad la implementación de este tipo de tecnologías, en específico SmartCap.

Se ha visto que cada vez que ocurre un accidente en la mina, pueden generarse tiempos perdidos, dependiendo de la complejidad del accidente, tanto de equipos

como de personas. Es por este motivo, que el siguiente estudio se plantea como hipótesis que:

“Un accidente por fatiga y somnolencia, influye negativamente, tanto en la productividad, como en la disponibilidad de equipos mineros, por lo que se medirá cuantitativamente tal impacto”.

1.3. Objetivos

Objetivo General

- Analizar impactos del uso de SmartCap, como herramienta preventiva de accidentes por fatiga y somnolencia.

Objetivos Específicos

- Calcular índice de accidentabilidad de distintas faenas de Chile, producto de desbarrancamiento, volcamiento y choque.
- Clasificar accidentes, de tres faenas de Chile, según sector y causa, para determinar los que ocurren por fatiga y somnolencia y afectan a los camiones de extracción.
- Analizar variación de productividad y disponibilidad por eventos de fatiga y somnolencia.
- Estimar cambios de productividad y disponibilidad, antes y después de la implementación de SmartCap.
- Realizar análisis económico de la implementación del dispositivo SmartCap.

1.4. Alcances

Se tomarán como caso de estudio tres faenas de Chile

Se determinarán variaciones en productividad y disponibilidad para el sector operaciones mina, específicamente en el área carguío y transporte.

La productividad de cada equipo será el promedio de lo producido anualmente durante los días en los que el equipo se encuentra operativo.

Se medirán productividades diarias por equipo minero.

Se hará un estudio de los accidentes ocurridos en cada una de las faenas para relacionarlo con variaciones en la productividad y disponibilidad.

Los accidentes analizados corresponden a operaciones mina, específicamente al área carguío y transporte.

1.5. Metodología

- Breve investigación de estudios del sueño.

Se hará un estudio de las principales causas de fatiga y somnolencia, de los signos corporales que indican la presencia de ésta y de cómo afecta al organismo un trabajo regido por un sistema de turnos.

- Catastro de los distintos sistemas de monitoreo de fatiga y somnolencia.

Hasta la fecha existen distintos mecanismos que detectan la fatiga y somnolencia. Unos están basados en el monitoreo de rasgos faciales, otros analizan parámetros de conducción o también hay aquellos que realizan una medición de ondas cerebrales. Estos equipos y su funcionamiento serán detallados en este apartado.

Además, dado que SmartCap es el dispositivo con el que se evaluarán las faenas, se hará un análisis de su funcionamiento y de su evolución desde que se creó.

- Recopilar antecedentes de accidentabilidad en la minería.

Sernageomin realiza un balance anual de los accidentes fatales a lo largo de las distintas faenas de Chile. En base a este estudio se verán las principales causas de fatales en la industria minera y las áreas donde ocurren entre los años 2000 a 2016.

- Revisión bibliográfica de productividad.

Determinar mediante esta revisión, cómo ha variado la productividad nacional durante los últimos años y cuáles son los principales factores causantes de esta variación.

- Análisis de accidentabilidad y de productividad de las faenas en estudio.

Se verán las causas de los accidentes e incidentes de tres faenas. A partir de acá se determinarán la cantidad de accidentes por año, cuya causa es fatiga y somnolencia. Además, se obtendrá la fecha y la hora del evento y los equipos involucrados.

Por otro lado se tiene la producción real diaria, por camión de extracción, de todos los años en estudio, considerando material transportado por éste. Con estos datos se obtiene el tonelaje promedio movido diariamente por cada camión durante los años evaluados. De esta forma, se determina cuánto menos se produce (tonelaje), al tener un equipo detenido por accidente.

$$\text{Producción diaria promedio} \left[\frac{\text{ton}}{\text{día}} \right] = \frac{\text{Tonelaje total anual por equipo} \left[\frac{\text{ton}}{\text{año}} \right]}{\text{días operativos al año} \left[\frac{\text{días}}{\text{año}} \right]} \quad (1)$$

Dónde:

Días operativos al año: corresponde a los días en los que el equipo estuvo en funcionamiento normal, sin mantenciones ni reserva.

- Determinar variación de disponibilidad de equipos de transporte de mineral.

Para esto se filtrarán los accidentes cuya causa es la somnolencia, obteniendo el día y la hora del evento. Durante el tiempo en que el camión está detenido su producción es cero, de esta forma se determinan los días que estuvo sin operar.

Para el análisis de variación de disponibilidad se ocupará la siguiente fórmula:

$$\%disponibilidad = \frac{\text{días perdidos} \left[\frac{\text{días}}{\text{año}} \right]}{\#camiones * 360 \left[\frac{\text{días}}{\text{año}} \right]} * 100$$

Con esta fórmula, se obtiene la disminución de disponibilidad de la flota total de equipos de producción (transporte de mineral).

- Estimación de variación de productividad debido al uso permanente del dispositivo.

Se hará una estimación de la variación de la productividad, mediante los resultados obtenidos por el uso de SmartCap en una faena de Australia.

En esta faena se tiene como dato la variación de los índices de somnolencia de 2013 y 2014. Con este dato se hará una extrapolación a la realidad nacional.

- Evaluación económica

Finalmente, se evaluará el costo de la implementación de SmartCap, versus los costos incurridos al no tener el sistema. Para ello se utilizarán costos promedios, en mantención de camiones de extracción.

2. Contexto

En este capítulo, se presenta el contexto en el que se enmarca este trabajo, donde se muestra información tanto de la industria minera como de industrias de innovación en seguridad.

2.1. Productividad en Minería

Se entiende por productividad, a la relación existente entre la cantidad de insumos y recursos utilizados para obtener un producto determinado (COCHILCO, 2014). En este capítulo, el estudio de la productividad se hará considerando todos los factores que influyen en ella, como el recurso geológico, el cual considera la ley del mineral y la razón estéril mineral.

Los resultados obtenidos para la productividad total de factores (PTF) consideran el capital en equipos, dotación de personal, consumo total de energía y calidad del recurso geológico, como principales factores productivos.

Además, lo que se desea obtener es la producción de cobre. Por ende, para el caso de las faenas que tienen subproductos, la producción se lleva a cobre equivalente, con los precios al año 2013, para así evitar sesgo por variación de precios de los subproductos.

A continuación, se dan algunas definiciones de los datos considerados para el análisis.

- Producción [TMF]: Es la cantidad de cobre fino equivalente contenido en productos de cobre y otros minerales, producidos por las principales faenas mineras del país.
- Capital Físico [MMUS\$ 2013]: Es la cuantificación del capital físico en propiedades, plantas y equipos en las diferentes faenas mineras.
- Dotación de personal [# personas]: Cantidad de trabajadores involucrados en procesos y actividades productivas de forma permanente dentro de las faenas mineras.
- Consumo de energía [GWh]: Es el consumo total de energía incluyendo electricidad y combustibles de las faenas mineras a lo largo de un año.
- Ley de cobre en mineral [%]: Corresponde al porcentaje de cobre presente en el mineral extraído.
- Razón estéril mineral [Un.]: Corresponde al cociente entre el estéril y el mineral extraído en una mina a cielo abierto.
- Recuperación [%]: Corresponde al porcentaje de cobre que es extraído, en relación al cobre que tiene el yacimiento.

En los últimos años la productividad minera ha caído drásticamente, tiempo coincidente con el aumento del precio del cobre y ésta, de hecho es una de las razones de la merma productiva, debido a que se produjeron más toneladas de concentrado a costa de consideraciones de eficiencia. Esto se ve, ya que entre los años 2000 y 2014 la producción de cobre fino aumentó en un 22%; pero también lo

hizo la dotación de personal en 128%, la energía utilizada en el proceso en 83% y el capital de inversión en 152%.

De hecho, entre el año 2000 y el 2014 la PTF ha caído entre un 12% y un 18%. Donde, en el período comprendido entre el año 2000 y el año 2004 se produce un aumento del 6% y entre el año 2005 y el año 2014 ésta cae entre un 18% y un 24%.

Además, el envejecimiento de los yacimientos provoca mayores distancias de acarreo por aumento en la profundidad de los rajos, aumento en la dureza de la roca y leyes más bajas, lo que dificulta aún más mantener los niveles de productividad. De hecho, dentro del período antes mencionado, ha caído un 38% la ley promedio de los yacimientos de cobre en Chile, desde un 1% a un 0,62% (Comisión Nacional de Productividad).

Con la caída de precio del cobre y la disminución en las leyes, se ha hecho cada vez más importante aumentar la productividad, para de esta manera reducir los costos unitarios. La productividad por trabajador medida en tonelada de cobre refinado por trabajador, ha sufrido una caída cercana al 54% desde el año 2000 al año 2014. Sin embargo, si la medición se hace por toneladas de mineral extraído por trabajador, la caída es de un 17%. (Comisión Nacional de Productividad). La variación del precio y de la PTF, entre los años 2000 y 2013, se muestran en el Gráfico 1. En éste, se puede ver que la PTF se redujo, en promedio, un 1,6% anual desde el año 2000 al 2013 (COCHILCO, 2014).

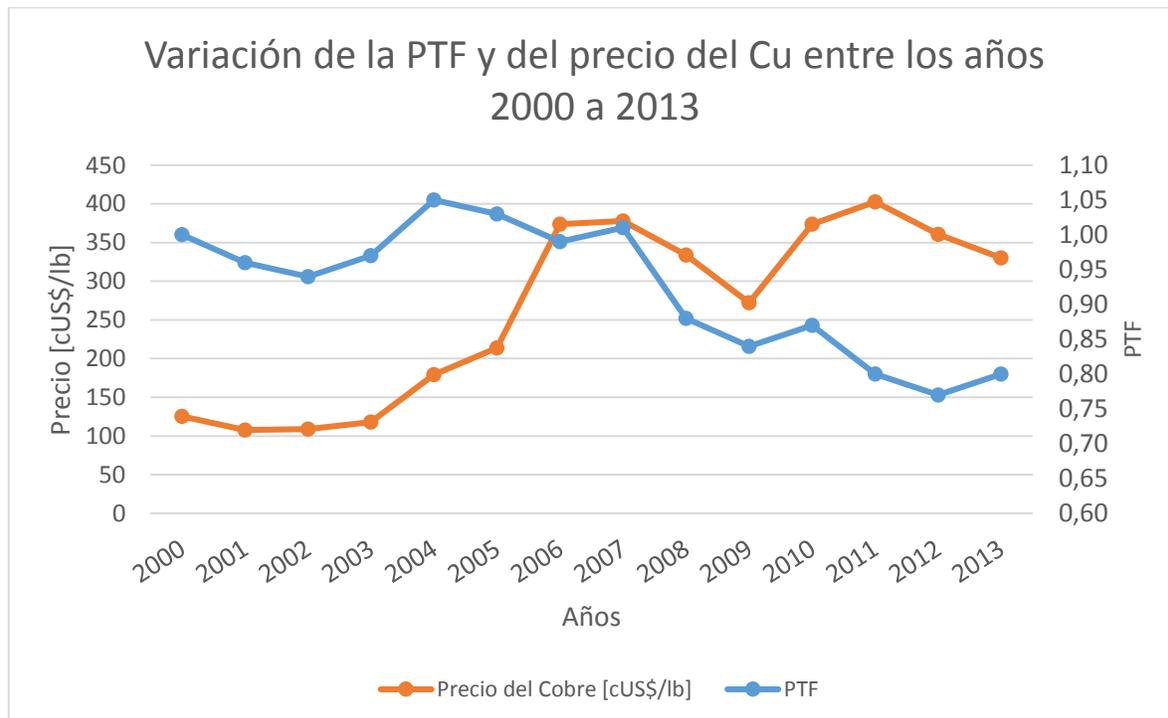


Gráfico 1: Evolución de la productividad en la minería del cobre, medida como PTF. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de COCHILCO

Los valores utilizados para la creación del Gráfico 1, se encuentran en la Tabla 1. Se considera como año de referencia al 2000, por lo que el índice aumenta o disminuye dependiendo de cuánto se aleja la producción multifactorial de los años siguientes a la que se logró en este año. Como se aprecia en la Tabla 1, la PTF no necesariamente sigue el mismo comportamiento de la producción real de cobre, y esto se debe a que, como se mencionó anteriormente, ésta considera factores productivos, ya que si bien, en el año 2000 se produjo menos que en el año 2013, se requirió de menos personal para esto, menos energía y menos capital de inversión. También se puede ver que, como se ha mencionado, el aumento en el precio del Cobre influye notoriamente en el comportamiento de la PTF.

Tabla 1 Datos de PTF y precio del cobre entre los años 2000 y 2013. Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos de COCHILCO

Año	PTF	Producción de Cobre [miles de tmf]	Precio Cu [cUS\$/lb]
2000	1,00	4638,6	125,28
2001	0,96	4821,7	107,71
2002	0,94	4611,3	109,08
2003	0,97	4904,2	118,08
2004	1,05	5412,5	179,07
2005	1,03	5320,5	213,83
2006	0,99	5360,8	373,75
2007	1,01	5557,0	377,67
2008	0,88	5327,6	333,68
2009	0,84	5394,4	272,11
2010	0,87	5418,9	373,68
2011	0,80	5262,8	402,59
2012	0,77	5433,9	360,56
2013	0,80	5776,0	330,28

2.2. Accidentabilidad en la minería chilena

En toda industrial la seguridad es el valor más importante, por lo que existen roles y protocolos para cada uno de los procesos. Sin embargo, existen ocasiones en las que no se les toma la atención adecuada a los riesgos de la actividad realizada.

Por este motivo es que es necesario que las gerencias ejerzan un buen liderazgo en cuanto a seguridad se refiere, sean quienes dan el ejemplo, involucren y capaciten a su personal y supervisen las labores. Además, en cuanto a los trabajadores, deben entregar una retroalimentación honesta, participar de las capacitaciones que les conciernen, ser responsables por la propia seguridad y por la de sus compañeros, apoyar y dar ideas para mejorar la seguridad (Carrillo & Guadalupe, 2005).

A modo de contextualizar el trabajo, se entiende por accidente laboral a todo daño o lesión corporal que sufre el trabajador con causa u ocasión del trabajo ejecutado (Trabajo, 2006)

En operaciones mineras, tanto en mina subterránea como rajo abierto, se identifica que uno de los principales riesgos en el transporte de minerales es la conducción de equipos pesados, dado que un accidente que los involucre tiene un alto potencial de causar una fatalidad junto con daño a los mismos o a su entorno. Por esto, incorporar nueva tecnología se hace cada vez más importante, dado que disminuye la probabilidad de eventos por colisión en el caso de sensores de proximidad de equipos, de accidentes por presencia de fatiga y somnolencia al tener un dispositivo que la detecte e incluso equipos de simulación de conducción para no tener que exponerse a riesgos innecesarios en el proceso de capacitación de operadores.

Entre los años 2000 y 2016 han habido 472 accidentes fatales, en los cuales se registraron 525 muertos. Debido a que los accidentes en la minería tienen un gran potencial de terminar en fatalidades, se han creado y mejorado las leyes y reglamentos de trabajo para la actividad minera, así lo muestra el Decreto Supremo 132, Reglamento de seguridad minera. Esto explica el comportamiento del Gráfico 2, dónde se puede ver que desde el año 2010 la tasa de accidentabilidad ha disminuido considerablemente, y continuamente se aspira a mejorar estos índices.

Tabla 2: Cantidad de accidentes y fallecidos entre los años 2000 y 2016

Categoría	Cantidad
Accidentes	472
Fallecidos	525

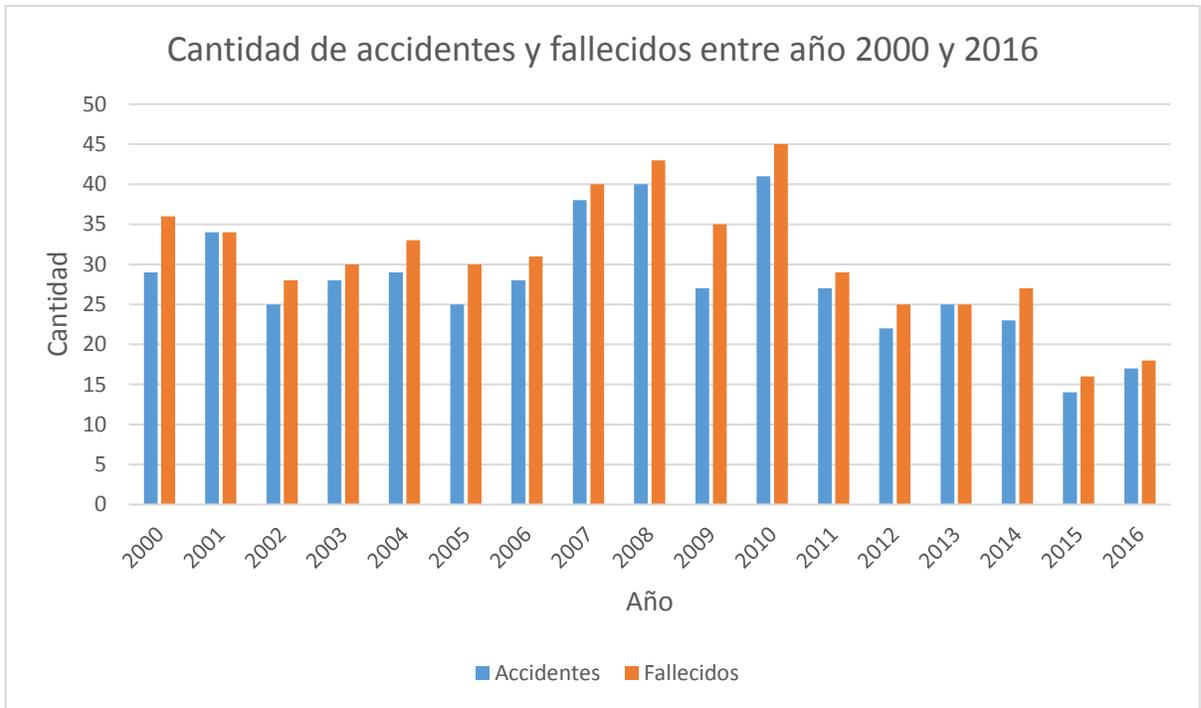


Gráfico 2: Distribución de cantidad de accidentes y fallecidos entre los años 2000 y 2016. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SERNAGEOMIN



Gráfico 3: Fallecidos en la industria minera, según ocupación, desde 2010 a 2014. Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos de SERNAGEOMIN

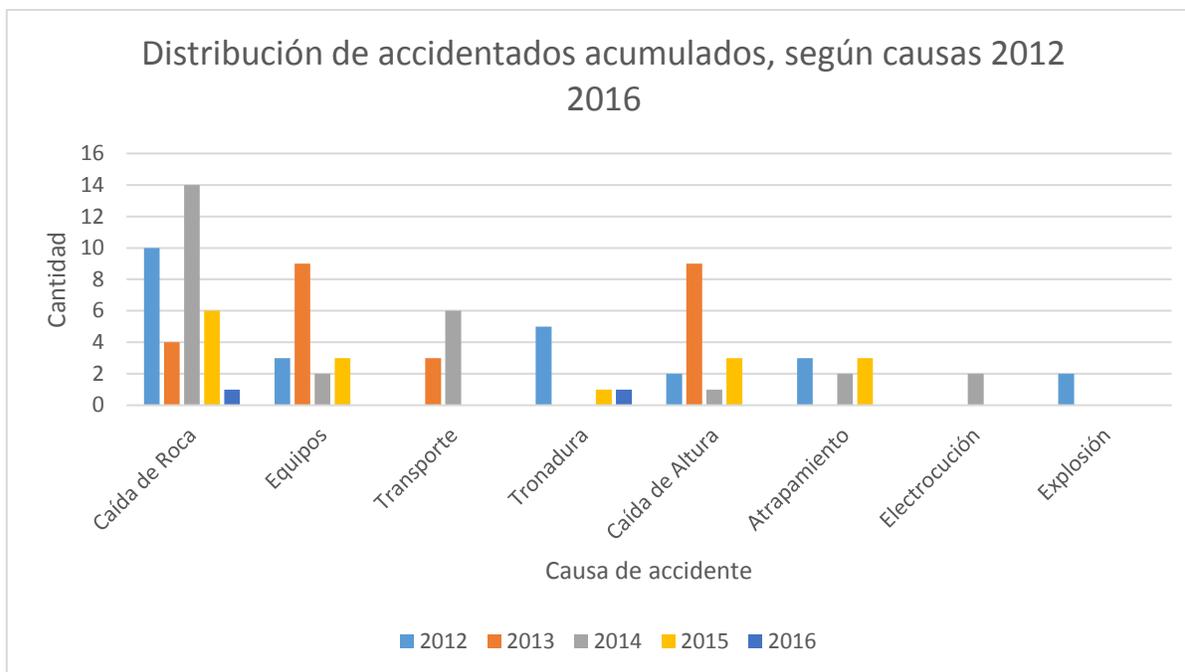


Gráfico 4: Distribución de accidentes según causas, entre los años 2012 a 2016. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SERNAGEOMIN

A continuación, se presenta la especificación de cada una de las causas de accidentes (SERNAGEOMIN, 2016)

- Caída de roca: Accidentes cuya causa inmediata es la caída de rocas, incluyendo derrumbes y colapsos por subsidencias.
- Equipo: Accidentes cuya causa inmediata involucra un equipo minero.
- Transporte: Accidente cuya causa inmediata involucra un equipo de transporte como transporte de mineral, de personas, de agua (aljibe), etc.
- Tronadura: Accidente cuya causa inmediata es la proyección de una roca o una onda expansiva proveniente de una tronadura.
- Caída de altura: Accidente cuya causa inmediata es la caída desde un nivel superior. Sobre 1,8 [m].
- Falta de oxígeno: Accidente cuya causa inmediata es la baja concentración de oxígeno o la presencia de gases tóxicos.
- Atrapado por: Accidente cuya causa inmediata es el aprisionamiento del cuerpo o parte de él.
- Electrocución: Accidente cuya causa inmediata es el contacto con energía eléctrica.
- Explosión: Accidentes cuya causa inmediata sea la acumulación de gases, la explosión de máquinas a presión y explosión de explosivos, exceptuando la tronadura.
- Golpeado por: Accidente cuya causa inmediata es el impacto de algo material a una persona.

Trabajadores fallecidos por tipo de accidente entre 2000 y 2016

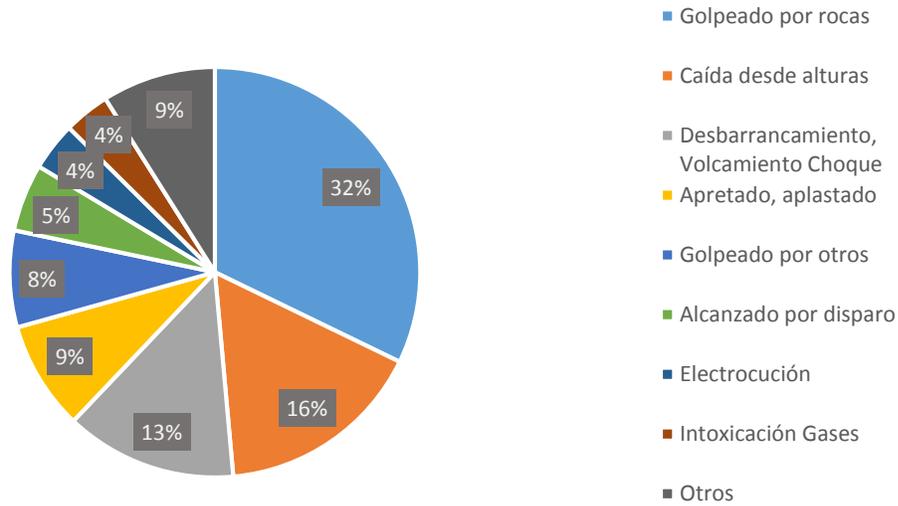


Gráfico 5: Distribución de trabajadores fallecidos por tipo de accidente entre 2000 y 2016. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SERNAGEOMIN

Tabla 3: Número de trabajadores fallecidos en accidentes, distribuidos por causa entre los años 2000 y 2016. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SERNAGEOMIN

Tipo de accidente	Cantidad
Golpeado por rocas	169
Caída desde alturas	86
Desbarrancamiento, Volcamiento Choque	71
Apretado, aplastado	45
Golpeado por otros	40
Alcanzado por disparo	28
Electrocuación	20
Intoxicación Gases	19
Succionados	10
Quemaduras	10
Inmersión	9
Alcanzado por onda	7
Cubierto por material	6
Hipotermia	5

2.3. Estudio del sueño (BSS, 2015)

Se ha determinado que un adulto necesita dormir entre siete y nueve horas al día para mantener un óptimo rendimiento. El no llevar esto a cabo puede tener consecuencias en las personas, tales como padecer diabetes (Gottlieb D, 2005), aumento en el riesgo de obesidad y de padecer enfermedades cardiovasculares (60 minutos, 2008). Al dormir bien, se mejora el poder de concentración y la formación de la memoria, permite que el cuerpo repare los daños celulares ocurridos durante el día, revitaliza el sistema inmunitario y ayuda a prevenir enfermedades. A continuación, se presentan los distintos tipos de sueño en base a rangos de edad.

Tabla 4: Tipo de Sueño según rango etario

Tipo de Sueño	Porcentaje Total del Sueño	
	Adulto Joven	Adulto Mayor
1ra etapa	>5%	8 - 15%
2da etapa	45 - 55%	70 - 80%
3ra y 4ta etapa	15 - 25%	0 - 5%
Sueño MOR	20 - 25%	20%

La etapa uno de sueño NMOR corresponde al sueño ligero y dura entre 5 a 10 minutos.

La etapa dos del sueño NMOR es la primera parte del sueño profundo, cuando el pulso y la presión sanguínea bajan.

La etapa tres y cuatro del sueño NMOR también corresponde al sueño profundo y es el período más importante para la recuperación, cuando el cerebro está en reposo y las funciones del cuerpo se mantienen en su estado habitual pero más lentas.

Sueño MOR o movimientos oculares rápidos, es la fase donde generalmente se producen los sueños. En esta etapa se producen cambios en el cuerpo que comprenden movimientos oculares rápidos con los ojos cerrados, ligero aumento de la temperatura central del cuerpo, aumenta el metabolismo y el nivel de actividad eléctrica del cerebro es similar a cuando está en estado de vigilia.

Para contextualizar el tema de memoria, es necesario tener conocimiento de los siguientes conceptos:

- Reloj corporal: Encargado de controlar los ritmos internos del cuerpo. Uno se basa en ciclos de 24 horas y otro en ciclos cercanos a 90 minutos. El reloj de 24 horas tiene dos momentos en los que el cuerpo y el cerebro se encuentran en el punto más bajo de alerta, los que ocurren entre 01:00 y 05:00 y entre 13:00 y 15:00. Mientras el reloj de 90 minutos es el encargado de controlar el sueño y conducirlo por ciclos, los que consisten en ligero, profundo y sueño MOR en el

que se sueña. Este reloj, también actúa cuando se está despierto y es el responsable del sueño y del estado de vigilia.

- Adenosina: El cerebro requiere de energía para funcionar, la que obtiene del trifosfato de adenosina (ATP). Cuando el cerebro usa ATP para generar energía, libera adenosina, la que, al acumularse provoca sueño. Al dormir, el cuerpo vuelve a generar ATP, continuando el ciclo.
- Fatiga: Mecanismo regulador del organismo que indica la pérdida de recursos por debajo de un umbral y la necesidad de recuperarlos mediante descanso¹ (Romero, 2004).
- Somnolencia: Estado intermedio entre el sueño y la vigilia en el que todavía no se ha perdido la conciencia (al, 1998).
- Estado de Vigilia: En este estado el cerebro está alerta. Esta respuesta es generada por una parte del sistema nervioso central, denominada sistema nervioso simpático. Al estimularse produce aumento del ritmo cardíaco, aumento de la presión arterial, tensión muscular y dilatación de las pupilas.

Cuando existe una alteración del estado de vigilia, se está expuesto a cambios en el rendimiento debido a una pérdida de atención, estado de letargo por bajo nivel de energía, incapacidad para anticipar el peligro y aumento en el tiempo de reacción, dificultades con la memoria a corto plazo para tomar decisiones, mayor dificultad para resolver problemas, entre otros.

Las personas que trabajan regidas por un sistema de turnos, tienen mayor probabilidad de sufrir trastornos del sueño debido a que al regirse por este sistema, no logran generar un hábito del sueño. De hecho, suelen tener pérdida del sueño debido a que les es más difícil dormir de día, también pueden encontrarse más irritables e incluso están más propensos a desarrollar depresión debido a la falta de luz solar. Además, como se dijo anteriormente, la pérdida de sueño afecta la eficacia del sistema inmune, por lo que aumenta la tendencia a padecer enfermedades como resfriados o dolor de cabeza. Por otro lado, el sistema digestivo es menos activo durante la noche, lo que provoca trastornos gastrointestinales. Aumenta el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares y sufrir obesidad.

Una de las recomendaciones para los trabajadores por turnos, es que se aseguren de dormir lo suficiente, sigan una dieta sana, hagan normalmente ejercicio, no fumen y se hagan chequeos médicos de forma regular.

La principal causa de fatiga es dormir poco. Sin embargo también existen otros factores influyentes, como la hora del día. Según un estudio hecho por la asociación chilena de seguridad los horarios críticos donde se presenta mayor fatiga es entre 03:00 y 06:00 y entre 14:00 y 16:00 horas. También influye el número de días consecutivos en turno de noche, el número total de turnos consecutivos, la dirección de la rotación (se ha demostrado que las rotaciones que avanzan en el sentido del reloj causan menos fatiga), la duración del turno, las pausas, siendo recomendable hacer pausas de media hora cada cinco horas de trabajo, y el horario de comienzo y finalización del turno, se ha determinado que los turnos de 12 horas debiesen comenzar y terminar entre las 06:00 y las 07:00 horas, puesto que si comienza antes, el cerebro se encuentra en el mínimo punto de estimulación y las condiciones

para dormir después de las 08:00 son menos apropiadas por lo que terminar el turno después de las 07:00 dificulta el dormir bien. Por otro lado, ambientes de trabajo con temperaturas extremas, excesos de ruido, mucha o poca luz, vibraciones, humedad y polvo o sustancias tóxicas, aumentan las probabilidades de sufrir estrés o fatiga. Por último, se recomienda que los tiempos de viaje y las horas de trabajo, al día, no superen las 13 horas.

Tabla 5: Niveles de fatiga y mecanismos de detección personal.

Alerta	Apariencia alerta
	Parpadeo normal de menos de un segundo
	Atento a lo que sucede en el entorno
	Movimientos coordinados del cuerpo
	Tolerante a los errores/ a terceros
Un poco fatigado	Irritable/ impaciente
	Pensamientos desorientados
	Frotarse la cara o los ojos
	Contorsiones faciales
	Inquietud física
Moderadamente fatigado	Bostezos
	Apariencia de cansado
	Callado y reservado
	Parpadeos más lentos, de entre 1 a 2 segundos
	Dificultad para enfocar la vista
	Dificultad para seguir instrucciones
Peligrosamente fatigado	Bostezos frecuentes
	Poca o ninguna actividad
	Vista fija
	Indiferente a la gente/ a lo que sucede
	Parpadeos prolongados de 2 o más segundos
Peligrosamente fatigado	Respuesta sobresaltada
	Micro-siestas

También existen factores individuales como la edad, ya que personas entre 20 y 40 años tienen mayor tolerancia al trabajo por turno. Esto ocurre debido a que al envejecer, hay una menor producción de melatonina cerebral, hormona que ayuda a dormir. Enfermedades como asma, diabetes, epilepsia, entre otros, reducen la capacidad del trabajo por turno, así como trastornos del sueño como insomnio, apnea obstructiva del sueño, narcolepsia, síndrome de piernas inquietas y reflujo gástrico.

2.4. Mecanismos para control de fatiga y somnolencia

2.4.1. Basados en parámetros de conducción

Existe gran diversidad de mecanismos, entre los que destacan aquellos que mantienen el auto en el carril, que frenan si hay una colisión inminente, detección de somnolencia, entre otros. A continuación, se entrega un detalle de cada mecanismo.

2.4.1.1. Sensor en el volante

Este sistema crea una línea base, generando un perfil de conducción en condiciones normales, al momento de que la conducción se desvía de ese perfil, el mecanismo entiende que existe situación de fatiga o somnolencia. En ese momento, el sistema emite una alerta sonora y muestra un mensaje en el panel del vehículo



Ilustración 1: Detección de somnolencia con sensor en volante

2.4.1.2. Asistente de mantenimiento en carril

Este mecanismo corresponde a un sistema electrónico que reconoce las líneas del carril, por lo que en caso de que se produzca una desviación en la trayectoria, o se traspase la línea del carril sin activar la intermitente, el sistema puede emitir una alarma sonora o generar una vibración en el volante, el asiento o en el cinturón de seguridad, e inclusive puede actuar sobre la dirección del vehículo, cambiando su trayectoria.

Para esto, el sistema utiliza una cámara ubicada, generalmente, en la parte superior del parabrisas. Mediante ésta, una unidad de proceso interpreta en tiempo real, si es que el vehículo se encuentra centrado en el carril o no.

Para el caso en el que el sistema actúa sobre la dirección del vehículo, se utiliza un accionador con un motor eléctrico, el cual gira el manubrio los grados que la unidad de proceso estima.

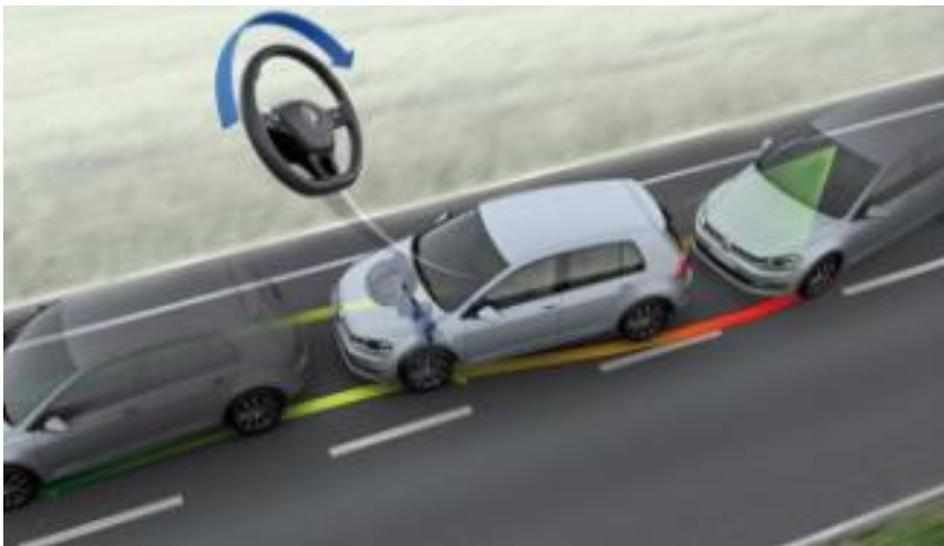
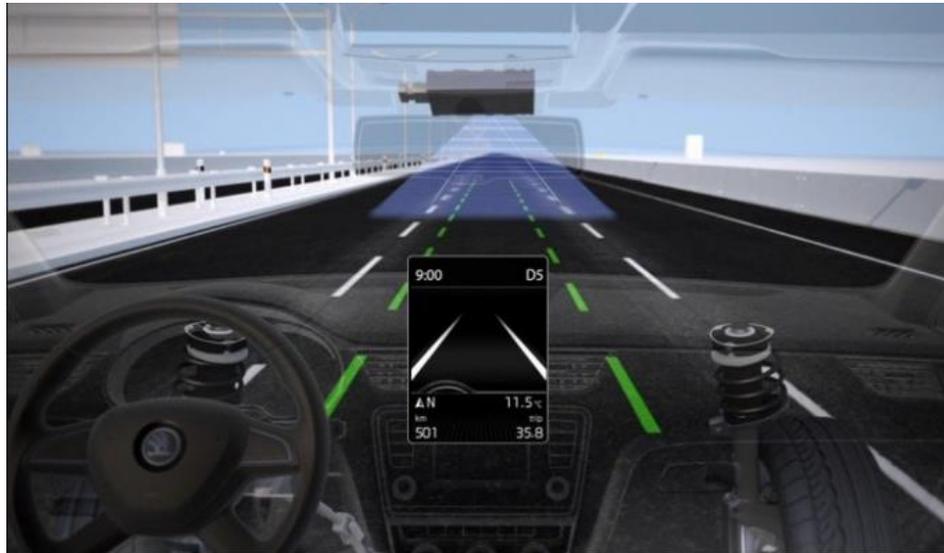


Ilustración 2: Asistente de mantenimiento en carril

2.4.1.3. Sistema de frenado automático

Este sistema posee sensores que detectan la proximidad de otro vehículo, reduciendo la velocidad al detectar riesgo de colisión. El mecanismo, también puede detectar peligros fijos, como señalética, mediante una base de datos de localización. En el caso que el conductor pise el freno o realice alguna maniobra, el sistema se desactiva.

Para la implementación del sistema, se requiere una cámara, un radar o un lidar¹ para detectar objetos cerca del vehículo. Un procesador integrado, determina la distancia que hay entre el vehículo y el objeto y reconoce cuando ésta es peligrosa, frenando el vehículo.



Ilustración 3: Sistema de frenado automático

2.4.2. Basados en monitoreo de rasgos faciales

El sistema de monitoreo de rasgos faciales está enfocada en detectar indicios de somnolencia y actitudes de distracción en la conducción.

Para ello, uno de los mecanismos que existe, calcula la velocidad del parpadeo, y el porcentaje de cierre de párpado. Para ello, utiliza un sensor que procesa imágenes, el dispositivo toma 500 fotos por segundo, y leds infrarrojos que captan en la

¹ Dispositivo que determina distancias entre objetos mediante un haz de luz pulsado.

oscuridad. Si los párpados comienzan a cerrarse por un tiempo mayor del promedio, se emite una alarma sonora y vibratoria, la que se instala en la base del asiento, para alertar al conductor. Los sensores incorporados, permiten realizar un seguimiento a distancia del comportamiento de los operadores, lo que permite activar protocolos en caso de detectar estado de somnolencia o distracción en el operador. Existen dos formas de medir la velocidad de parpadeo, siendo una de ellas, una cámara integrada en el panel del equipo, o mediante la utilización de lentes con cámara integrada.

Otro mecanismo, es un sensor que analiza en tiempo real, hacia donde mira el conductor. Entonces, cuando éste está mirando a su alrededor en vez del camino, se emite una alarma. Con el fin de evitar falsas alarmas, el sistema tiene incorporado un GPS que detecta la velocidad establecida del lugar, de este modo no emite alarmas durante el estacionamiento, marcha atrás o baja velocidad.

Por otro lado, también existe un pequeño dispositivo electrónico que se instala detrás de la oreja del conductor, emitiendo un sonido breve y agudo para despertar cada vez que la cabeza es inclinada hacia adelante más de 20 grados.



Ilustración 4: Sistemas de detección de velocidad de parpadeo y porcentaje de cierre de párpado



Ilustración 5: Detección de grado de inclinación cabeza.

2.4.3. Basado en medición de ondas cerebrales

El sistema, llamado SmartCap, mide la fatiga y la somnolencia a través de sensores que leen la actividad eléctrica cerebral. Esto se hace mediante la lectura de las variaciones de la actividad eléctrica existente en la piel y luego se procesan esas ondas cerebrales para determinar el estado de alerta del operador. Para ello, se utiliza un gorro o banda con sensores por la parte interna. Mediante una conexión inalámbrica bluetooth los datos son transmitidos por el sensor ubicado en la gorra, a una pantalla ubicada en la cabina. La lectura es independiente de la edad o género del operador y no se ve afectada por condiciones ambientales como altura, polvo, humedad, refracción solar, entre otros.

Cuando se detecta algún nivel de fatiga, se genera una alerta y/o alarma. La idea de ésta es que, en primer lugar, el operador sea capaz de autogestionar su nivel de fatiga y/o somnolencia y en último lugar, cuando se genere una alarma, sea el jefe directo quien tome medidas.

SmartCap, funciona con distintos niveles, según el estado de fatiga del operador, donde, en los niveles 2, 3 y 3+ se genera una alerta, mientras en el 4, una alarma. La especificación de cada nivel se muestra en la tabla 6. Además, durante los primeros 30 a 60 segundos de uso, existe un nivel de fatiga desconocido, ya que el sistema lleva a cabo su algoritmo para el cálculo del estado de fatiga del operador; también se emiten mensajes si es que el dispositivo está mal puesto, no se está generando comunicación, está mal conectado o si el operador se quita el sensor. Todo esto se visualiza a través de una plataforma que debe ser monitoreada.



Ilustración 6: Sistema de monitoreo por lectura de ondas cerebrales.

Se puede tener información objetiva y métrica respecto del nivel de fatiga promedio de los trabajadores que usen el sistema, tales como cantidades de alertas, alarmas por día, semana, mes, porcentaje de utilización del sistema, disponibilidad, etc. También, permite georeferenciar áreas del rajo o de una ruta, con mayor riesgo de incidentes en base a pendientes, condición del terreno, entre otros.

Tabla 6: Niveles de alerta de SmartCap y acciones recomendadas para cada nivel

Niveles de aptitud/riesgo durante la operación	Acciones a Seguir Operador	Acciones a Seguir Jefe de Turno y Despachador
Nivel 2 y 3 de Alerta:	<ul style="list-style-type: none"> • Es el estado adecuado para operar equipos. • El operador mantiene la atención respecto de sus sensaciones y auto chequea su estado de Alerta periódicamente durante la conducción. 	<ul style="list-style-type: none"> • Jefe de Turno consulta al inicio del turno estado de Alerta de los operadores, y/o consumo de medicamentos. • Despachador consulta durante la jornada a través de la radio, estado general de Alerta de los operadores.
Nivel 3+, Precaución	<p>Estado incipiente de fatiga y/o somnolencia, el operador debe:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Buscar acciones de reactivación primaria: hablar por radio, escuchar música, enfriar el aire de la cabina, tomar agua. • Si las acciones de reactivación primarias no lo reactivan, debe avisar a despacho "Detención por Activación". Detiene el equipo por 5 minutos, en estacionamientos habilitados. Al detenerse realiza actividades para activarse: caminar por la plataforma, elongar, tomar agua, café, etc. • Si necesita mayor activación, como alternativa puede solicitar a despacho cambio de actividad o equipo. • Aquellos operadores que lo requieran, pueden aprovechar el horario de Tronadura para activarse, deteniéndose y bajándose del equipo en estacionamientos o áreas habilitadas. 	<p>El despachador debe:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aceptar detención. • Responder a solicitud de cambio de actividad o equipo, si ello fuera posible. • Estar atento frente al operador que reporta somnolencia, una vez que vuelve a la operación, con consultas frecuentes, por parte del despachador tecnológico.
Nivel 4, Riesgo:	<p>Estado de riesgo de fatiga y/o somnolencia, el operador debe:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reportar Somnolencia a Despacho y pedir detención para relevo. • Se dirige a estacionamiento y se baja del equipo. • Va a sala de activación: toma café, conversa, camina, se estira, llevando a cabo una reactivación. • Puede realizar otros trabajos en la Mina (no conducción) • Una vez que se sienta re-activado, puede solicitar reincorporación a la operación. • Se considera 30 minutos como un tiempo suficiente de activación. 	<p>El despachador debe:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Acoger solicitud de relevo. • Permitir descanso del operador en sala de activación. • Destinar al operador a otros trabajos (no conducción) si es posible. • Conversar con el operador una vez que se haya reactivado, para conocer las causas de la somnolencia. • Registrar el evento <p>El Jefe de Turno debe:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Conversar con aquellos operadores que después de 30 minutos de activación, no estén en condiciones de volver a operar. • Registrar el evento.

SmartCap ha sido utilizado en Australia por Anglo American, Xstrata, Rio tinto, Newmont, Barrick, DSTO, Newcrest, Roadtek, entre otros. Por lo que, en estos lugares se cuenta con mayor información de cómo ha sido la evolución de alertas y/o alarmas por fatiga y somnolencia de los operadores.

Como se mencionó anteriormente, este dispositivo emite alertas y/o alarmas en caso de presencia de fatiga y somnolencia en etapa temprana, lo cual aporta favorablemente en la autogestión de los operadores. El gráfico a continuación muestra que, para estas faenas, se obtuvo una disminución del 25% de las alarmas durante cada año de funcionamiento.

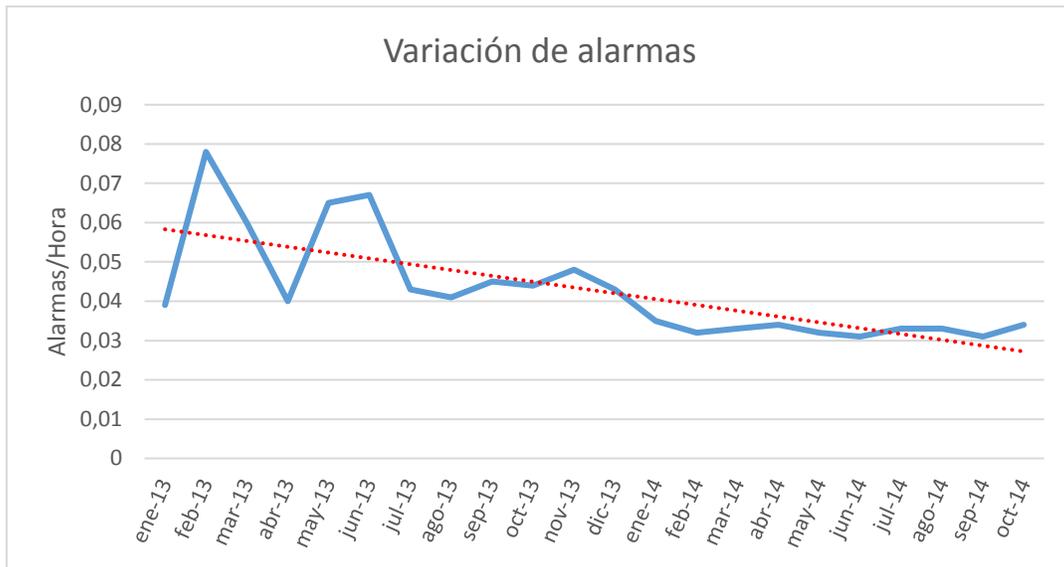


Gráfico 6: Variación de alarmas de SmartCap en faenas australianas

2.4.4. Comparación de diversos mecanismos

El método que se ha sido utilizado en faenas chilenas corresponde al monitoreo de rasgos faciales, tanto mediante la utilización de lentes con cámara y sensores incorporados, como utilizando una cámara en el panel frontal. Es por esto, que se compara este mecanismo con el dispositivo SmartCap. Esta comparación se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7: Comparación de mecanismos de detección de fatiga

COMPARACIÓN DE TECNOLOGIAS	
MONITOREO OCULAR	SMARTCAP
Produce una estimación de fatiga basada en síntomas físicos en los ojos	Es una medición directa de la condición fatiga
Requiere utilización de dispositivos especiales para operadores que usan lentes regularmente	El uso de bandas o gorros es universal y fácil de usar. Hay diferentes tallas para mayor comodidad.
Dispositivo se conecta mediante cable a la unidad base.	El Sistema es Inalámbrico
Se instala permanentemente	Existen unidades portátiles que se pueden instalar rápidamente en camionetas, equipos livianos u otros que no justifican una inversión tan alta.
Alarmas se activan cuando la condición de fatiga o microsueño ya se produjo	Se alerta en tiempo real que el operador está en una condición de fatiga. Permite anticiparse a la condición de microsueño.
El formato de los datos es propietario por lo que tiene baja capacidad de integración con otros sistemas	Plataforma abierta. Fácil integración con sistemas existentes y herramientas de reporte y análisis de gestión.
Alto número de Falsas alarmas	Bajo número de falsas alarmas
Requiere que se establezca una línea base de comparación para cada operador	No requiere nivel base. La lectura es directa y en tiempo real
Instalación promedio 3 horas por camión	Instalación promedio: 1 hora por camión
No hay validaciones realmente independientes	Sistema validado por universidades y centros de investigación completamente independientes a la empresa
Alta tasa de falla en equipamiento	Tasa de falla moderada y mayor vida útil de componentes
Se ha reportado un bajo nivel de aceptación por parte de operadores en las instalaciones existentes en el mundo	Nivel de aceptación alto por parte de operarios cuando hay una buena estrategia comunicacional previa
Operación es afectadas por condiciones ambientales como polvo, radiación y reflexión solar.	El funcionamiento y uso no se ve afectado por condiciones ambientales
Tasa y costo de reemplazo de consumibles (lentes) media a alta	Tasa y costo de reemplazo de consumibles (Gorros/Bandas) baja
No se conoce algún compromiso global de ninguna multinacional Minera a la fecha, en los años que la tecnología está disponible	Compromiso de incorporación a nivel Global de Anglo American en el primer año de funcionamiento de la tecnología. Rio Tinto y Barrick están en proceso

2.5. Descripción de la Empresa (Open World Ltda., 2016)

OpenWorld es una empresa de Ingeniería y Servicios relacionados a soluciones tecnológicas, para resolver problemas de empresas en las industrias de la Minería, Energía y Transporte, especialmente enfocados en las áreas de Seguridad y Salud Ocupacional de las empresas, en los temas de Fit For Work (Aptitud para el Trabajo), y Manejo de Fatiga para conductores abocada a soluciones de tipo tecnológico que apuntan a ayudar a sus clientes a disminuir costos y aumentar la productividad.

Esta empresa, está a cargo de la distribución SmartCap a lo largo de Latinoamérica.

2.5.1. Misión

Disminuir los riesgos de accidentes a causa de la fatiga en las empresas, asesorando y trabajando con las organizaciones en la capacitación de su capital humano en la autogestión de fatiga, todo esto acompañado de un asesoramiento experto a través de BSS y la utilización de tecnología más avanzada a través de SmartCap.

2.5.2. Visión

Ser reconocidos como un referente en la Disminución de Riesgos de Accidentes por Fatiga; ser una empresa vanguardista que ofrece tecnologías más innovadoras para la solución de problemas en la organización, ya sea en Fatiga y somnolencia o más allá de esta. Ser capaces de adaptarnos a los requerimientos de nuestros clientes ofreciendo soluciones que se distinguen por ser innovadoras, de calidad y de rápida ejecución.

3. Situación actual en faenas de estudio

3.1. Antecedentes de seguridad

En el siguiente capítulo se darán a conocer los antecedentes de seguridad, por equipo, de las tres faenas en estudio.

Para ello, los accidentes se clasifican según el área de la faena en la que se originan, luego se crea una subdivisión de los accidentes y/o incidentes ubicados en el área mina, dependiendo si son asociados a perforación y tronadura (P&T), carguío y transporte (C&T), servicios y otros. Finalmente, los incidentes de C&T se distribuyen según su causa y de este modo se obtiene el porcentaje de incidentes asociado a fatiga y somnolencia.

Los incidentes asociados a perforación y tronadura, corresponden a aquellos que generan algún tipo de daño a perforadoras, barras y accesorios de éstas. Los de carguío y transporte corresponden a daños en palas, camiones de extracción y cargadores frontales. Los de servicios contemplan daños a bulldozers, wheeldozers, motoniveladoras, camiones aljibe, abastecedores de combustible, camión pluma y cama baja. Mientras, los eventos que son categorizados como otros, son todos los que ocurren en la mina que no afectan a los equipos antes mencionados, es decir, aquellos incidentes que generan daños a personas, camionetas, minibús, correa transportadora, entre otros.

3.1.1. Faena 1

En la Faena 1, durante los años 2015 y 2016 se tiene un total de 831 accidentes, de los cuales 383 ocurren en la mina y 161 corresponden al área carguío y transporte.

A continuación, se muestra un desglose de éstos.

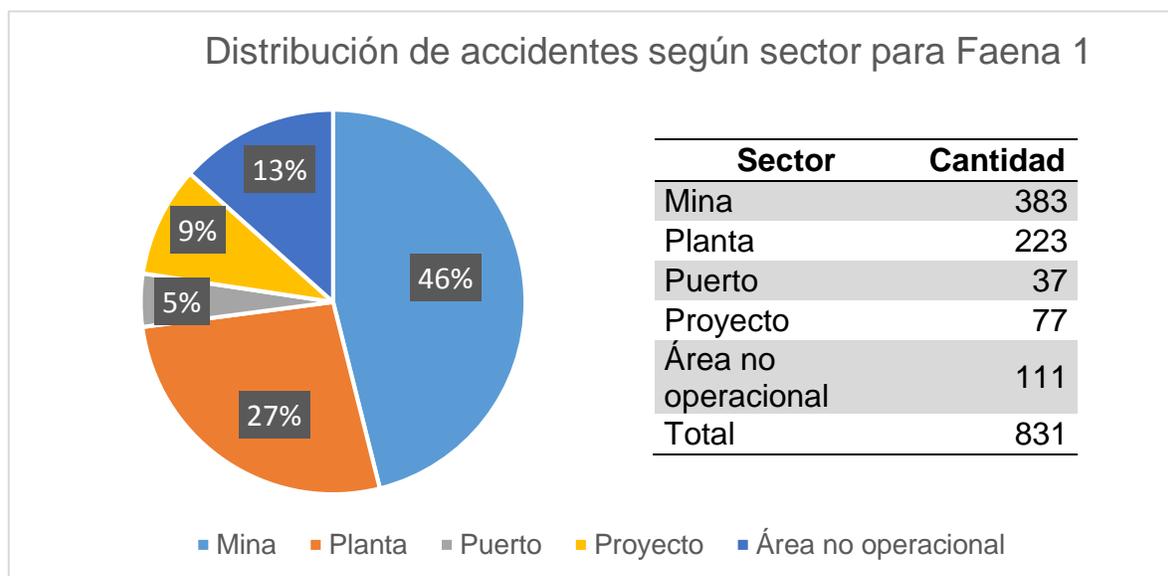


Gráfico 7: Distribución de accidentes según sector para Faena 1

El sector proyecto, corresponde a un sector de la faena que aún no está en operación, mientras el área no operacional corresponde a casinos, campamentos, etc.

Como se puede apreciar en la distribución, una gran parte de los accidentes ocurren en la mina, con 383 eventos, los que representan un 46% del total. Estos accidentes serán analizados en las siguientes ilustraciones.

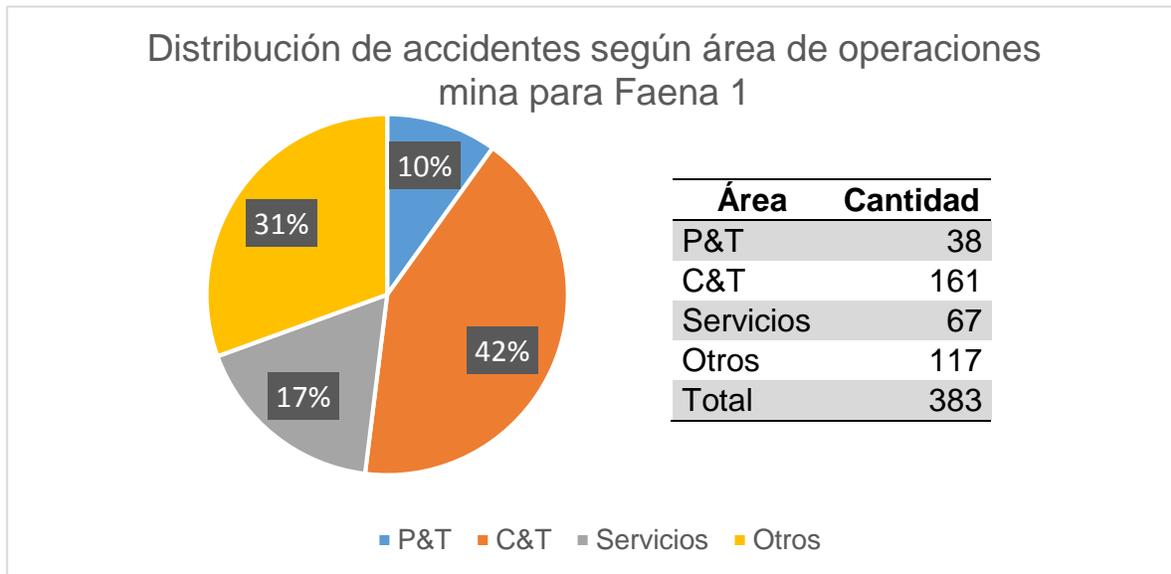


Gráfico 8: Distribución de accidentes según área de operaciones mina para Faena 1

En esta ilustración se observa que un 42% de los accidentes ocurridos en la mina corresponden al área carguío y transporte y en la siguiente se ve cómo se distribuyen las causas de estos eventos. A continuación, se especifica en qué consiste cada categoría.

- Impacto de material: son aquellos provocados por el impacto entre una roca y un equipo, en esta categoría entra el material proyectado por tronadura (flyrock), que supera la distancia de seguridad, las rocas que caen desde el balde de la pala, de la frente, etc.
- F&S: son los producidos por fatiga y somnolencia, los que serán especificados más adelante.
- Mantenión inadecuada: Falla mecánica, eléctrica, despresurización de neumáticos, entre otros.
- No se siguen protocolos: Considera aquellos incidentes en los que la principal causa es no seguir los protocolos establecidos para ciertas tareas. Por ejemplo, no avisar a un operador que se está acercando al equipo, o no andar a la velocidad establecida en rampa cuando ésta ha sido recién regada.
- Pérdida de control de equipo: En esta categoría se encuentran, colisiones entre cargador frontal, o pala, y camión de extracción por mala maniobra, mal

dimensionamiento del espacio al momento de aculatarse, o choques con pared de banco o pretil que no tiene relación con los puntos anteriores.

- Fuego: Amago de incendio en algún equipo.
- Onda expansiva: Aquella devenida de una tronadura.
- Otros: Aquellos accidentes que no entran en las categorías anteriores.

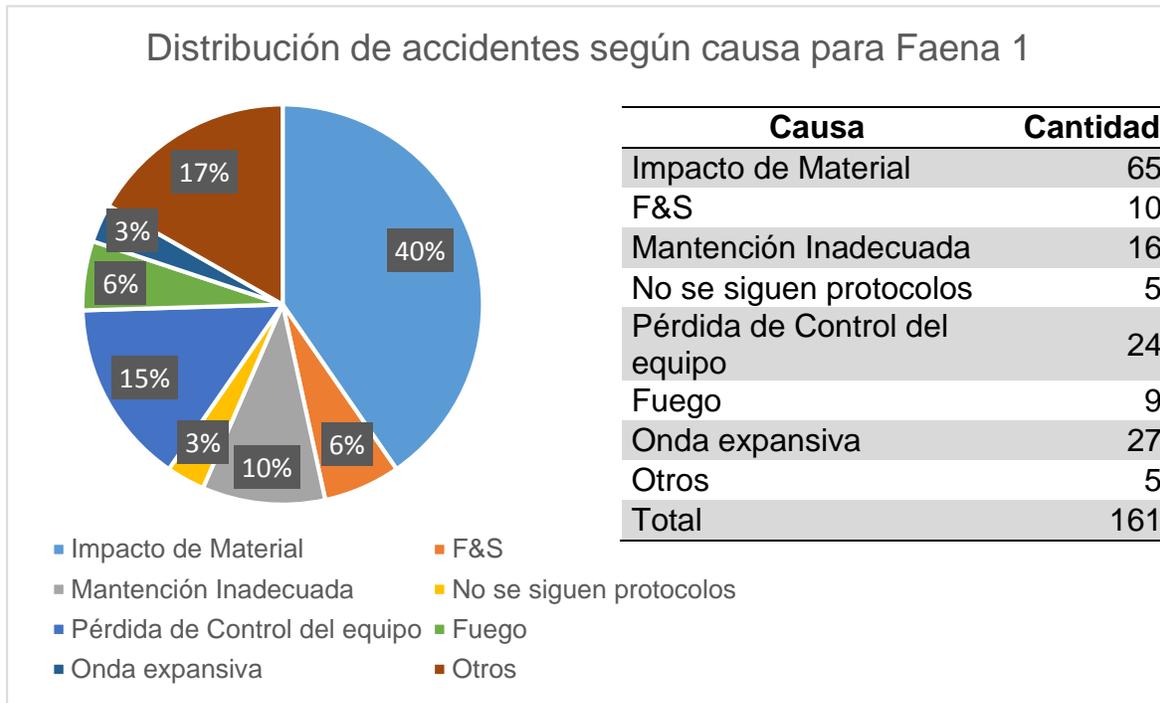


Gráfico 9: Distribución de accidentes según causa para Faena 1

De los 831 incidentes, se registran 13, cuya causa directa es la somnolencia, donde todos son de alto potencial de peligrosidad y 12 de ellos conllevan daño material. Como se mencionó en el Gráfico 9, 10 de estos accidentes generan, como consecuencia, daño a camiones de extracción. La descripción de cada evento es dada a continuación.

Tabla 8: Especificación de los eventos causados por somnolencia

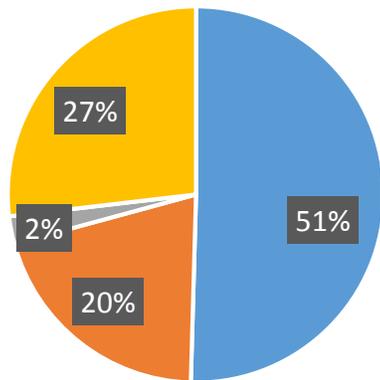
Fecha	Hora	Descripción del evento
31-may-15	20:45	Volcamiento de camión abastecedor de combustible
09-ago-15	18:45	Caex 02 golpea en parte trasera a Caex 01
25-ago-15	07:00	Caex 03 impacta material de Stock baja ley
28-ago-15	03:15	Caex 04 impacta pared de banco con neumático delantero izquierdo
12-feb-16	07:20	Caex 06, en espera para cargar, no aplica freno de traba, impactando a Caex 05 en parte trasera
06-mar-16	18:10	Caex 07 impacta plataforma de acceso con talud de banco
06-mar-16	20:35	Caex 08 se encuentra con un corte pasado en banda lateral por daño operacional
09-abr-16	13:45	Caex 09 impacta por alcance a Caex 03 en su parte trasera
02-may-16	08:30	Conductor pierde control de bus impactando barrera de contención
29-may-16	06:40	Caex 10 se monta en pretil lateral
02-jun-16	21:28	Caex 11 impacta escalera de acceso con pretil de seguridad
08-jun-16	14:10	Trabajador pierde control de camioneta quedando montada sobre el pretil
30-jun-16	06:15	Caex 12 impacta pretil central de rampa

3.1.2. Faena 2

Para la Faena 2, desde el segundo semestre del 2014 hasta el 2016 se tiene un total de 674 incidentes, de los cuales 340 ocurren en la mina y 176 corresponden al área carguío y transporte. De estos, dos son debido a fatiga y somnolencia, donde en uno de ellos se produce un fatal.

A continuación, se hará un desglose de los incidentes:

Distribución de accidente según sector para Faena 2

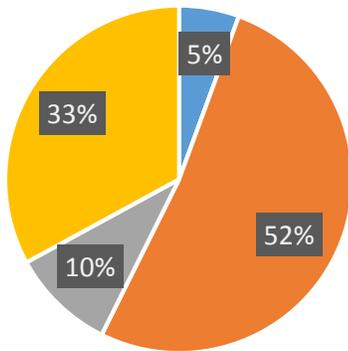


Sector	Cantidad
Mina	340
Planta	137
Puerto	16
Área no operacional	181
Total	674

■ Mina ■ Planta ■ Puerto ■ Área no operacional

Gráfico 10: Distribución de accidentes según sector, en Faena 2

Distribución de accidentes según área de operaciones mina para Faena 2



Área	Cantidad
P&T	19
C&T	176
Servicios	33
Otros	112
Total	340

■ P&T ■ C&T ■ Servicios ■ Otros

Gráfico 11: Distribución de accidentes según área de operaciones mina, en Faena 2

Distribución de accidentes según causa para Faena 2

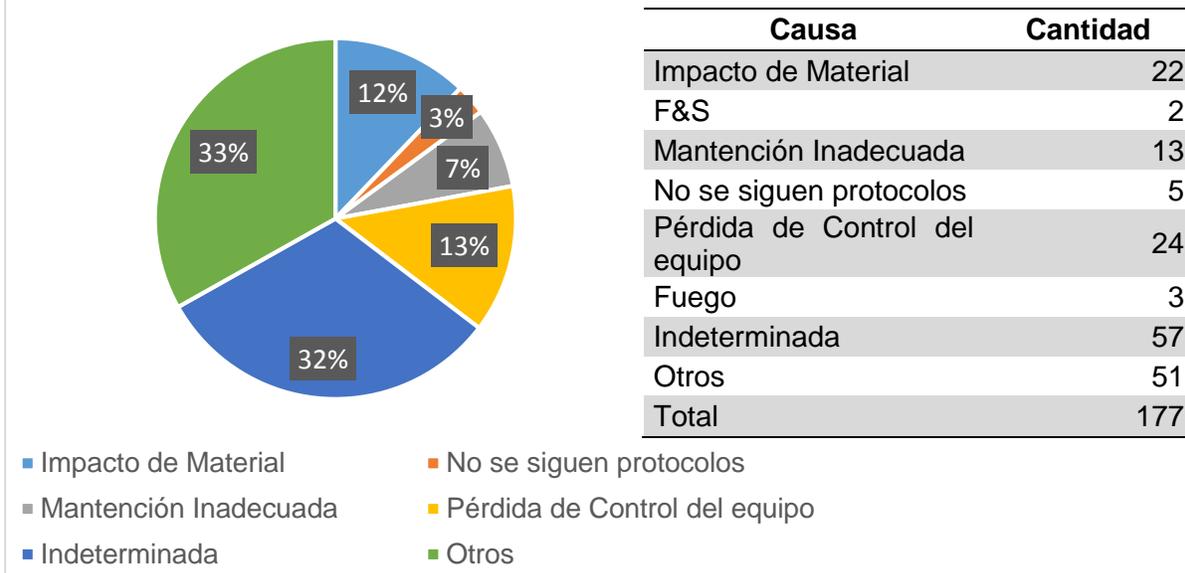


Gráfico 12: Distribución de accidentes según causa, en Faena 2

Los incidentes cuya causa es impacto de material, F&S, mantención inadecuada, no se siguen protocolos, pérdida de control del equipo, fuego y otros, son los mismos descritos para el caso de la Faena 1. La categoría indeterminada, corresponde a equipos con sus escalas impactadas, cuya causa es desconocida.

De la totalidad de incidentes, nueve son directamente asociados a fatiga y somnolencia. Sin embargo, solo dos de estos corresponden al área carguío y transporte. A continuación, se presenta una descripción de los eventos.

Tabla 9: Descripción de eventos de somnolencia de Faena 2

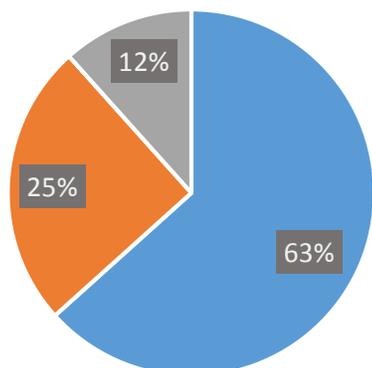
Fecha	Hora	Descripción del evento
06-sep-14	2:20	Desbarrancamiento de CAEX 01 por 20 [m]
04-jun-15	14:10	Camioneta se monta sobre el pretil, volcándose posteriormente
15-dic-15	18:35	Camioneta traspasa eje central de calzada chocando con barrera de contención
25-ene-16	8:30	Camioneta pasa a pista contraria, sobrepasa pretil y cae por quebrada
25-may-16	15:00	CAEX 02 se monta sobre pretil
09-jul-16	17:00	Pisten Bully se desliza por la ladera del cerro 40 [m] y luego cae 4[m] más
24-jul-16	8:45	Camión impacta caseta mientras aplicaba supresor de polvo
24-ago-16	15:20	Camioneta impacta cierre perimetral
28-sep-16	15:15	Camioneta impacta barrera de contención

3.1.3. Faena 3

Para la Faena 3, desde el segundo semestre del 2012, hasta el 2016 se contabiliza un total de 611 incidentes. De estos, 387 ocurren en la mina y 49 afectan a equipos de carguío y transporte y 13 tienen como causa directa, fatiga y somnolencia.

A continuación, se presenta un desglose de los incidentes ocurridos.

Distribución de accidentes según sector para Faena 3



Sector	Cantidad
Mina	387
Planta	153
Área no operacional	71
Total	611

■ Mina ■ Planta ■ Área no operacional

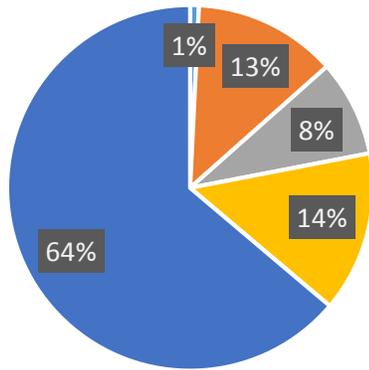
Gráfico 13: Distribución de accidentes según sector, en Faena 3

En el caso de esta faena, los incidentes ocurridos en el puerto y en la planta piloto no son contemplados.

Por otro lado, se añade una nueva categoría en la mina, la que corresponde a "Mantenimiento"; son los accidentes que afectan a maquinaria ubicada en el truck shop. Y, en la categoría "Otros" del Gráfico 14 se agrega segregación deficiente, pretil con dimensiones inadecuadas, tableros eléctricos abiertos de equipos no especificados, tiros quedados, caídas de roca sin impacto a equipos e ingreso a sector no habilitado o no autorizado de equipos que no estén en las categorías anteriores.

Además, la categoría "Otros" del Gráfico 15 contempla no respetar signo pare o de seda el paso, ir contra el tráfico, caída de equipo de distinto nivel, equipo muy cerca del pretil e ingreso a lugar no autorizado de un equipo de carguío o de transporte.

Distribución de accidentes según área de operaciones mina para Faena 3

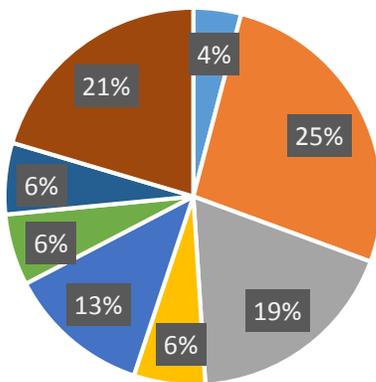


Área	Cantidad
P&T	3
C&T	49
Servicios	33
Mantención	55
Otros	247
Total	387

■ P&T ■ C&T ■ Servicios ■ Mantención ■ Otros

Gráfico 14: Distribución de accidentes según área de operaciones mina, en Faena 3

Distribución de accidentes según causa para Faena 3



Causa	Cantidad
Impacto de Material	2
F&S	13
Mantención Inadecuada	9
Cable Energizado	3
Colisión entre Equipos	7
Fuego	3
Ronceo	3
Otros	10
Total	49

■ Impacto de Material ■ F&S
 ■ Mantención Inadecuada ■ Cable energizado
 ■ Colisión entre equipos ■ Fuego
 ■ Ronceo ■ Otros

Gráfico 15: Distribución de accidentes según causa, en Faena 3

En la siguiente tabla se hace una breve descripción de los eventos de somnolencia ocurridos en la faena. Como se puede ver 12 de estos eventos afectan a camiones

de extracción y uno a un bulldozer, mientras los otros eventos ocurren fuera del área de carguío y transporte.

Tabla 10: Descripción de los eventos de somnolencia en Faena 3

Fecha	Descripción del evento
08-07-2012	CAEX 01 se roncea en rampa
22-08-2012	Operador de CAEX 02 se queda dormido
29-12-2012	Somnolencia operador CAEX 03
26-02-2013	Somnolencia operador CAEX 04
18-04-2013	Impacto por alcance a CAEX 05
09-06-2013	CAEX 06 impacta pretil
04-09-2013	Bus sale de pista de circulación
09-09-2013	Volcamiento bulldozer
12-09-2013	CAEX 07 impacta pretil
29-09-2013	Volcamiento camioneta
23-10-2013	Bus sale de pista de circulación
31-10-2013	CAEX 08 impacta pretil central
26-06-2014	Volcamiento camioneta
26-06-2014	Volcamiento altiplano
26-11-2014	Volcamiento camioneta
04-03-2015	Camioneta sale de ruta
03-06-2015	Volcamiento de CAEX 09
17-01-2016	CAEX 10 cruza pretil central
17-02-2016	CAEX 11 se sube a pretil
04-08-2016	Volcamiento de camión de Placas
10-08-2016	CAEX 12 traspasa borde de botadero
18-12-2016	Van choca contra pretil

3.2. Antecedentes de días perdidos y producción

3.2.1. Faena 1

Para los antecedentes de producción se debe tener en cuenta que en la mina existe una dotación de 60 camiones durante el año 2015 y 95 el año 2016. Este aumento se debe principalmente a que en este año se fusionaron dos pits en una sola administración, dando así la posibilidad de hacer rotación de equipos en el caso de ser necesitarlo.

En la Tabla 11 se muestran,

- Días perdidos: Días en los que el equipo no es utilizado producto de los daños provocados por el evento de somnolencia.

- Producción real: Corresponde a las toneladas producidas durante los días perdidos, incluyendo lo producido en el día en el que ocurre el evento y durante el día en el que se pone en marcha la maquinaria.
- Producción prevista: Se determina en base al promedio de producción diaria por equipo, del año en el que ocurre el accidente. Ese promedio se multiplica por los días perdidos.

Tabla 11: Producción real vs prevista de camiones de extracción involucrados en los accidentes de la Faena 1

Equipo	Capacidad del equipo [ton]	Modelo	Días perdidos	Producción real [kT]	Producción prevista [kT]	Producción total [%]
Caex 01	225,98	CAT 793C	48	3,79	238,46	2%
Caex 02	225,98	CAT 793C	17	6,42	85,22	8%
Caex 03	363,23	CAT 797F	64	7,36	395,39	2%
Caex 04	279,85	KOM 930E	39	4,55	246,59	2%
Caex 05	279,85	KOM 930E	0	9,76	6,43	152%
Caex 06	279,85	KOM 930E	1	1,44	6,21	23%
Caex 07	363,23	CAT 797F	16	7,38	97,02	8%
Caex 08	225,98	CAT 793C	63	4,73	299,25	2%
Caex 09	363,23	CAT 797F	58	9,81	364,37	3%
Caex 10	225,98	CAT 793C	212	0	1168,56	0%
Caex 11	279,85	KOM 930E	2	3,40	12,15	28%
Caex 12	225,98	CAT 793C	2	1,34	9,10	15%
Total			522	59,98	2928,76	2%

3.2.2. Faena 2

Los eventos asociados a fatiga y somnolencia, para la Faena 2, durante el año 2015 no afectan a equipos de carguío y transporte. Mientras que el fatal del 2014 genera una detención completa de la mina durante cuatro días. En la siguiente tabla, se muestran los efectos para los camiones involucrados directamente en los incidentes.

Tabla 12: Producción real vs prevista de camiones de extracción involucrados en los accidentes de la Faena 2

Equipo	Días perdidos	Producción real [kT]	Producción prevista [kT]	Producción total [%]
Caex 01	4	0	756	0%
Caex 02	1	3,14	5,23	60%
Total	5	3,14	761,23	0%

3.2.3. Faena 3

Para el caso del Caex 09, ocurre pérdida total del equipo, sin embargo, en la tabla se muestran 212 días, dado que son los días que restan desde el accidente, hasta que acaba el año.

Tabla 13: Producción real vs prevista de camiones de extracción involucrados en los accidentes de la Faena 3

Equipo	Días perdidos	Producción real [kT]	Producción prevista [kT]	Producción total [%]
Caex 01	1	0,24	7,93	3%
Caex 02	5	9,33	41,43	23%
Caex 03	1	4,33	5,04	86%
Caex 04	3	6,30	14,32	44%
Caex 05	4	12,37	19,09	65%
Caex 06	4	10,11	24,79	41%
Caex 07	3	5,62	21,98	26%
Caex 08	4	14,68	18,42	80%
Caex 09	212	0,00	1293,62	0%
Caex 10	4	10,94	27,42	40%
Caex 11	4	10,98	21,36	51%
Caex 12	6	13,61	36,26	38%
Total	251	98,50	1531,65	6%

3.4. Conclusiones del capítulo

De los datos obtenidos de Sernageomin se tiene que, de un total de 525 fatales un 13,52% corresponden a desbarrancamiento, volcamiento o choque, equivalente a 71 personas.

De los datos obtenidos en las tres faenas en estudio, se tiene que de un total 1110 accidentes en la mina, 72 son por desbarrancamiento, volcamiento y choque, sólo en el área de carguío y transporte, de los cuales 24 son causados por somnolencia. Es decir, en las faenas en estudio, un 33,33% de los accidentes con desbarrancamiento, volcamiento o choque son causados por somnolencia en los operadores.

Haciendo la extrapolación a Sernageomin, donde se tienen 71 fallecidos por desbarrancamiento, volcamiento y/o choque, 24 de ellos tienen como causa fatiga y somnolencia del operador de camión de extracción. Esto equivale a 4,57% de los 525 fatales registrados en Sernageomin entre el año 2000 y el año 2016.

Además, la producción prevista para los camiones de extracción involucrados en los eventos de somnolencia decayó, en promedio, un 98% para el caso de la Faena 1, un 100% en la Faena 2 y un 94% en la Faena 3, considerando el día en el que ocurre el accidente, los días de mantención del equipo y el período de ramp up. Esto implica un cambio en la planificación de camiones de extracción, puesto que se debe hacer uso de camiones en reserva y en caso de no haber, la merma en producción es la mencionada en las Tablas 11, 12 y 13.

4. Análisis de Accidentes

En el siguiente capítulo, se verá el efecto de los accidentes por fatiga y somnolencia, utilizando la información mostrada en los antecedentes.

4.1. Análisis de Disponibilidad

La disponibilidad del equipo, corresponde a la cantidad porcentual de tiempo que el equipo se encuentra disponible para ser utilizado. Cada vez que un equipo tiene un accidente, disminuye la disponibilidad operacional debido a que debe pasar tiempo en mantención e inclusive, en algunos casos, hay pérdida total del equipo. Esta disminución de disponibilidad es la que se verá en este capítulo.

Para ello, se consideró la suma de los días en que los camiones, involucrados en un evento de fatiga y somnolencia, estuvieron detenidos a lo largo de un año. Además, se consideran 360 días de operación de la mina y cinco días festivos.

El cálculo de la disminución de disponibilidad se hace de la siguiente manera:

$$\text{Disminución Disponibilidad}[\%] = \frac{\text{días perdidos}}{\#\text{camiones} * 360}$$

4.1.1. Faena 1

Tabla 14: Disminución de disponibilidad por año, Faena 1

Año	# camiones	Días perdidos	Disminución Disponibilidad
2015	60	168	0,78%
2016	95	354	1,04%

4.1.2. Faena 2

Tabla 15: Disminución de disponibilidad por año, Faena 2

Año	# camiones	Días perdidos	Disminución Disponibilidad
2014	47	252	1,49%
2016	44	1	0,01%

4.1.3. Faena 3

Tabla 16: Disminución de disponibilidad por año, Faena 3

Año	# camiones	Días perdidos	Disminución Disponibilidad
2012	45	7	0,04%
2013	52	18	0,10%
2015	47	212	1,25%
2016	42	14	0,09%

4.2. Análisis económico

Para esta evaluación económica, se considera que en promedio un camión cuesta MUS\$ 4,5 y la reparación tiene un costo de MUS\$ 0,25 considerando daños a neumáticos, escaleras, HH² mantención y HH reparación de caminos y, la implementación de un equipo SmartCap, tiene un costo asociado a los siguientes ítems:

Tabla 17: Desglose costo SmartCap

Item	[mUS\$]
Equipo e instalación SC	8,50
Repuesto por equipo	0,77
Suscripción anual	0,60
Soporte y mantención anual	78,00

El equipo tiene una duración de cinco años.

Para los cálculos se consideran las siguientes fórmulas:

$$\text{Costo SC anual [MUS\$]} = \frac{(8,5 + 0,77) * \#camiones}{5} + 0,6 + 78$$

1000

$$\text{Costo incidente [MUS\$]} = 0,2 * \#camiones dañados + 4,5 * \# pérdida total$$

Además, cada accidente tiene costos de mantención adicionales o de reposición de maquinaria, junto con otros, como indemnización en caso de fatal, aumento de la prima en la mutual de seguridad, contratación de un operador reemplazante en caso de que quede con licencia el operador oficial, entre otros costos que no son considerados en este análisis.

4.2.1. Faena 1

En la Faena 1, durante los años 2015 y 2016 se tuvo una flota de 96 camiones, de los cuales 11 camiones con daños producto de accidentes por fatiga y somnolencia.

² HH: Horas hombre.

Tabla 18: Análisis de costos Faena 1

Dato	Costo total [MUS\$]	Costo por año [MUS\$/año]
Costo SmartCap	1,28	0,26
Costo Accidente	2,75	1,38

4.2.2. Faena 2

En la Faena 2, durante los años 2014 a 2016 se tuvo una flota de 63 camiones y hubo un camión dañado y uno con pérdida total.

Tabla 19: Análisis de costos Faena 2

Dato	Costo total [MUS\$]	Costo por año [MUS\$/año]
Costo SmartCap	0,98	0,20
Costo Accidente	4,75	1,58

4.2.3. Faena 3

En la Faena 3, durante los años 2012 a 2016 se tuvo una flota de 56 camiones y hubo 11 camiones dañados y uno con pérdida total.

Tabla 20: Análisis de costos Faena 3

Dato	Costo total [MUS\$]	Costo por año [MUS\$/año]
Costo SmartCap	0,91	0,18
Costo Accidente	7,25	1,45

4.3. Conclusiones del Capítulo

En las tres faenas, se vieron afectadas las disponibilidades, disminuyéndolas desde un 0%, hasta un 1,49% producto de los accidentes por somnolencia, teniendo en promedio una reducción de 0,6% de disponibilidad de la dotación completa. Es decir, si se tiene contemplada una disponibilidad del 80% para el cálculo de la flota, habrá momentos en los que la dotación no será suficiente dado que la disponibilidad real será de 79,4%. Esto afecta directamente a la producción, sin embargo, no se puede determinar el efecto directo sin los datos de utilización de los equipos.

Además, se observa que las disminuciones de disponibilidad más grandes ocurren cuando se tienen pérdidas totales de un equipo, aunque la flota sea mucho más grande en una faena que en otra.

Por otro lado, en el análisis económico se observa que el costo total por accidente, es mayor en la Faena 3 y menor en la Faena 1. Esto se debe principalmente a que la evaluación hecha para la Faena 1 contempla dos años de operación, para la

Faena 2 contempla tres años de operación y para la Faena 3, cinco años de operación, por lo que claramente en cinco años hay más accidentes que en dos, en faenas que operan con características similares. Además, el costo de un dispositivo como SmartCap es fijo y solo depende de la flota de camiones con que se cuente, mientras que el costo de los accidentes es variable.

Ahora bien, si el análisis se realiza por año el costo de los accidentes ocurridos en la Faena 2, son mayores a los incurridos en la Faena 3 y 1.

Según los antecedentes recopilados en Australia, el índice de accidentabilidad por fatiga y somnolencia disminuye, al menos, en un 25% utilizando el dispositivo. Considerando esto, el costo por accidente, baja MUS\$ 0,34 anual para el caso de la Faena 1, MUS\$ 0,4 anual en la Faena 2 y MUS\$ 0,36 anual en la Faena 3. Lo que implica que la inversión de implementar SmartCap se recupera en 45 meses en la Faena 1, en 30 meses en la Faena 2 y en la Faena 3, lo que, en todos los casos, es menor a los 60 meses de vida útil del dispositivo. Además, es importante destacar que, con una buena gestión del dispositivo, los costos por accidente pueden ser disminuidos en su totalidad.

La conclusión más importante de este capítulo es que, aunque sean pocos los accidentes por fatiga y somnolencia, el costo de una implementación en seguridad cubre cualquier gasto asociado a accidentes o fatales que se generan en el día a día de una operación minera, los cuales se llegan a cuantificar con indemnizaciones en base a un Budget cercanas a US\$500.000 por fatal, esto es mucho mayor que el costo de implementación de un sistema como SmartCap. De hecho, se puede ver que, en los costos por año, para el caso de la Faena 1 el costo de implementación de SmartCap representa el 19% de los costos asociados a accidentes por somnolencia, para el caso de la Faena 2 es un 12% y para la 3 es un 13%.

5. Conclusiones y Recomendaciones

En las tres faenas se ve que los accidentes que tienen como causa directa la somnolencia, son bajos en relación a los demás. Lo que se puede deber, principalmente, a que no existe una buena cultura de informar la somnolencia como causa de accidentes. Esto se determina, ya que existe gran cantidad de accidentes cuya causa es la pérdida de control del equipo, en donde no se explica el motivo de esto.

Haciendo una extrapolación de los accidentes de las tres faenas y de los datos obtenidos por Sernageomin se tiene que un 4,57% de los fatales ocurridos entre 2000 y 2016 son atribuidos a fatiga y somnolencia.

Los accidentes disminuyen la disponibilidad de los equipos, dado que es necesario hacerles mantención no programada.

Se determinó, que la disminución de la disponibilidad es en promedio de un 0,6% anual para cada camión de extracción, lo cual va desde un 0% a un 1,49%.

Los costos de implementar este dispositivo, son menores que los costos devenidos de los accidentes por fatiga y somnolencia, llegando a representar un 19% en los cinco años de duración del mecanismo, para el caso de la Faena 1, un 12% para la Faena 2 y un 13% para la Faena 3.

De los resultados obtenidos en SmartCap Australia, se cuenta una disminución de un 25% anual de los incidentes por somnolencia, debido a la detección temprana de ésta, lo que implica un aumento en la disponibilidad de los equipos y una disminución en los costos de mantención de equipos y de caminos. De hecho, considerando este dato, la inversión se retorna en tres años nueve meses para el caso de la Faena 1 y en dos años 6 meses para la Faena 2 y la Faena 3.

Es importante destacar que, los accidentes por somnolencia pueden reducirse desde un 25% hasta un 100%, si se realiza una buena gestión de esta herramienta.

Glosario

Bulldozer: Tractor con orugas, accionado por un motor Diésel y provisto de una pala en su parte frontal.

Camión Aljibe: Vehículo provisto de una cisterna, para el transporte de líquidos. En minería a cielo abierto, es usado tanto para el transporte de combustible, como para el agua utilizada en el riego de las rampas.

Camión Cama Baja: Vehículo motorizado, destinado al transporte de equipos mineros. Para ello, cuenta con una plataforma, de baja altura, con uno o más ejes.

Camión de Extracción: Equipos de transporte de material de alto tonelaje, utilizado en faenas mineras.

Camión Pluma: Equipo utilizado en operaciones de izaje y traslado de cargas. Lleva incorporado en su chasis una grúa, la que utiliza para cargar y descargar.

Cargador Frontal: Equipo tractor, montado sobre orugas o ruedas, con una cuchara de gran capacidad en su parte frontal. Se utiliza para cargar camiones.

Correa Transportadora: Corresponde a un sistema de transporte continuo, formado por una cinta sin fin, accionada por un motor, la cual se mueve entre dos tambores.

Motoniveladora: Máquina utilizada para nivelar y reperfilarse un talud o una cara vertical, excavar y perfilar cunetas y rellenar zanjas o desniveles.

Pala: Equipo minero utilizado en las operaciones de carga de material. Es capaz de mover una gran cantidad de material con bajo costo unitario y alta disponibilidad mecánica.

Perforadora: Equipo minero utilizado para realizar perforaciones, las que luego serán cargadas con explosivos para la realización de las tronaduras.

Pisten Bully: Equipo utilizado para aplanar y emparejar lugares con nieve.

Wheeldozer: Tractor con rueda, accionado por un motor Diésel y provisto de una pala en su parte frontal.

Bibliografía

- 60 minutes. (13 de Marzo de 2008). *60 Minutes: Informe sobre Sueño*. Obtenido de 60 Minutes Web Site: <http://www.cbsnews.com/news/the-science-of-sleep/>
- al, W. e. (1998). Study of commercial vehicle driver rest periods and recovery of performance in an operational environment. En Laurence Hartley (ed.) *Managing Fatigue in Transportation*. Oxford: Pergamon, 119-165.
- BSS. (2015). *Manejando la Fatiga*. Publication Pty Ltd.
- Carrillo, N., & Guadalupe, E. (2005). Propuesta de estructura organizacional para la prevención de accidentes en el sector minero. *Revista del Instituto de Investigación FIGMMG*, Vol. 8, N°15, 33-40.
- COCHILCO. (2014). *Productividad en la Industria Minera en Chile*.
- Comisión nacional de productividad. (s.f.). *Informe preliminar: Productividad de la Gran Minería del Cobre*.
- Gottlieb D, e. a. (2005). Association of Sleep Time with Diabetes Mellitus and Impaired Glucose Tolerance. *Archives of Internal Medicine* , 165:863-868.
- Ministerio de Minería. (2004). *Reglamento de seguridad minera*. Santiago.
- Open World Ltda. (2016). *Quiénes somos: Open World Ltda*. Obtenido de Sitio Web Open World Ltda .
- Romero, J. e. (2004). Aspectos de la Fatiga del conductor y estudio de las tecnologías para detectarla y prevenirla. *IMT (Instituto Comunicaciones y Transporte. Publicación técnica n°241*.
- SERNAGEOMIN. (2016). Balance nacional de accidentabilidad minera de 2016.
- SERNAGEOMIN. (2016). *Estadísticas de accidentabilidad*.
- Trabajo, M. d. (2006). *Ley 16744*. Santiago.

Anexos

A.1. Cálculo de la PTF

La PTF se mide a través de un modelo logarítmico que utiliza un método de regresión lineal para su estimación. La función se muestra en (2).

$$\ln(\hat{Y}) = \sum_{i=1}^n \alpha_i * \ln(X_i) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \beta_{ij} * \ln(X_i) * \ln(X_j) \quad (2)$$

Donde,

\hat{Y} : Logaritmo de producción estimada.

$X_{i,j}$: Principales factores productivos que determinan la producción de una industria o firma.

$\alpha_{i,j}$ y $\beta_{i,j}$: Coeficientes a ser determinados a través de un método de regresión que acompañan a los factores productivos.

A.2. Cálculo de la ley equivalente

El cálculo de la ley equivalente se muestra en (3).

$$Leq = L_{Cu} + \frac{1}{P_{Cu} * R_{Cu}} \sum_{i=1}^n L_i * P_i * R_i \quad (3)$$

Donde,

L_{Cu} : Ley de cobre.

L_i : Ley del subproducto i.

P_{Cu} : Precio del cobre.

P_i : Precio del subproducto i.

R_{Cu} : Recuperación de cobre.

R_i : Recuperación del subproducto i.

A.3. Equipos mineros

Tabla 21: Características de equipos implicados en accidentes en Faena 1

Parámetros	CAT 793C	CAT 797F	KOM 930E
Longitud [m]	12,87	15,08	15,60
Anchura [m]	7,41	9,76	8,69
Velocidad máxima [km/h]	53,60	67,60	64,50
Carga útil nominal [Ton]	223,17	363,00	291,66



Ilustración 7: A la izquierda Bulldozer, a la derecha Wheeldozer



Ilustración 8: Camión Aljibe



Ilustración 9: Camión cama baja



Ilustración 10: A la izquierda Camión de Extracción CAT 797F. A la derecha Cargador Frontal



Ilustración 11: A la izquierda Correa Transportadora. A la derecha camión plumal



Ilustración 12: Equipo Motoniveladora



Ilustración 13: A la izquierda Perforadora. A la derecha Pala Mecánica



Ilustración 14: Equipo Pisten Bully